



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**Μελέτη χρήσης τεχνολογιών Διασυνδεδεμένων Δεδομένων στο
Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΒΕΛΙΣΣΑΡΗ Γ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέπων: Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2017

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Μελέτη χρήσης τεχνολογιών Διασυνδεδεμένων Δεδομένων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΒΕΛΙΣΣΑΡΗ Γ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Μαρτίου 2017.

(Υπογραφή)

.....
Χάρης Δούκας
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2017

(Υπογραφή)

.....

ΒΕΛΙΣΣΑΡΗΣ Γ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Γ. Βελισσάρης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου, για τη στήριξη τους, και την πίστη τους σε μένα τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο ΕΜΠ. Η συνεισφορά και η αγάπη τους είναι η κινητήριος δύναμη κάθε προσπάθειας μου.

Πίνακας Περιεχομένων

ΣΧΗΜΑΤΑ, ΕΙΚΟΝΕΣ, ΠΙΝΑΚΕΣ	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	13
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1 ΓΕΝΙΚΑ - ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΙΔΕΑ	17
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ - ΚΙΝΗΤΡΟ	19
1.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΕΙΜΕΝΟΥ	20
2 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΔτΠ) – INTERNET OF THINGS (IoT)	22
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΟΡΟΥ	22
2.1.1 Ορισμός βάσει των εργαλείων.....	25
2.1.2 Ορισμός βάσει των συστατικών στοιχείων και γνωρισμάτων.....	26
2.1.3 Ορισμός βάσει των εφαρμογών.....	28
2.1.4 Ορισμοί από ερευνητικές και βιβλιογραφικές πηγές.....	30
2.1.5 Ορισμοί πυλώνων τεχνολογίας και ενημέρωσης	32
2.2 ΑΠΟΣΑΦΗΝΙΣΗ ΕΝΝΟΙΩΝ	33
2.3 ΙΣΤΟΡΙΑ.....	37
2.3.1 Επιστημονικά Επιτεύγματα που άνοιξαν το δρόμο	37
2.3.2 Σύντομη ιστορική εξέλιξη του ΔτΠ.....	40
2.4 ΤΟ ΙΟΤ ΣΕ ΑΡΙΘΜΟΥΣ	48
2.5 ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔτΠ.....	52
2.5.1 Τεχνολογίες δόμησης του IoT.....	55
2.5.2 Λειτουργία και συνεισφορά των IoT τεχνολογιών	58
2.6 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ - ΑΝΟΙΚΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ	61
2.6.1 Κλίμακα και προτυποποίηση	61
2.6.2 Κινητικότητα	62
2.6.3 Διαλειτουργικότητα	63
2.6.4 Ενεργειακή κάλυψη του ΔτΠ	64
2.6.5 Πρόβλεψη	65
2.6.6 Συμπερασμός νέας γνώσης.....	65

2.6.7	Ελεύθερη πρόσβαση - Ανοιχτή φύση του ΔτΠ	66
2.6.8	Ασφάλεια.....	67
2.6.9	Ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service).....	68
2.7	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΟΤ	68
2.7.1	Σύγχρονες, δημοφιλείς εφαρμογές του ΙοΤ	70
2.7.2	Περαιτέρω εφαρμογές	74
2.7.3	Γενικού σκοπού ΙοΤ Εφαρμογές μεταξύ τομέων.....	76
2.8	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΟΤ	80
2.9	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΟΤ	83
3	ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΣΔ) – LINKED DATA (LD).....	87
3.1	ΙΣΤΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΙΣΤΟΥ ΕΓΓΡΑΦΩΝ (WEB OF DATA VS WEB OF DOCUMENTS) ..	88
3.2	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	90
3.2.1	Οι αρχές των Συνδεδεμένων Δεδομένων.....	90
3.2.2	Κίνητρα μετάβασης στα ΣΔ & στην ελεύθερη διάθεση τους	91
3.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (LINKED OPEN DATA - LOD)	93
3.3.1	Εφαρμογές γενικής φύσεως.....	93
3.3.2	Συνδεδεμένα Δεδομένα και ο πολιτικός παράγων	96
3.4	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΤΟ - ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ	98
3.4.1	Περιηγητές Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web Browsers).....	100
3.4.2	Μηχανές Αναζήτησης Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web Search Engines).....	101
3.5	ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΝΩΣΗΣ (KNOWLEDGE REPRESENTATION)	103
3.6	ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ.....	105
3.6.1	Σημασιολογικός Ιστός και αναπαράσταση γνώσης.....	108
3.7	ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	110
3.7.1	Ορισμός.....	112
3.7.2	Κατηγοριοποίηση	115
3.7.3	Βασικά συστατικά μέρη μιας οντολογίας.....	118
3.7.4	Χαρακτηριστικά μιας οντολογίας.....	118
3.7.5	Κύκλος ζωής οντολογιών	119
3.7.6	Γλώσσες οντολογιών	123

3.8	ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΠΟΡΩΝ (RESOURCE DESCRIPTION FRAMEWORK - RDF)	124
3.8.1	Χρήσεις του RDF	126
3.8.2	Μορφές απεικόνισης RDF για τα Συνδεδεμένα Δεδομένα	127
3.8.3	Dublin Core	131
3.8.4	RDF Schema (RDFS): Μια οντολογικού σχήματος γλώσσα Ιστού	132
3.8.5	RDFa - RDF σε HTML	134
3.8.6	RDF Λεξιλόγια	135
3.8.7	Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα RDF	138
3.9	ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ RDF (RDF DATABASES)	139
3.9.1	Διαφορές RDF βάσεων δεδομένων με κλασσικά RDBMS	141
3.9.2	Πλεονεκτήματα RDF βάσεων δεδομένων (triplestores)	142
3.10	ΣΥΛΛΟΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATASETS)	143
3.11	ΓΛΩΣΣΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ SPARQL	146
3.11.1	Εξήγηση και επισκόπηση του μηχανισμού της γλώσσας	147
3.11.2	Μορφές SPARQL ερωτημάτων	153
3.11.3	Βασικές Λειτουργίες της Γλώσσας	154
3.11.4	Περαιτέρω λειτουργίες της γλώσσας	155
3.11.5	SPARQL και συμπερασμός (inferencing)	156
3.11.6	Αξιοποίηση της γλώσσας SPARQL στην ανάπτυξη εφαρμογών	157
3.12	Πλεονεκτήματα χρήσης Συνδεδεμένων Δεδομένων	158
3.13	Μειονεκτήματα χρήσης Συνδεδεμένων Δεδομένων	162
4	ΜΙΑ ΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΛΥΣΗΣ ΣΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔτΠ	167
4.1	ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	172
4.2	ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΙoT	174
4.2.1	Από κάτω προς τα πάνω (Bottom-up)	176
4.2.2	IoT πόροι ως υπηρεσίες (Top-down)	179
4.3	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΔΙΕΞΟΔΑ ΜΗ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ	185
4.4	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΗΜΟΦΙΛΩΝ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	186
4.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ	196
4.5.1	FIESTA-IoT Ontology	196
4.5.2	IoT Lite Ontology	197
4.5.3	The Machine-to-Machine Measurement (M3) Ontology	198

4.5.4	<i>Stream Annotation Ontology</i>	202
4.5.5	<i>PROV-O: The PROV Ontology</i>	204
4.5.6	<i>The Timeline Ontology</i>	205
4.5.7	<i>The Event Ontology</i>	207
4.5.8	<i>Semantic Sensor Network Ontology (SSN)</i>	207
4.6	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	217
4.6.1	<i>HYDRA project</i>	217
4.6.2	<i>The RUNES project</i>	218
4.6.3	<i>IoT-A project</i>	218
4.6.4	<i>iCore project</i>	218
4.6.5	<i>SENSEI project</i>	219
4.6.6	<i>CHOReOS project</i>	219
4.6.7	<i>Building as a Service project – BaaS</i>	220
4.6.8	<i>CHISTERA project</i>	220
4.6.9	<i>CityPulse</i>	220
4.6.10	<i>IoT.est</i>	221
4.6.11	<i>OpenIoT</i>	221
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	222
6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	225
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	227
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	250

ΣΧΗΜΑΤΑ, ΕΙΚΟΝΕΣ, ΠΙΝΑΚΕΣ

Σχήματα

Σχήμα 1: Τομή των συνιστωσών του ΔτΠ	26
Σχήμα 2: Τα 7 χαρακτηριστικά του ΔτΠ	28
Σχήμα 3: Χώροι IoT εφαρμογών	29
Σχήμα 4: Αποσαφήνιση Εννοιών	34
Σχήμα 5: Διαδίκτυο των Πάντων	36
Σχήμα 6: Δημοφιλία του όρου από την Google	44
Σχήμα 7: Ο κύκλος Gartner 2011, 2014	48 – 49
Σχήμα 8: Αριθμός IoT συσκευών	50
Σχήμα 9: Δημοφιλείς IoT εφαρμογές	70
Σχήμα 10: Εφαρμογές IoT	74
Σχήμα 11: Πρόβλεψη ανάπτυξης πεδίων εφαρμογής	75
Σχήμα 12: Σύστημα επιβράβευσης διάθεσης δεδομένων ως ανοιχτών δεδομένων	92
Σχήμα 13: Πυραμίδα DIKW	103
Σχήμα 14: Αφαιρετική απεικόνιση της λειτουργίας μιας οντολογικής σχέσης	112
Σχήμα 15: Είδη οντολογιών και επαναχρησιμοποίηση	117
Σχήμα 16: Κύκλος ζωής οντολογιών	122
Σχήμα 17: Το RDF σχήμα	126
Σχήμα 18: Σύνδεση πόρων με URI αναγνωριστικά	128
Σχήμα 19: Σύνταξη Turtle	130
Σχήμα 20: Dublin Core Metadata	131
Σχήμα 21: RDF Schema	133
Σχήμα 22: W3C πρότυπα δόμησης Σημασιολογικού Ιστού	139
Σχήμα 23: Λειτουργία WHERE & SELECT προτάσεων	149
Σχήμα 24: Επισήμανση δεδομένων	159
Σχήμα 25: Ερευνητικές περιοχές σχετικά με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων	171
Σχήμα 26: Βασικός γράφος της Fiesta-IoT οντολογίας	196
Σχήμα 27: Βασικός γράφος της IoT-Lite οντολογίας	197
Σχήμα 28: Βασικοί γράφοι της M3 οντολογίας	200-201
Σχήμα 29: Βασικοί γράφοι της Stream Annotation οντολογίας	202

Σχήμα 30: Βασικός γράφος της PROV-O οντολογίας	204
Σχήμα 31: Χρονολόγιο οντολογίας Timeline	205
Σχήμα 32: Βασικός γράφος της Event οντολογίας	206
Σχήματα 33 & 34: Ευθυγράμμιση DUL – SSN	211
Σχήμα 35: Βασικές κλάσεις και ιδιότητες της SSN	212
Σχήμα 36: Το μοτίβο Ερέθισμα-Αισθητήρας-Παρατήρηση (SSO)	214-215

Εικόνες

Εικόνα 1: Μικροελεγκτής Arduino	46
Εικόνα 2: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	57
Εικόνα 3: Συνδεδεμένα Δεδομένα	96
Εικόνα 4: Αξία ακατέργαστων δεδομένων	104
Εικόνα 5: Χρήση URI για τον προσδιορισμό υποκειμένου-αντικειμένου	127
Εικόνα 6: N3 Σύνταξη	129

Πίνακες

Πίνακας 1: Τύποι Λεξιλογίων	137
Πίνακας 2: Κλάσεις βασικών οντολογιών αισθητήρων	192
Πίνακας 3: Ιδιότητες αντικειμένων βασικών οντολογιών αισθητήρων	193
Πίνακας 4: Ιδιότητες δεδομένων βασικών οντολογιών αισθητήρων	194
Πίνακας 5: Ιδιότητες επισήμανσης βασικών οντολογιών αισθητήρων	194

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ) αποτελεί ένα δίκτυο μονοσήμαντης απεικόνισης καθημερινών φυσικών αντικειμένων του πραγματικού κόσμου, εξοπλισμένων με μοναδικά εργαλεία ταυτοποίησης της ύπαρξής τους, και της αυτόνομης επικοινωνίας των λειτουργιών τους με άλλα αντικείμενα, άνευ παρεμβάσεως του ανθρώπου. Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί μια έκρηξη ενδιαφέροντος χάρη σε δημοφιλείς υποσχόμενες εφαρμογές οι οποίες μέσα από την παροχή ψευδούς ευφυΐας, υπόσχονται έναν πιο ασφαλή και πολυτελή τρόπο διαβίωσης για τον άνθρωπο. Το εγχείρημα αυτό φέρει πολλά προβλήματα όσον αφορά κυρίως τη διαχείριση του αριθμού των διαφορετικών συσκευών που εγκολπίζει.

Ο Παγκόσμιος Ιστός, αναπόσπαστο κομμάτι του παραπάνω εγχειρήματος, αντιμετωπίζοντας ανάλογα προβλήματα λόγω του τεράστιου όγκου διαθέσιμης ετερογενούς πληροφορίας που διακινεί, μετασχηματίζεται στη μορφή του Σημασιολογικού Ιστού, ο οποίος ευελπιστεί να δώσει ερμηνεία και νόημα στους πόρους όχι μόνο του διαδικτύου αλλά και σε οντότητες του πραγματικού κόσμου, μέσα από την εικονική αναπαράστασή τους. Στόχος αυτής της σημασιολογικής επισήμανσης των πραγμάτων, είναι να κατασταθεί εύκολη μια αυτόματη εξαγωγή λογικών συμπερασμάτων μέσα από προγραμματιστικές διαδικασίες, που θα οδηγήσουν στη δημιουργία νέας πληροφορίας από συνδυασμό ήδη υπάρχουσας γνώσης πεδίου. Μέσα από μια οντολογική προσέγγιση, επιδιώκεται να συνδεθούν τα δεδομένα που απαρτίζουν τον πραγματικό κόσμο, εστιάζοντας κυρίως σε αυτά που αποτελούν ενσωματωμένα μέλη του IoT σύμπαντος αισθητήρων και ενεργοποιητών. Στην παρούσα διατριβή ερευνάται το πρόβλημα της εξαγωγής και της απόδοσης σημασιολογικού περιεχομένου σε συλλεχθείσες πληροφορίες από αισθητήρια αντικείμενα του Διαδικτύου των Πραγμάτων, εμπλουτίζοντας τα με γνώση του περιβάλλοντος στο οποίο δρουν, και τη δυνατότητα αυτόνομης και αυτόματης συμμετοχής ή/και σύνθεσης νέων διαλειτουργικών εφαρμογών πεδίου ή μεταξύ πεδίων.

Αρχικά παρέχεται στον αναγνώστη μια εισαγωγή στο βασικό υπόβαθρο των δύο χώρων, τόσο από πλευρά σύλληψης όσο και εργαλείων. Το πρώτο κομμάτι ασχολείται με τα βασικά προβλήματα του χώρου του Διαδικτύου των Πραγμάτων που αναζητούν λύση.

Έπειτα αναλύονται τα βασικά εργαλεία που συνθέτουν το χώρο των Συνδεδεμένων δεδομένων και του Σημασιολογικού Ιστού, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία της λύσης στο χώρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Τέλος, παρουσιάζονται παραδείγματα τέτοιων ανεπτυγμένων οντολογικών εργαλείων αλλά και αξιοποίησης αυτών σε ήδη τρέχοντα σύγχρονα σενάρια εφαρμογής, που καθιστούν το σημασιολογικό Ιστό αισθητήρων μια αρμονική λύση ύφανσης ενός πρακτικού και λειτουργικού ΔτΠ.

Λέξεις Κλειδιά: «Σημασιολογικός Ιστός, Συνδεδεμένα Δεδομένα, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Οντολογίες, RDF, SPARQL, Διαλειτουργικότητα, Σημασιολογικός Ιστός Αισθητήρων»

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Abstract

The Internet of Things (IoT) constitutes a network of univocal representation of everyday things of the real world, equipped with unique tools which identify their existence as well as the independent communication of cooperating with other things, without human interference. Recent years were marked with an explosive interest in IoT, due to popular and promising applications, which, through false wisdom, promise people a safer and more comfortable lifestyle. This endeavour bears many problems, as far as the number of divergent participating devices is concerned.

The World Wide Web, inextricable part of the venture above, facing similar problems because of the huge volume of heterogenous information it deals with, transforms into the form of the Semantic Web, which aims in giving interpretation and meaning not only to Internet recourses but real world entities as well, through their virtual representation.

This semantic annotation of things aims at enabling autonomous inferencing techniques, throughout programming processes, that will lead to the creation of new information out of combining existing domain knowledge. The intention of such an ontological approach, is the expectation of linking real world data, focusing mainly on those generated by embedded members of the IoT universe of sensors and actuators.

This thesis investigates the issue of semantic content extraction and rendering, from collected IoT sensing information, enriching them with traits of context-awareness and the autonomous and independent participation and/or formation of new interoperable inter-domain or cross-domain applications.

Firstly, the reader is presented with an introduction to the fundamental basis of those two areas, both concept and tool aspect. The first half deals with the basic open issues of the IoT space.

Consequently, we discuss the basic tools composing the Linked Data and Semantic Web spaces, which will be used for the IoT solution.

Finally, we share detailed examples of such developed ontological means, as well as their employment in currently running projects, that render the semantic web of sensors a viable solutions for weaving an operational and pragmatic Internet of Things.

Keywords: «Semantic Web, Linked Data, Internet of Things, Ontologies, RDF, SPARQL, Interoperability, Semantic Sensor Web»

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ - ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΙΔΕΑ

Το διαδίκτυο αποτέλεσε και συνεχίζει να αποτελεί έναν τεράστιο πλούτο πληροφοριών και ευκαιριών για την ανάπτυξη πολλών δραστηριοτήτων. Στα πλαίσια λειτουργίας του, εντοπίζουμε καθημερινές δραστηριότητες αναζήτησης, ανταλλαγής αλλά και επεξεργασίας, έντονης κίνησης και χαρακτήρα, μέσω της διακίνησης τεράστιου όγκου δεδομένων. Το ποσοστό της πληροφορίας που ανταλλάσσεται μέσω του Internet, γνωρίζει μια ραγδαία αύξηση, κάτι για το οποίο ευθύνεται η αλλαγή στον τρόπο παραγωγής και διαχείρισης της πληροφορίας. Με την έλευση της τελευταίας 2.0 μορφής του, το διαδίκτυο καθίσταται ένας χώρος όπου ο άνθρωπος εκτός από τον ρόλο του καταναλωτή, αποκτά το ρόλο του παραγωγού πληροφορίας. Μιας πληροφορίας που ακριβώς επειδή είναι δημιουργημένοι από τα εκατομμύρια των διαφορετικών ανθρώπων, μιλά διαφορετικές γλώσσες. Διαφορετικά μορφότυπα, τύποι και τρόπου διάθεσης, είναι ορισμένα από τα χαρακτηριστικά των διατιθέμενων δεδομένων. Η ανομοιογένεια στην οργάνωση και στην έκθεσή των πληροφοριών όμως, οδηγεί το όλο οικοδόμημα σε δυσκολίες χειρισμού από τον άνθρωπο ο οποίος καλείται να αφιερώσει χρόνο και κόπο για να βρει το νόημα των επιστρεφόμενων αποτελεσμάτων που απολαμβάνει. Όντας σχεδιασμένο για ανθρώπινη κατανάλωση, η δυνατότητα κατανόησης του περιεχομένου του από μηχανές, είναι εντόνως περιορισμένη, με αποτέλεσμα η συνεργασία τους με τον άνθρωπο, τον τελικό αποδέκτη, να δυσχεραίνει. Ο άνθρωπος

γίνεται απλώς αποδέκτης ποσότητας εγγράφων, από τα οποία καλείται ο ίδιος να βρει την ουσία και τη χρησιμότητα για την εκάστοτε εργασία του. Ο όγκος των δεδομένων είναι τέτοιος που επιβάλλει ανάπτυξη νέων συστημάτων διαχείρισης. Την δουλειά αυτής της έξυπνης διαδικασίας εντοπισμού του χρήσιμου κομματιού των δεδομένων, φέρει ο Σημασιολογικός ιστός (ή αλλιώς γνωστός και ως Web 3.0) , ο οποίος θεωρείται η μελλοντική μορφή του διαδικτύου.

Βασιζόμενο σε ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες αλλά και σε νεότερες, αναπτυσσόμενες , είναι σχεδιασμένο να αποτελεί μια βάση δεδομένων, όπου τα έγγραφα του Παγκόσμιου ιστού ξεγυμνώνονται από τα μορφότυπα που τα διαχωρίζουν αφήνοντας χώρο στα δεδομένα να εκφραστούν και να συνδεθούν με έναν ενοποιημένο τρόπο. Κατά έναν τρόπο, φιλοδοξία του Σημασιολογικού Ιστού, είναι η μετατροπή του υπάρχοντος Παγκόσμιου Ιστού, από έναν ιστό εγγράφων, σε έναν ιστό δεδομένων, τα οποία θα περιγράφονται με έναν ενοποιημένο τρόπο. Μέσα από τη δημιουργία πρότυπων τρόπων περιγραφής, ο νέος εικονικός κόσμος του ιστού, θα περιλαμβάνει περιγραφές όλων των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου. Μέσα από τη δημιουργία μιας κοινής, ενιαίας (οντολογικής) γλώσσας, τα δεδομένα θα μπορούν να συνομιλούν μεταξύ τους, ανεξαρτήτως των πεδίων αναφοράς τους. Κάτι τέτοιο θα δώσει το έναυσμα και τα εργαλεία όχι μόνο στους ανθρώπους, αλλά και στις μηχανές, να παράγουν συνδυασμούς δεδομένων που μέχρι πρότινος δεν ήταν εφικτό, καθώς όντας περιορισμένα σε έγγραφα, ήταν καταδικασμένα σε στενά σύνορα ερμηνείας.

Μέσα από την επισήμανση, δηλαδή την προσθήκη ετικετών (semantic tags), σε κάθε εικονικό αντικείμενο, τα τελευταία θα καθίστανται κατανοητά από υπολογιστικά συστήματα, παρέχοντας περισσότερη και λεπτομερέστερη πληροφορία για τα αντικείμενα και τις μεταξύ τους σχέσεις. Προσφέροντας δύο καινοτόμα επίπεδα πολυπλοκότητας, τις οντολογίες και τους σχεσιακούς μηχανισμούς, θα δύνανται να αναπαρασταθεί ένα μέρος του φυσικού κόσμου. Μέσω των οντολογιών επιτυγχάνεται η απλή συσχέτιση δεδομένων, αποθηκευμένων σε σχήματα βάσεων δεδομένων αλλά και η αναπαράσταση πολυπλοκότερων και λεπτομερέστερων περιγραφικών ιδιοτήτων τους, επιτρέποντας την ολοκλήρωση κανόνων και περιορισμών επί αυτών. Δημοσιεύοντας και καθιστώντας όλον αυτό τον όγκο των δεδομένων, ελεύθερα προσβάσιμων, διευκολύνεται η διαδικασία της διενέργειας ερωτημάτων για την κατανόηση και την αξιοποίησή τους. Η δημοφιλής τακτική αυτή έκδοσης του σημασιολογικού περιεχομένου είναι γνωστή με τον όρο Συνδεδεμένα Δεδομένα.

Παράλληλα, η άνθιση της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα των έξυπνων τηλεφώνων και tablets οδήγησε στην ανάδυση του όρου Διαδίκτυο των Πραγμάτων και στην εξάπλωσή του από μια καινοτόμο ιδέα σε εφαρμόσιμη αρχιτεκτονική συστημάτων. Η ιδέα του οικοδομήματος αυτού περιορίζεται στην επικοινωνία μεταξύ ετερογενών πόρων του φυσικού κόσμου, οι οποίοι φέροντας ενσωματωμένες αισθητήριες συσκευές ικανοποιητικής επεξεργαστικής δύναμης δύνανται να ανταλλάσουν πληροφορία που συλλέγεται μέσα από διαδικασίες παρατήρησης. Υπέρτατος στόχος είναι, μέσα από αυτή την

επικοινωνία, να δοθεί και να εξαπλωθεί από τα κινητά σε όλα τα αντικείμενα, η ψευδαίσθηση της ευφυΐας, μέσα από την αυτόνομη χρήση και κατασκευή πληροφοριακών δικτύων από τις έξυπνες αποκαλούμενες πλέον συσκευές, για την δημιουργία και λήψη ανεξάρτητων αποφάσεων.

Ταυτόχρονα, σε πλήρη αντιστοιχία με το όραμα της νέας μορφής αυτής του διαδικτύου, που έχει θέσει ως στόχο την απόδοση νοήματος στα συστατικά μέρη του Παγκόσμιου Ιστού, η ιδέα ενός Σημασιολογικού Ιστού Αισθητήρων καταλαμβάνει όλο και περισσότερο έδαφος σε δημοφιλία. Μέσα από την προσθήκη ετικετών σε αντικείμενα (RFID tags), τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου είναι εφικτό να αναγνωρίζουν το ένα το άλλο και να προβαίνουν σε ανταλλαγή μηνυμάτων. Με την εξέλιξη της ασύρματης τεχνολογίας, τα δεδομένα αυτά μπορούν να επεκταθούν από το κοντινό πεδίο, σε παγκόσμια εμβέλεια, ανοίγοντας τον δρόμο για την επικοινωνία οποιουδήποτε μέλους του πραγματικού κόσμου με ένα άλλο, ακόμη και στα πιο απομακρυσμένα σημεία του πλανήτη. Μέσα από την ενσωμάτωση των σημασιολογικών τεχνολογιών στους αισθητήρες, που οδηγούν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, είναι δυνατή η εγκατάσταση ενός πλαισίου ελέγχου και διαχείρισης των δεδομένων όχι μόνο του εικονικού κόσμου του Ιστού, αλλά και του πραγματικού κόσμου του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Ακριβώς όπως ο σημασιολογικός ιστός, με άλλα λόγια, βάζει σε τάξη τον Παγκόσμιο Ιστό, δίνοντας ουσία στα περιεχόμενά του, έτσι, εφαρμόζοντας τα ίδια αυτά εργαλεία στο κομμάτι του ΔτΠ, μπορεί να δοθεί σχήμα στο όραμα αυτού του ενιαίου συστήματος συστημάτων.

Εν περιλήψει, ένα όραμα του μέλλοντος, όπως αυτό του ΔτΠ, δύναται να γίνει μια πρακτική, απτή πραγματικότητα, με ξεχωριστή επιτήδευση στο κομμάτι της αίσθησης, της ενεργοποίησης, της επικοινωνίας, του ελέγχου καθώς και της δημιουργίας νέας γνώσης από τα τεράστια ποσότητα διαθέσιμων δεδομένων του Ιστού. Κάτι τέτοιο ενδέχεται να αλλάξει σημαντικά τον τρόπο ζωής των ανθρώπων, με άγνωστο και απρόβλεπτο τρόπο, ακριβώς όπως το Internet, τα κοινωνικά δίκτυα και τα εκατομμύρια των εφαρμογών των έξυπνων συσκευών σήμερα. Νέα ερευνητικά προβλήματα ανεγείρονται χάρη στην μεγάλη κλίμακα αυτών των εγχειρημάτων, την σύνδεση των δυο αυτών κόσμων, εικονικού και φυσικού, την ελεύθερης πρόσβασης διαφάνεια των συστημάτων και των συνεχιζόμενων προβλημάτων ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Είναι ελπίδας έργο, ότι μέσα από τη συνεργασία αυτών των ερευνητικών κοινοτήτων, θα προκύψουν νέες αξιόλογες λύσεις προς αυτή τη νέα οδό.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ - ΚΙΝΗΤΡΟ

Μελετώντας κανείς τους χώρους των τριών εννοιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, του Σημασιολογικού Ιστού και των Συνδεδεμένων δεδομένων, διακρίνει μια εμφανή οδό σύγκλισης. Στο διαδίκτυο των πραγμάτων, τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου σχηματίζουν ένα δίκτυο, στους

κόλπους του οποίου αποκτούν πληροφορίες μέσω αισθητήρων, οι οποίες μετασχηματίζονται σε μορφή γνώσης μέσω διαδικασιών επεξεργασίας και ανάλυσης και είναι ικανά να μάθουν και να επεκτείνουν τη γνώση τους, βάσει των "εμπειριών" άλλων αντικειμένων. Όλο αυτό καθίσταται εφικτό μέσα από τη δύναμη των συνδεδεμένων δεδομένων, τα οποία μέσα από τα εργαλεία τους, συνθέτουν έναν ιστό δεδομένων, τα οποία φέρουν σαφή εννοιολογικά χαρακτηριστικά. Οικοδομώντας τον Σημασιολογικό ιστό, βλέπουμε ότι αποτελείται από πόρους, δηλαδή αντικείμενα που ζητούν περιγραφή. Θα μπορούσε κανείς μακροσκοπικά λοιπόν να δει το σημασιολογικό ιστό ως την λογισμική - υπολογιστική απεικόνιση του Διαδικτύου των πραγμάτων στη βάση ενός hardware υλικού, όπου το ρόλο των τρανζίστορ και των τσιπ στην πλακέτα, παίζουν τα συνδεδεμένα δεδομένα. Εντελώς ανάλογα με την KWID πυραμίδα, θα μπορούσαμε να πούμε πως τα Linked data είναι η βάση, ακολουθώντας παραπάνω ο Σημασιολογικός Ιστός όπου απολαμβάνοντας τη δομή που υιοθετούν τα δεδομένα, αποκτούν σημασία και μπορούν πλέον να συνδεθούν, σχηματίζοντας πληροφορίες, οι οποίες μπορούν μέσω ανταλλαγής από αντικείμενο σε αντικείμενο στο ανώτερο πλέον επίπεδο του IoT να δημιουργήσουν νέα γνώση μέσω λογικών συνειρμών και διεργασιών, επιτυγχάνοντας την πλήρη ευφυΐα που υπόσχεται η Τεχνητή νοημοσύνη στην κορυφή της πυραμίδας.

Η ιδέα που ενέπνευσε αυτή την εργασία εντοπίζεται στην ανάγκη δημιουργίας ενός παντρέματος των δυο χώρων, για μια αποδοτική ροή γνώσης στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, όπου τα ανοικτά ζητήματα βρίσκουν απάντηση και λύση στο Σημασιολογικό Ιστό. Αντικείμενο της διπλωματικής συνεπώς, είναι να ρίξει φως στις όποιες δυνατότητες συνέχισης της υιοθέτησης, μιας σημασιολογικής λύσης για την ερμηνεία όχι μόνο ενός εικονικού κόσμου, αλλά και τη σύνδεση αυτού με τον πραγματικό, η περιγραφή του οποίου είναι έργο του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Κίνητρο για τη συγγραφή του παρόντος έργου, ήταν η πίστη πως μόνο μέσα από μια λύση της συγκεκριμένης μορφής, τα αντικείμενα των δυο κόσμων δύναται να εκπαιδευτούν, ώστε να μη στοχεύουν την επικοινωνία και τη σύνδεσή τους τυφλά σε μια περιορισμένη ομάδα άλλων μελών του σύμπαντος τους, αλλά αντιθέτως μέσα από αξιοποίηση της γνώσης θα μπορούν να αποτελέσουν αυτόνομα και ισχυρά μέλη των δύο αυτών κόσμων, εξελίσσοντας περεταίρω τα δυο αυτά οράματα.

1.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

Η εργασία χωρίζεται σε 7 κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 2 της εργασίας γίνεται μια περιγραφή του ορισμού, της ιστορικής εξελικτικής πορείας τόσο της επικοινωνίας των μηχανών όσο και αυτού καθεαυτού του οικοδομήματος του Διαδικτύου των πραγμάτων. Μελετώνται τα βασικά ζητήματα και οι ανοικτές προκλήσεις που αντιμετωπίζει ακόμη και σήμερα αυτός ο χώρος, στη ραγδαία πορεία την οποία

ακολουθεί. Γίνεται αναφορά στους τομείς τους οποίους βρίσκει εφαρμογή αλλά και στις εφαρμογές που καθίστανται εφικτές στο σημείο τομής αυτών, μέσα από την επίτευξη συνεργασίας. Το κεφάλαιο κλείνει με μια σύνοψη των θετικών και αρνητικών πλευρών αυτής της νέας εποχής που ευαγγελίζεται το Διαδίκτυο των πραγμάτων.

Το κεφάλαιο 3 καλύπτει το κομμάτι της πρωτοβουλίας των Συνδεδεμένων Δεδομένων, των αρχών και των κινήτρων μετατροπής των δεδομένων στην ανοικτή και ελεύθερη αυτή φύση και των λόγων μετάβασης στο Σημασιολογικό Ιστό. Παρουσιάζοντας τα σημασιολογικά εργαλεία που καθιστούν εφικτή τη δημιουργία αυτού του χώρου, και πιο συγκεκριμένα των οντολογιών, σχεδιάζεται η εικόνα που συνθέτει το χώρο των Συνδεδεμένων δεδομένων, ενώ προχωρώντας στην περιγραφή του RDF προτύπου, των συλλογών δεδομένων και της γλώσσας ερωτημάτων SPARQL, σκιαγραφείται ο τρόπος χειρισμού, πλοήγησης, εξερεύνησης και επεξεργασίας εντός του Σημασιολογικού Ιστού.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται με λεπτομέρεια, το πάντρεμα και η σύγκλιση των δυο προηγούμενων χώρων, με σκοπό την εφαρμογή των εργαλείων του ενός για την αντιμετώπιση των όποιων προβλημάτων ζητούν αντιμετώπισης και λύσης στο πρώτο. Πιο συγκεκριμένα, εστιάζοντας στην εφαρμογή οντολογικής περιγραφής επί των συσκευών που απαρτίζουν τον κόσμο του Διαδικτύου των Πραγμάτων, εξετάζεται η δυνατότητα εξεύρεσης λύσης στο κομμάτι των αδιεξόδων λειτουργίας του. Έχοντας μελετήσει τα θετικά και τα αρνητικά χαρακτηριστικά του Σημασιολογικού Ιστού και των συνδεδεμένων δεδομένων, περιγράφεται η ύφανση του, επί του Internet of things. Μέσα από την παρουσίαση και την ανάλυση γνωστών ανεπτυγμένων οντολογιών αισθητήρων, αναζητήθηκε η επιβεβαίωση αυτής της ανάμιξης των δυο κόσμων αλλά και η υιοθέτηση αυτής της συλλογιστικής από τρέχοντα projects.

Το κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μετά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και τις πιθανές επεκτάσεις του υπό εξέταση σκεπτικού λύσης. Στο Κεφάλαιο 6 δίνεται η σχετική βιβλιογραφία, ενώ τέλος, στο παράρτημα Α απεικονίζονται συγκεντρωτικά όλες οι κλάσεις και οι ιδιότητες των οντολογιών που επελέχθησαν.

2

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΔτΠ) – INTERNET OF THINGS (IoT)

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΟΡΟΥ

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων ή Internet of Things - IoT, όπως συχνότερα συναντάται, αποτελεί μια σύλληψη του κλάδου των υπολογιστών, που αναφέρεται σε ένα σύστημα πληθώρας συσχετιζόμενων υπολογιστικών, μηχανικών και ψηφιακών συσκευών, αντικειμένων, ζώων ή/και ανθρώπων, στα οποία παρέχεται ένα μοναδικό αναγνωριστικό, και συγκεκριμένα μια IP διεύθυνση, μαζί με την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων πάνω από ένα δίκτυο, χωρίς την απαίτηση παρέμβασης ανθρώπου προς άνθρωπο ή ανθρώπου προς υπολογιστή. [46] Επεκτείνει κατ'αυτή την έννοια, τη συνδεσιμότητα του διαδικτύου, πέρα από τις παραδοσιακές-συνηθισμένες συσκευές των επιτραπέζιων ή των φορητών υπολογιστών, των smartphones και των tablets, προς μια ευρεία ποικιλία συσκευών και καθημερινών πραγμάτων που χρησιμοποιούν την ενσωματωμένη τεχνολογία για την επικοινωνία και την διαδραστικότητα τους με το εξωτερικό περιβάλλον. [51]

Παρόλα αυτά, ένα γενικός και αυστηρός ορισμός για το ΔτΠ δεν υπάρχει, καθώς αποτελεί έναν όρο ομπρέλα για πολλές ανομοιογενείς πραγματικότητες. Η σύνδεση μιας συσκευής στο διαδίκτυο αλλά και οι έμφυτες δυνατότητες της, δεν την καθιστούν απαραίτητως κομμάτι αυτού που αποκαλείται ΔτΠ. Ο

ρόλος του είναι να καταστήσει δυνατή μια γεφύρωση της ψηφιακής, φυσικής και ανθρώπινης σφαίρας της πραγματικότητας, με την προσθήκη διαδικασιών καταγραφής δεδομένων, δυνατοτήτων επικοινωνίας υπό έναν ασφαλή τρόπο, εντός ενός δικτυακού περιβάλλοντος [55]. Περιγράφει μια πολυ-επίπεδη θεμελίωση μιας γκάμας εφαρμογών και στόχων, οι οποίοι καθίστανται δυνατοί μέσα από τη σύνδεση των αντικειμένων (συσκευών, αισθητήρων, επισημασμένων με ετικέτες όντων του κόσμου), τα οποία εξοπλίζονται με ικανότητες καταγραφής και επικοινωνίας των δεδομένων, είναι μοναδικώς αναγνωρίσιμα, και μονίμως συνδεδεμένα σε ένα δίκτυο όπου τροφοδοτούν και τροφοδοτούνται με δεδομένα ενός σαφούς ανθρώπινου, επιχειρησιακού ή κοινωνικού σκοπού.

Μια φορμαλιστική προσέγγιση του όρου, που αποδίδεται στον Rick Bullotta συνιδρυτή και CTO της εταιρείας ThingWorx [71] είναι αυτή της τομής των χώρων των ανθρώπων (meatspace), των συστημάτων (cyberspace) και του φυσικού κόσμου (atomspace). Ο όρος του ΔτΠ δεν είναι παρά η αναπαράσταση όλων αυτών των οντοτήτων και του εύρους των εφαρμογών που αυτά μπορούν να συνθέσουν. Η αναπαράσταση αυτή έχει τη μορφή πρωτοκόλλων αλληλεπίδρασης με την σκιά της πληροφορίας (δεδομένα, ροές γεγονότων) και τις δυνατότητες (υπηρεσίες) των συμμετεχόντων εντός του σύμπαντος που το συνθέτει. Στόχος εξέλιξής του είναι η δημιουργία ενός σημασιολογικού μοντέλου για τις συνδεδεμένες οντότητες.

Το ΔτΠ αποτελεί μια αξιοσημείωτη σύλληψη, αν αναρωτηθεί κανείς πως από τη στιγμή που ένα αντικείμενο, θα μπορεί να αναπαραστήσει τον εαυτό του στον ψηφιακό κόσμο, αυτομάτως είναι σα να λαμβάνει μια νέα υπόσταση που το καθιστά, κάτι εξόχως σπουδαιότερο από το ίδιο το αντικείμενο. Με τη σύνδεσή του στο δίκτυο, παύει να σχετίζεται μόνο σε έναν ιδιοκτήτη, και αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα πέριξ αυτού καθώς και με δεδομένα που βρίσκονται εντός βάσεων δεδομένων. Με τη σύνδεση πολλών τέτοιων συσκευών λοιπόν λέγεται ότι το περιβάλλον αποκτά ευφυΐα (ambient intelligence) καθώς έχει γνώση του άμεσου χώρου κίνησής και παρουσίας του. [52]

Ένα πράγμα στο ΔτΠ, μπορεί να είναι ένας άνθρωπος με εμφυτευμένο ρυθμιστή καρδιακών κτύπων (τον γνωστό ευρύτερα ως βηματοδότη), ένα ζώο μιας φάρμας με αναμεταδότη ενός ενσωματωμένου ψηφιακού μικροτσίπ, ένα αυτοκίνητο, εξοπλισμένο με αισθητήρες για την ενημέρωση του οδηγού σχετικά με τον αέρα στα ελαστικά του οχήματος, ή/και οποιοδήποτε άλλο φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο που συναντάται στον πραγματικό κόσμο και στο οποίο μπορεί να ανατεθεί μια IP διεύθυνση ώστε να μπορεί να λάβει και να αποστείλει δεδομένα συμμετέχοντας εντός ενός δικτύου.

Αποτελεί ένα καινοτόμο παράδειγμα που κερδίζει ταχύτητα έδαφος στο χώρο των σύγχρονων ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Η βασική ιδέα της όλης σύλληψης του IoT συγκεντρώνεται στην διάχυτη παρουσία αισθητήρων, ενεργοποιητών, κινητών τηλεφώνων, κλπ, μέσω των οποίων σε συνδυασμό με τα

μοναδικά σχήματα διευθυνσιοδότησης, καθίστανται εύκολες οι όποιες αλληλεπιδράσεις και συνεργασίες μεταξύ τους για την επίτευξη κοινών στόχων. [GIM+10]

Το IoT εξελίχθηκε από την σύγκλιση ασύρματων τεχνολογιών, μικρο-ηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS), μικρο-υπηρεσιών και του διαδικτύου. Η σύγκλιση αυτή βοήθησε στην κατάρριψη του τείχους των κλειστών αποθηκών (σιλό) που είχαν σχηματιστεί γύρω από την λειτουργική τεχνολογία (operational technology - OT) και την τεχνολογία πληροφορίας (information technology - IT), επιτρέποντας αδόμητα δεδομένα, παραχθέντα από μηχανές, να αναλυθούν περεταίρω, ώστε να συναχθεί νέα γνώση, με απώτερο στόχο τη βελτίωση τους. [46]

Ο όρος αναπτύχθηκε το 1999, με αρχικό στόχο την προώθηση της RFID τεχνολογίας, της τεχνολογίας εκείνης που χρησιμοποιεί ραδιοκυματικής συχνότητας σήματα για την αναγνώριση ενός αντικειμένου. Η δημοφιλία του παρόλα αυτά, εκτοξεύθηκε σχεδόν μετά από μια δεκαετία και έφτασε σε εμπορικό επίπεδο στις αρχές του 2014. [45]

Σύμφωνα με τον McKinsey, μια σύντομη και λογική ερμηνεία του όρου είναι, το συνονθύλευμα των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, όπως οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές, οι οποίοι όντας ενσωματωμένοι στα φυσικά αντικείμενα, συνδέονται μέσα από ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα, χρησιμοποιώντας συχνά το ίδιο πρωτόκολλο σύνδεσης (IP) που διασυνδέει τις ιστοσελίδες του Internet. [45] Όπως το θέτει η TechCrunch, το υπέρτατο βραβείο του ΔτΠ είναι να κατασταθεί μια πλατφόρμα λογισμικού, πάνω στην οποία θα χτιστούν όλες οι εφαρμογές. [40]

Με απλά λόγια, το Internet of things συντίθεται θεωρητικά από οποιαδήποτε συσκευή με έναν on/off διακόπτη σύνδεσης στο διαδίκτυο. [65] Μπορεί να είναι ένα ξυπνητήρι, το οποίο μαζί με την λειτουργία αφύπνισης, συμπαρασύρει ταυτοχρόνως σε κατάσταση ενεργοποίησης μια μηχανή παρασκευής καφέ μέσα από σήματα ειδοποίησης προς αυτό, για τη μεταβολή της κατάστασης του διακόπτη, στην θέση on. Μπορεί να είναι ένας εκτυπωτής ο οποίος, παρακολουθώντας το επίπεδο της στάθμης της μελάνης ή του αριθμού του χαρτιού στην υποδοχή, θα προβαίνει αυτομάτως σε κινητοποίηση διαδικασιών αγοράς επιπλέον ποσότητας. Ενδεχομένως ένα ρολόι χειρός που επισημαίνει τις στιγμές μεγαλύτερης παραγωγικότητας όσο ο χρήστης του βρίσκεται στο χώρο εργασίας του.

Μια εξίσου επιτυχής περιγραφή του IoT, χρησιμοποιήθηκε από την ομάδα του περιοδικού Re-Code, όπου το όλο οικοδόμημα του ΔτΠ παρουσιάζεται ως "ένας αστερισμός άψυχων αντικειμένων που σχεδιάζονται με το χαρακτηριστικό της ενσωματωμένης ασύρματης συνδεσιμότητας, ώστε να μπορούν να ελεγχθούν, να παρακολουθηθούν και να συνδεθούν στο διαδίκτυο". [34]

Το ΔτΠ διέπεται από μια μορφή σαρωτικής και επεκτεινόμενης διαταραχής, όχι μόνο σε όρους τεχνολογίας, αλλά και στον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων. Από την επικράτηση των εφαρμογών που διασυνδέουν αλυσίδες παροχής προϊόντων, συνεργάτες και πελάτες μέχρι την αυξανόμενη

διασυνδεσιμότητα των μηχανών και των προσωπικών συσκευών, μέσα από την ανάπτυξη των στατιστικών μετρήσεων και του υπολογιστικού νέφους, το ΔτΠ αλλάζει τα πάντα. [34]

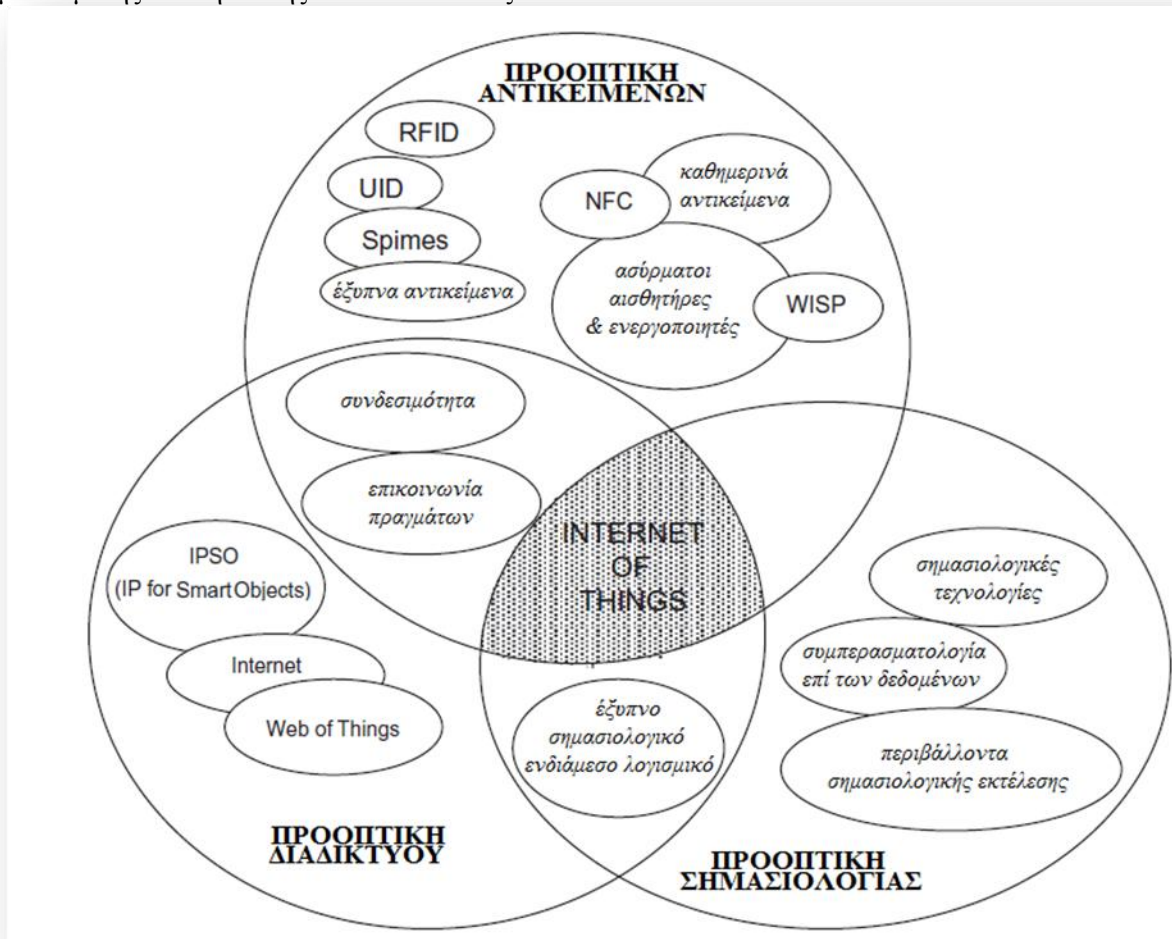
2.1.1 Ορισμός βάσει των εργαλείων

Για την περιγραφή του όρου, είναι απαραίτητη η μελέτη του από τρεις διαφορετικές σκοπιές, όσα και τα βασικά συστατικά του στοιχεία. Όπως λεπτομερώς καταγράφεται συγκεντρωτικά από τους Atzori και λοιπούς [AIM10], μπορούμε να μελετήσουμε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ) ως την τομή καθεμιάς εκ των ακόλουθων προοπτικών: των αντικειμένων, του διαδικτύου και εκείνη της σημασιολογικής οδού. Στην πρώτη περίπτωση, ο ορισμός πηγάζει από μια προσανατολισμένη προς τα αντικείμενα προοπτική. Υπό αυτή τη σκοπιά στο κέντρο τοποθετείται το εκάστοτε αντικείμενο, το πράγμα, που είναι και η βαθύτερη ουσία του όλου οικοδομήματος. Πρώτο και κυριότερο πράγμα για την τοποθέτησή ενός πράγματος στον "σύμπαν" του IoT, είναι η δυνατότητα αναφοράς σε αυτό, μέσω διαδικασιών διευθυνσιοδότησης και ονοματοδοσίας. Παρατηρούμε πολλές προσπάθειες όπως του universal id, των ετικετών ταυτοποίησης ραδιοσυχνοτήτων (ευρέως γνωστότερων ως RFID tags), αλλά και πιο προηγμένων υπηρεσιών μικρής κλίμακας, όπως το NFC (near field communications) ή τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων-ενεργοποιητών (Wireless Sensor Actuator Networks), τα λεγόμενα WSN, που καθιστούν εφικτή την επικοινωνία των αντικειμένων εντός περιορισμένου βεληνεκούς. [PG09]

Όσον αφορά τη δεύτερη προσέγγιση, εκείνη του δεύτερου κυριότερου -μετά τα αντικείμενα- συστατικού, δηλαδή του Internet, εντοπίζεται ό,τι έχει να κάνει με την και την επέκταση της επικοινωνίας από τοπικό χαρακτήρα, σε ευρεία κλίμακα και κατ' επέκταση την ταυτοποίηση των αντικειμένων στο αχανές σύνολο. Το διαδίκτυο, είναι με άλλα λόγια το καλώδιο που διατρέχει όλα τα αντικείμενα και όλες τις τοπικές συνδέσεις μεταξύ τους. Περιγράφει και συμπληρώνει, το παγκόσμιο οικοδόμημα που συνδέει το εικονικό με το πραγματικό, τονίζοντας τη σημασία ανάπτυξης στα σημεία, του σημερινού υπάρχοντος και εξελισσόμενου Internet. [VD08] Προς αυτή την κατεύθυνση λειτουργεί η έννοια του Ιστού των πραγμάτων (web of things) μέσα από δράσεις όπως και η επέκταση του IP πρωτοκόλλου ως αναγνωριστικό έξυπνων αντικειμένων (IP for Smart Objects - IPSO). Το IP αποτελεί ένα ελαφρύ και απλό πρωτόκολλο το οποίο συνδέει ήδη έναν τεράστιο αριθμό τερματικών τόσο σταθερών όσο και ενσωματωμένων σε συσκευές που λειτουργούν με φορητά συστήματα τροφοδοσίας όπως μπαταρίες. Υπό αυτή τη σκοπιά, τεχνολογίες όπως το IP αποτελούν μια σημαντική εγγύηση για την πραγμάτωση του ΔτΠ.

Τέλος το σταυροδρόμι στο οποίο συγκεντρώνεται η έννοια του IoT ολοκληρώνει η σημασιολογία με τις τεχνολογίες και τα εργαλεία λογικής στα οποία έγινε μνεία παραπάνω. Ο αριθμός των πραγμάτων που συμμετέχουν στη μελλοντική αυτή δομή του διαδικτύου προορίζεται να αγγίζει αριθμούς τόσο

ανεπανάληπτα μεγάλους, προκαλώντας ζητήματα που άπτονται θεμάτων οργάνωσης, αναζήτησης, αναπαράστασης και αποθήκευσης της πληροφορίας. [TSH09] Οι σημασιολογική προσέγγιση του IoT αναφέρεται στο κομμάτι εκείνο των σύγχρονων τεχνολογιών, το οποίο εκμεταλλεύεται κατάλληλες λύσεις μοντελοποίησης για την περιγραφή των αντικειμένων, λογικές διεργασίες επί των συλλεγόμενων δεδομένων, περιβάλλοντα και αρχιτεκτονικές σημασιολογικής εκτέλεσης, καθώς επίσης και δομές κλιμακούμενης αποθήκευσης και επικοινωνίας.



Σχήμα 1: Τομή των συνιστωσών του ΔτΠ

2.1.2 Ορισμός βάσει των συστατικών στοιχείων και γνωρισμάτων

Ανεξαρτήτως ορισμού όμως, αυτό στο οποίο συγκλίνουν όλοι είναι πως, το IoT διέπεται από 7 κύρια χαρακτηριστικά στοιχεία: τη συνδεσιμότητα, τα πράγματα, τα δεδομένα, την επικοινωνία, την ευφυΐα και δράση, την αυτενέργεια καθώς και τη σύσταση ενός οικοσυστήματος. Πιο αναλυτικά, το ΔτΠ δε θα ήταν δυνατό χωρίς τα πράγματα, το σύνολο εκείνο των συσκευών, των φυσικών αντικειμένων, των αισθητήρων, των endpoints κ.α. στα οποία συχνά δίνεται η προσφώνηση του "έξυπνου" ή του "ευφυούς"

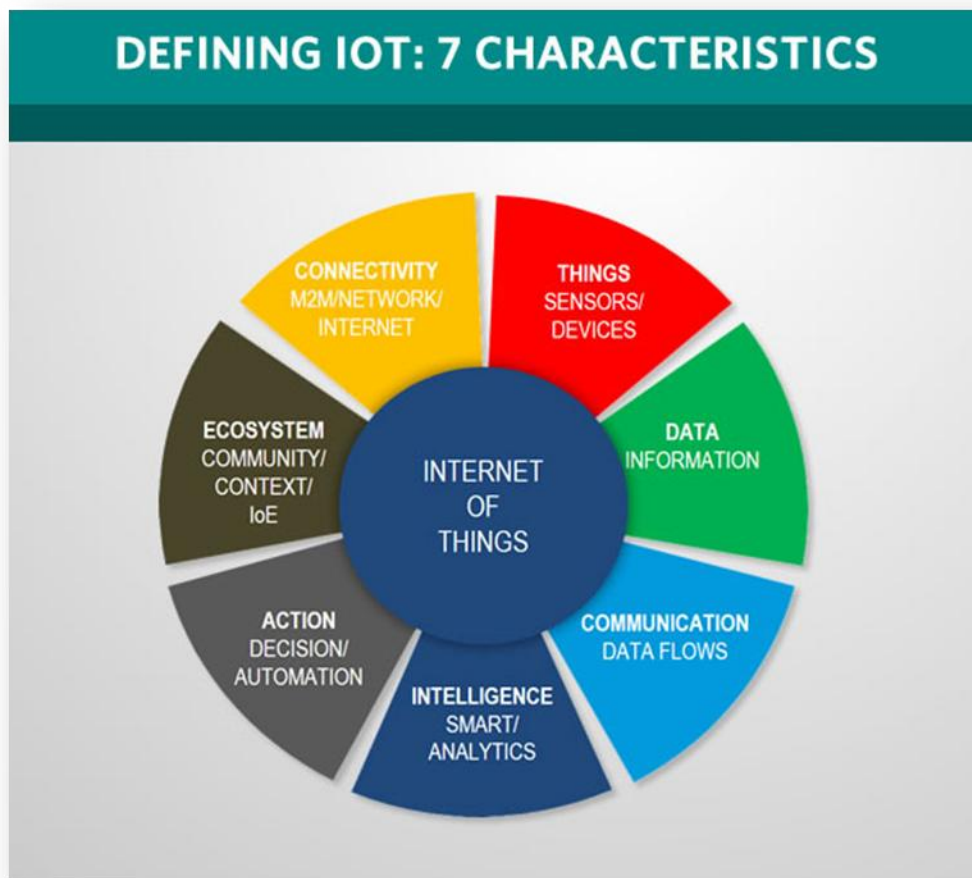
ακριβώς γιατί εμπεριέχουν μια τεχνολογία που τους επιτρέπει να εκτελούν εξειδικευμένα μια συγκεκριμένη δράση. Για την εκτέλεση αυτών των ενεργειών είναι απαραίτητη μια διάσταση δικτύων και συνδεσιμότητας που θα διατρέχει και θα καλύπτει τις συσκευές αυτές σαν ιστός. [55]

Τα δεδομένα απ' την άλλη, είναι ένα κρίσιμης σημασίας κομμάτι της εξίσωσης, πράγμα που απεικονίζουν διάφοροι όροι όπως αυτός των big data. Τα μεγάλα αυτά δεδομένα όπως καθιερώθηκε να ονομάζονται, αφορούν σε προκλήσεις ανάλυσης, καταγραφής, επεξεργασίας, αναζήτησης, διαμοιρασμού, αποθήκευσης, μεταφοράς, απεικόνισης, ενημέρωσης, διενέργειας ερωτημάτων αλλά και αντιμετώπισης ζητημάτων ιδιωτικότητας. Αποτελούν κομμάτι διεργασιών προγνωστικής ανάλυσης, ανάλυσης συμπεριφοράς χρήστη, αλλά και άλλων προηγμένων αναλυτικών μεθόδων εξαγωγής της ουσιαστικής σημασίας μιας κατάστασης.

Όπως όμως είναι εμφανές, έχοντας τη γειτονιά ενός δικτύου συσκευών που διακινούν και διαχειρίζονται αυτά τα δεδομένα, αν τα τελευταία δεν κοινωνούνται δεν έχουν αξία. Μέσα από την επικοινωνία, τα δεδομένα αποκτούν ερμηνεία, νόημα, άποψη, ευφυΐα, οδηγώντας εντέλει στη δράση. Η πραγματική ευφυΐα λοιπόν, καταλήγει στην ανάλυση και στην έξυπνη αξιοποίηση αυτών των δεδομένων ώστε να επιλυθεί μια πρόκληση, να δημιουργηθεί ένα ανταγωνιστικό όφελος, να αυτοματοποιηθεί μια διαδικασία ή να βελτιωθεί η λύση μιας κατάστασης.

Η αυτοματοποίηση, αποτελεί τον απώτερο στόχο του ΔτΠ καθώς όλες οι δράσεις ανεξαρτήτως αν είναι η ενημέρωση ενός λογισμικού, ή η λειτουργία ενός λαμπτήρα, τροφοδοτούνται από δεδομένα στα οποία εφαρμόζονται κανόνες λογικού συμπερασμού και άλλων μαθηματικών φορμαλιστικών μεθόδων, οι οποίες αναδρομικά κινητοποιούν και ολοκληρώνουν άλλες δράσεις που εν τέλει καθιστούν την ανθρώπινη παρέμβαση αχρείαστη.

Εν κατακλείδι, το ΔτΠ δεν περιορίζεται μονάχα σε εφαρμογές καθημερινότητας μέσω εμπορικών φορητών προϊόντων, αλλά αντίθετα η πραγματική του σημασία, είναι εκείνη ενός οικοσυστήματος πραγμάτων, κάτι που δικαιολογεί απόλυτα τον χαρακτηρισμό το Διαδίκτυο των Πάντων (Internet of Everything). Αφορά σε ένα πλαίσιο πραγματικότητας όπου συσκευές, άνθρωποι, διαδικασίες και πληροφορία είναι άρρηκτα συνδεδεμένα υπό τη μορφή κοινότητας, με τα δεδομένα να αποτελούν τον κεντρικό συνδετικό κρίκο των συμφραζομένων.



Σχήμα 2: Τα 7 χαρακτηριστικά του ΔτΠ

2.1.3 Ορισμός βάσει των εφαρμογών

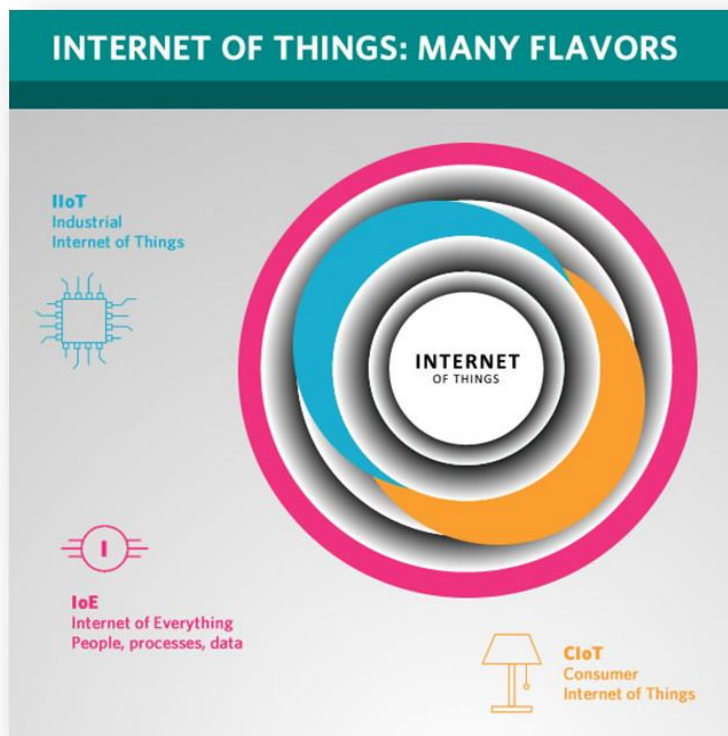
Για τον ορισμό του ΔτΠ, μια άλλη προσέγγιση είναι αυτή της κατηγοριοποίησης των χώρων και των καταστάσεων που αυτή η σύλληψη, βρίσκει εφαρμογή. Στα πλαίσια αυτά, το IoT μπορεί να λάβει δυο μορφές, εκείνη του καταναλωτικού IoT (consumer IoT) κι εκείνη του βιομηχανικού IoT (industrial IoT). [55]

Στην πρώτη κατηγορία εμπίπτουν οι εφαρμογές αναγνώρισης προσωπικών αντικειμένων και ιδιοκτητών αγαθών. Ως τέτοια μπορεί να είναι από ένα κατοικίδιο έως οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές και φορητοί υπολογιστές, τα οποία με το πέρασ του χρόνου καθίστανται όλο και περισσότερο ανεξάρτητα και απαλλαγμένα από άποψη χειρισμού τους από τα smartphones. Σε αυτό, ανήκει και το λεγόμενο κοινωνικό ΔτΠ (social IoT), το οποίο περιλαμβάνει όλη εκείνη την πληροφορία που διακινείται στο χώρο των μέσων κοινωνικής δικτύωσης. Τυπικά, όσον αφορά αυτό το μέρος του ΔτΠ, οι ανάγκες όγκου και επικοινωνίας δεδομένων είναι χαμηλές και περιορισμένες. Αυτός είναι και ο λόγος, που σχεδιάζονται

εξειδικευμένες τεχνολογίες καταναλωτικών εφαρμογών που εκτείνονται από πρότυπα οικιακής συνδεσιμότητας έως ειδικά λειτουργικά συστήματα φορετών συσκευών.

Από την άλλη πλευρά, το βιομηχανικό IoT, περιγράφει τυπικές βιομηχανικές μελέτες περιπτώσεων που καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος τομέων όχι μόνο βαριάς βιομηχανίας, κατασκευών και εργαλείων αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα με τα συστατικά εκείνα μέρη που συνθέτουν τις έξυπνες μετρήσεις ή τις έξυπνες πόλεις. Όσον αφορά του όγκου "κατανάλωσης" δεδομένων, η χρήση είναι κατά περιπτώσεις. Πιο αναλυτικά, μια απλή εφαρμογή μιας έξυπνης πόλης όπως λχ. η διαχείριση των απορριμμάτων, ή το έξυπνο parking, δεν παρουσιάζουν μεγάλες απαιτήσεις σε δεδομένα, εν αντιθέσει με άλλες πλευρές του φάσματος των εφαρμογών που καλύπτει το βιομηχανικό IoT, όπως η διαχείριση πετρελαίου και φυσικού αερίου όπου τα δεδομένα βρίσκονται σε μια αέναη κίνηση.

Εν κατακλείδι, είναι προφανές πως, όπως και στις προηγούμενες προσεγγίσεις ορισμού του ΔτΠ, συναντούμε κάποιες επικαλύψεις μεταξύ των διαφόρων χώρων-συστατικών μερών που συνθέτουν το όλο οικοδόμημα. Μια εφαρμογή περίπτωσης, θα μπορούσε να είναι αυτή του έξυπνου θερμοστάτη, ο οποίος μπορεί να ιδωθεί τόσο από τη σκοπιά του καταναλωτικού IoT, από την άποψη προσωπικής χρήσης του, από τον καταναλωτή, αλλά ταυτοχρόνως, και ως ένα χρήσιμο εργαλείο για μια βιομηχανία, μέσω του οποίου βρίσκεται σε επαφή με τον καταναλωτή αλλά και σε ετοιμότητα επεξεργασίας, επιβολής αλλαγών κλπ ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη κατανάλωση.



Σχήμα 3: Χώροι IoT εφαρμογών

2.1.4 Ορισμοί από ερευνητικές και βιβλιογραφικές πηγές

Στο βιβλίο "RFID και το μοντέλο ανοικτής πρόσβασης για το Internet of Things", [66] το ΔτΠ αναφέρεται ως "ένα παγκόσμιο δικτυακό οικοδόμημα σύνδεσης φυσικών και εικονικών αντικειμένων μέσα από την εκμετάλλευση δυνατοτήτων καταγραφής και επικοινωνίας δεδομένων. Αυτή η δομή συμπεριλαμβάνει υπάρχουσες και εξελισσόμενες δικτυακές αλλά και διαδικτυακές εξελίξεις. Θα προσφέρει εξειδικευμένη αναγνώριση αντικειμένου, ικανότητα αίσθησης και σύνδεσης ως βάση για την ανάπτυξη ανεξάρτητων συνεργατικών υπηρεσιών και εφαρμογών. Αυτές θα χαρακτηρίζονται από ένα υψηλό επίπεδο αυτόνομης καταγραφής δεδομένων, μεταφοράς γεγονότων, δικτυακή συνδεσιμότητα και διαλειτουργικότητα."

Σε δημοσίευση της ομάδα ειδικού ενδιαφέροντος στο IoT του συμβουλίου τεχνολογικής στρατηγικής [67] σημειώνεται πως "το IoT περιγράφει την επανάσταση που είναι ήδη εν εξελίξει, η οποία βλέπει έναν αυξανόμενο αριθμό συσκευών με τη δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και μαζί με άλλα γκάτζετ. Ο όρος αναφέρεται σε μια κατάσταση όπου τα Πράγματα (πχ. αντικείμενα, περιβάλλοντα, οχήματα και είδη ρουχισμού) θα έχουν όλο και περισσότερη πληροφορία συσχετισμένη με αυτά και πιθανώς και την ικανότητα της αίσθησης, της επικοινωνίας, της δικτύωσης και της παραγωγής νέας πληροφορίας, καταλήγοντας στη μορφή ενός ολοκληρωμένου κομματιού του διαδικτύου."

Το 2009, σε μια εκτενή παρουσίαση ενός στρατηγικού χάρτη εξερεύνησης του IoT, από το ευρωπαϊκό συγκρότημα ερευνητικών εργασιών, αφού χρησιμοποιήθηκε ως εισαγωγή ένα απόσπασμα από το πασίγνωστο παιδικό παραμύθι του μικρού πρίγκιπα το οποίο διδάσκει πως "το νόημα των πραγμάτων κείται όχι σε αυτά καθεαυτά τα αντικείμενα, αλλά στη συμπεριφορά μας απέναντί τους", η παρουσίαση προχωρά στον ορισμό των πραγμάτων στο ΔτΠ ως "ενεργών συμμετεχόντων στις επιχειρησιακές, πληροφοριακές και κοινωνικές διαδικασίες, όπου καθίστανται ικανά να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν αναμεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον, ανταλλάσσοντας δεδομένα και πληροφορία "αισθανόμενα" το εγγύς περιβάλλον, ενεργώντας παράλληλα αυτόνομα στα γεγονότα του πραγματικού/φυσικού κόσμου, και επηρεάζοντας το, εκτελώντας διαδικασίες οι οποίες προκαλούν δράσεις, και δημιουργούν υπηρεσίες με ή χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Διεπαφές υπό τη μορφή των υπηρεσιών, διευκολύνουν τις αλληλεπιδράσεις με αυτά τα έξυπνα αντικείμενα μέσω του Internet, διενεργούν ερωτήματα και αλλάζουν την κατάστασή τους και κάθε σχετική με αυτά, πληροφορία, λαμβάνοντας υπόψη ζητήματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας." [68]

Αξίζει να καταγραφεί και η περιγραφή του Εθνικού συμβουλίου Ευφυΐας γύρω από τον κόσμο του ΔτΠ, στη δημοσίευση με τίτλο Παγκόσμιες τάσεις διάχυτων τεχνολογιών 2025 [69], όπου το IoT ορίζεται ως το μέσο "αναφοράς στη γενική ιδέα των πραγμάτων, ειδικότερα των καθημερινών πραγμάτων, τα οποία

είναι αναγνώσιμα, αναγνωρίσιμα, εντοπίσιμα, διευθυνσιοδοτήσιμα ή/και ελέγξιμα μέσω του διαδικτύου, είτε μέσω RFID, ασύρματων LAN δικτύων, ευρύτερων δικτύων ή άλλων μέσων. Στα καθημερινά αντικείμενα συγκαταλέγονται όχι μόνο οι ηλεκτρονικές συσκευές που συναντούμε καθημερινά, ούτε μόνο τα προϊόντα ανώτερης τεχνολογικής ανάπτυξης όπως τα οχήματα ή εξοπλισμός, αλλά αντικείμενα που δεν νοούνται ηλεκτρονικά, όπως το φαγητό, ο ρουχισμός, το κατάλυμα, τα υλικά, τα συστατικά μέρη και τα συναρμολογούμενα μέλη των πραγμάτων, αντικείμενα πολυτέλειας και άνεσης, μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, συνοριακές γραμμές, και όλη η ποικιλία εκείνη του εμπορίου και του πολιτισμού."

Μια κάπως πιο ουσιωδώς στοχευμένη προσέγγιση συμπεριλαμβάνεται στη λευκή βίβλο των Friedemann Mattern και Christian Floerkemeier, [MF10] όπου "Το Internet of things, αναπαριστά ένα όραμα στο οποίο το Internet επεκτείνεται στον πραγματικό κόσμο, αγκαλιάζοντας καθημερινά αντικείμενα. Τα φυσικά αντικείμενα δεν είναι πλέον ασύνδετα από τον εικονικό κόσμο, αλλά μπορούν να ελεγχθούν εκ του μακρόθεν και να δράσουν ως φυσικά σημεία πρόσβασης σε διαδικτυακές υπηρεσίες. Η χρήση της λέξεως Internet στον όρο, μπορεί να ιδωθεί είτε ως μια απλή μεταφορά, υπό την ίδια μορφή που οι άνθρωποι αναφέρονται στον "Ιστό", ή μπορεί να ερμηνευθεί υπό μια αυστηρότερη τεχνική έννοια, διατυπώνοντας το γεγονός ότι μια στοίβα IP πρωτοκόλλων θα χρησιμοποιείται από τα έξυπνα αντικείμενα ή τουλάχιστον από τους διακομιστές μεσολάβησης (proxies) που είναι ενσωματωμένοι σε αυτά."

Σύμφωνα με την Society for brain integrity in Sweden, [70] μια πιο ξεκάθαρη εικόνα του μελλοντικού διαδικτύου "σημαίνει πως οποιοδήποτε αντικείμενο μπορεί να γίνει ένας υπολογιστής ο οποίος είναι συνδεδεμένος στο Διαδίκτυο και σε άλλα πράγματα. Το IoT σχηματίζεται από πολυάριθμες συνδέσεις μεταξύ των προσωπικών υπολογιστών, συνδέσεις ανθρώπου με άνθρωπο, ανθρώπου με πράγματα και μεταξύ πραγμάτων. Κάτι τέτοιο δημιουργεί ένα αυτοδιαμορφούμενο δίκτυο, πολύ πιο σύνθετο και δυναμικό από το συμβατικό Internet. Τα δεδομένα σχετικά με τα αντικείμενα συλλέγονται και επεξεργάζονται από πολύ μικρούς υπολογιστές (κυρίως RFID ετικέτες) οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε άλλους πιο ισχυρούς υπολογιστές μέσω δικτύων."

"Μια μινιμαλιστική προσέγγιση προς έναν ορισμό μπορεί να περιλαμβάνει τίποτα παραπάνω από αντικείμενα, το Internet και μία σύνδεση ενδιάμεσου αυτών. Τα αντικείμενα είναι το οποιοδήποτε φυσικό αντικείμενο ανεξαρτήτως της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για αναγνώριση ή για την παροχή πληροφορίας κατάστασης των αντικειμένων και του περιβάλλοντός τους. Το Internet σε αυτή την περίπτωση αναφέρεται σε οτιδήποτε πηγαίνει πέραν του extranet, και συνεπώς απαιτεί πρόσβαση σε πληροφορία για περισσότερους από ένα μικρό γκρουπ ατόμων ή επιχειρήσεων." σύμφωνα με τους Uckelmann και λοιπούς. [71] Παράλληλα στο ίδιο έργο τους "κατασκευάζοντας την αρχιτεκτονική του IoT", το μελλοντικό αυτό σχέδιο "συνδέει μοναδικά αναγνωρίσιμα αντικείμενα με τις εικονικές αναπαραστάσεις τους στο Διαδίκτυο συμπεριλαμβάνοντας ή συνδέοντας τα με πρόσθετη πληροφορία σχετικά με την ταυτότητα, την κατάσταση, την τοποθεσία ή οποιαδήποτε άλλη επιχειρησιακή, κοινωνική ή

ιδιωτική σχετική πληροφορία σε μια οικονομική ή μη εξόφληση η οποία υπερβαίνει τις προσπάθειες επικράτησης της πληροφορίας και προσφέρει πρόσβαση σε αυτήν σε μη προκαθορισμένους συμμετέχοντες. Η παρεχόμενη ακριβής και κατάλληλη πληροφορία μπορεί να προσεγγισθεί στη σωστή ποσότητα και κατάσταση, στο σωστό χώρο και χρόνο και με το κατάλληλο τίμημα."

2.1.5 Ορισμοί πυλώνων τεχνολογίας και ενημέρωσης

Σύμφωνα με τον Gartner [57] το IoT είναι το δίκτυο φυσικών αντικειμένων που περιέχουν ενσωματωμένη τεχνολογία, για την επικοινωνία, αίσθηση, ή αλληλεπίδραση τους με τις εσωτερικές τους καταστάσεις ή το εξωτερικό περιβάλλον.

Η IDC [58] ορίζει το ΔτΠ, ως ένα δίκτυο δικτύων μοναδικά αναγνωρίσιμων endpoints (ή πραγμάτων), τα οποία επικοινωνούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, χρησιμοποιώντας IP συνδεσιμότητα - τόσο σε τοπικό όσο και παγκόσμιο επίπεδο.

Η βιομηχανία Bosch [59] αναφέρει πως μετά το διαμοιρασμό αρχείων, το ηλεκτρονικό εμπόριο και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, η επόμενη γενιά του διαδικτύου, είναι η σύνδεση των πραγμάτων και των συσκευών. Αυτές οι συσκευές ποικίλουν από αισθητήρες και κάμερες ασφαλείας έως οχήματα και μηχανές παραγωγής. Συνδέοντας συσκευές, έχουμε λαμβάνειν δεδομένα, τα οποία οδηγούν σε νέες ιδέες, επιχειρησιακά μοντέλα, και ροές εσόδων. Οι ιδέες που κερδίζονται από αυτά τα δεδομένα με τη σειρά τους, δίνουν ώθηση σε νέες υπηρεσίες που συμπληρώνουν την παραδοσιακή εικόνα των επιχειρήσεων προϊόντων.

Για την IBM [60] το Internet of Things, αναφέρεται στο αναπτυσσόμενο εύρος των συνδεδεμένων στο Internet συσκευών, που παράγουν ή αιχμαλωτίζουν καθημερινά, μια τεράστια ποσότητα πληροφορίας. Για τους καταναλωτές, αυτές οι συσκευές περιλαμβάνουν κινητά τηλέφωνα, φορετές συσκευές άθλησης, συστήματα οικιακής φροντίδας, και άλλα. Σε ένα βιομηχανικό χώρο, αυτές οι συσκευές και οι αισθητήρες μπορούν να εντοπιστούν σε κατασκευαστικό εξοπλισμό, αλυσίδες παραγωγής, και μέρη οχημάτων αυτοκίνησης.

Για τη Cisco [61], το ΔτΠ είναι η έξυπνη συνδεσιμότητα έξυπνων συσκευών, που αναμένεται να οδηγήσει σε μαζικά κέρδη αποτελεσματικότητας, επιχειρησιακής ανάπτυξης, και ποιότητας ζωής. Με άλλα λόγια, όταν τα αντικείμενα μπορούν να αισθάνονται το ένα το άλλο και να επικοινωνούν, αλλάζουν το πώς, το που, και το ποιος λαμβάνει αποφάσεις για τον φυσικό μας κόσμο.

Η Digital Trends, [63] παρουσιάζοντας το ΔτΠ σε ένα βασικό επίπεδο, το ερμηνεύει ως το συνονθύλευμα εκείνο των συσκευών, που μπορούν να αισθάνονται διάφορες εκφάνσεις του πραγματικού κόσμου, όπως τη θερμοκρασία, τη φωτεινότητα, την παρουσία ή την απουσία ανθρώπων, πραγμάτων κλπ. και να αναφέρουν τα πραγματικά δεδομένα ή να δρουν επί αυτών. Αντίθετα με τα περισσότερα δεδομένα στο

διαδίκτυο που παράγονται και καταναλώνονται από τους ανθρώπους (κείμενο, ήχος, βίντεο),όλο και περισσότερη πληροφορία θα παράγεται και θα καταναλώνεται από τις μηχανές, κατά την μεταξύ τους επικοινωνία ώστε να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής.

Η ευρωπαϊκή ερευνητική ομάδα του IoT (IERC), [VF14] δηλώνει πως το IoT είναι "ένα δυναμικό παγκόσμιο δικτυακό οικοδόμημα, με ικανότητες αυτοδιαμόρφωσης βασισμένο σε πρότυπα και διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπου τα φυσικά και τα εικονικά αντικείμενα, έχουν ταυτότητες, φυσικά χαρακτηριστικά, εικονικές προσωπικότητες, χρησιμοποιούν έξυπνες διεπαφές, ενώ ενσωματώνονται απρόσκοπτα στο δίκτυο πληροφορίας".

Σύμφωνα με τον Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών, το Διαδίκτυο των πραγμάτων ορίστηκε στην σύσταση ITU-T Y.2060 (06/2012) [64] ως ένα παγκόσμιο οικοδόμημα, για την κοινωνία της πληροφορίας, καθιστώντας δυνατές, προηγμένες υπηρεσίες, μέσω της διασύνδεσης (φυσικών και εικονικών) αντικειμένων βασιζόμενο σε υπαρκτές και εξελισσόμενες διαλειτουργικές τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών. Μέσα από την αξιοποίηση της ταυτοποίησης, της καταγραφής δεδομένων, των επικοινωνιακών και επεξεργαστικών δυνατοτήτων, το IoT χρησιμοποιεί πλήρως τα αντικείμενα, με στόχο την προσφορά υπηρεσιών σε όλα τα είδη εφαρμογών, διασφαλίζοντας εν παραλλήλω ότι πληρούνται όλες οι απαιτήσεις ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Από μια ευρύτερη προοπτική, το ΔτΠ, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα όραμα με τεχνολογικές και κοινωνικές επεκτάσεις.

2.2 ΑΠΟΣΑΦΗΝΙΣΗ ΕΝΝΟΙΩΝ

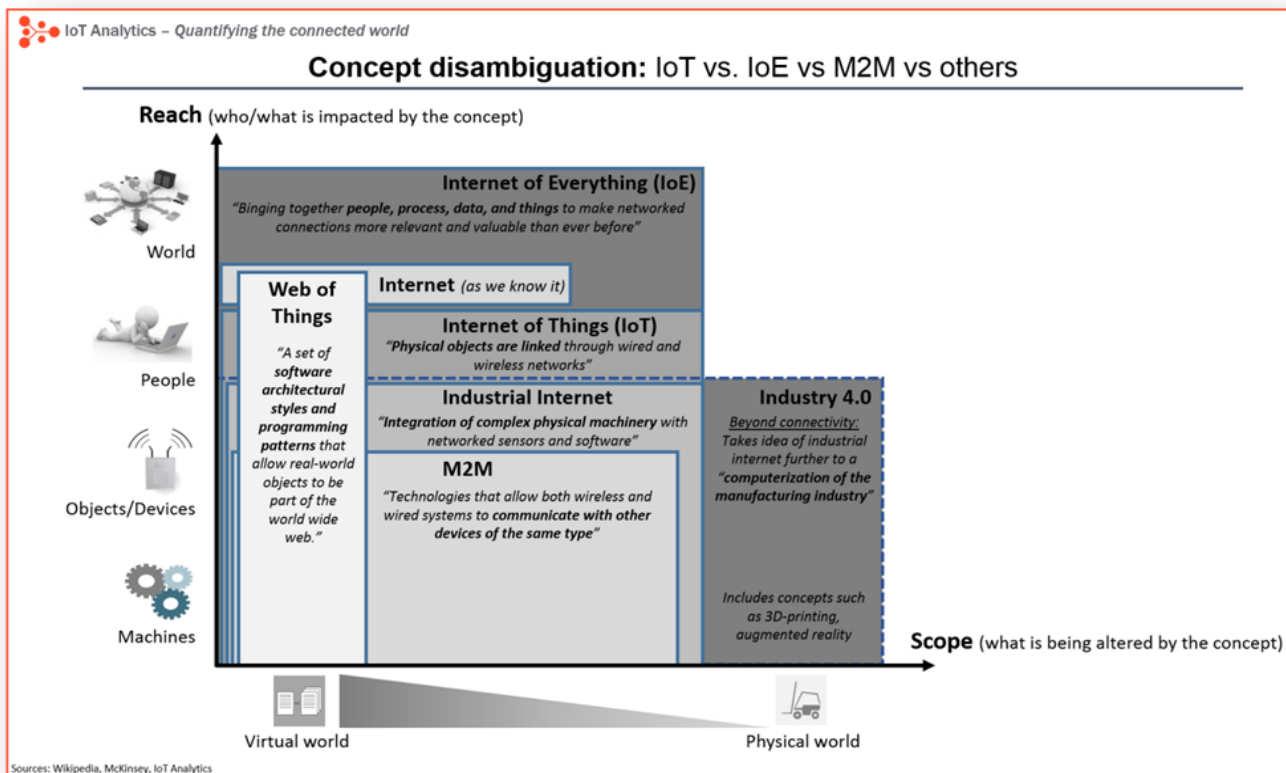
Αν και το "Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ)" ή "Internet of Things (IoT)" είναι ο πιο δημοφιλής όρος για την περιγραφή αυτού του νέου διασυνδεδεμένου κόσμου, πολλοί είναι εκείνοι οι όροι που συνήθως συναντώνται ως ισοδύναμοι ή ταυτόσημοι χωρίς όμως να υπάρχει πάντα κοινό έδαφος. [45,55]

Η Cisco χρησιμοποιούσε για χρόνια τον όρο το Διαδίκτυο των Πάντων - Internet of Everything (IoE), ενώ η Intel αρχικά το αποκαλούσε "ενσωματωμένο internet".

Ορισμένοι από τους όρους που έχουν προταθεί ανά τα χρόνια, χωρίς να σημαίνουν ακριβώς το ίδιο πράγμα, είναι οι παρακάτω:

- M2M (Machine to machine) communication - επικοινωνία μηχανής προς μηχανή
- Web of Things - Ιστός Πραγμάτων
- Industry 4.0 - Επιχείρηση 4.0
- Industrial internet (of Things) - Βιομηχανικό διαδίκτυο (των πραγμάτων)
- Smart systems - Έξυπνα συστήματα

- Pervasive computing - Διάχυτος υπολογισμός
- Intelligent systems - Ευφυή συστήματα



Σχήμα 4: Αποσαφήνιση Εννοιών

M2M

Ο όρος Μηχανής προς μηχανή ήταν σε χρήση για πάνω από μια δεκαετία με ιδιαίτερη δημοφιλία στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Η M2M επικοινωνία ήταν αρχικά ένας όρος περιγραφής μιας ένα-προς-ένα σύνδεσης μεταξύ δύο μηχανών. Η σημερινή έκρηξη των κινητών μέσων σύνδεσης και συστημάτων επικοινωνίας, κάνει την μετάδοση των δεδομένων πιο εύκολη μέσα από ένα σύστημα IP δικτύων, σε ένα πολύ ευρύτερο εύρος συσκευών.

Industrial Internet

Ο συγκεκριμένος όρος προωθήθηκε σθεναρά από την General Electric. Χρησιμοποιείται συχνά αντί του όρου Industrial IoT. Εκτείνεται πέρα από το M2M καθώς δεν εστιάζει μόνο σε συνδέσεις μεταξύ μηχανών αλλά συμπεριλαμβάνει και ανθρώπινες διεπαφές. Στα στοιχεία κλειδιά του Βιομηχανικού διαδικτύου, συναντάμε μια πιο ολιστική εικόνα των συνδεδεμένων συσκευών, των προηγμένων

συστημάτων λογισμικού που αναλύουν τα δεδομένα των προηγούμενων (analytics), αλλά και της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα όσον αφορά τις λειτουργίες, την καινοτομία και τα αποτελέσματα.

Internet of Things (IoT)

Το IoT άπτεται σε έναν ακόμη πιο ευρύ κύκλο, καθώς συμπεριλαμβάνει συνδέσεις εκτός του βιομηχανικού πεδίου ερμηνείας μέσω πχ των φορητών συσκευών στους ανθρώπους.

Internet (όπως το ξέρουμε)

Πολλοί αναφέρονται στο IoT ως παρακλάδι του Internet, με την έννοια ότι το τελευταίο περιλαμβάνει το ΔτΠ. Παρόλαυτά το Internet όπως φαίνεται και στην εικόνα περιορίζει τον κύκλο σύνδεσης μόνο μεταξύ των ανθρώπων.

Web of Things

Ο Ιστός των Πραγμάτων, αποτελεί μια πιο στενή και περιορισμένη έννοια καθώς οι έννοιες με τις οποίες ασχολείται εστιάζουν αποκλειστικά σε ζητήματα αρχιτεκτονικής λογισμικού.

Internet of Everything (IoE)

Αποτελεί ακόμη έναν ασαφή όρο και μια απροσδιόριστη ερμηνεία, καθώς το IoE στοχεύει στο να συμπεριλάβει όλα τα είδη των συνδέσεων που μπορεί κανείς να οραματιστεί. Παρόλα αυτά, παραμένει εξίσου δημοφιλής με το IoT καθώς αν ο τελευταίος ιδωθεί υπό αυστηρό πρίσμα ενός αποκεντρωμένου δικτύου που βασίζεται στην αναγνώριση πραγμάτων μέσω του IP πρωτοκόλλου, τότε απεικονίζει μόνο την τεχνολογική διάσταση του οικοδομήματος. Αντιθέτως, αν ιδωθεί από την προοπτική των σεναρίων χρήσης, εστιάζουμε μόνο στο κομμάτι των λύσεων/αποτελεσμάτων χρήσης του. Συνεπώς, μέσω του IoE, όπως χαρακτηριστικά υποστηρίζουν οι Cisco και Intel, συνασπίζονται υπό έναν φορμαλιστικό όρο, τόσο τα δεδομένα όσο και οι άνθρωποι, οι διαδικασίες, και τα πράγματα , "για να κάνουν δικτυακές συνδέσεις πιο σχετικές και πολύτιμες από ποτέ, μετατρέποντας την πληροφορία σε δράσεις που δημιουργούν νέες δυνατότητες, πλουσιότερες εμπειρίες και οικονομικές ευκαιρίες χωρίς προηγούμενο, για τις επιχειρήσεις, τους ανθρώπους και τις χώρες." [56]

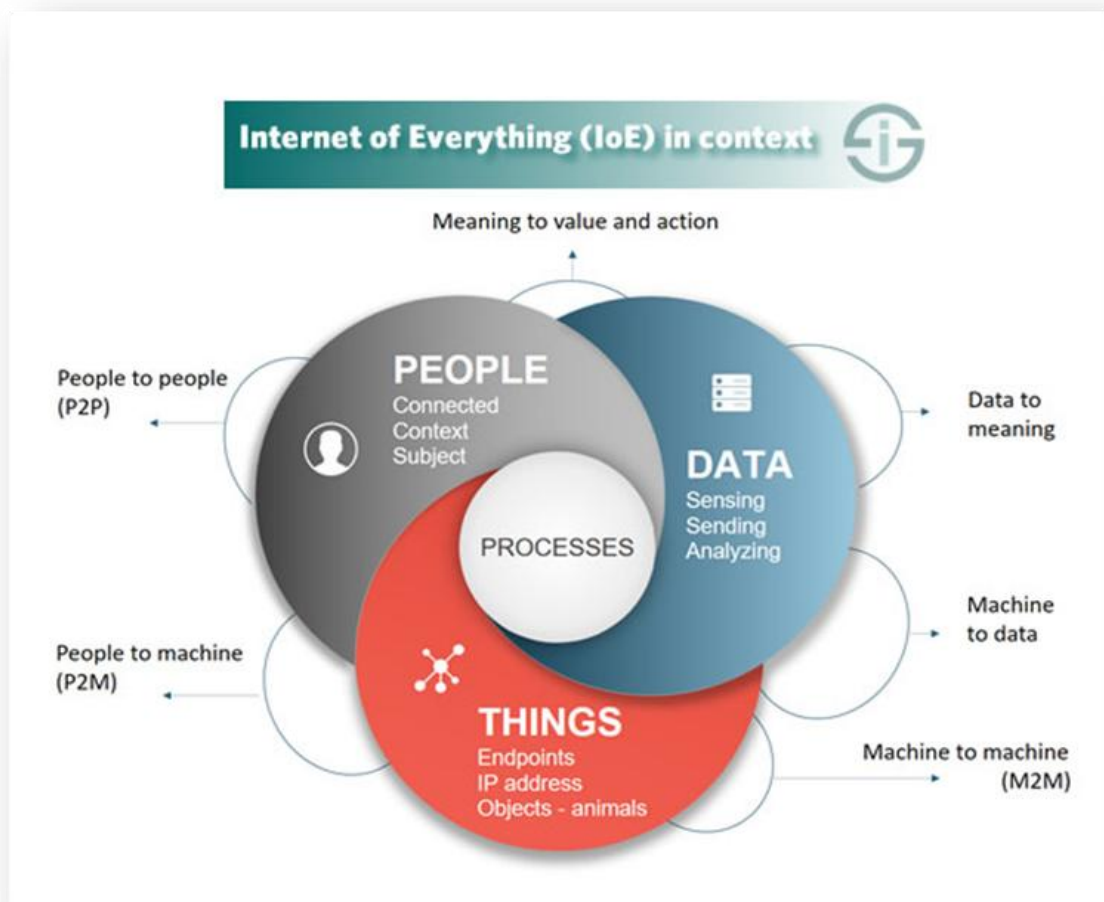
Industry 4.0

Ο όρος αυτός της Επιχείρησης 4.0 προωθείται σθεναρά από την Γερμανική κυβέρνηση. Είναι τόσο περιοριστικός όσο και αυτός του "βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων" καθώς εστιάζει μόνο σε κατασκευαστικά περιβάλλοντα, όταν το όλο οικοδόμημα εκτείνεται σε αμέτρητα περισσότερα πράγματα. Μολαταύτα, διαθέτει το πλέον ευρύ φάσμα ερμηνειών καθώς περιγράφει ένα σύνολο συλλήψεων που δύνανται να οδηγήσουν στην επόμενη βιομηχανική επανάσταση. Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει όλων των ειδών τις συλλήψεις συνδεσιμότητας εντός του βιομηχανικού χώρου, επεκτείνοντας τον κόσμο μέσω πραγματικών αλλαγών και παρεμβάσεων σε αυτόν, χάρη σε τεχνολογίες όπως εκείνη των 3D εκτυπωτών

που εισάγει όλο και περισσότερους πόρους στον κόσμο των πραγμάτων, καθιστώντας τον κόσμο μια αυξημένη πραγματικότητα υλικού.

Εν κατακλείδι, αξίζει να σημειωθεί ότι οι πιο συχνοί όροι των M2M, IoE αλλά και του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων δεν αποτελούν αντιφατικές έννοιες του IoT, αλλά αντίθετα αποτελούν απλώς κάποια μικρά παρακλάδια αυτού.

Επιπλέον όροι που συναντώνται συχνά είναι οι ακόλουθοι: Physical Internet, Ubiquitous Computing, Ambient Intelligence, Connected Environments, Spimes, Everyware, Pervasive Internet, Connected World, Wireless Sensor Networks, Intelligent Web, Real World Internet, Internet of Services, Situated Computing, Future Internet and Physical computing.



Σχήμα 5: Διαδίκτυο των Πάντων

2.3 ΙΣΤΟΡΙΑ

Το Internet of Things (IoT) αποτελεί μια έννοια και έναν όρο που ζει τα πρώιμα στάδια της ύπαρξής του. Ωστόσο, το όραμα της επικοινωνίας μεταξύ των μηχανών, δεν είναι κάτι καινούριο. Οι πρώτες συζητήσεις για αυτή την ιδέα εντοπίζονται στις αρχές του 19ου αιώνα και διαφαίνονται επιγραμματικώς σε ορισμένα από τα παρακάτω κομμάτια της παρούσας παραγράφου μαζί με ορισμένα εκ των κυριότερων επιτευγμάτων στην εξελικτική πορεία της τεχνολογίας, που αποτέλεσαν βάση του IoT και καταγράφονται υπό τη μορφή χρονολογίου.

2.3.1 Επιστημονικά Επιτεύγματα που άνοιξαν το δρόμο

Οι μηχανές παρέχουν άμεσες επικοινωνίες από την εποχή της εφεύρεσης του τηλέγραφου το 1832, από τον Baron Schilling στη Ρωσία, και το 1833 από τους Carl Friedrich Gauss και Wilhelm Weber, ενώ 11 χρόνια μετά, το 1844 ο Samuel Morse στέλνει τον πρώτο ομώνυμο κώδικα σε τηλεγραφικό μήνυμα από την Ουάσινγκτον στη Βαλτιμόρη. Με την περιγραφή της "ασύρματης τηλεγραφίας", η πρώτη ραδιοφωνική μετάδοση φωνής έλαβε χώρα στις 3 Ιουνίου, 1900 παρέχοντας μια ακόμη απαραίτητη συνιστώσα στην ανάπτυξη του IoT, κάτι που διαφαίνεται στις πρώτες ουσιαστικά ιδέες που άρχισαν να γεννιούνται εκείνη ακριβώς τη χρονική στιγμή.

Το 1926, ο Nikola Tesla σε συνέντευξή του στο περιοδικό Colliers, [Ken26] διατυπώνει την ακόλουθη πρόβλεψη: *"Όταν η έννοια του ασυρμάτου εφαρμοστεί πλήρως, όλος ο πλανήτης θα μετατραπεί σε έναν τεράστιο εγκέφαλο, όλα τα αντικείμενα θα είναι σωματίδια/μόρια ενός πραγματικού και αρμονικού συνόλου και τα όργανα μέσα τα οποία θα καταστήσουν αυτό εφικτό στον άνθρωπο, θα είναι εκπληκτικώς απλά, συγκρινόμενα με το σημερινό τηλέφωνο. Κάθε άνθρωπος θα μπορεί να μεταφέρει ένα στην τσέπη του σακακιού του."*

Στα ίδια πλαίσια το 1932 ο Jay B. Nash επιχειρώντας έναν παραλληλισμό των εποχών, καταγράφει στο έργο του Spectatoritis: *"Η άνεση των (αρχαίων) Ελλήνων (πολιτών), βρίσκεται σε απόσταση αναπνοής, καθίσταται εφικτή από τους μηχανικούς μας σκλάβους, που ξεπερνούν τους 12 ή 15 ανά ελεύθερο άνδρα... Με το που πατήσουμε εντός μιας αίθουσας, στο άγγιγμα ενός κουμπιού, μια δωδεκάδα τέτοιων φωτίζουν το πέρασμά μας. Ένας άλλος σκλάβος κάθεται 24 ώρες τη μέρα στον θερμοστάτη μας, ρυθμίζοντας τη θερμότητα του σπιτιού μας. Ένα άλλος κάθεται νυχθημερόν στον αυτόματο καταψύκτη μας. Εκκινούν το αμάξι μας, τρέχουν τους κινητήρες μας, γυαλίζουν τα παπούτσια μας και μας κόβουν τα μαλλιά. Εξαλείφουν πρακτικά τον χώρο και τον χρόνο με την ταχύτητά τους"*. [Nas32]

Το 1946, ένα ρολόι χειρός με το όνομα 2-Way Wrist Radio, [Rob93] συστήνεται στο διάσημο κόμικ Dick Tracy, κατορθώνοντας να γίνει μια από τις πιο αναγνωρίσιμες εικόνες του. Το εν λόγω ρολόι διευκόλυνε

την επικοινωνία μεταξύ του Tracy και μελών της αστυνομίας και θεωρείται από πολλούς ως η πηγή έμπνευσης των σημερινών smartwatches.

Είναι το 1949 που το γνωστό barcode συλλαμβάνεται ως ιδέα από τον 27-χρονο Norman Joseph Woodland, έχοντας σχεδιάζει ένα σκαρίφημα τεσσάρων γραμμών στην άμμο μιας παραλίας του Μαϊάμι. [Sei93] Ο Woodland, που κατόπιν κατέλαβε τη θέση του μηχανικού στην IBM. Έλαβε (μαζί με τον Bernard Silver) την πρώτη πατέντα για το γραμμικό barcode το 1952, την εκλέπτυνση της οποίας ήρθε να προτυποποιήσει ένα ακόμη μέλος της IBM οικογένειας, ο George Lauret, με αποτέλεσμα να φτάσει να χρησιμοποιείται έως και σήμερα από τα παντοπωλεία και τα σουπερμάρκετ με τη μορφή του παγκόσμιου κωδικού προϊόντος (Universal Product Code -UPC). [3]

Την ίδια περίοδο, τη δεκαετία του 1950, η ανάπτυξη των υπολογιστών κάνει την είσοδό της στο τεχνολογικό προσκήνιο. Χαρακτηριστική είναι η καταγραφή του Alan Turing, πατέρα της υπολογιστικής, στο άρθρο του Computing Machinery and Intelligence στην Oxford Mind Journal που μεταξύ άλλων αναφέρει: *"...αξίζει να συγκρατηθεί ότι είναι βέλτιστη πρακτική να παρέχουμε στις μηχανές με τα καλύτερα αισθητήρια όργανα που μπορούν να αγοραστούν με χρήματα, και κατόπιν να το εκπαιδεύσουμε να αντιλαμβάνεται και να μιλά Αγγλικά. Αυτή η διαδικασία ενδεχομένως να ακολουθήσει τη συνηθισμένη εκπαίδευση ενός παιδιού."* [Tur50]

Το 1955, ο Edward O. Thorp, με το τέλος της λειτουργίας του πρώτου υπολογιστή (ENIAC), συλλαμβάνει την ιδέα του πρώτου φορητού υπολογιστή, [Tho98] μια αναλογική συσκευή που είχε σαν μοναδικό σκοπό χρήσης, την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων ρουλέτας. Κατόπιν περεταίρω εξέλιξης από τον Claude Shannon, δοκιμάστηκε στο Las Vegas, το καλοκαίρι του 1961. Αντιστοίχως σημαντική ήταν η επόμενη κίνηση του Hubert Upton το 1967, οπότε και εφευρίσκει έναν αναλογικό φορητό υπολογιστή εξοπλισμένο με ένα οπτικό γυαλί παρουσίασης προς βοήθεια ανάγνωσης λόγου από τα χείλη. [Hei60]

Το Internet, αυτό καθεαυτό αποτελεί μια βασική συνιστώσα του IoT. Ξεκίνησε ως κομμάτι του πρακτορείου προηγμένων ερευνητικών έργων άμυνας DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) το 1962, και εξελίχθηκε στο ARPANET το 1969, το οποίο γνώρισε εμπορική άνθιση και εξέλιξη στη σημερινή μορφή του σύγχρονου Internet, σχεδόν μια δεκαετία πιο μετά κατόπιν υποστήριξης δημόσια χρήσης του από εμπορικούς παρόχους υπηρεσιών. [4] Μέσα στα πλαίσια αυτής της τεχνολογικής εξέλιξης το 1964 οι Marshall McLuhan και Lewis H. Lapham, καταγράφουν στο Understanding Media: The Extensions of Man *"...εκμεταλλευόμενοι τα ηλεκτρονικά μέσα, χτίσαμε μια δυναμική μέσα από την οποία όλες οι προγενέστερες τεχνολογίες - συμπεριλαμβανομένων των πόλεων - θα μεταφραστούν σε συστήματα πληροφορίας "* [ML64]

Στην εξελικτική αυτή πορεία, ακολουθούν το 1973 με την πρώτη πατέντα για μια παθητική RFID ετικέτα ανάγνωσης-εγγραφής του Mario Cardullo [Car13], και το 1974 με τα πρώτα δείγματα των TCP/IP

πρωτοκόλλων επικοινωνίας, ενώ μια δεκαετία αργότερα, συστήνεται το Domain Name System ή DNS (Σύστημα Ονομάτων Τομέων ή Χώρων ή Περιοχών), ένα ιεραρχικό σύστημα ονοματοδοσίας για δίκτυα υπολογιστών, που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP, σύμφωνα με το οποίο τα ονόματα των υπολογιστών υπηρεσίας αντιστοιχίζονται σε διευθύνσεις IP.

Το 1981, ο Steve Mann, μαθητής γυμνασίου ακόμη, αναπτύσσει ένα σακίδιο πλάτης εξοπλισμένο με ένα φορητό προσωπικό υπολογιστή που δρα ως σύστημα απεικόνισης και εξοπλισμός φωτός. Εννέα χρόνια μετά ο Olivetti αναπτύσσει έναν ενεργό σύστημα σήμανσης, το οποίο αξιοποιώντας υπέρυθρα σήματα, μπορούσε να κοινωνήσει τη θέση ενός ανθρώπου. [Man97]

Το 1989 ο Tim Berners-Lee προτείνει τον Παγκόσμιο Ιστό, στους κόλπους του οποίου εμφανίζεται 2 χρόνια μετά, η πρώτη ιστοσελίδα. Την ίδια χρονική στιγμή, ο Mark Weiser της XEROX εκδίδει το άρθρο του "Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής στον 21ο αιώνα" στο περιοδικό Scientific American στα πλαίσια του οποίου εντοπίζεται η πρώτη χρήση των όρων "απανταχού υπολογισμός" (ubiquitous computing) και "ενσωματωμένη εικονικότητα" (embodied virtuality). Στόχος του ήταν να περιγράψει το όραμα του σχετικά με τον τρόπο που "εξειδικευμένα στοιχεία υλικού και λογισμικού, συνδεδεμένα μέσω καλωδίων, ραδιοκυμάτων και υπέρυθρης ακτινοβολίας, θα είναι πανταχού παρούσες σε τέτοιο βαθμό που κανείς δε θα αντιλαμβάνεται την παρουσίας τους." [Wei91]

Το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης ή Θεσιθεσίας (Global Positioning Satellites) το ευρύτερα γνωστό με τα αρχικά GPS, αποτέλεσε πραγματικότητα στις αρχές του 1993, με το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ να παρέχει ένα σταθερό και υψηλά λειτουργικό σύστημα 24ων δορυφόρων. Σύντομα ακολούθησαν ιδιόκτητοι καθώς και εμπορικοί δορυφόροι, οι οποίοι τέθηκαν σε τροχιά. Τόσο οι δορυφόροι όσο και οι επίγειες σταθερές επικοινωνίες διαδραματίζουν ένα ιδιαίτερος σημαντικό ρόλο στο συνολικό πάζλ του IoT.

Το 1994 ο όρος "context-aware" που εσωκλείει την ικανότητα αντίληψης του πλαισίου λειτουργίας των αντικειμένων, χρησιμοποιείται για πρώτη φορά από τους B.N.Schilit & M.M. Theimer. [ST94] Τρία χρόνια πιο μετά, τον Οκτώβριο του 1997, τρία μεγάλα ιδρύματα, αυτά των Carnegie-Mellon, MIT & Georgia Tech, συνδιοργανώνουν το πρώτο διεθνές συμπόσιο της IEEE στο Cambridge, MA με θέμα τους φορετούς υπολογιστές. [8] Προφητική χαρακτηρίζεται η αναφορά του Paul Saffo το 1997, παρουσιάζοντας στη δημοσίευσή του "Αισθητήρες: Το επόμενο κύμα της πληροφοριακής καινοτομίας", το κεντρικό εργαλείο του IoT, αυτό των αισθητήριων οργάνων. [Saf97]

2.3.2 Σύντομη ιστορική εξέλιξη του ΔτΠ

Στη σημερινή εποχή, το διαδίκτυο έχει εισβάλει στην καθημερινότητα και έχει κατακτήσει ρόλο βασικής ανάγκης για το μισό και πλέον πληθυσμό της γης. Περίπου το ένα τέταρτο του παγκόσμιου πληθυσμού, ήτοι περί τα δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλα τα μήκη και πλάτη του κόσμου μετά την αθρόα και μαζική εισβολή των ηλεκτρονικών υπολογιστών και μετέπειτα των ασύρματων κινητών μικροεπεξεργαστών, χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο ως μέσο επικοινωνίας και κοινωνικής δικτύωσης, ψυχαγωγίας, εργασίας, ενημέρωσης ή συμμετοχής στις δομές της κοινωνίας που οικοδόμησαν γύρω τους.

Το Διαδίκτυο ή όπως έχει επικρατήσει με τον αγγλικό όρο όταν αναφερόμαστε σε αυτό, το Internet, υπήρξε κυρίως το προϊόν εργασίας και συνεισφορών των ανθρώπων, με όλα τα δεδομένα που υπάρχουν εντός του, να έχουν δημιουργηθεί από αυτούς για αυτούς. Το Διαδίκτυο των ανθρώπων όπως εύστοχα το αποκαλεί ο Benson Hougland σε μια ομιλία του, [1] είναι σαν ένα ύφασμα το οποίο υφάνθηκε με τα χρόνια διατρέχοντας, καλύπτοντας και "ντύνοντας" τις ζωές των ανθρώπων, σε βαθμό που πλέον είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς τους. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων αντί να έχει τους ανθρώπους στο προσκήνιο, φέρνει ένα ευρύτερο σύνολο αντικειμένων που συμπεριλαμβάνει και αλληλεπιδρά με τον ανθρώπινο παράγοντα. Προς αυτό το σκοπό, δόθηκε η δυνατότητα της αίσθησης και της επικοινωνίας στα αντικείμενα προκειμένου να επιτευχθεί το επόμενο στάδιο που είναι η ουσία της λειτουργίας του IoT, αυτό της αλληλεπίδρασης τους. Η πραγματική αξία του ΔτΠ μπορεί κυρίως -αν όχι μόνο- να διαφανεί.

Το επόμενο βήμα ωστόσο στην εξελικτική πορεία του διαδικτύου, εκτείνεται πέραν από τη σφαίρα της παραδοσιακής επιφάνειας εργασίας ενός υπολογιστή. Με την ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη και την ανάδυση των κινητών, των ασύρματων επικοινωνιών και των έξυπνων συσκευών, το διαδίκτυο μετασχηματίζεται το ίδιο σε ένα είδος ενιαίας επιφάνειας εργασίας, σε μια παγκόσμια πλατφόρμα επικοινωνίας κι αλληλεπίδρασης όπου όλα τα αντικείμενα που απαρτίζουν τον κόσμο μας, εικονικά και φυσικά είναι αλληλένδετα. Αποτελεί κοινό τόπο, η αίσθηση πως μέσα στην επόμενη δεκαετία, το διαδίκτυο δεν θα ορίζεται πια μόνο ως ένα δίκτυο με τελικούς χρήστες τους ανθρώπους, αλλά θα συγκεράζει τις έννοιες των κλασικών δικτύων με εκείνες όλων των συνδεδεμένων οντοτήτων που μας περιβάλλουν.

Η νοημοσύνη των μηχανών δεν αποτελεί μια καινούρια, φρέσκια ιδέα, αλλά ο λόγος που συναντάται συχνότερα πλέον είναι διότι απεμπολεί ταχύτατα την εικόνα της επιστημονικής φαντασίας και της φιλοσοφίας και υιοθετεί εκείνη της καθημερινής πραγματικότητας. Σήμερα έχουμε ήδη πολλά απτά αποτελέσματα, ανάμεσα στα οποία, τη Siri από την Apple ή την Cortana από τη Microsoft να υπερπηδούν τους περιορισμούς στην αναγνώριση φωνής και στη διαδραστική βοήθεια στα smartphones.

Αν και η όλη ιδέα δεν έφερε κάποιο όνομα μέχρι το 1999, το IoT βρισκόταν στον τομέα της ανάπτυξης για δεκαετίες. Η πρώτη πειραματική συσκευή, ένα ίσως σημαντικό βήμα προς την σημερινή μορφή του IoT εντοπίζεται στο 1977 με το πρώτο χειροπιαστό επίτευγμα στο κομμάτι των κινητών - φορητών υπολογιστών, όταν ο CC Collins αναπτύσσει έναν φορητό υπολογιστή 2 κιλών ως βοήθεια προς όσους στερούνται της αίσθησης της όρασης, εξοπλισμένο με μια κάμερα κεφαλής που μετέτρεπε τις εικόνες σε ένα από πλέγμα σε μια φανέλα. [6]

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, όπου μέλη του τμήματος επιστήμης υπολογιστών του πανεπιστημίου Carnegie-Mellon, εγκατέστησαν μικροδιακόπτες στους αυτόματους πωλητές Coca-Cola, μέσα από τους οποίους ελέγχεται ο αριθμός των μπουκαλιών καθώς και η θερμοκρασία τους. [5] Οι προγραμματιστές μπορούσαν να συνδεθούν διαδικτυακά με το μηχάνημα και να ελέγχουν την κατάστασή του και να γνωρίζουν αν θα υπήρχε ή όχι ένα κρύο αναψυκτικό να τους περιμένει σε περίπτωση που αποφάσιζαν να το επισκεφθούν.

Παράλληλα, ένα χρόνο μετά την εισαγωγή του World Wide Web στα τεχνολογικά πράγματα, ο John Romkey, [72] δημιουργεί την πρώτη διαδικτυακή συσκευή, μια Sunbeam deluxe τοστιέρα, η οποία μπορεί να τεθεί εντός και εκτός λειτουργίας μέσα από το διαδίκτυο. Τον Οκτώβριο του '89 στα πλαίσια ενός συνεδρίου της INTEROP, η τοστιέρα συνδέθηκε σε έναν υπολογιστή μέσω μιας δικτύωσης TCP/IP το οποίο αξιοποιήθηκε ως βάση πληροφοριών για να θέσει το διακόπτη παροχής ενέργειας σε λειτουργία. Εν έτει 1993, οι Quentin Stafford-Fraser and Paul Jardetzky δημιουργούν το Trojan Room Coffee Pot. Τοποθετημένο στο "Trojan Room" εντός του εργαστηρίου υπολογιστών του Πανεπιστημίου του Cambridge, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση του επιπέδου του καφέ στο φλιτζάνι με μια εικόνα η οποία ενημερωνόταν περίπου τρεις φορές το λεπτό και απεστέλλετο στον κεντρικό διακομιστή του κτηρίου. Αργότερα κατέστη δυνατό να γίνει ευρύτερα κοινοποιήσιμο μιας και οι περιηγητές ιστού μπορούσαν να παρουσιάσουν εικόνες. [Sta95] Ταυτόχρονα, οι Steven Feiner, Blair MacIntyre, και Dorée Seligmann του πανεπιστημίου Columbia, αναπτύσσουν το KARMA, μια βασισμένη σε γνώση προσαυξημένη πραγματικότητα για παροχή βοήθειας συντήρησης. Το KARMA εμπλούτισε οτιδήποτε βρισκόταν εντός διαδικασιών επιδιόρθωσης με σχήματα οπτικής καθοδήγησης που αναπαριστούν το σκελετό της εκάστοτε διαδικασίας (wireframe schematics), καθώς και οδηγίες συντήρησης. [FMS93]

Το 1994, [LF94] οι Mik Lamming και Mike Flynn της Xerox EuroPARC, παρουσιάζουν το Forget-Me-Not, μια φορητή συσκευή, η οποία καταγράφει αντιδράσεις ανθρώπων και συσκευών, αποθηκεύοντας την πληροφορία σε μία βάση δεδομένων, ενώ ακριβώς στο ίδιο πνεύμα ο Steve Mann επανέρχεται στο προσκήνιο, δημιουργώντας κι εκείνος την WearCam, μια συσκευή που λειτουργεί όπως και η παραπάνω και θεωρείται ως το πρώτο παράδειγμα καταγραφής ζωής ή όπως καλύτερα αποδίδεται με τον αγγλικό όρο, lifelogging. [Man96] Ένα χρόνο μετά η Siemens εκκινεί τη λειτουργία ενός νέου τμήματος εντός

των κόλλων της, αφιερωμένο στην ανάπτυξη και στην εφαρμογή μιας GSM μονάδας δεδομένων, με το όνομα "M1", για βιομηχανικές εφαρμογές μηχανής-προς-μηχανή (M2M), δίνοντας την δυνατότητα στις μηχανές να επικοινωνούν μέσω ασύρματων δικτύων. Η πρώτη εφαρμογή του εντοπίζεται στα τερματικά σημεία πώλησης (point of sale - POS), σε οχήματα τηλεματικής, καθώς και εφαρμογές απομακρυσμένης παρακολούθησης, ιχνηλάτησης και εντοπισμού. [7]

Ένα χρόνο πριν χάσει τη μάχη του με τον καρκίνο, ο Mark Weiser συνεχίζοντας τις εξερευνήσεις του στο θέμα του IoT, κατασκευάζει έναν συντριβάνι έξω απ'το γραφείο του, η ροή και το ύψος του οποίου μιμείτο την ένταση και την τάση των τιμών του χρηματιστηρίου. *"Ο πανταχού παρόν υπολογισμός είναι χοντρικά, το αντίθετο της εικονικής πραγματικότητας. Όταν η εικονική πραγματικότητα τοποθετεί τους ανθρώπους εντός ενός παραχθέντος από υπολογιστή κόσμο, ο πανταχού παρών υπολογισμός, εξαναγκάζει τον υπολογιστή να ζήσει εδώ έξω στον κόσμο με τους ανθρώπους."* όπως χαρακτηριστικά σημειώνει. [9]

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '90 βλέπουμε πως οι περισσότερες εργασίες σχετικά με το IoT είναι μικρής πειραματικής σημασίας. Καμία εκ των συσκευών που αναπτύχθηκαν δεν γνώρισαν εμπορική επιτυχία και το Διαδίκτυο των πραγμάτων παρέμεινε ένα θέμα περιορισμένο εντός ακαδημαϊκών τειχών. Στις αρχές της νέας χιλιετίας η ιδέα των δικτύων διασυνδεδεμένων συσκευών αποκτά δημοφιλία και ενδιαφέρον τόσο επιχειρηματικό όσο και καταναλωτικό.

Το 1999 ιδρύεται το κέντρο αυτοματοποιημένης αναγνώρισης (Auto-ID Center) στο MIT από τους Sanjay Sarma, David Brock και Kevin Ashton, έργο του οποίου είναι η μετατροπή της RFID τεχνολογίας σε μια τεχνολογία δικτύωσης, συνδέοντας αντικείμενα στο διαδίκτυο μέσω αυτών των RFID ετικετών. [SBA00] Δυο έτη μετά, ο David Brock στη λευκή Βίβλο του με τίτλο "Ο ηλεκτρονικός κώδικας προϊόντος: Ένα σχήμα ονοματοδοσίας για τα φυσικά αντικείμενα", γράφει *"Για πάνω από 25 χρόνια, ο Παγκόσμιος κώδικας προϊόντος (UPC ή barcode) βοήθησε τη λειτουργία γραμμών παραγωγής και διαδικασιών αποθήκευσης. Εκμεταλλευόμενοι τη δομή του Internet, προτείνουμε ένα νέο σχήμα αναγνώρισης νέων αντικειμένων, τον ηλεκτρονικό κώδικα προϊόντος (Electronic Product Code - EPC) που αναγνωρίζει μοναδικά τα αντικείμενα και διευκολύνει τον εντοπισμό καθ' όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος."* [Bro01]

Ο Kevin Ashton, συνιδρυτής και εκτελεστικός διευθυντής του Auto-ID Center στο MIT, αναφέρθηκε πρώτη φορά στο Internet of Things σε μια παρουσίαση του σε διαφημιστική εταιρεία εν έτει 1999. [12,30] Στα πλαίσια αυτής της παρουσίασης τόνισε την μέχρι σήμερα εξάρτηση των υπολογιστών από τον άνθρωπο για την αποθήκευση και την εκμετάλλευση της πληροφορίας. Χαρακτηριστικά υποστήριξε τη θέση του αυτή, λέγοντας πως σχεδόν το όλον των πληροφοριών που είναι διαθέσιμα στο Internet –τα οποία εκτιμά στα 50petabytes – αποτελούν σύλληψη και δημιουργία ανθρώπινου νου που εισήχθησαν μέσω κειμενογράφησης / πληκτρολόγησης, πιέζοντας ένα πλήκτρο εγγραφής, τραβώντας μια ψηφιακή

εικόνα ή σκανάροντας ένα barcode. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι ο άνθρωπος διαθέτει από το φθαρτό της φύσης του περιορισμένο χρόνο, προσοχή, και τέλος ακρίβεια, μη διαθέτοντας οξυμένα αισθητήρια. Αποτέλεσμα αυτού είναι, να μη δύναται να συλλέξει ικανοποιητικά ποιοτικά ή/και ποσοτικά, δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τον πραγματικό κόσμο. Αντίθετα, οι υπολογιστές "τρέφονται" αδιαλείπτως με δεδομένα. Δίνοντας τους λοιπόν πληροφορία για την έννοια και την ταυτότητα των αντικειμένων που απαρτίζουν τον κόσμο μας, μπορούν να παρακολουθούν και συνεπώς να συλλέγουν δεδομένα γι' αυτά, άνευ βοήθειας ημών. Έτσι μας δίνεται η ευκαιρία παρακολούθησης και μέτρησης των πάντων με αποτέλεσμα να μπορούμε να μειώσουμε κόστη, πάσης φύσεως απώλειες και σπατάλη υλικού. Θα γνωρίζαμε έτσι τότε κάτι χρίζει αντικατάστασης, επιδιόρθωσης ή ανάκλησης.

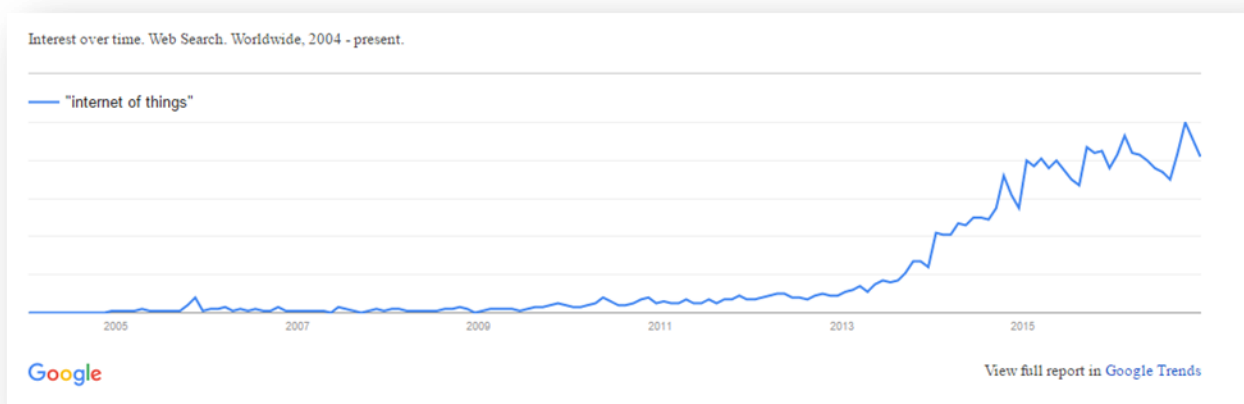
Στα ίδια πλαίσια ο Neil Gershenfeld [Ger00] γράφει την ίδια χρονιά στο "Όταν τα πράγματα ξεκινούν να σκέπτονται": *"Πέρα απ' το να κάνουμε τους υπολογιστές πανταχού παρόντες, πρέπει να προσπαθήσουμε να τους κάνουμε απαρατήρητους. Για όλη την κάλυψη της ανάπτυξης του Internet και του World Wide Web, μια ακόμη μεγαλύτερη αλλαγή έρχεται καθώς ο αριθμός των πραγμάτων που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο, μικραίνει τον αριθμό των ανθρώπων. Η πραγματική υπόσχεση σύνδεσης των υπολογιστών είναι η απελευθέρωση των ανθρώπων, ενσωματώνοντας τα μέσα για την επίλυση των προβλημάτων στα πράγματα πέριξ μας."* Λίγα χρόνια μετά, το 2001, κατά τη δημιουργία του Center for Bits and Atoms [16] συμπλήρωσε πως *"κοιτώντας πίσω, φαίνεται πως η ταχεία ανάπτυξη του Παγκόσμιου Ιστού πιθανότατα λειτούργησε ως η όπλιση της σκανδάλης που πυροδότησε την πραγματική έκρηξη, καθώς τα αντικείμενα αρχίζουν να χρησιμοποιούν το Δίκτυο."*

Στα 1999, χρονιά ως φαίνεται καθοριστική για την αιχμή του IoT, η όλη ιδέα φαίνεται πως βρίσκει πολλούς εκφραστές, ανάμεσα στους οποίους και ο Neil Gross, ο οποίος προβλέπει: *"Στον επόμενο αιώνα, ο πλανήτης γη θα φορά έναν ηλεκτρονικό δέρμα. Θα χρησιμοποιεί το Internet ως ένα ικρίωμα για την υποστήριξη και μετάδοση των αισθήσεών του. Αυτό το δέρμα βρίσκεται ήδη στη φάση της δημιουργίας του. Αποτελείται από εκατομμύρια ενσωματωμένων ηλεκτρονικών συσκευών μέτρησης: θερμοστάτες, πιεσόμετρα, ανιχνευτές μόλυνσης κάμερες, μικρόφωνα, αισθητήρες γλυκόζης, ηλεκτροεγκεφαλογράφοι, ηλεκτροκαρδιογράφοι. Αυτές θα ερευνούν και θα παρακολουθούν τις πόλεις, τα είδη υπό εξαφάνιση, την ατμόσφαιρα, τα πλοία, τους οδικούς άξονες, και τους στόλους οχημάτων, τις συζητήσεις μας, τα σώματα, ακόμα και τα όνειρά μας."* [17]

Το 2000 η LG ανακοινώνει σχέδια δημιουργίας του καταψύκτη Big Chill, του πρώτου συνδεδεμένου ψυγείου το οποίο θα "αισθάνεται" τα αποθηκευμένα προϊόντα εντός του, σκανάροντας RFID κωδικούς των barcodes τους. [27]

Πρώτη επίσημη αναφορά του όρου στον τύπο, εντοπίζεται στις 18 Μαρτίου 18, 2002 από τους Chana Schoenberger και Bruce Upbin στο ομότιτλο άρθρο "The Internet of Things" του περιοδικού Forbes,

όπου μελετάται η συμβολή του στην εξέλιξη κυρίως του επιχειρησιακού φάσματος [10]. Στο ίδιο πνεύμα, ο Glover Ferguson, επικεφαλής του επιστημονικού τμήματος της Accenture, γράφει στο άρθρο του "Βάλε τα αντικείμενα σου να καλέσουν τα αντικείμενα μου" στο Harvard Business Review: " Δεν αποτελεί υπερβολή να πει κανείς ότι μια μικροσκοπική ετικέτα μπορεί μια μέρα να μεταμορφώσει την ίδια σου την επιχείρηση. Και αυτή η μέρα το πιο πιθανό να μην είναι μακριά." [11] Τον Απρίλιο του ίδιου έτους ο Jim Waldo γράφει στο άρθρο του "Εικονικές Οργανώσεις, Διάχυτος Υπολογισμός και μια υποδομή αιχμής για τη δικτύωση" στην Journal of Information Systems Frontiers: "Το Internet καθίσταται το ύφασμα της επικοινωνίας για συσκευές με υπηρεσίες, οι οποίες με τη σειρά τους μιλούν σε άλλες υπηρεσίες. Οι άνθρωποι καθίστανται ταχέως, μειοψηφία στο διαδίκτυο, και η πλειοψηφία των ενδιαφερομένων μερών είναι υπολογιστικές οντότητες, οι οποίες αλληλεπιδρούν με άλλες υπολογιστικές οντότητες χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση." [Wal02]



Σχήμα 6: Δημοφιλία του όρου από την Google

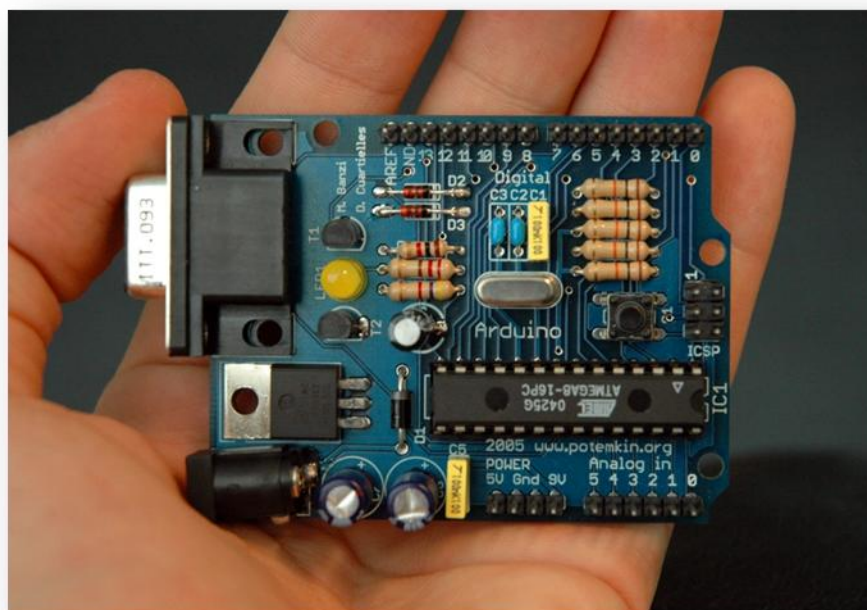
Έκτοτε, ο όρος γνωρίζει μεγάλη δημοσιότητα και πλήθος αναφορών σε εκδόσεις ευρείας κυκλοφορίας, όπως ο Guardian, ο Scientific American και η Boston Globe. Ερευνητικές εργασίες όπως τα Cooltown [18], Internet0 [19], και Disappearing Computer Initiative [20], θέτουν στα πλαίσια των στόχων τους, την εφαρμογή ορισμένων εκ των ιδεών του IoT, με τον όρο να αρχίζει παράλληλα με τον τύπο, να κάνει την εμφάνισή του για πρώτη φορά σε τίτλους και περιεχόμενα βιβλιογραφικών εκδόσεων. Η RFID τεχνολογία, βρίσκει εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα από το αμερικανικό υπουργείο αμύνης, στο πρόγραμμα Savi [21], ενώ η Walmart δείχνει ενδιαφέρον για την αξιοποίησή του στον εμπορικό κόσμο.

Το 2004 ο G.Lawton γράφει στο άρθρο του "Η M2M τεχνολογία ανεβάζει ταχύτητα προς την ανάπτυξη": "Υπάρχουν πολύ περισσότερες μηχανές -ορισμένες ως αντικείμενα με μηχανικά, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικές ιδιότητες- στον κόσμο απ' ότι άνθρωποι. Και ένας επεκτεινόμενος αριθμός μηχανών είναι δικτυωμένος... Η

M2M τεχνολογία βασίζεται στην ιδέα ότι μια μηχανή αποκτά πολύ περισσότερη αξία όταν αποτελεί μέρος ενός δικτύου, και ότι το δίκτυο καθίσταται περισσότερο πολύτιμο εργαλείο με τη σύνδεση περισσότερων μηχανών." [Law04] Παράλληλα οι Neil Gershenfeld, Raffi Krikorian και Danny Cohen εντοπίζουν σε άρθρο τους στο Scientific American, τόσο τα προτερήματα όσο και τις προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει η νέα μορφή του διαδικτύου: "Δίνοντας σε καθημερινά αντικείμενα την ικανότητα σύνδεσής τους σε ένα δίκτυο δεδομένων θα έχει ένα εύρος από οφέλη: να κατασταθεί πιο εύκολο για τους ιδιοκτήτες μιας οικίας να διαμορφώνουν τα φώτα και τους διακόπτες, μειώνοντας το κόστος και την πολυπλοκότητα της οικοδομικής κατασκευής, προσφέροντας παράλληλα βοήθεια με την κατοίκον περίθαλψη. Πολλά εναλλακτικά πρότυπα συναγωνίζονται στην παρούσα στιγμή να κάνουν ακριβώς αυτό - μια κατάσταση που θυμίζει τις πρώιμες μέρες του διαδικτύου, όταν οι υπολογιστές και τα δίκτυα συναντιόνταν σε πολλαπλές ασύμβατες μορφές." [GKC04]

Στο ίδιο πνεύμα ο Robert Weisman γράφει στην Boston Globe: "Το υπέρτατο όραμα, καταστρώθηκε στα πανεπιστημιακά εργαστήρια του MIT και του Berkeley τη δεκαετία του '90, και είναι ένα διαδίκτυο από πράγματα που συνδέουν δεκάδες χιλιάδες πλεγμένων δικτύων αισθητήρων. Θα παρατηρούν το φορτίο σε κοντέινερ, τους αεραγωγούς στα ξενοδοχεία, τα ψάρια σε φορτηγά ψυγεία, τον φωτισμό και τη θέρμανση σε σπίτια και βιομηχανικά πάρκα. Ωστόσο, η αναδυόμενη βιομηχανία αισθητήρων βρίσκεται αντιμέτωπη με έναν αριθμό από εμπόδια, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης ενός προτύπου δικτύωσης, το οποίο μπορεί να συγκεράσει τις ποικίλες εφαρμογές, τον ανταγωνισμό από άλλα ασύρματα πρότυπα, ζητήματα ασφάλειας όσον αφορά την μετάδοση εταιρικών δεδομένων, και κάποια από τις ίδιες ανησυχίες ιδιωτικότητας που ανέκυψαν σε άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες." [14]

Μια ομάδα μελών της πανεπιστημιακής κοινότητας στο Interaction Design Institute Ivrea (IDII) της Ιταλίας, αναπτύσσουν τον Arduino, ένα φθινό και εύκολο στη χρήση μικροελεγκτή μονής πλακέτας, προς χρήση από τους φοιτητές για την ανάπτυξη διαδραστικών εργασιών. Οι Adrian McEwen και Hakim Cassamally σε άρθρο με τίτλο "Σχεδιάζοντας το διαδίκτυο των πραγμάτων": "Συνδυασμένο με μια επέκταση του τρέχοντος λογισμικού περιβάλλοντος, είχε μεγάλο αντίκτυπο στον κόσμο του φυσικού υπολογισμού." [15]



Εικόνα 1: Μικροελεγκτής Arduino

Το 2005, το IoT πετυχαίνει μια ακόμη διάκριση με την πρώτη αναφορά της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union - ITU) σχετικά με το θέμα. Στα πλαίσια αυτής καταγράφεται: "*Μια νέα διάσταση προστέθηκε στον κόσμο της πληροφορίας και των τεχνολογιών επικοινωνιών (ICTs): μετά από την συνδεσιμότητα οποιασδήποτε στιγμής, οποιουδήποτε σημείου, και για τον οποιονδήποτε χρήστη, θα έχουμε πλέον συνδεσιμότητα για το οτιδήποτε. Οι συνδέσεις θα πολλαπλασιαστούν και θα δημιουργήσουν ένα εντελώς νέο και δυναμικό δίκτυο δικτύων - ένα Διαδίκτυο των Πραγμάτων*". [22]

Την ίδια χρονική περίοδο, όντας μπροστά από την εποχή, η Nabaztag [23] (πλέον τμήμα της Aldebaran Robotics) κατασκευάστηκε αρχικά από την εταιρεία Violet και δημιουργήθηκε από τους Rafi Haladjian and Olivier Mével. Ο μικρός λαγός που λειτουργούσε μέσω της WiFi τεχνολογίας, μπορούσε να ειδοποιήσει και να κοινοποιήσει στο χρήστη αναφορές σχετικά με την χρηματιστηριακή αγορά μετοχών, τίτλους ειδήσεων, ειδοποιήσεις αφύπνισης, RSS-Feeds, κτλ. όπως επίσης να συνδεθεί με άλλους. Η δήλωση ήταν "αν μπορείς να συνδέσεις ακόμη και λαγούς, τότε μπορείς να συνδέσεις το οτιδήποτε."

Το διάστημα 2006-2008 είναι μια ακόμη καθοριστική χρονική περίοδος στην πορεία του με την αναγνώριση του από την Ε.Ε. αλλά και το πρώτο ευρωπαϊκό συνέδριο IoT. [24] Ταυτόχρονα, μια σειρά εταιριών συνασπίζονται στην IPSO Alliance [25] για την προώθηση της χρήσης του IP πρωτοκόλλου στα δίκτυα των "έξυπνων αντικειμένων" ως μέσο ώθησης στο IoT. Η "συμμαχία" αυτή μετρά περισσότερες από 50 εταιρείες-μέλη σήμερα, συμπεριλαμβανομένων τεράστιων εμπορικών κολοσσών όπως Bosch,

Cisco, Ericsson, Intel, SAP, Sun, Google και Fujitsu. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (FCC) εγκρίνει την απελευθέρωση της χρήσης του φάσματος που αποκαλείται "white space", κάτι που παράλληλα με τον ερχομό της ψηφιακής εποχής της τηλεόρασης υπόσχεται την παροχή ασύρματου ευρυζωνικού Internet μέσω των αχρησιμοποίητων, ήδη υπαρχόντων συχνοτήτων της ψηφιακής τηλεόρασης. Οι ταχύτητες πρόσβασης που υπόσχονται είναι της τάξης των 80MB/sec για κατέβασμα δεδομένων, απαιτούμενο για την υποστήριξη του όγκου της πληροφορίας που απαιτεί το IoT.

Αν και όπως είδαμε η γέννηση του IoT τοποθετείται πολύ πίσω στο χρόνο, σύμφωνα με την IBSG ομάδα της Cisco, το Διαδίκτυο των πραγμάτων δημιουργήθηκε μεταξύ 2008 και 2009 σε εκείνο το χρονικό σημείο όπου τα "αντικείμενα ή πράγματα" που ήταν συνδεδεμένα στο Internet ήταν πολλά περισσότερα από τους ανθρώπους. Αναφερόμενοι στην ανάπτυξη των smartphones, tablets, κλπ, ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών στο διαδίκτυο ανέρχεται στα 12,5 δισεκατομμύρια το 2010 όταν ο ανθρώπινος πληθυσμός του κόσμου αυξήθηκε μόλις στα 6.8 δισεκατομμύρια, αυξάνοντας τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών ανά άνθρωπο, σε περισσότερες της μίας, για πρώτη φορά στην ιστορία. [26]

Το έτος 2010, η Nest κατασκευάζει το πρώτο αυτόματο αμάξι, ένα τεράστιο βήμα-ορόσημο προς την κατασκευή ενός συνδεδεμένου και αυτόνομου αυτοκίνητου οχήματος. Ένα χρόνο μετά η Google παρουσιάζει προγραμματίσιμους θερμοστάτες και συστήματα εντοπισμού καπνού τα οποία βασίζουν την λειτουργία τους σε αισθητήρες, σε ασύρματα WiFi δίκτυα και διαδικασίες αυτόεκπαίδευσης. [27]

Μέχρι το 2013, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είχε εξελιχθεί σε ένα σύστημα χρήσης πολλαπλών τεχνολογιών, εύρους από το Internet ως την ασύρματη επικοινωνία και από τα μικρο-ηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) στα ενσωματωμένα συστήματα. Οι παραδοσιακοί κλάδοι του αυτοματισμού (συμπεριλαμβανομένου τους αυτοματισμού κτηρίων και οικιών), τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, το GPS, τα συστήματα ελέγχου και άλλα, όλα υποστηρίζουν το IoT.

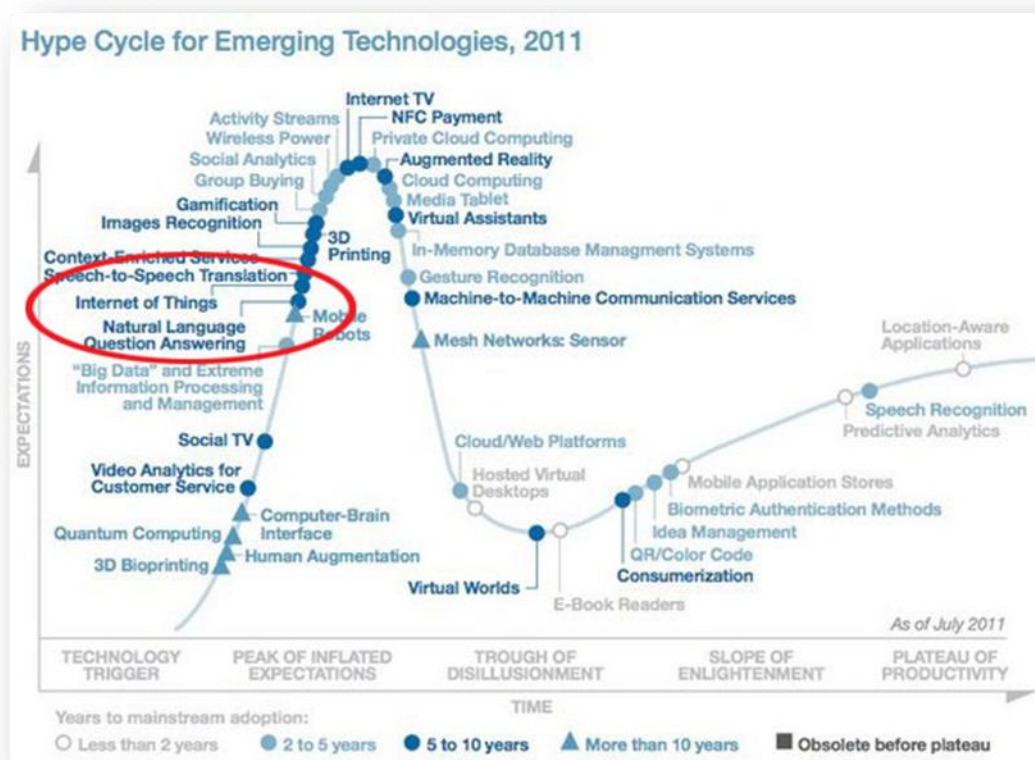
Το 2014 η Amazon επεκτείνει την ιδέα της παράδοσης προϊόντων αξιοποιώντας μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones) ανακοινώνοντας μια ακόμη πιο βέλτιστη συνθήκη επιλογής της από τους πελάτες. [34,35] Συλλέγοντας δεδομένα από τα επιλεγμένα προϊόντα πιθανής αγοράς των χρηστών, τις πρόσφατες αγορές αλλά και τις συνηθισμένες επιλογές άλλων χρηστών, η Amazon στοχεύει στην συντομότερη μετακίνηση και συγκέντρωση αυτών των προϊόντων σε πραγματικό τρέχοντα χρόνο, σε κοντινή απόσταση από τον χρήστη. Αξιοποιώντας στατιστικά και πιθανοτικά μοντέλα, μπορεί να προβλεφθεί το αν η αγορά ενός προϊόντος θα γίνει πράξη και αναλόγως να κινητοποιήσει νωρίτερα την διαδικασία μεταβίβασης του προς τον χρήστη μειώνοντας το χρόνο αναμονής του.

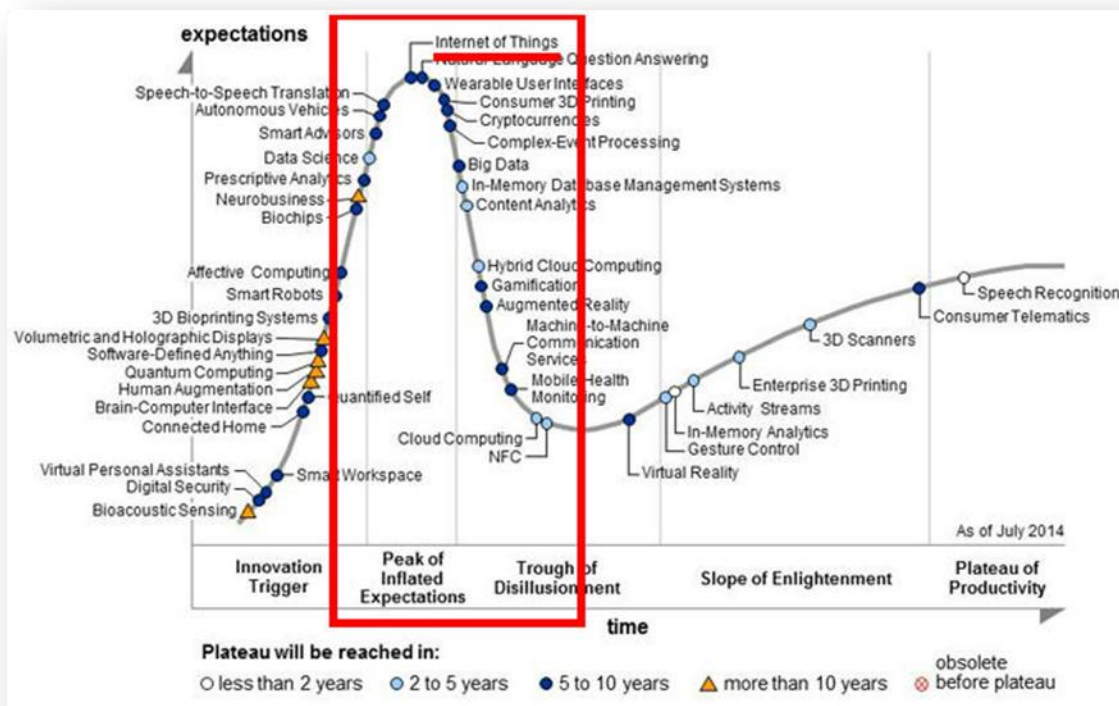
Σημαντική εξέλιξη ενός ακόμη οργάνου του IoT είναι η ανακοίνωση του πρώτου οπτικού φακού επαφής οποίος θα μπορεί να μετρά τα επίπεδα γλυκόζης στο δάκρυ του χρήστη, παρέχοντας ενημέρωσή του μέσω smartphone [39].

Παράλληλα, το εύρος της εξάπλωσης του IoT καταδεικνύεται και από την ανακοίνωση το 2015, της κατασκευής της πρώτης διαδραστικής Barbie κούκλας [37,38], η οποία θα μπορεί να συνδεθεί με το διαδίκτυο και αξιοποιώντας δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης όχι απλώς θα ακούει αλλά και θα δίνει απαντήσεις σε φυσική γλώσσα στο παιδί, με παρόμοιο τρόπο σε σχέση με τις εφαρμογές Siri, Now και Cortana των Apple, Google και Microsoft αντιστοίχως. Ωστόσο ο αμερικανός ερευνητής θεμάτων ασφαλείας Matt Jakubowski, ανακάλυψε ότι με τη σύνδεση της στο διαδίκτυο, η κούκλα καθίστατο ευάλωτη σε διαδικασίες υποκλοπής, επιτρέποντας σε κάποιον να αποκτήσει πρόσβαση στο σύστημα πληροφοριών της κούκλας και να ελέγξει τόσο τα αποθηκευμένα αρχεία ήχου, και τις πληροφορίες αγοράς ή/και κατοικίας διαμονής, όσο και την άμεση χρήση του μικροφώνου.

2.4 ΤΟ ΙΟΤ ΣΕ ΑΡΙΘΜΟΥΣ

Στο σήμερα, το IoT βρίσκεται ακόμη σε αναπτυξιακή φάση, διανύοντας τα πρώτα σταθερά του βήματα. Εταιρείες όπως οι Cisco, IBM και Ericsson παίρνουν πολλές πρωτοβουλίες όσον αφορά την εκπαιδευτική και την εμπορική σκοπιά του αντικειμένου. Το 2011 ο όρος του ΔτΠ προστέθηκε στο ετήσιο Gartner Hype Cycle που ιχνηλατεί τον κύκλο ζωής τεχνολογιών από το στάδιο της πυροδότησης της ιδέας τους ως το παραγωγικό τους τμήμα. [2] Ένας κύκλος Hype [82] αποτελεί έναν τρόπο αναπαράστασης την ανάδυση, την υιοθέτηση, την ωρίμανση και τον αντίκτυπο συγκεκριμένων τεχνολογιών. Το 2014 ανέβηκε στην κορυφή της λίστας των πιο πολλά υποσχόμενων τεχνολογιών.





Σχήμα 7: Ο κύκλος Gartner 2011, 2014

Το ΔτΠ αποτελεί θεμέλιο λίθο πλέον σε κοινότητες ώριμες στα σημερινά κοινωνικά δίκτυα, όπως το LinkedIn. Η Ευρώπη δείχνει συνεχές ενδιαφέρον και υποστήριξη στο θέμα με ποικίλα προγράμματα όπως τα ICT-FP7 Work Programme, IoT-A & digital future με χαρακτηριστικότερη όλων, την κίνηση του Ηνωμένου βασιλείου όπου η επένδυση στην ανάπτυξη του IoT λαμβάνει το ποσό των 5εκατομμυρίων στερλινών αλλά και της Κίνας όπου η χρηματοδότηση και η υποστήριξη αναπτυξιακής έρευνας του τομέα του IoT στα ιδρύματα της χώρας είναι συνεχής. [2]

Όπως μαρτυρούν οι αριθμοί και τα στοιχεία, η παγκόσμια αγορά φορετών συσκευών γνώρισε επέκταση της τάξης του 223% το 2015 με 3,6 εκατομμύρια πωλήσεων smartwatches από την Apple, και 4,4 εκατομμύρια ανάλογων προϊόντων στοχευμένων στην άθληση, από την Fitbit. Εν παραλλήλω, εταιρείες κολοσσοί, όπως οι Google και Samsung, επενδύουν σημαντικό μερίδιο της εργασίας τους σε οικιακές συσκευές, όπως καταδεικνύεται από την κίνηση την αγορά της κατασκευαστικής εταιρείας θερμοστατών "Nest Labs" από την Google έναντι 3,2 δισεκατομμυρίων δολαρίων, καθώς και της εταιρείας συνδεδεμένων οικιακών συσκευών "Smart things" από την Samsung για 200 εκατομμύρια δολάρια. [29]

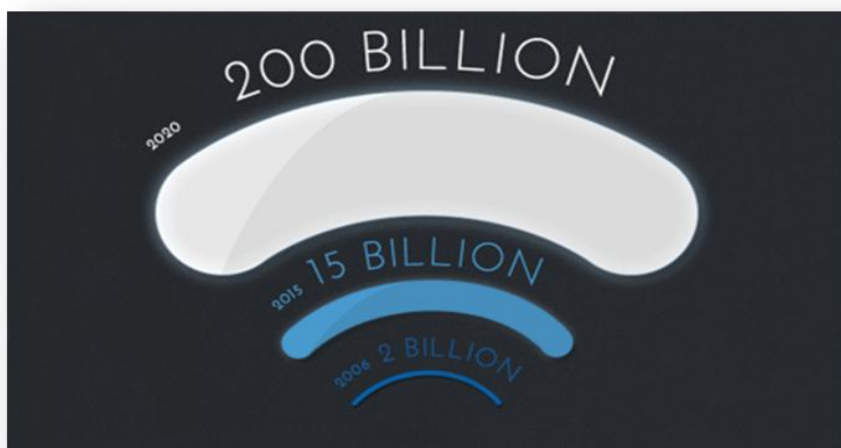
Σύμφωνα με μια αναφορά του Business Insider Intelligence σχετικά με το μέλλον του διαδικτύου:

" Το IoT θα μετρά έναν αυξανόμενο μεγάλο αριθμό συνδέσεων: 1,9 δισεκατομμύρια συσκευών σήμερα, και 10 δισεκατομμύρια μέχρι το 2018." [28] Μέχρι το 2020 αναμένεται 250 χιλιάδες οχήματα να είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις το IoT θα προσθέσει 10 - 15 τρισεκατομμύρια δολάρια στο παγκόσμιο ΑΕΠ στα επόμενα 20 χρόνια. [29] Ο διευθύνων σύμβουλος της Cisco, John Chambers προβλέπει ότι το Διαδίκτυο των Πάντων (Internet of Everything) όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά σε αυτό, θα φέρει αξία ύψους 19 τρισεκατομμυρίων δολαρίων στο εγγύς μέλλον, ένα

μέλλον όπου τα αντικείμενα από μία οικία έως ένα ολόκληρο αεροδρόμιο θα γνωρίζουν τις προτιμήσεις των ανθρώπων και θα θέτουν τον εαυτό τους σε συγκεκριμένες καταστάσεις για την βέλτιστη χρήση τους από την εκάστοτε μονάδα. [28]

Κατά τα τελευταία χρόνια, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, εξελίχθηκε από μια δελεαστική σύλληψη σε μια ταχέως αναπτυσσόμενο δίκτυο συσκευών και μηχανών. Όσο όλο και περισσότερα αντικείμενα συνδέονται στο Internet - από παρακολουθητές φυσικής δραστηριότητες και συστήματα οικιακού φωτισμού μέχρι βιομηχανικές μηχανές και αεροναυπηγική - ο πήχης ανεβαίνει εκθετικά ψηλότερα. Η Cisco εκτιμά ότι τον Απρίλιο του 2014 σχεδόν 12,1 δισεκατομμύρια διαδικτυακές συσκευές βρίσκονταν συνδεδεμένα σε χρήση, ένα νούμερο που αναμένεται να σκαρφαλώσει στο πενταπλάσιο μέχρι το 2020. Η εταιρία δικτύων σημειώνει επίσης ότι περί τα 100 αντικείμενα συνδέονται στην παρούσα φάση κάθε δευτερόλεπτο στο διαδίκτυο, και αναμένεται να φτάσει τα 250 ανά δευτερόλεπτο μέχρι το 2020. Απώτερος στόχος είναι ο ιστός του IoT να περιβάλλει περί το 99% των αντικειμένων που σήμερα μεταφράζεται περίπου σε 1,5 τρισεκατομμύρια αντικείμενα. [CXL+14] Μια ακόμη πιο αισιόδοξη πρόβλεψη έρχεται από την Intel, που κάνει λόγο για 200 εκατομμύρια συσκευές μέχρι το 2020, ενώ τοποθετεί την συνολική παγκόσμια αξία της IoT τεχνολογίας στα 6,2 τρισεκατομμύρια δολάρια, το έτος 2025, με το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αξίας να προέρχεται από συσκευές του υγειονομικού κλάδου (2,5 τρισεκατομμύρια) και των κατασκευών (2,3 τρισεκατομμύρια). [40]

Τέλος στο κομμάτι των αυτοκινήτων, αξίζει να σημειωθεί πως οι Lyft και η G.M. σχεδιάζουν την έκδοση πειραματικών αυτόνομων ταξί το 2017, ενώ στόχος των BMW, Ford & Volvo, είναι η παραγωγή πλήρως αυτόνομων οχημάτων. Σύμφωνα πάντως με εκτιμήσεις της Gartner, το 80% όλων των νέων οχημάτων θα απολαμβάνει συνδεσιμότητα στα δεδομένα μέχρι το 2020. [41,42,43]



Σχήμα 8: Αριθμός IoT συσκευών

Όσο όλο και περισσότερες εταιρείες συνδέουν τα προϊόντα τους στο διαδίκτυο και οι αγορές των μοντέρνων και βιομηχανοποιημένων χώρων διαποτίζονται με τις ιδέες του IoT, θα δημιουργηθούν συσκευές προς βοήθεια όσων πραγματικά αγωνίζονται και θα ωφεληθούν από ένα σύστημα διασυνδεδεμένων μηχανών - πιθανώς ένα σύστημα άρδευσης που αλληλεπιδρά με την πρόβλεψη του καιρού και την τοπική εγκατάσταση ύδρευσης για την υγιεινή των πολιτών αλλά και την φροντίδα των εκτρεφόμενων ζώων. Μέσα από μια καλύτερη διαχείριση του υδάτινου ορίζοντα, οι αγρότες μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη σοδειά του αλλά και να διευρύνουν τον κύκλο του αγοραστικού κοινού τους μέσα από ένα online σύστημα ή ένα σύστημα εντοπισμού της παραγωγής σιτηρών. Η εφαρμογή τέτοιων συσκευών σε διαφορετικά περιβάλλοντα είναι αναπόφευκτη, επομένως, είναι θέμα χρόνου οι εταιρείες να καταλάβουν τις ευκαιρίες επένδυσης στο IoT.

Σύμφωνα με μια έρευνα παγκόσμιας κλίμακας, 800ων περίπου ηγέτιδων επιχειρήσεων, το 96% απάντησε πως οι εταιρία τους σκόπευε να ενσωματώσει το IoT στον κύκλο εργασίας της στα επόμενα 3 χρόνια, το 76% των εκπροσωπούμενων εταιριών βρίσκονται ήδη σε φάση διερεύνησης χρήσης του IoT σε εσωτερικές εργασίες (74% σε εξωτερικές), το 68% επενδύουν ήδη μέρος του προϋπολογισμού τους στις τεχνολογίες του IoT, ενώ τέλος το 17% χρησιμοποιούν ήδη το IoT σε εξωτερικές εργασίες (προϊόντων ή/και υπηρεσιών) ή πρόκειται να το ακολουθήσουν. [44]

Σε μια προσπάθεια προώθησης του ΔτΠ, η εταιρεία δικτύων Cisco, στην οποία έγινε αναφορά στα αρχικά κεφάλαια, εξέδωσε ένα σύνολο παραγόντων-συνιστωσών που συντηρούν και ενισχύουν την συντηρητική πρόβλεψη των 14,4 τρισεκατομμυρίων δολαρίων για την προοπτική ύψους των κερδών του IoT στο διάστημα 2013-2022. Αναλυτικά, υποστηρίζει πως το IoT θα συγκεντρώσει:

- 3τρισεκατομμύρια δολάρια λόγω της καινοτόμου ικανότητας του να μειώσει το χρόνο των εργασιών αγοράς
 - 3,7 τρισεκατομμύρια δολάρια λόγω βελτίωσης της καταναλωτικής εμπειρίας αλλά και της αύξησης της καταναλωτικής βάσης
 - 2,7 τρισεκατομμύρια δολάρια λόγω περιορισμού της φύρας και της αναδιοργάνωσης των λογιστικών εγγραφών των αποθηκών των γραμμών παραγωγής
 - 2,5 τρισεκατομμύρια δολάρια λόγω βελτίωσης της παραγωγικότητας στην εργασία
- και
- 2,5 τρισεκατομμύρια δολάρια λόγω ορθότερης αξιοποίησης του ενεργητικού των επιχειρήσεων, μειώνοντας τα κόστη.

Προς υποστήριξη των παραπάνω, παρουσίασε 8 σημαντικές και πραγματικές περιπτώσεις εταιριών που αξιοποίησαν τα θετικά του IoT και που τα τρέχοντα κέρδη τους αποτελούν τα 6,18 τρις του παραπάνω στόχου κέρδους. Χαρακτηριστικά αναφέρει τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- 1) Έξυπνες παραγωγικές μονάδες (1,95 τρις)
- 2) Μάρκετινγκ και διαφήμιση (1,95 τρις)
- 3) Smart grid (757 δις)
- 4) Παιχνίδια και ψυχαγωγία (635 δις)
- 5) Έξυπνα κτήρια (359 δις)
- 6) Εμπορικά οχήματα εδάφους (347 δις)
- 7) Υγειονομικές επιχειρήσεις (106 δις)
- 8) Ιδιωτική εκπαίδευση (78 δις)

Στην εποχή της πληροφορίας όπως αποκαλείται, η τεχνολογία αλλάζει τον τρόπο που ζούμε. Στη δεκαετία του '70 ήταν οι κεντρικοί υπολογιστές (mainframes). Τη δεκαετία του '80, οι προσωπικοί υπολογιστές. Με τη νέα χιλιετία ήρθε η άνοδος των κοινωνικών δικτύων. Σήμερα είναι η ευκαιρία του Διαδικτύου των πραγμάτων να φέρουν την επανάσταση στον τρόπο ζωής μας.

Η πραγματική ερώτηση λοιπόν ίσως είναι ποιος δεν θα συμμετέχει, καθώς ορισμένα από τα μεγαλύτερα ονόματα του IT σήμερα δουλεύουν πάνω στο IoT, τις υπηρεσίες και τα προϊόντα του. Οι Samsung, LG, Apple, Google, Lowe & Philips είναι μόνο ένα μέρος εξ' αυτών που εργάζονται σε συνδεδεμένες συσκευές όπως επίσης και μικρότερες ή νεοφυείς (start-up) εταιρείες.

2.5 ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΤΠ

Το μεγαλύτερο κομμάτι των έξυπνων IoT συσκευών, ακριβώς όπως στα πρώιμα στάδια των κεντρικών υπολογιστών, δε βρίσκονται στα χέρια φυσικών προσώπων αλλά στα χέρια βιομηχανιών, εταιρειών και των φορέων του υγειονομικού τομέα. Ο λόγος δεν είναι άλλος από το ότι δίνεται προτεραιότητα σε αυτούς του χώρους, όπου η βελτίωση έρχεται ως ανάγκη και όχι πολυτέλεια, καθώς τα δεδομένα που χρειάζονται στην παρακολούθηση των εμπορευματικών αποθηκών, την διαχείριση των μηχανών, την αύξηση της αποδοτικότητας, τον περιορισμό του κόστους ή τη διάσωση μιας ανθρώπινης ζωής, είναι ζωτικής σημασίας.

Σύμφωνα με στοιχεία της Intel [40], το 40,2% αφορά σε συσκευές που χειρίζονται δεδομένα διαδικασιών ανάλυσης αλυσίδων παροχής προϊόντων επιχειρήσεων και κατασκευαστικών εταιρειών σε πραγματικό χρόνο. Το 30,3% εντοπίζεται στον υγειονομικό κλάδο με φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγείας του ατόμου, ηλεκτρονικής καταγραφής βιομετρήσεων και παρακολούθησης φαρμακαποθηκών. Το 8,3% αφορά τον εμπορικό κλάδο, με παρακολούθηση αποθηκευτικών χώρων, αγορές μέσω έξυπνων τηλεφώνων, και διαδικασιών ανάλυσης των καταναλωτικών συνηθειών. Ακόμη, το 7,7% αφορά

ζητήματα ασφάλειας, με την στράτευση των συσκευών σε θέματα βιομετρικής, κλειδαριές αναγνώρισης προσώπου, απομακρυσμένων αισθητήρων κλπ.

Από καθαρά τεχνική σκοπιά ο διάσπαρτος εξοπλισμός του IoT σε όλους τους παραπάνω κλάδους αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη:

- αισθητήρες (sensors)
- ενεργοποιητές (actuators)
- ελεγκτές (controllers)
- δίκτυο ελέγχου (control network)

Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές όντας ενσωματωμένοι ή προσαρμοσμένοι στις συσκευές, δίνουν τη δυνατότητα της καταγραφής αλλά και της εκκίνησης μιας διεργασίας της ελεγχόμενης συσκευής στα πλαίσια του αυτοματισμού, συγκεντρώνοντας δεδομένα αλλά και εκτελώντας εντολές βάσει αυτών. Αυτοί συναντώνται σε πάρα πολλές εκδοχές όπως στις φορετές συσκευές (wearables), όπου βρίσκονται ενσωματωμένοι σε αναλώσιμα είδη όπως ένδυσης, υπόδησης, ρολόγια χειρός κλπ. Μια άλλη κατηγορία είναι αυτή των παρατηρητών άμεσου περιβάλλοντος όπως οι κάμερες, οι διακόπτες επαφής και ταυτοποίησης, οι ανιχνευτές κίνησης ή πίεσης κλπ.

Ένα αναπόσπαστο κομμάτι του ΔτΠ είναι και ο έλεγχος. Ένα δίκτυο ελεγκτών κοντινής ή απομακρυσμένης δράσης, σκιαγραφεί τη σύνδεση μεταξύ των συσκευών συντονίζοντας ή ανατροφοδοτώντας και προωθώντας την ροή της πληροφορίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου, εκμεταλλευόμενο τα πλεονεκτήματα ασύρματης ή/και ενσύρματης μετάδοσης μέσω πχ της επικοινωνίας γραμμής ρεύματος στα πλαίσια του smart grid. Ο έλεγχος συντελείται συχνά από ένα συνεχώς ενεργό λογισμικό ή ένα συνδεδεμένο τερματικό που τρέχει απρόσκοπτα μια εφαρμογή παρακολούθησης.

Το φάσμα του IoT συμπεριλαμβάνει μια τεράστια ποικιλία συνδεδεμένων αντικειμένων, σύγχρονης αλλά και πεπαλαιωμένης τεχνολογίας, μικροσκοπικών έως γιγαντιαίων. Περιλαμβάνει την "έξυπνη σκόνη" (smart dust), υπολογιστές μικρότερους από έναν κόκκο άμμου, οι οποίοι μπορούν μέσω ψεκασμού ή ενέσιμης μορφής, να εισχωρήσουν οπουδήποτε, προς μέτρηση χημικών χαρακτηριστικών εδάφους ή/και προς διάγνωση προβλημάτων στο ανθρώπινο σώμα. Επεκτείνοντας την εικόνα μακροσκοπικά, ως μια συνολική συσκευή, μπορεί να θεωρηθεί μια ολόκληρη έξυπνη πόλη. Σταθεροί αλλά και κινητοί αισθητήρες, διασκορπισμένοι στα πλαίσια ενός άστεως, συνθέτουν σε πραγματικό χρόνο τη μεγάλη εικόνα των εκάστοτε τρεχουσών συνθηκών στην πόλη, προσφέροντας μια αξιοσημείωτη δυνατότητα γρήγορης αντιμετώπισης αλλά και πρόγνωσης κρίσιμων συνθηκών ή ζητημάτων.

Όπως ειπώθηκε, στους κόλπους του IoT σύμπαντος, γνώριμες συσκευές, όχι και τόσο φρέσκων τεχνολογιών, που δύνανται να επεκτείνουν τη λειτουργία τους είναι οι απανταχού ταμειακές συσκευές των ΑΤΜ, οι οποίοι από το 1974 κι έπειτα έχουν συνδεθεί σε ένα κοινό δίκτυο. Αξίζει να σημειωθεί πως

από το 1972 μέσα από την πατέντα του Θεόδωρου Παρασκευάκου το IoT, μπορεί να αξιοποιεί μέσα όπως οι έξυπνοι μετρητές (smart meters), για την καταμέτρηση ενεργειακών καταναλώσεων και την επικοινωνία αυτών από απομακρυσμένα σημεία, συνθέτοντας το πλέγμα του smart grid που διατρέχει μια πόλη κι ευρύτερα ένα ολόκληρο κράτος. Οπωσδήποτε όμως, το κυριότερο και πιο μεγάλο κομμάτι συμμετοχής πέφτει στα μόντεμ και τους προσωπικούς υπολογιστές που από το 1991 συνδέθηκαν υπό ένα κοινό ιστό φέρνοντας την επανάσταση τόσο σε ζητήματα υπολογισμού όσο και τηλεπικοινωνίας.

Παράλληλα, η ανάπτυξη των έξυπνων τηλεφώνων έδωσε το έναυσμα για τη δημιουργία και άλλων, νέων συσκευών οι οποίες πατώντας σε κάτι παλιό, προβαίνουν σε τροποποίησή του μεταβιβάζοντας το στην ψηφιακή εποχή. Ένα τέτοιο, είναι και οι ψηφιακές κλειδαριές (digital locks), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το απομακρυσμένο κλείδωμα και το ξεκλείδωμα ενός χώρου, μέσω smartphone, επιτρέποντας σε ιδιοκτήτες ακινήτων να αλλάζουν κωδικούς ασφαλείας κατά το δοκούν επιτρέποντας ή απαγορεύοντας την πρόσβαση τρίτων στον ελεγχόμενο χώρο.

Με τη σύνδεση των παραπάνω συστατικών μερών, ως συσκευές, μπορούν να θεωρηθούν συστήματα συσκευών που συγκεντρώνονται εντός του κατασκευαστικού σκελετού ενός οικοδομήματος, εφεξής έξυπνου κτηρίου (smart building), το οποίο θα επιτρέπει σε ιδιοκτήτες αλλά και ενοίκους του "να παρακολουθούν, να διαχειρίζονται αλλά και να συντηρούν όλες εκείνες τις πλευρές του κτηρίου που επηρεάζουν θέματα λειτουργίας, ενέργειας αλλά και άνεσης" όπως χαρακτηριστικά διατυπώνει το Ινστιτούτο Έξυπνων Κτηρίων (Smart Buildings Institute), το οποίο διαθέτει πιστοποιημένα κτήρια στη Σαουδική Αραβία αλλά και το San Salvador.

Εν κατακλείδι, αξίζει να σημειωθεί πως, με τις IoT συσκευές να μπορούν πλέον να συλλέγουν δεδομένα από το ανθρώπινο σώμα με απίστευτη ευκολία, ήδη έχουν γίνει οι πρώτες ερευνητικές εργασίες που στόχο έχουν να πάνε τη διαδικασία ένα βήμα παρακάτω. Το επόμενο αυτό βήμα, δεν είναι άλλο από την κατάσταση πέραν των υπολοίπων οργάνων, και του ανθρώπινου εγκεφάλου ως μια τέτοια συσκευή. Ως γνωστόν ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελεί ένα σύμπλεγμα ηλεκτρικών σημάτων που συντελούνται στις συνάψεις του. Η σκέψη πίσω από την αξιοποίησή του έγκειται στην δυνατότητα εκμετάλλευσης των σημάτων αυτών -χωρίς καν να επέμβει κανείς εγχειρητικά στο σώμα του για την ενσωμάτωση κάποιου τσιπ- για τον έλεγχο και την επικοινωνία του με τις υπόλοιπες συσκευές. [47,48,49,50] Ως τέτοιες θα μπορούσαν να θεωρηθούν τεχνητά μέλη στο σώμα ενός ατόμου. Καθώς το κεντρικό νευρικό σύστημα δέχεται πληροφορία αφής και ιδιοδεκτικότητας από αισθητήρια νεύρα, η εντολή κίνησης μεταφέρεται στους μύες, προκαλώντας την κίνηση. Αυτό το νέο σύνολο που φωτίζεται μέσω του IoT μπορεί να προκαλέσει προηγμένες, ριζικές αλλαγές τόσο στον τρόπο διαβίωσης αλλά και στους τρόπους διάσωσης μιας ανθρώπινης ζωής.

2.5.1 Τεχνολογίες δόμησης του IoT

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το IoT είναι ο δημοφιλής όρος που χρησιμοποιείται ευρέως για να περιγράψει την ικανότητα μηχανών και άλλων συσκευών να "μιλούν" το ένα με το άλλο και να στέλνουν δεδομένα σε IT συστήματα μέσω του διαδικτύου. Ένα παράδειγμα τέτοιας αλληλεπίδρασης, είναι οι τηλεπικοινωνίες. Το IoT καθίσταται εφικτό χάρη σε οικονομικά επιτεύγματα της τεχνολογίας αισθητήρων, όπως chips αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων & τα ευρύτατα διαδεδομένα Wi-fi και κυψελωτά δίκτυα, μέσω των οποίων η συλλογή δεδομένων και η αξιοποίησή τους από υπολογιστικά συστήματα καθίσταται εφικτή. Χάρη στην εξάπλωση ανοιχτών ασύρματων τεχνολογιών όπως το Bluetooth, οι ετικέτες ταυτοποίησης ραδιοσυχνοτήτων RFID και το WiFi, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων τείνει να αλλάξει εντελώς την εικόνα που έχουμε ως τώρα για τα όρια εφικτού και φαντασίας.

Τα πρώιμα στάδια του IoT όπως είδαμε, εστιάζουν σε τεχνολογίες επικοινωνίας μηχανής προς μηχανή, που εκμεταλλεύονται την RFID τεχνολογία αναγνώρισης ετικετών. Ένα σύστημα αναγνώρισης βασισμένο στα ραδιοκύματα, αποτελείται από τους RFID αναγνώστες (readers) και τις RFID ετικέτες (tags), με κάθε ετικέτα να φέρει ένα μοναδικό αναγνωριστικό και να εφαρμόζει σε ένα αντίστοιχα μοναδικό αντικείμενο μέσω μικροηλεκτρονικών μικροτσίπ. Οι αναγνώστες προκαλούν την μετάδοση, παράγοντας ένα κατάλληλο σήμα προς αναζήτηση απάντησης από ετικέτες του εγγύτερου χώρου, χωρίς οι τελευταίες να είναι απαραίτητως σε ακτίνα οπτικής επαφής. [Vog02] Ανάλογα με το σύστημα ενεργειακής τροφοδότησής τους, οι ετικέτες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: παθητικές, ημι-παθητικές και ενεργητικές. Οι παθητικές απορροφούν ενέργεια από το αποσταλθέν σήμα ενός κοντινού αναγνώστη για να αποστείλουν το ίχνος τους, σε αντίθεση με τις ενεργητικές που φέρουν ενσωματωμένες πηγές ικανοποίησης των ενεργειακών τους αναγκών. Οι ημι-παθητικές φέρουν πηγές οι οποίες καλύπτουν μόνο ένα μέρος της λειτουργίας τους, συνηθέστερα αυτό της λήψης του σήματος, ικανοποιώντας την αποστολή πάλι μέσω αξιοποίησης της ισχύος του λαμβανομένου.

Στην πιο πλούσια χρονική στιγμή της έκρηξης του ΔτΠ, το 1999 καταγράφεται η δημιουργία του πρώτου πρωτοκόλλου M2M πρωτοκόλλου MQ Telemetry Transport (MQTT), από τους Andy Stanford της IBM και τον Arlen Nipper της Arcom (σημερινή Eurotech). [27] Όπως καταδεικνύει και η εργασία του Auto-ID, ο Ashton πίστευε πολύ σθεναρά στη δύναμη της αναγνώρισης μέσω ραδιοκυματικής συχνότητας (της RFID τεχνολογίας όπως επικράτησε) ως προαπαιτούμενο για το ΔτΠ. Υποστήριζε πως αν όλες οι συσκευές έφεραν από μια ετικέτα (RFID tagged), οι υπολογιστές θα μπορούσαν να διαχειριστούν, να εντοπίσουν και να τα αποθηκεύσουν. Ως ένα βαθμό, η ουσία της σκέψης του στο σήμερα, έχει υλοποιηθεί μέσα από τεχνολογίες όπως το ψηφιακό υδατογράφημα, barcodes, και οι κωδικοί γρήγορης απάντησης QR codes (Quick response codes).

Τα δίκτυα των αισθητήρων, τα οποία είναι το άλλο μεγάλο δομικό στοιχείο του ΔτΠ, συνεργάζονται με τα τα RFID συστήματα για τον καλύτερο εντοπισμό της κατάστασης των αντικειμένων, όπως της θέσης ή της θερμοκρασίας τους. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από έναν αριθμό αισθητήριων κόμβων τα οποία αναφέρουν τα "ευρήματά τους" συνήθως σε ένα μικρό αριθμό συγκεντρωμένων κόμβων, οι οποίοι κατά τη λογική της στοίβας των πιάτων, ονομάζονται sinks. [ASS+02] Για την κάλυψη όλου αυτού του αναγκαίου όγκου επικοινωνίας, αναπτύχθηκαν τεχνολογίες και πρωτόκολλα, που εξασφαλίζουν αποτελεσματικότητα, κλιμάκωση, αξιοπιστία και ευρωστία.

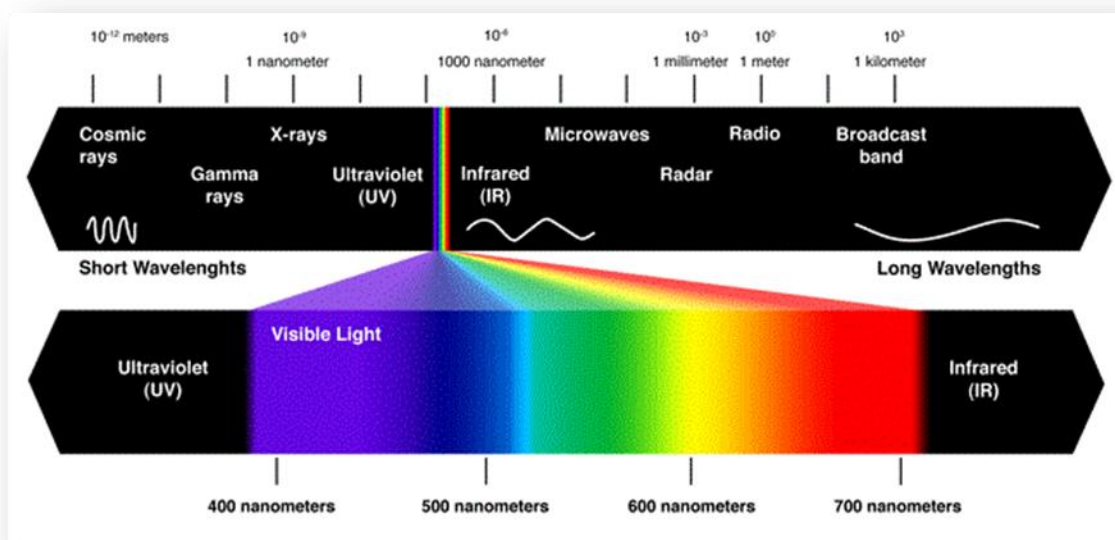
Τα πραγματικά αντικείμενα αλλά και οι αισθητήρες ενσωματωμένοι ή προσκολλημένοι επί αυτών, είναι συνδεδεμένα στο Internet μέσω ενσύρματων και ασύρματων συνδέσεων. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιούν ποικίλους τύπους συνδέσεων τοπικού χαρακτήρα πλην της RFID όπως οι NFC, Wi-Fi, Z-Wave, Bluetooth, και Zigbee. [62] Οι αισθητήρες δύνανται να έχουν ακόμη και πιο πλατεία εφαρμογή σύνδεσης μέσω των τηλεπικοινωνιακών GSM, GPRS, 3G & LTE τεχνολογιών. Οι διεπαφές αυτές είναι πλήρως ενσωματωμένες επί του παρόντος, και υποστηρίζονται από πολλές ελεγχόμενες πρίζες, διακόπτες και οικιακές συσκευές, ενώ ο έλεγχος από έξυπνα τηλέφωνα ή tablets είναι κοινός τόπος.

Σημαντικό ερευνητικό βήμα αποτέλεσε το 2003, η εργασία των Bernard Traversat και λοιπών, με τίτλο "Project JXTA-C: Enabling a Web of Things" όπου το εν λόγω έργο παρουσιάζεται ως έναν ανοιχτού κώδικα πρόγραμμα που "θα καθορίσει ένα πρότυπο σύνολο πρωτοκόλλων για ad hoc, διάχυτο, peer-to-peer υπολογισμό, ως βάση του επερχόμενου Δικτύου των πραγμάτων. [TAD+02]

Το 2010 συστήνεται στο επιστημονικό κοινό το Bluetooth Low Energy (BLE), που καθιστά δυνατές τις εφαρμογές του IoT στο κομμάτι της φυσικής κατάστασης, της υγείας, της ασφάλειας και των εταιριών οικιακής ψυχαγωγίας. Παράλληλα, μηχανικοί του πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον, εξέλιξαν την Wi-Fi τεχνολογία, με την εφεύρεση ενός συστήματος, 10 χιλιάδες φορές λιγότερη ενέργεια από τους σύγχρονους δρομολογητές (routers), [76] ανοίγοντας το δρόμο για την τοποθέτηση αισθητήρων χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων κατανάλωσης, πρακτικά στο οτιδήποτε. Ένα ακόμη σύστημα, το Power over Wi-Fi (PO Wi-Fi), [77] καθιστά εφικτή τη μετατροπή ενός Wi-Fi σήματος σε συνεχές ρεύμα, επιτρέποντας την τροφοδότηση μιας οποιασδήποτε συσκευής από τη ραχοκοκαλιά του IoT, το ασύρματο δίκτυο. Υπό αυτή την έννοια το σύστημα των συσκευών θα λειτουργεί και θα αυτοτροφοδοτείται σε έναν αέναο κύκλο παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Είναι υψίστης σημασίας η αναφορά στην ανάπτυξη μιας παραλλαγής του Wi-Fi, το λεγόμενο Li-Fi (Light Fidelity), [78] μιας δίπλευρης, ταχείας και πλήρους δικτύωσης τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας η οποία με στόχο την επικοινωνία ενός μηνύματος χρησιμοποιεί αντί για την εκμετάλλευση ραδιοκυμάτων, το κομμάτι εκείνο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που αντιστοιχεί στο υπέρυθρο, υπεριώδες ή οπτικό κομμάτι, που αντιστοιχεί σε μικρότερα μήκη κύματος, επιτρέποντας τη μεταφορά περισσότερης

πληροφορίας. Πιο συγκεκριμένα, οι επικοινωνίες οπτικού φωτός, (το κομμάτι του οποίου είναι περίπου 10 χιλιάδες φορές μεγαλύτερο από το συνολικό RF τμήμα) δουλεύουν με την διακοπτόμενη λειτουργία τροφοδότησης λαμπτήρων διόδων LED, σε πολύ υψηλούς ρυθμούς, ταχύτερους από την αντιληπτική ικανότητα του ανθρώπινου ματιού. Αν και οι λαμπτήρες, είναι απαραίτητο να βρίσκονται μονίμως σε ενεργή κατάσταση, για τη μετάδοση δεδομένων, μπορούν να κρατηθούν σε χαμηλά επίπεδα, μη ορατά πλέον στο ανθρώπινο μάτι, εκπέμποντας υπεραρκετό φως για την λειτουργία τους. Το μειονέκτημα των κυμάτων φωτός είναι ότι δεν μπορούν να διαπεράσουν αντικείμενα όπως τοίχους, κάτι που περιορίζει σημαντικά τις εφαρμογές τους. Μια άλλη ανάγνωση του παραπάνω όμως, μεταφράζεται σε πλεονέκτημα ασφάλειας και περιορισμού της μεταδιδόμενης κίνησης, παράλληλα με μια υπερ-ικανοποιητική ταχύτητα 70Mbit/s από ένα ανακλώμενο σήμα. Κάτι τέτοιο καθιστά την τεχνολογία χρήσιμη σε ηλεκτρομαγνητικά ευαίσθητες περιοχές, όπως καμπίνες αεροπλάνων, νοσοκομεία, υποθαλάσσιες εφαρμογές ή εργοστάσια ραδιενέργειας όπου οι παρεμβολές σημάτων είναι κάτι παραπάνω από ανεπιθύμητη και απαιτητική τροχοπέδη. Η αγορά του Li-Fi αναμένεται να παρουσιάσει άνοδο της τάξεως του 82% τα αμέσως προσεχή έτη λαμβάνοντας αξία που σκαρφαλώνει στα 6 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2018.



Εικόνα 2: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Χρησιμοποιώντας κυρίως τεχνολογίες διαδικτύου, όπως το IP, η σύνδεση των ικανοτήτων των εν δυνάμει IoT συσκευών και εφαρμογών, ταιριάζει εντός ενός ευρύτερου οικοσυστήματος εξειδικευμένων IoT πρωτοκόλλων, στάνταρντ και αρχιτεκτονικών, λογισμικών ανάλυσης δεδομένων, διαχείρισης πληροφορίας, τεχνολογιών επικοινωνιών και δικτύων, εξειδικευμένων τεχνολογιών ξεχωριστών για κάθε

μια περίπτωση σεναρίου, αυτοματισμού, διαδικασιών και ανθρώπων, με έναν σκοπό ο οποίος καθοδηγείται από ιδέες κοινωνικής, βιομηχανικής, επιχειρησιακές ή/και ανθρώπινης φύσεως. [55]

Καθώς το ευρυζωνικό διαδίκτυο (Broadband Internet) καθίσταται όλο και εκτενέστερα διαθέσιμο, με το κόστος πραγματοποίησης μιας σύνδεσης σε αυτό να φθίνει, δημιουργούνται όλο και περισσότερες συσκευές με ικανότητα αξιοποίησης της WiFi τεχνολογίας, αλλά και αυτή των ενσωματωμένων σε αυτά αισθητήρων, με τις έξυπνες συσκευές κινητών τηλεφώνων να διεισδύουν στον πυρήνα της καθημερινότητας των ανθρώπων. Με τη σύνδεση μιας IoT συσκευής σε μία άλλη, επιτυγχάνεται η μετάδοση πληροφορίας κάνοντας χρήση διαδικτυακών πρωτοκόλλων μεταφοράς. Οι IoT πλατφόρμες, δρουν ως γέφυρες μεταξύ των αισθητήρων κάθε συσκευής και των δικτύων δεδομένων. Ορισμένες εκ των κορυφαίων μεταξύ αυτών είναι οι ακόλουθες: [53]

- Amazon Web Services
- Microsoft Azure
- ThingWorx IoT Platform
- IBM's Watson
- Cisco IoT Cloud Connect
- Salesforce IoT Cloud
- Oracle Integrated Cloud
- GE Predix

2.5.2 Λειτουργία και συνεισφορά των IoT τεχνολογιών

Πώς καθίσταται ένα αντικείμενο λοιπόν έξυπνο στο IoT; Το IoT αποτελεί ένα περιβάλλον στο οποίο καθετί που απαρτίζει τον κόσμο μας, άψυχα αντικείμενα (μηχανές, συσκευές, ζώα ή και ανθρώπους, αντιστοιχίζεται ένα μοναδικό αναγνωριστικό (identifier) ενώ ταυτόχρονα φέρει πάνω του σένσορες, διαθέτοντας την δυνατότητα να μεταφέρει δεδομένα δια μέσου ενός δικτύου, ασύρματου στις περισσότερες των περιπτώσεων, χωρίς να καθίσταται αναγκαία η όποια διαδραστική επικοινωνία ανθρώπου με άνθρωπο ή ανθρώπου-μηχανής για την ανωτέρω λειτουργία. Η εξέλιξη στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών, του internet αλλά και στο επίπεδο του υλικού, με τα όλο και ισχυρότερα μικροηλεκτρονικά συστήματα, οδηγεί το IoT στο να κερδίζει έδαφος.

Παρέχοντας σε ένα αντικείμενο το χάρισμα των αισθήσεων (εξού και η ονομασία αισθητήρες), προσφέρεται στον εκάστοτε χρήστη του, η ικανότητα της παρακολούθησης, της διαχείρισης, του ελέγχου καθώς και της αναζήτησης.

Πιο αναλυτικά, εγκαθιστώντας μια επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων που απαρτίζουν τον κόσμο μας καθίσταται εφικτή μια αυτόματη και συνεχής συλλογή πληροφορίας όσον αφορά την κατάσταση των αντικειμένων (τοποθεσία, θερμοκρασία, ιδιοκτησία, ευστάθεια κλπ) πράγμα που ανοίγει το δρόμο για εγκυρότερη πρόβλεψη και κατ' επέκταση πρόληψη ατυχημάτων ή ανεπιθύμητων μεταβολών γενικότερα, μέσω έγκαιρων προειδοποιήσεων. Θα μπορούσαμε επί παραδείγματι να γνωρίζουμε την κατάσταση της ασφάλτου, του πεζοδρομίου κατά μήκος οποιασδήποτε οδού, ή των αγωγών που διατρέχουν υπογείως τα αστικά κέντρα, τις πιέσεις που δέχεται μια γέφυρα ή το πόσοι επιλέγουν να κινηθούν σε κάθε οδικό άξονα. Παράλληλα καθιστώντας το περιβάλλον έξυπνο θα μπορούσαμε να προβλέψουμε πυρκαγιές ή σεισμικές δονήσεις μεγάλης κλίμακας, να παρακολουθούμε τα επίπεδα χιονόπτωσης προλαμβάνοντας συνθήκες αποκλεισμού ή τέλος τα επίπεδα μόλυνσης σε μια πισίνα ή τον ωκεανό.

Παρακολουθώντας τα παραπάνω, τα ίδια τα αντικείμενα θα μπορούν πλέον είτε να αναλάβουν αυτοβούλως δράση επενεργώντας στο σύστημα ρυθμιστικά (πχ φωτεινοί σηματοδότες) ή να ειδοποιήσουν κάποιον αρμόδιο για να προβεί στις αρμόδιες παρεμβάσεις. Τέτοιες μπορεί να είναι μεταξύ άλλων, η συντήρηση δρόμων, ο έλεγχος και η ρύθμιση της εναέριας κυκλοφορίας στους πύργους ελέγχου αερολιμένων, η αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη διαχείριση ενεργειακής παραγωγής, μεταφοράς και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η αστυνόμευση πόλεων και κοινοτήτων, μια ρομποτικά εκτελεσμένη χειρουργική επέμβαση, η υπενθύμιση ενός ιατρικού τσεκ απ, ή η λήψη ενός φαρμάκου κλπ.

Προχωρώντας ένα βήμα παρακάτω μπορούμε να αναθέσουμε, πέρα από μέρος της διαχείρισης ενός τομέα και τον έλεγχο του. Για παράδειγμα θα μπορούσαν οι συσκευές υψηλής κατανάλωσης μιας οικίας και κατ' επέκταση μιας κοινότητας ή ενός δήμου, να λειτουργούν βέλτιστα, επιτρέποντας την εκ περιτροπής λειτουργία τους, όταν το δίκτυο μπορεί να ανταποκριθεί σε κάποιο άνω όριο ζήτησης. Κάτι τέτοιο, αν και θα στερούσε τον έλεγχο από τους χρήστες/καταναλωτές σε γενικό βαθμό, αφήνοντας τους πάραυτα το περιθώριο παρέμβασης τους σε αυτό, θα ανταμείβονταν με προνόμια όπως χαμηλότερα τιμολόγια.

Τα αντικείμενα και οι αισθητήρες (sensors) για τους οποίους έγινε λόγος παραπάνω, είναι ουσιαστικά η πηγή του όλου εγχειρήματος καθώς μέσω αυτών επιτυγχάνεται και εγκαθίσταται επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων. Η αναγνώριση του ενός απ' το άλλο θυμίζει όπως επιτυχημένα επισημαίνει ο dr. John Barrett σε ομιλία του, [31] τον μηχανισμό tricorder της σειράς star trek η οποία κατόπιν στρέψης της σε στόχο, αναγνώριζε την ταυτότητα του. Τέτοιοι αισθητήρες θα μπορούσαν να είναι ένας ασθενής με εμφυτευμένο βηματοδότη ή ένα ζώο φάρμας με ένα ενσωματωμένο, σε ένεσιμη μορφή, biochip transponder / τσίπ αναμεταδότη, το οποίο αξιοποιώντας την RFID τεχνολογία παραμένει ανενεργό κάτω από το δέρμα του ζώου έως ότου αναγνωσθεί από κάποιο σκάνερ προς ταυτοποίηση. Ένα αυτοκίνητο με ενσωματωμένους αισθητήρες που θα ενημερώνουν τον οδηγό όταν η πίεση του αέρα στα ελαστικά είναι χαμηλή. Ένα οποιοδήποτε φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο, στο οποίο μπορεί να εκχωρηθεί μια διεύθυνση

IP μαζί με την ικανότητα μεταφοράς και ανταλλαγής δεδομένων μέσω ενός δικτύου. Το IoT σήμερα, βρίσκει εφαρμογές τόσο στον υγειονομικό όσο και στον κατασκευαστικό τομέα. Μέχρι σήμερα, στο μυαλό των περισσότερων ήταν συνδεδεμένο με την επικοινωνία μηχανής με μηχανή (machine-to-machine, M2M) και ιδιαίτερα στον τομέα των κατασκευών, της εκμετάλλευσης-αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων και του ορυκτού πλούτου. Τα προϊόντα που υπάγονται στην M2M κατηγορία φέρουν συχνά την προσφώνηση "smart" (smart label, smart phone, smart grid sensor, ...)

Γνωρίζουμε ότι κάθε τερματικό, συνδεδεμένο στο διαδίκτυο φέρει ένα συγκεκριμένο και μοναδικό αναγνωριστικό το οποίο καθορίζεται βάσει του πρωτοκόλλου IP. Η μορφή αυτού του κωδικού που μέχρι πρότινος διατηρούσε το μονοπώλιο όσον αφορά τη διευθυνσιοδότηση, είχε τη μορφή ενός 32bit δυαδικού έναντι 128bit που έχει η νέα μορφή IPv6. [2] Η μετάβαση από το IPv4 στο IPv6, φέρνοντας μια τεράστια αύξηση στον αριθμό διαθέσιμων διευθύνσεων/αναγνωριστικών κατέστησε ακόμη πιο ευχερή την ανάπτυξη του IoT. Το νέο πρωτόκολλο υποστηρίζει την ύπαρξη 2^{128} (ή 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456) διευθύνσεων. Όπως άψογα επισημαίνει ο Steve Leibson του Μουσείου Ιστορίας Υπολογιστών, [30] *"Η επέκταση του χώρου διευθύνσεων σημαίνει ότι μπορούμε να αντιστοιχίσουμε μια IPV6 διεύθυνση σε κάθε άτομο της επιφάνειας της Γης, και να έχουμε ακόμη επαρκή αριθμό διευθύνσεων χαρτογράφησης άλλων 100 και πλέον πλανητών"* Με άλλα λόγια, ο αριθμός των διευθύνσεων διαδικτύου δε θα γνωρίσει σύντομα κάποιο τέλος, κάτι που επιτρέπει την απόδοση μιας URI διευθύνσεως σε κάθε ένα αντικείμενο του κόσμου.

Αυτός είναι και ο λόγος που το IoT αναμένεται να βρει άμεση εφαρμογή πέρα από τις βασικές ανθρώπινες ανάγκες και σε τομείς διασκέδασης ή αναψυχής όπως πχ στον εξαιρετικά εμπορικό τομέα του gaming. Το εκάστοτε παιχνίδι πλέον, θα μπορεί να απεικονιστεί στον περιβάλλοντα χώρο του χρήστη, όπου ελέγχοντας τον ήρωα του παιχνιδιού μέσα από την οθόνη του, ο χρήστης στρέφοντας την, θα μπορεί να αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα και τους ανθρώπους τριγύρω του, συμπεριλαμβάνοντας τους στο παιχνίδι του. [31]

Περνάμε όπως είναι ήδη εμφανές σε ένα νέου τύπου πόλεων, στον οποίο συχνά αναφερόμαστε ως smart cities ή megacities όπως ανάλογα τον είχε φανταστεί ο συγγραφέας Iain Banks στη σειρά βιβλίων του με τίτλο The Culture, [32] όπου οι άνθρωποι πλέον έχουν παραδώσει τον πλανήτη και τους πόρους αυτού, στον έλεγχο της τεχνητής νοημοσύνης. Η ιδέα αυτή εγείρει αντιδράσεις από πολλούς, οι οποίοι κάνουν λόγω για επικράτηση της τεχνοκρατίας και καταπάτηση του δικαιώματος της ελευθερίας και της ιδιωτικότητας.

Εξαιτίας της ήδη εκτεταμένης χρήσης της Wi-Fi τεχνολογίας και με το πλεονέκτημα που προσφέρει η ασύρματη σύνδεση με το διαδίκτυο, η τεχνολογία έχει στραφεί σε αυτό που στον χώρο της πληροφορικής καλείται πανταχού υπολογισμός (ubiquitous computing) [33] και αντικατοπτρίζει

τη δυνατότητα πρόσβασης στην πληροφορία από οποιοδήποτε σημείο και μέσο, ενώ παράλληλα έχει εστιάσει τις έρευνές της στον τομέα των δικτύων επικοινωνιών. Όμως, δεν είναι δυνατό να υλοποιηθούν με επιτυχία οι στόχοι του IoT αν προηγούμενα δεν επιτευχθεί η διασύνδεση και άλλων αντικειμένων που διαχειρίζεται ο άνθρωπος στην καθημερινή λειτουργία του πέρα από τα έξυπνά κινητά, γεγονός το οποίο θα προσδώσει μεγαλύτερα επίπεδα περιβαλλοντικής ευφυΐας (context-awareness).

Το βασικότερο γνώρισμα του ΔτΠ, εντοπίζεται στη συμμετοχή στο όλο σύστημα, σημαντικού σε μέγεθος και ποικιλία, αριθμού συσκευών. Οι συσκευές αυτές, όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζουν σημαντικές επικοινωνιακές και υπολογιστικές διαφορές. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η υποστήριξη ανελλιπούς διαχείρισης της τεχνικής ετερογένειας του υπερπληθούς συνόλου κόμβων του δικτύου, τόσο από πλευράς αρχιτεκτονικής όσο και από πλευράς πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

Για την ολοκλήρωση αυτής της ενσωμάτωσης των αντικειμένων, πρέπει να υποστηρίζονται ή/και να αντιμετωπίζονται στα πλαίσια του IoT ορισμένα θεμελιακά ζητήματα όπως αυτά της διαλειτουργικότητας, της κλιμακούμενης επεκτασιμότητας (scalability) , της ενεργειακής κάλυψης και της αυτονομίας.

2.6 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ - ΑΝΟΙΚΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τους Atzori και λοιπούς [AIM10], το IoT αντιμετωπίζει έναν αριθμό ανοικτών προβλημάτων όπως: προτυποποίησης, μαζικής ή εκθετικής κλιμάκωσης, υποστήριξης κινητικότητας, ονοματοδοσίας, πρωτοκόλλων μεταφοράς, χαρακτηρισμού κίνησης και υποστήριξης ποιότητας υπηρεσιών (QoS -quality of service), αυθεντικότητας, ευρωστίας, ακεραιότητας δεδομένων, ιδιωτικότητας, ασφάλειας και ψηφιακής λήθης. Συνεπώς, το φάσμα της απαιτούμενης έρευνας που απαιτείται για την ικανοποίηση του στόχου του ΔτΠ, στην κλίμακα που οραματίστηκε ο δημιουργός του, χρήζει προσοχής σε πολλές κατευθύνσεις.

2.6.1 Κλίμακα και προτυποποίηση

Το πρώτο και κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει το ΔτΠ, δεν είναι άλλο πέρα από τον συνεχώς αυξανόμενο στόλο συστρατευμένων συσκευών που εντάσσονται στους κόλπους του. Αν και μέσω του IPv6 αλλά και του πρωτοκόλλου 6LowPAN, η συνέχεια της ύφανσης του IoT φαντάζει αντιμετωπίσιμη, η έλλειψη προτύπων επικοινωνίας εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Χωρίς μια κοινή μέθοδο επικοινωνίας, οι συσκευές θα μπορούν να μιλούν μόνο με τα άλλα μέλη της ίδιας μάρκας με αυτές, και να περιορίσουν άσχημα την βοήθεια που υπόσχονται οι συνδεδεμένες συσκευές. Για παράδειγμα, επί του παρόντος οι παρακολουθητές ύπνου (sleeping monitors) περιορίζουν τη λειτουργία

τους στο να δίνουν αποτελέσματα στο τηλέφωνο των χρηστών τους, ώστε η ανάλυση να γίνει μόνο από τους ίδιους. Στόχος - πρόκληση του IoT είναι συσκευές όπως εν προκειμένω οι εν λόγω παρακολουθητές να μπορούν να μοιραστούν τα αποτελέσματα με γιατρούς ή να ειδοποιήσουν τους χρήστες για αφύσικες ή ανθυγιεινές καταστάσεις ύπνου, και να προτείνουν λύσεις που θα μπορούσαν να προβλεφθούν και να αποτραπούν μέσω της επικοινωνίας με μια άλλη συσκευή, πχ μια καφετιέρα (σε περίπτωση που η καφεΐνη είναι ο κύριο ύποπτος επιρροής του προβλήματος) ή ένας θερμοστάτης (σε περίπτωση που η θερμοκρασία επηρεάζει τις συνθήκες του ύπνου). Για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης οι Intel, Cisco, GE & IBM συνασπίστηκαν προς σχηματισμό της κοινοπραξίας Βιομηχανικού διαδικτύου (IIC), έναν μη κερδοσκοπικό όμιλο με στόχο την αύξηση του αριθμού διαλειτουργικών προτύπων σε συσκευές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. [28]

Τα ζητήματα που αφορούν στην προτυποποίηση πηγάζουν από το γεγονός ότι, στην παρούσα φάση υπάρχουν πολλά διαφορετικά τεχνολογικά στάνταρντ που καλύπτουν το κομμάτι της συλλογής, της διατύπωσης αλλά και της επικοινωνίας των δεδομένων, αλλά καμία ολοκλήρωση αυτών σε ένα κοινό και ευρέως κατανοητό πλαίσιο εργασίας δεν έχει επιτευχθεί έως και σήμερα. Η ύπαρξη πολλών διαφορετικών μορφωτύπων δεδομένων, ανεβάζουν τα επίπεδα πολυπλοκότητας του ΔτΠ, με συνέπεια οι κίνδυνοι σφαλμάτων εντός του να αυξάνονται ανάλογα. Επιπροσθέτως, ζητήματα συμβατότητας μπορεί να οδηγήσουν σε συγκέντρωση της αγοράς προς μια μοναδική κατεύθυνση, εγείροντας το πρόβλημα του μονοπωλίου.

2.6.2 Κινητικότητα

Ομοίως, αν και εκμεταλλευόμαστε πολλές προτάσεις διευθυνσιοδότησης των αντικειμένων, καμία δεν υποστηρίζει κινητικότητα στα πλαίσια του IoT σεναρίου. Όσον αφορά το κομμάτι της ονοματοθεσίας, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός κεντρικού server αποθήκευσης ονομάτων αντικειμένων, ώστε να κατασταθεί εφικτή μια χαρτογράφηση αναφορών σε περιγραφές συγκεκριμένων αντικειμένων και αντιστοίχιση τους με ένα σχετιζόμενο αναγνωριστικό και τούμπαλιν. Αυτή θα ήταν μια πιθανή λύση αντιμετώπισης του ανοικτού ακόμη ζητήματος υποστήριξης αξιόπιστης συνεργασίας μεταξύ των απεριόριστων συσκευών, σε πραγματικό χρόνο. [APK04] [HSL+05]

Καθώς το IoT παράγει μια κίνηση δεδομένων χωρίς προηγούμενο, σε σχήματα και πλήθη εξεχόντως διαφορετικά από τα ήδη ισχύοντα του σύγχρονου Internet. Αυτός είναι και ο λόγος που σύγχρονα πρωτόκολλα μεταφοράς, αποτυγχάνουν σε εφαρμογή τους στο IoT σενάριο, μιας και η εγκατάσταση σύνδεσης αλλά και οι μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης εμφανίζουν υπερβολικές απαιτήσεις συγκράτησης δεδομένων που τα αντικείμενα δεν μπορούν να αποθηκεύσουν. Με δεδομένο ότι τα αντικείμενα της καθημερινής ανθρώπινης λειτουργίας, είναι συνδεδεμένα με ένα παγκόσμιο δίκτυο

πληροφοριών, τα προβλήματα που σχετίζονται με την επεκτασιμότητα -και επομένως πρέπει αντιμετωπιστούν- εντοπίζονται κυρίως σε τομείς όπως οι διαφορετικές ονοματοδοσίες οι οποίες χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής, εξαιτίας της μεγάλης έκτασης του όλου συστήματος που προκύπτει και της καθοριστικής σημασίας τους στο κομμάτι της επικοινωνίας των δεδομένων.

2.6.3 Διαλειτουργικότητα

Το internet of things βασίζεται ιδιαίτερα σε θέματα ανταλλαγής αλλά και ανάλυσης μιας πολύ μεγάλης ποσότητας δεδομένων. Όμως για να γίνουν αυτά τα δεδομένα αξιοποιήσιμες πληροφορίες και να εξασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών, δηλαδή η ικανότητα των μεμονωμένων συστημάτων να λειτουργούν μαζί, είναι αναγκαίο τα δεδομένα να παρέχονται σε επαρκή και τυποποιημένη μορφή, με τη χρήση μοντέλων και σημασιολογικού σχολιασμού του περιεχομένου τους. Μια τέτοια διαδικασία δίνει την ικανότητα στις διαδικτυακές εφαρμογές να καλύψουν τις απαιτήσεις αυτοματοποιημένων λογικών διεργασιών συλλογιστικής.

Καθώς τρισεκατομμύρια αντικειμένων συνδέονται στο διαδίκτυο, είναι απαραίτητο να έχουμε μια ικανή και επαρκή αρχιτεκτονική, η οποία διευκολύνει θέματα συνδεσιμότητας, ελέγχου, και επικοινωνιών μεταξύ των συσκευών και των εφαρμογών επί αυτών. Είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός πλαισίου ,εντός του οποίου, οι συσκευές θα τρέχουν εφαρμογές σε ένα προς ένα σχέση, αλλά και σε διασταύρωσή τους (cross-domain) [YRB+06], προστατευμένες από την επίδραση άλλων συνόλων πραγμάτων. Μια αρχιτεκτονική προσέγγιση που θα μπορούσε να δανειστεί το IoT, θα ήταν εκείνη των έξυπνων τηλεφώνων, όπου οι εφαρμογές είναι διαθέσιμες και υλοποιούνται μέσα από αγορές εφαρμογών (app stores). Αυτή η πρακτική παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων ότι η γέννηση έξυπνων εκτελέσιμων από smartphones εφαρμογών, δε γνωρίζει εμπόδια και περιορισμούς. Μια ποικιλία από στάνταρντ και αυτοματοποιημένων ελέγχων λαμβάνει χώρα, προκειμένου να βεβαιωθεί η δυνατότητα εκτέλεσης μιας εφαρμογής εντός μιας πλατφόρμας. Επί παραδείγματι, όπως κατά την εγκατάσταση, ελέγχονται οι απαιτήσεις του υποκείμενου συστήματος, έτσι θα ήτο δυνατή μια διασταύρωση των δυνατοτήτων των αισθητήρων και των ενεργοποιητών από την εφαρμογή. [DMA+12] Ωστόσο, μια γενική IoT πλατφόρμα σημαντικά πιο σύνθεση εν συγκρίσει με εκείνη των smartphones. Παρόλα αυτά, η θεμελίωση του IoT σε ένα δίκτυο αισθητήρων και ενεργοποιητών, που δρα ως ένα σύστημα ανάλογο της ύδρευσης ή ηλεκτρισμού, επιτρέπει την πρόσδεση σε αυτό πολλών διαφορετικών μεταξύ τους εφαρμογών. Καθώς κάθε μια εξ' αυτών αντιμετωπίζει διαφορετικά προβλήματα και προκλήσεις, μέσα από την ταυτόχρονη χρήση του κοινού αυτού συστήματος, μπορεί να έχει ως συνέπεια τη δημιουργία παρεμβολών μεταξύ των συστημάτων, και ιδιαίτερα με τους ενεργοποιητές. Οι παρεμβολές αυτές ανακύπτουν από μια σειρά ζητημάτων, αλλά πρωτίστως από την διενέργεια υποθέσεων για το

περιβάλλον, το υλικοτεχνικό κομμάτι της πλατφόρμας, τις απαιτήσεις, την ονοματοδοσία, τον έλεγχο και διάφορα σημασιολογικά στοιχεία των συσκευών. Προηγούμενες εργασίες, εν γένει, αναφέρονταν σε απλές εξαρτήσεις σχετικές με τύπους παραμέτρων, εκδόσεις λειτουργικών συστημάτων και διαθεσιμότητα σωστής υλικοτεχνικής υποστήριξης. Η έρευνα σχετικά με την ανάπτυξη μιας κατανοητής προσέγγισης συγκεκριμενοποίησης, εντοπισμού και επίλυσης εξαρτήσεων δια μέσου των εφαρμογών, αποτελεί πρωταρχική ανάγκη, κυρίως για την ασφάλεια κρίσιμων εφαρμογών ή για τα προκληθέντα από ενεργοποιητές σφάλματα.

Μερικά παραδείγματα εξαρτήσεων φαίνονται παρακάτω. [MS14] [VHX+10] [VXH+10] Υποθεθίσθω, ότι ενσωματώνουμε ορισμένα συστήματα υπεύθυνα για την ενεργειακή διαχείριση (έλεγχος θερμοστατών [LSS+10], παραθύρων, θυρών και περσίδων) και την οικιακή υγειονομική περίθαλψη (έλεγχος φώτων, συσκευών τηλεόρασης, συσκευών μέτρησης σωματικών ζωτικών στοιχείων, και μηχανών παρακολούθησης υπνικής άπνοιας [WSV+08]) εντός μιας οικίας. Εφόσον η πληροφορία μοιράζεται από κοινού, το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να μπορεί να προβεί στην προσαρμογή της θερμοκρασίας ενός δωματίου, ανάλογα με την ψυχολογική κατάσταση των ενοίκων της οικίας, όπως εντοπίστηκε από το σύστημα οικιακής υγειονομικής περίθαλψης. Παράλληλα, η ολοκλήρωση των διαδικασιών των δύο συστημάτων θα αποτρέψει και θα αποφύγει τις όποιες αρνητικές συνέπειες για τον χρήστη. Η περίπτωση εξοικονόμησης ενέργειας με την απενεργοποίηση ιατρικών συσκευών και συσκευών προτεραιότητας στη λίστα των αναγκών, δεν είναι αποδεκτή κίνηση.

Ως προσθήκη στα παραπάνω, όλα τα συστήματα μπορούν να μοιραστούν αισθητήρες και ενεργοποιητές οι οποίοι θα μειώσουν το κόστος συστράτευσης τους, θα βελτιώσουν την αισθητική των χώρων και θα περιορίσουν τη συμφόρηση των καναλιών. Μολαταύτα, η ενσωμάτωση πολλαπλών συστημάτων αποτελεί πρόκληση, καθώς καθένα εξ' αυτών, εκτελεί τις δικές του υποθέσεις και στρατηγικές για να ελέγξει τις μεταβλητές του φυσικού κόσμου, χωρίς γνώση των υπολοίπων συστημάτων, το οποίο οδηγεί σε συγκρούσεις, όταν αυτά τα συστήματα ενσωματώνονται χωρίς προσεκτική μελέτη. Ο εντοπισμός και η επίλυση ανάλογων προβλημάτων εξάρτησης είναι απαραίτητα βήματα για μια σωστή και εύρυθμη λειτουργία και αλληλεπίδραση μεταξύ των IoT συστημάτων.

2.6.4 Ενεργειακή κάλυψη του ΔτΠ

Πέρα από το θέμα της επέκτασης αλλά και της συνεργασίας των πραγμάτων όμως, ένα μεγάλο ζήτημα που χρήζει ιδιαίτερης μελέτης, είναι το γεγονός των περιορισμών στην ποσότητα της δαπανώμενης ενέργειας για επικοινωνιακούς και υπολογιστικούς σκοπούς τους οποίους καλείται να αντιμετωπίσει ο τεράστιος αριθμός οντοτήτων του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Με άλλα λόγια παρεμβαίνοντας στη φύση και καθιστώντας πράγματα του πραγματικού κόσμου, έμψυχα ή άψυχα, όπως ζώα ή φυτά, μέρος

του IoT συστήματος, πρέπει να δαπανηθεί κι άλλη ενέργεια για την εγκατάσταση οποιασδήποτε επικοινωνίας με αυτά. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται μερικά με τις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και οι οποίες δίνουν μια ικανοποιητική λύση στις συσκευές που η λειτουργία τους εξαρτάται από μπαταρίες. Παρ' όλα αυτά, εξακολουθεί η ανάγκη να εξευρεθεί ένα πλήρες σχέδιο για την αποτελεσματικότερη χρήση των ενεργειακών πηγών, ακόμη και αν αυτό γίνει σε βάρος της απόδοσης του όλου εγχειρήματος.

2.6.5 Πρόβλεψη

Τέλος, δεδομένου ότι πολλά σενάρια που αναπτύσσονται στο IoT, είναι πολύπλοκα και διαθέτουν μια ιδιαίτερη δυναμική, απαιτείται η γνώση να διανέμεται στο σύστημα με ένα τρόπο που τα έξυπνα αντικείμενα θα ανταποκρίνονται αυτόνομα σε μεγάλο φάσμα εναλλακτικών καταστάσεων ώστε να μειωθεί η παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα. Προς αυτή την κατεύθυνση είναι απαραίτητη η παρέμβαση επί των τομέων πρόβλεψης και διαχείρισης των πιθανών επιλογών δράσης που μπορούν να ακολουθήσουν όλοι αυτοί οι πόροι διαφορετικής μορφής, μέσω της παροχής απαραίτητων μέσων για αυτό που στον εξωτερικό παρατηρητή θα διαφαίνεται ως αυτόματος διαμοιρασμός, οργάνωση και εκτέλεση συντονισμένων καθηκόντων από τους κόμβους.

2.6.6 Συμπερασμός νέας γνώσης

Στον κόσμο του ΔτΠ, υπάρχει μια αχανής και συνεχώς επεκτεινόμενη ποσότητα ακατέργαστων συλλεγόμενων δεδομένων, τα οποία μεταποιούνται σε χρήσιμη γνώση. Ροές τιμών από αισθητήρες μεταφράζονται σε σημασιολογικά πλήρους νοήματος δραστηριότητες, αντιμετωπίζοντας εμπόδια όπως, η διευθέτηση θορύβου κατά την απόκτηση δεδομένων, και η ανάπτυξη νέων τεχνικών συμπερασμού, οι οποίες δεν εφίστανται περιορισμούς όπως την *a priori* γνώση πιθανοτήτων ή/και το κόστος υπολογισμών. Καθώς οι αριθμοί αγγίζουν δυσθεώρητα επίπεδα, μια μεγάλη ποσότητα ροών δεδομένων πραγματικού χρόνου θα χρησιμοποιείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, για την ικανοποίηση μιας ευρείας ποικιλίας σκοπών, ώστε η προέλευση και η επεξεργασία τους να είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την διασφάλιση ιδιωτικότητας και ασφάλειας. Οι τεχνικές εξόρυξης δεδομένων, αναμένεται να παρέχουν την βάση για τη δημιουργία τέτοιας σημαντικής γνώσης. Ένα ενδιαφέρον ερευνητικό πρόβλημα είναι αυτό της αξιοποίησης ροών δεδομένων ως πρώτη ύλη για άγνωστες μελλοντικές διαδικασίες συμπερασματολογίας, οι οποίες ως μέθοδοι *en genere*, είναι κάθε άλλο παρά πλήρως ορθές. Ως άμεσο επακόλουθο, η αβεβαιότητα διερμηνείας των δεδομένων αποτρέπει τους χρήστες από το να εμπιστευθούν τον σύστημα. Χωρίς αυτά τα βασικά εργαλεία, περεταίρω συμπερασμός μπορεί να λειτουργεί με λανθασμένο ή ελλιπή τρόπο, καταλήγοντας σε λάθος αποτελέσματα. Αν οι ενεργοποιητές οδηγούνται

από τέτοια λανθασμένα αποτελέσματα, ενδέχεται να προκύψουν ζητήματα ασφάλειας. Μια πιθανή προσέγγιση αντιμετώπισης, θα ήταν η διασφάλιση του χρωματισμού της συμπερασθείσας πληροφορίας, με ένα επίπεδο βεβαιότητας εκπεφρασμένο μέσα από την πιθανότητα της ορθής ή της εσφαλμένης φύσης της, ώστε να μπορεί να εγγυηθεί κανείς την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Όπως αναφέρθηκε, η διαδικασία λήψης αποφάσεων, αυτοματοποιημένα από ένα σύστημα συσκευών, είναι μια πλεονεκτική προέκταση του IoT, για την υποστήριξη της οποίας και την αποφυγή χαρακτηρισμού του συστήματος ως αναξιόπιστου, είναι απαραίτητη η σμίκρυνση του αριθμού αυτών των αρνητικών λαθών.

Πολλές IoT εφαρμογές σχεδιάζονται για αποκλειστική χρήση από ένα συγκεκριμένο λογαριασμό χρήστη, με αποτέλεσμα οι παραπάνω απαιτήσεις ασφαλείας να διασφαλίζουν ότι τα συλλεγόμενα δεδομένα και οι επακόλουθοι συμπερασμοί αφορούν μονάχα στον αντίστοιχο χρήστη. Αυτή είναι μια ακόμη πρόκληση για το σύστημα του IoT καθώς στις περιπτώσεις όπου η ταυτοποίηση γίνεται μέσω RFIDs ή μέσω βιντεοκαμερών, η αναγνώριση γίνεται άμεσα και συνεπώς είναι εύκολο να ελεγχθεί. Αντιθέτως, σε πάρα πολλές άλλες περιπτώσεις για τη διασταύρωση των αποτελεσμάτων, είναι απαραίτητη μια διαδικασία συνδυασμού και σύγκρισης των πιο πρόσφατων καταγραφών και των παρελθουσών τιμών, με τις πρόσφατες δραστηριότητες και το προσωπικό προφίλ χαρακτηριστικών του χρήστη, ώστε το καταληκτικό συμπέρασμα να είναι ακριβές. [Sta14]

2.6.7 Ελεύθερη πρόσβαση - Ανοιχτή φύση του ΔτΠ

Για την επίτευξη πολλών εκ των δυνατοτήτων του ΔτΠ, είναι απαραίτητη μια συνεργασία μεταξύ των μονάδων, και μια παραχώρηση ελευθερίας πρόσβασης σε τμήμα ή στο όλον της υπαρχής και λειτουργίας τους. Ωστόσο, η υποστήριξη της ανοιχτής φύσης του IoT, δημιουργεί νέα ερευνητικά προβλήματα. Προκύπτει έντονη η ανάγκη προσαρμογής όλων των τεχνικών και των εργαλείων ανάλυσης και σύνθεσης, μέσα από επαναπροσαρμογή και ανάπτυξη, ώστε να υποστηριχθεί από τους κόμβους του IoT σύμπαντος, αυτή η ανοιχτή φύση. Είναι απαραίτητη η πρόταση νέων ενοποιημένων διεπαφών επικοινωνίας που θα καταστήσουν εφικτή μια αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ ποικιλόμορφων, ετερογενών συστημάτων ισορροπώντας λειτουργικότητα και ασφάλεια για τον χρήστη. Η ανοιχτή φύση ενός συστήματος, σημαίνει ότι είναι δεκτικό σε συνεχείς αλλαγές, μιας και επιτρέπει παρεμβάσεις τρίτων σε αυτό. Το μεγαλύτερο κομμάτι των αισθητήριων συστημάτων, βασίζονται στο μοντέλο τους στο κομμάτι της θεωρίας ελέγχου ανάδρασης για την παροχή εύρωστης λειτουργίας, γεγονός που δυσκολεύει το χειρισμό τους, λόγω της κλίμακας του IoT αλλά και αυτής της ελεύθερης παρεμβολής στη λειτουργία τους, αφού παρεμβαίνουν δυναμικά στην αλλαγή του μοντέλου του. Αν και υπάρχουν εργασίες σχετικά με τον στοχαστικό, εύρωστο, διαμοιρασμένο και προσαρμοστικό έλεγχο, αυτοί οι κλάδοι, δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένοι για την υποστήριξη της ανοιχτής φύσης στο βαθμό που

απαιτούν τα συστήματα στο ΔτΠ. Μια νέα θεωρία κι ένα πιο πλούσιο σύνολο τεχνικών είναι το πλέον απαιτούμενο βήμα για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων ανταγωνισμού μεταξύ των συστημάτων. [Sta14]

2.6.8 Ασφάλεια

Το ζήτημα του κινδύνου εισβολών στη σημερινή μορφή του Διαδικτύου, αποτελεί θεμελιώδες πρόβλημα, το οποίο απειλεί και το IoT. [RRC04] Καθώς τα πράγματα, δηλαδή οι συσκευές είναι περιορισμένων δυνατοτήτων, η φυσική πρόσβαση σε αυτά αλλά και η εικονική μέσω των ασύρματων δικτύων είναι εύκολη [XTZ+05], αλλά και η ανοιχτή τους ταυτότητα στο σύμπαν του IoT, τα καθιστούν εύκολο στόχο, κάνοντας την ασφάλεια, προβληματική πρώτης προτεραιότητας. Για να επιτευχθούν οι ρεαλιστικές απαιτήσεις αυτών των συστημάτων, οι οποίες βασίζονται σε μια μακρά και χωρίς περιορισμούς λειτουργία, οι εφαρμογές του ΔτΠ, πρέπει να μπορούν να συνεχίσουν ικανοποιητικά παρά την παρουσία τέτοιων απειλών ασφαλείας αλλά και να επανέρχονται αλώβητες μέσα από τέτοιες. Οι λύσεις που προτείνονταν αφορούσαν στην εγκατάσταση νέου ασφαλούς κώδικα, [DHM06] ακόμη κι αυτό όμως είναι ευάλωτο σε επιθέσεις. Μια ουσιαστική λύση προτείνεται από τους Wood και λοιπούς [WFS+06] όπου το σύστημα λειτουργεί με μια υποστήριξη βασικού επιπέδου, για τον εντοπισμό ισχυρών επιθέσεων και την πρόκληση επιτόπου αντίδρασης αυτο-ίασης. Οι περισσότερες εκ των λύσεων σήμερα, απαιτούν βαριές υπολογιστικές διαδικασίες και τεράστια αποθέματα μνήμης, γεγονός που έρχεται σε σύγκρουση με τις περιορισμένες δυνατότητες των IoT συσκευών. Ιδανικά, θα ήταν επιθυμητή μια ταχεία διαδικασία εντοπισμού και αντιμετώπισης σε εκτέλεση πραγματικού χρόνου. Τις περισσότερες φορές όμως είναι αναγκαία μια διαδικασία επαναπρογραμματισμού των πραγμάτων, με τις οδηγίες να πρέπει να αποσταλούν στους πληγέντες αυτούς κόμβους του συστήματος μέσα από διαδικασίες πιστοποίησης. Για να γίνει κάτι τέτοιο δυνατό, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη διαδικασιών κρυπτογραφίας, πιστοποίησης και κλειδιών ασφαλείας. [RRC04] Τα πεδία στα οποία θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε εντονότερα την ανάγκη καινοτόμων προσεγγίσεων, είναι αυτά της απόρρητης φύσης των δεδομένων, της ιδιωτικότητας και της εμπιστοσύνης [MSP+12] τόσο σε επίπεδο χρήστη όσο και εξουσιοδοτημένων εφαρμογών. Εν περιλήψει είναι απαραίτητη μια διαδικασία εγγυημένης πρόσβασης και τροποποίησης των εκάστοτε δεδομένων, ειδικότερα όσων αφορούν σε επιχειρησιακά θέματα, όπως ένα προστατευόμενο περιουσιακό στοιχείο ή σε ζητήματα προστασίας ανταγωνιστικότητας και τιμών αγοράς. Ανεξαρτήτως του πεδίου εφαρμογής, η προστασία του απορρήτου είναι πρώτης προτεραιότητας μιας και οι IoT εφαρμογές σχετίζονται άμεσα με τον πραγματικό κόσμο.

2.6.9 Ποιότητα υπηρεσιών (*Quality of Service*)

Ένα εξόχως σημαντικό κομμάτι των εφαρμογών του ΔτΠ είναι εκείνο της ποιότητας προσφερόμενης υπηρεσίας. Καθώς τα δίκτυα διέπονται από ετερογένεια στην μορφή των ποικίλων εφαρμογών που συγκεντρώνουν, εντοπίζονται δυο κύρια ζητήματα πέραν των προαναφερθέντων, βάσει των οποίων οι εφαρμογές μπορούν να καταταχθούν σε δυο κλάσεις. [VMB+09] Εκείνες που επιθυμούν απλή διεκπεραιωτικότητα με μια κάποια ανοχή σε καθυστερήσεις (πχ παρακολούθηση καιρικών παραμέτρων σε χαμηλούς ρυθμούς), αλλά και εκείνες οι οποίες εμφανίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό εξάρτηση από το εύρος συχνοτήτων και ανελαστικότητα σε καθυστερήσεις (πχ παρακολούθηση κυκλοφοριακής συμφόρησης). Συνεπώς, είναι έκδηλη η ανάγκη μιας ελεγχόμενης βέλτιστης προσέγγισης για την εξυπηρέτηση διαφορετικών ρυθμών διακίνησης δεδομένων, καθεμία με τις δικές της ποιοτικές ανάγκες. Ιδιαίτερος με την ταχέως επεκτεινόμενη χρήση του υπολογιστικού σύννεφου, ο τομέας αυτός απαιτεί όλο και περισσότερη προσοχή καθώς τα δεδομένα και τα εργαλεία γίνονται ευρέως διαθέσιμα και αναγκαία μέσα από τις απαιτητικές IoT εφαρμογές. [SMZ08]

2.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΟΤ

Η εποχή των έξυπνων αντικειμένων είναι πλέον όχι μόνο ιδέα του μέλλοντος αλλά και απτή εφαρμογή του σήμερα. Η εκπλήρωση του στόχου μετάβασής από την ιδέα στην υλοποίηση και στη μετέπειτα εξέλιξη του "έξυπνου κόσμου", ερευνήθηκε από πολλά ξένες μεταξύ τους ερευνητικές κοινότητες, οι βασικότερες των οποίων, αυτές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), του Κινητού Υπολογισμού (Mobile Computing -MC), του Διάχυτου Υπολογισμού (Pervasive Computing -PC), των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSN) και πιο πρόσφατα των Φυσικών ή Διαδικτυακών Συστημάτων (Cyber Physical Systems - CPS). Με την εξέλιξη τόσο της τεχνολογίας αλλά και των λύσεων καθενός από τους προηγούμενους χώρους, η διακριτή διαχωριστική γραμμή μεταξύ τους είναι πλέον δυσδιάκριτη, αλλά κυρίως όχι πλέον αναγκαία. Συνεπώς το όραμα ενός ευφυούς κόσμου, συμπεριλαμβάνει στοιχεία τόσο από την επιστήμη του υπολογισμού, των ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών. [Sta14]

Η εικόνα του έξυπνου κόσμου, συντίθεται από πολλές μικρότερες εφαρμογές που δίνουν στον άνθρωπο την ψευδαίσθηση ανθρώπινης ευφυΐας. Στο όραμα του ΔτΠ περιλαμβάνονται πόλεις όπου τα κτήρια δε θα ελέγχουν μόνο θέματα ενέργειας ή ασφάλειας, αλλά θα ολοκληρώνονται μέσα από την ενσωμάτωση επιλογών προσωπικής άνεσης, υγείας και ευεξίας για τον ένοικό τους, εντός άνετων και αποτελεσματικών χώρων. Οι άνθρωποι πιθανώς θα έχουν τμήματα βιονικού δέρματος για την καταγραφή παραμέτρων φυσιολογίας και τη μετάδοσή αυτών, στο ψηφιακό βιβλιάριο υγείας του σύννεφου, καθώς και στους τριγύρω έξυπνους χώρους, με στόχο τη βελτιωμένη άνεση, υγεία, αποτελεσματικότητα και ασφάλεια.

Στην πραγματικότητα οι έξυπνες συσκευές- κόμβοι του νέου αυτού σύμπαντος του IoT, θα δρουν ως προσωπική συνεισφορά στην βελτίωση υπηρεσιών ευρείας κάλυψης, προσφέροντας οφέλη τόσο στην μονάδα όσο και την κοινωνία.

Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών θα περιλαμβάνουν άμεση και συνεχή πρόσβαση στη σωστή πηγή πληροφοριών για την εκάστοτε τρέχουσα εργασία, πραγματική ή εικονική μέσω της χρήσης avatar ή ρομπότ. Η ευφυΐα της αίσθησης και της ενεργοποίησης που υπόσχονται οι συσκευές, δε θα διατρέχει μόνο τους δημόσιους χώρους αλλά θα επεκτείνεται και στις εστίες των ανθρώπων, όπου οι τελευταίοι θα μπορούν να τρέχουν εφαρμογές υγείας, ενέργειας, ασφάλειας και ψυχαγωγίας. Η εγκατάσταση τέτοιων εφαρμογών θα είναι εύκολη και γρήγορη όπως η σύνδεση μιας ηλεκτρικής συσκευής στο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής ενέργειας.

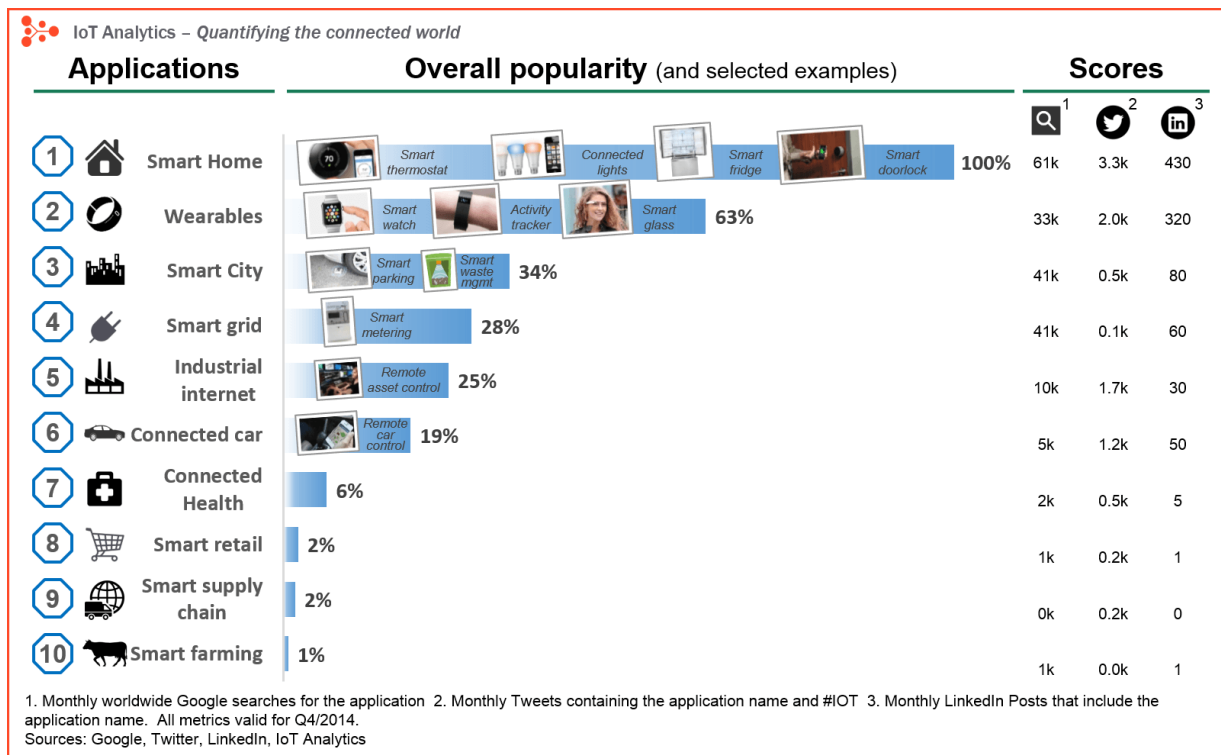
Η σημερινή αύξηση στη χρήση των RFID τεχνολογιών, ανοίγει το δρόμο για μια IoT πραγματικότητα, όπου το οικοδόμημα αυτό δεν νοείται μόνο ως ένα τεχνολογικό επίτευγμα και μια ώθηση των συσκευών σε περεταίρω εξέλιξή τους, αλλά και μια τεράστια και ανεκτίμητης αξίας εμπορική ευκαιρία. Με πολλούς να μιλούν για μια εξέλιξη ανάλογη αυτής των κινητών τηλεφώνων, [LC00] η επέκταση της συνδεσιμότητα κυκλώνει όλο και περισσότερες πλευρές της καθημερινής ζωής. Οι επικοινωνίες χαμηλής ισχύος άλλωστε όντας ένα καλά ορισμένο ερευνητικό πεδίο στην κοινότητα δικτύωσης των αισθητήρων έχει αποδώσει πολλά τεχνολογικά άλματα μέσα από πρωτόκολλα πρόσβασης, ανοίγοντας τις πόρτες για το IoT. [MSP+12]

Εκτός απ' την βελτίωση της ανταγωνιστικότητας μεταξύ κάθετων αγορών, οι τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων μπορούν να ανοίξουν το δρόμο σε πολλές νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες α) γεφυρώνοντας το όποιο κενό μεταξύ των κάθετων αγορών μέσω cross-domain εφαρμογών, β) καθιστώντας δυνατές νέες εφαρμογές που βασίζονται στις παρεχόμενες δυνατότητες των IoT τεχνολογιών, γ) βελτιώνοντας τις επιχειρησιακές διαδικασίες και αποφάσεις μέσω εξελιγμένων τεχνικών ανάλυσης των IoT ροών δεδομένων. Παρακάτω σημειώνονται ορισμένα από τα απεριόριστα πεδία εφαρμογής του ΔτΠ.

Εν κατακλείδι, οι τρεις χώροι όπου εντοπίζονται οι περισσότερες εκ των εφαρμογών (όπως καταγράφονται και στο [68]), αφορούν σε δραστηριότητες και εργασίες στο πεδίο των επιχειρήσεων, του περιβάλλοντος και της κοινωνίας.

2.7.1 Σύγχρονες, δημοφιλείς εφαρμογές του IoT

Σύμφωνα με έρευνα του IoT Analytics η οποία βασίστηκε στις αναζητήσεις χρηστών στη μηχανή αναζήτησης της Google, αλλά και σε σχετικές αναφορές στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης Twitter & LinkedIn, οι κύριοι τομείς ενδιαφέροντος στους οποίους στρέφεται η σημερινή εικόνα της αγοράς είναι η εξής: [MSP+12] [68,73]



Σχήμα 9: Δημοφιλείς IoT εφαρμογές

Έξυπνη κατοικία - Έξυπνα κτήρια (Smart home - smart buildings)

Εξέχουσα θέση διατηρεί ανάμεσα σε όλα, η δημοφιλέστερη περίπτωση της έξυπνης κατοικίας, η οποία αφορά σε εφαρμογές που ασχολούνται εν γένει με την παρακολούθηση των πόρων αλλά και των συνθηκών στο χώρο πέριξ και εντός μιας κατοικίας, διατηρώντας τη δυνατότητα δράσης και αλληλεπίδρασης αυτόματα ή χειροκίνητα εξ' αποστάσεως και σε πραγματικό χρόνο, ανάλογα με αυτές. Τέτοιες εφαρμογές καλύπτουν ζητήματα βασικών αναγκών όπως ασφάλειας (πυρκαγιά, παράνομη είσοδος, κλοπή, πλημμύρα), διατροφής (συνεχής γνώση των υπαρχόντων περιεχομένων ψυγείου και ερμαρίων και προτάσεις συνταγών βάσει αυτών), υγείας (κατάσταση ατμόσφαιρας, προτάσεις έκτακτης τροποποίησης διατροφής) όσο και δευτερευουσών άνεσης και αισθητικής. Επιπλέον, σημαντικοί παράγοντες ανόδου αναλόγων εφαρμογών είναι η μείωση των δαπανών για ένα νοικοκυριό καθώς και η

μείωση επιβάρυνσης του περιβάλλοντος μέσω της μείωσης των καταναλώσεων. Αξιοπρόσεκτα παραδείγματα δουλειάς έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια όπως οι έξυπνοι λαμπτήρες και θερμοστάτες. Οι μεν πρώτοι, πέραν της δυνατότητας τηλεχειρισμού τους, έχουν την πρόσθετη ικανότητα να δρουν συνεργατικά με άλλους πόρους του IoT και να ενημερώνουν με κατάλληλα σήματα φωτεινών ενδείξεων τον χρήστη για εισερχόμενα e-mail ή για επικείμενη κρούση του κουδουνιού ή όποια άλλη προσωποποιημένη εργασία επιθυμεί να απολαμβάνει ο χρήστης. Οι θερμοστάτες μπορούν και πάλι μέσα από συνεργασία με άλλους αισθητήρες, να παρακολουθούν την άφιξη ή την αποχώρηση από τον χώρο ενός κινούμενου οχήματος ή προσώπου αυτο-ρυθμίζοντας ανάλογα τη λειτουργία τους. [Bra06]

Περιφερειακά gadgets που μπορούν να φορεθούν - φορετοί αισθητήρες (Wearables)

Σε αυτή τη λίστα συγκαταλέγονται μικροσυσκευές όπως τα έξυπνα ρολόγια, γκάτζετ σχετικά με την παρακολούθηση του ύπνου ενός βρέφους, τη γυμναστική, τη φυσική ή ψυχολογική κατάσταση και τον έλεγχο της υγείας του χρήστη που μπορούν να ενσωματωθούν σε ρούχα, γυαλιά, παπούτσια, ρολόγια χειρός ή ακόμα και να τοποθετηθούν απευθείας στο σώμα επιβλέποντας, καταγράφοντας και ενημερώνοντας αδιαλείπτως και σε πραγματικό χρόνο τον χρήστη.

Έξυπνη Πόλη (Smart City)

Η περίπτωση αυτού του κλάδου περιλαμβάνει μια ευρεία ποικιλία αντικειμένων και υπηρεσιών που απαρτίζουν μια κοινότητα, ένα δήμο ή μια μεγαλούπολη. Το ενδιαφέρον εκτείνεται συγκεκριμένα από ρύθμιση κυκλοφορίας, σύστημα παροχή νερού, διαλογή απορριμμάτων, αστυνόμευση και παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Η συσσώρευση στα αστικά κέντρα έχει επιφέρει αναρίθμητες δυσκολίες στον τρόπο και το ρυθμό διαβίωσης των πολιτών των σημερινών κοινωνιών, γεγονός που οδηγεί στη ραγδαία στροφή του IoT στη βιώσιμη ανάπτυξη λύσεων επί της συγκεκριμένης περιοχής ενδιαφέροντος. Υπάρχει πρόσφορο έδαφος για πολλά υποσχόμενες εφαρμογές σε αυτόν τον κλάδο οι οποίες οραματίζονται αστικά κέντρα υψηλής ποιότητας διαβίωσης, απαλλαγμένα από ρύπους, μπουτιλιάρισμα, ταλαιπωρία χώρων στάθμευσης, ηχορύπανση και εγκληματικότητα.

Έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας (Smart grids)

Ειδικός τομέας στα πλαίσια του οποίου υπάρχει χώρος για την ανάπτυξη εφαρμογών οι οποίες χρησιμοποιούν πληροφορία για τη συμπεριφορά των παρόχων και καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο προκειμένου να επιτευχθεί βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της απόδοσης, της αξιοπιστίας και του οικονομικού κόστους ενεργειακής κάλυψης. [YY10] Η αποτελεσματική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μέσω της παρακολούθησης κάθε ηλεκτρικού σημείου εντός ενός σπιτιού, χρησιμοποιώντας αυτή την πληροφορία για την τροποποίηση του τρόπου που αυτή καταναλώνεται. Επεκτείνοντας την εικόνα, η πληροφορία αυτή μπορεί να μεταδοθεί σε

επίπεδο πόλεως, για τη διατήρηση ισορροπίας φορτίου εντός του δικτύου, διασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. [GBM+13]

Βιομηχανικό IoT (Industrial Internet of Things)

Το IIoT αποτελεί τη στοχευμένη εφαρμογή των τεχνολογιών του IoT στον τομέα των κατασκευών. Ο συγκεκριμένος τομέας αποσκοπεί στο να μετασχηματίσει τις εταιρείες και τις χώρες σε ανώτερο επίπεδο, εισάγοντας τις σε μια νέα εποχή οικονομικής ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας. Ενσωματώνει ιδέες έξυπνων μηχανών και εφαρμόζεται εκτός των άλλων σε projects μεταφορών όπως αυτόνομα οχήματα χωρίς οδηγό ή έξυπνα σιδηροδρομικά συστήματα. Οι οραματιστές του βλέπουν ένα μέλλον όπου κυριαρχεί η στενή συνεργασία ανθρώπων, δεδομένων και έξυπνων μηχανών με ευρείς και εκτεταμένους αντίκτυπους στην παραγωγικότητα, την αποδοτικότητα των δράσεων των εταιριών ανά τον κόσμο.

Διασυνδεδεμένο αυτοκίνητο (Connected car)

Ανοδική πορεία ακολουθεί και η σύλληψη του διασυνδεδεμένου στο διαδίκτυο, αυτοκινήτου μέσω του οποίου σε συνεργασία με ένα έξυπνο δίκτυο μεταφορών και μετακινήσεων, τίθεται ο στόχος αντιμετώπισης ή περιορισμού των κυκλοφοριακών συμφορήσεων. Παράλληλα θα διευκολυνθεί μέσω των συνδεδεμένων αισθητήρων, η παρακολούθηση της αξίας και της φθοράς του οχήματος και του εξοπλισμού του, σε πραγματικό χρόνο. Ζητήματα κινητικότητας εντός πόλης και δυσκολίας εύρεσης χώρου στάθμευσης θα εξαλείφονταν ολοκληρώνοντας τον ευρύτερο στόχο μιας έξυπνης πόλης. Μέσω των αισθητήρων το διασυνδεδεμένο αυτοκίνητο μπορεί να απολαμβάνει γνώση της ροής κυκλοφορίας, τον αριθμό των οχημάτων ή την μέση ταχύτητά τους δημιουργώντας έτσι την ψευδαίσθηση ευφυΐας στο όχημα. [BSB74]

Διασυνδεδεμένη υγεία (Ψηφιακή υγεία/Τηλεϊατρική)

Η υγεία αποτελώντας ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά μιας ανεπτυγμένης πολιτείας, στοιχειοθετεί έναν σίγουρο, εύφορο και συνάμα τεράστιο κλάδο δράσης και ανάπτυξης IoT εφαρμογών. Η σύλληψη ενός συνδεδεμένου συστήματος υγειονομικής περίθαλψης δια μέσου έξυπνων ιατρικών συσκευών αποτελεί τον κοιμώμενο γίγαντα του IoT. Τέτοιες εφαρμογές στοχεύουν όχι μόνο σε επιχειρήσεις και εταιρείες φαρμακευτικών προϊόντων & σκευασμάτων ή παροχής ιατρικής φροντίδας αλλά και στο ευ ζην των ανθρώπων εν γένει. [DGS+11] Όπως είδαμε προηγούμενα, η χρήση των IoT τεχνολογιών στον υγειονομικό τομέα, προσφέρει τόσο στην πρόβλεψη όσο και στην ίδια τη σωτηρία μιας ανθρώπινης ζωής. δρώντας τόσο ως παρακολουθητής αλλά και ως ταχύς αγγελιαφόρος σε κρίσιμες στιγμές ανάγκης [MSP+12]

Έξυπνο λιανικό εμπόριο (Smart retail)

Αφορά σε λύσεις στοχευμένης διαφήμισης και μάρκετινγκ, διευκόλυνση οικονομικών συναλλαγών(πχ POS), διαχείρισης αποθηκών και διαθεσίμου ποσότητας προϊόντων που στόχο έχουν μεταξύ άλλων τη

διευκόλυνση αγορών από το αγοραστικό κοινό και την αύξησης των πωλήσεων για τις επιχειρήσεις. Οι IoT τεχνολογίες εδώ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της διαθεσιμότητας του στοκ ή να παρέχουν αυτόματα στους χρήστες περεταίρω πληροφορίες για τα προϊόντα που αγόρασαν. Τέλος μέσω αυτών των λύσεων μπορεί να περιοριστεί τόσο η κλοπή εντός των καταστημάτων αλλά και η αναγνώριση και πιστοποίηση γνησιότητας ενός προϊόντος, ενώ όσον αφορά τις αγορές τροφίμων, βιο-αισθητήρες μπορούν να επιτρέψουν διαδικασίες ελέγχου παραγωγής, ποιότητας τελικού προϊόντος και χειροτέρευσης του προϊόντος κατά τη διάθεσή του στα ράφια των καταστημάτων. [MSP+12]

Έξυπνη αλυσίδα εφοδιασμού (Smart supply chain)

Αποτελεί τμήμα του παραπάνω κλάδου, συμπεριλαμβάνοντας έξυπνες λύσεις κίνησης, αδιάλειπτου παρακολούθησης και εντοπισμού αγαθών, διευκολύνοντας τις διαδικασίες μεταφοράς ή/και αποθήκευσής τους. Κατά συνέπεια, οι εταιρείες θα διαθέτουν πρόσθετη διευκόλυνση στον περιορισμό των λειτουργικών τους εξόδων, δίνοντας νέα ώθηση στην παραγωγικότητα, λόγω αυτού του εγκυρότερου προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων (ERP).

Έξυπνη καλλιέργεια (Smart farming) - Περιβαλλοντολογική παρακολούθηση (environmental monitoring)

Η έξυπνη καλλιέργεια συνήθως παραβλέπεται αποτελεί μια επιχειρησιακή κίνηση, η οποία παραβλέπεται στα πλαίσια του IoT σε σχέση με άλλες πιο δημοφιλείς κατηγορίες όπως η υγεία, οι μεταφορές ή η βιομηχανία. Παρόλα αυτά, λόγω των συχνά απομακρυσμένων εγκαταστάσεων αυτών των επιχειρήσεων, καθώς και του μεγάλου αριθμού εκτρεφόμενων ζώων που θα μπορούσαν να παρακολουθούνται, σχετικές εφαρμογές δύνανται να φέρουν την επανάσταση στον τρόπο εργασίας των αγροτών, αναδιαμορφώνοντας πιθανότατα τον τομέα σε χώρες όπου καλύπτει σημαντικό μέρος του εγχώριου προϊόντος τους. Παράλληλα, η IoT τεχνολογία δύναται να αξιοποιηθεί για την παρακολούθηση φυσικών και καιρικών δεδομένων, μέσα από καταγραφές μετρήσεων ροών δεδομένων πχ. ισχύς ανέμου, δονήσεις ή θερμοκρασία εδάφους, στάθμη υδάτων, επίπεδα βροχόπτωσης κλπ. Η αξιοποίηση πολλών μικροσκοπικών συσκευών μπορεί να διευκολύνει την πρόσβαση του ανθρώπου σε περιοχές δύσβατες και μη προσπελάσιμες από τον άνθρωπο (πχ υφαιστειογενείς περιοχές, ωκεανοί κλπ), απ' όπου χρήσιμη πληροφορία μπορεί να μεταλαμπαδευθεί σε ένα σημείο απόφασης για τον εντοπισμό ανώμαλων ή επικίνδυνων συνθηκών για τον άνθρωπο, το περιβάλλον, τις καλλιέργειες αλλά και τα ζωντανά. [MSP+12]

Μέσα από όλα τα παραπάνω διακρίνεται εμφανής πλέον η σύνδεση IoT και οντολογιών τομέων. Προκειμένου να συσταθεί για κάθε μία περιοχή από τις παραπάνω, ένα δίκτυο αντικειμένων, υπηρεσιών και αλληλεπίδρασης αυτών, είναι απαραίτητη μια τυπική, βαθιά λεπτομερής και κυρίως πλήρης περιγραφή τους από οντολογίες τομέων.



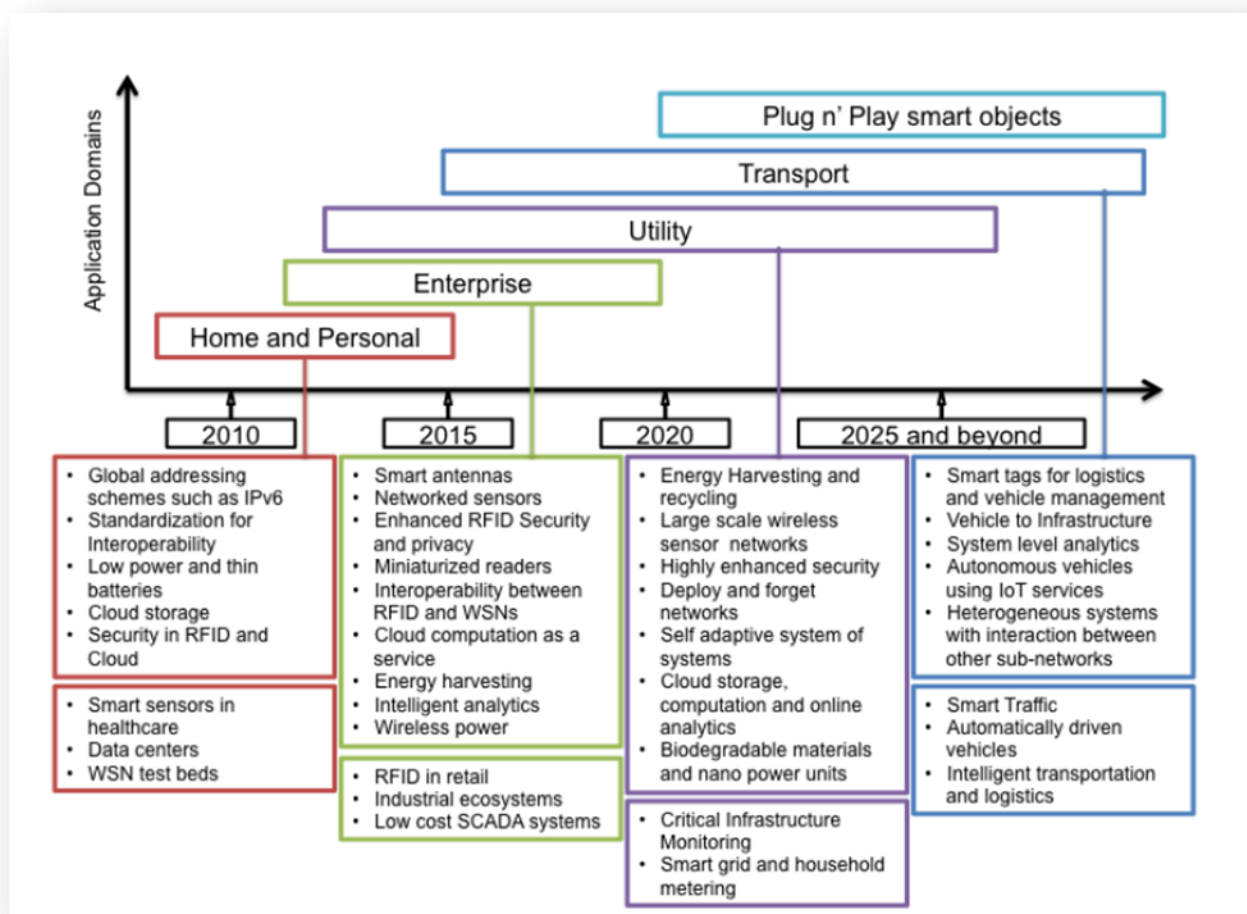
Σχήμα 10: Εφαρμογές IoT

2.7.2 Περαιτέρω εφαρμογές

Προχωρώντας σε μεγαλύτερο βάθος, σημαντικές είναι οι αναφορές και οι μελέτες όσον αφορά το κομμάτι των επιμέρους τμημάτων των παραπάνω συστημάτων, μέσα από την υλοποίηση άλλων μικρότερων. Πιο αναλυτικά, σημαντικές εφαρμογές του IoT, ιστορικά από τις πρώτες, είναι το κομμάτι της φύλαξης και της ασφάλειας. Πέραν των λύσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω όσον αφορά την ασφάλεια στο λιανικό εμπόριο, η φύλαξη ενός δημόσιου ή ιδιωτικού χώρου μέσω κλειστών κυκλωμάτων παρακολούθησης βρήκε ανταπόκριση από τις απαρχές της δημιουργίας των βιντεοκαμερών. Από την φύλλαξη ενός εμπορικού κέντρου ή ενός εργοστασίου μέχρι την εφαρμογή της ασφάλειας σε εθνικό επίπεδο για την αποφυγή και την αποτροπή απειλών, οι IoT τεχνολογίες μέσω της σύνδεσης των συσκευών, μπορούν να προσφέρουν αξιοσημείωτη βελτίωση στη λειτουργία των σύγχρονων λύσεων, παρέχοντας ίσως φθηνότερες και λιγότερο επεμβατικές εναλλακτικές έναντι των καμερών, προστατεύοντας ως ένα μεγαλύτερο βαθμό, ει δυνατόν, την ιδιωτικότητα των ανθρώπων. Αξιοποιώντας αισθητήρες περιβάλλοντος ή παρακολούθησης και αποκωδικοποίησης της συμπεριφοράς των ανθρώπων, μπορεί να προβλεφθεί ο έλεγχος ύποπτων κινήσεων. Σε συνδυασμένη χρήση με συστήματα ελέγχου, οι

IoT τεχνολογίες δύνανται να παρέχουν ένα υψηλό επίπεδο ελαστικότητας και αντιμετώπισης μεταβαλλόμενων πολιτικών πρόσβασης. [MSP+12]

Όλες αυτές οι εφαρμογές ωστόσο είναι μόνο η κορυφή του παγόβουνου, καθώς όλες βρίσκονται στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξής τους. Η σταθερά αυξανόμενη πυκνότητα της αίσθησης και της εκτέλεσης της εκτέλεσής τους, αναμένεται να επιδράσει αξιοσημείωτα στον τρόπο ζωής και εργασίας των ανθρώπων. Η ύπαρξη συστημάτων από συστήματα που θα δρουν συνεργατικά για το σχηματισμό νέων, άγνωστων και απρόβλεπτων εφαρμογών αποτελεί μια βεβαιότητα οδηγούμενη από τις ανάγκες της αγοράς. Σύμφωνα με τους Gubbi και λοιπούς [GBM+13], τα μελλοντικά βήματα των IoT διάχυτων εφαρμογών μπορούν να συνοψισθούν στο ακόλουθο χρονολογικό διάγραμμα:



Σχήμα 11: Πρόβλεψη ανάπτυξης πεδίων εφαρμογής

2.7.3 Γενικού σκοπού IoT Εφαρμογές μεταξύ τομέων

Όπως είδαμε ήδη, η επέκταση του διαδικτύου δια μέσου της σύνδεσης πολλών συσκευών που περιέχουν αισθητήρες, ενεργοποιητές ή κωδικοποιημένες ετικέτες (rfid) για την επίτευξη επικοινωνίας, παρουσιάζει αυξανόμενο ενδιαφέρον, οικοδομώντας μαζί με ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων το διαδίκτυο των πραγμάτων. Κατ' επέκταση, οι εφαρμογές στο IoT που εστιάζουν σε ένα συγκεκριμένο τομέα, όπως αυτοματισμοί οικίας, παρακολούθηση υγείας και φυσικής κατάστασης, διαχείριση έξυπνου συστήματος μεταφορικών μέσων, ευφυής διαλογή απορριμμάτων κλπ, γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλείς. Κάθε μια εξ' αυτών χρησιμοποιεί τους δικούς της όρους και τις δικές της τεχνολογίες για να περιγράψει τους αισθητήρες και τις μετρήσεις τους. Αντίστοιχα, με αυτό το σκεπτικό δομήθηκαν και οι αισθητηριοκεντρικές οντολογίες που περιγράφουν αυτή καθ' αυτή τη λειτουργία μιας συσκευής. Η απλή επεξεργασία ακατέργαστων δεδομένων τους όμως, θα περιόριζε τη λειτουργικότητα του αποτελέσματος. Αντίθετα επιπρόσθετη πληροφορία όπως μονάδες μέτρησης ή συμφραζόμενα γίνονται απαραίτητα για την αποκόμιση ενός συμπεράσματος. Προς αυτό το σκοπό δημιουργήθηκαν οντολογίες όπως οι SSN & M3 οι οποίες κατά ένα μεγάλο ποσοστό προτυποποίησαν τη λειτουργία και το πεδίο εργασίας αισθητήρων, παρατηρήσεων και μετρήσεων, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο δυναμική αλληλεπίδραση, συναίσθηση με το περιβάλλον και επίγνωση του εκάστοτε πλαισίου συνθηκών. Το ζήτημα όμως της κατασκευής εφαρμογών μεταξύ τομέων, ξεφεύγει των πλαισίων των συσκευών-μηχανών που αποτελούν το χαμηλότερο στρώμα και επεκτείνεται σε πρώτο βαθμό στους κλάδους, γεγονός το οποίο αποτέλεσε αντικείμενο συζήτησης και έρευνας από πολλούς μελετητές.

Πιο αναλυτικά για να γίνει εμφανές το ζήτημα ας φέρουμε το παράδειγμα της μόλυνσης και της ιατρικής. Παρακολουθώντας τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα αποτελέσματα αισθητήρων στέλνονται σε άλλους αισθητήρες ιατρικών κέντρων πρόληψης. Προκειμένου να ληφθεί αυτομάτως δράση θα πρέπει να είναι εφικτή μια κατάσταση διαλόγου. Συνεπώς θα πρέπει οι εκάστοτε αισθητήρες προκειμένου να επικοινωνήσουν είτε να μιλούν την ίδια γλώσσα, είτε σε διαφορετική περίπτωση οι δυο γλώσσες να διέπονται από βασικούς κανόνες διευκολύνοντας την μετάφραση των δεδομένων του ενός στον άλλο. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό είτε με προτυποποίηση θεμελιακών κανόνων οικοδόμησης οντολογικών γλωσσών είτε την ανακύκλωση όρων από ήδη υπάρχοντα RDF λεξιλόγια, (όπως SKOS, FOAF, DC, Good Relations κτλ).

Αξιοσημείωτη είναι η συνεισφορά των Sheth και λοιπών [SHS08], οι οποίοι σχεδιάζοντας την έννοια του σημασιολογικού δικτύου αισθητήρων, κατόρθωσαν να προσθέσουν σχόλια και σημειώσεις στις περιγραφές των αισθητήρων και των δεδομένων τους, συστήνοντας εν παραλλήλω, την ανάγκη δόμησης οντολογιών τομέων, παραλείποντας όμως να εκθειάσουν τα όποια αποτελέσματα, θετικά ή/και αρνητικά ανακύπτουν από την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση τους.

Όπως σαφώς αποτυπώνεται σε δημοσιεύσεις των Hachem και λοιπών [HTI11], η παρέμβαση ειδικών από κάθε κλάδο για την ερμηνεία των δεδομένων κάθε αισθητήρα είναι τόσο κοστοβόρα, όσο και χρονοβόρα ως διαδικασία. Παρόλα αυτά, δεν στηρίζουν την επαναχρησιμοποίηση γνώσης τομέων που έχει ερμηνευθεί και συμπεριληφθεί σε υπάρχοντα projects. Το ερευνητικό σχέδιο Spitfire επί παραδείγματι, συνδύασε το Semantic Web (SW) με το Internet of Things (IoT) προκειμένου να δημιουργηθεί το Semantic Web of Things (SWoT). Τα περισσότερα εκ των τρεχόντων ερευνητικών έργων όπως τα SemSOS, Sense2Web, Semsor4grid4env συμπληρώνουν εννοιολογικά, οπτικοποιούν και συνδέουν ροές δεδομένων με το Linked Open Data (LOD). Όπως παρουσιάστηκε και στην τελευταία αναφορά της SSN οντολογίας, η τελευταία δεν παρέχει μια βάση συλλογιστικής η οποία θα διευκολύνει την ανάπτυξη προηγμένων εφαρμογών. Εξαιτίας αυτού του περιορισμού προέκυψε η M3 οντολογία, μια επέκταση της W3C SSN.

Πρόσφατα, οι Chen και λοιποί [CXL+14] παρουσίασαν την ανάγκη ευφυούς επεξεργασίας IoT/M2M δεδομένων, επεξηγώντας το ζήτημα των εφαρμογών εστιασμένων σε συγκεκριμένο τομέα. Παράλληλα, οι Moriandi και λοιποί [MSP+12] περιγράφουν την ανάγκη ανάπτυξης εφαρμογών μεταξύ τομέων, της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας, της διαχείρισης των δεδομένων για την ανταλλαγή και την ανάλυση IoT/M2M δεδομένων ώστε να γεννάται νέα πληροφορία δια μέσου της λογικής. Στο έργο των Manate κ.α. [MMF14] διαπιστώνουμε ότι εστίασαν τον ενδιαφέρον τους στην ανάγκη εφαρμογής οντολογιών εστιασμένων σε τομείς, ως επίσης και στο ταίριασμα οντολογιών και την ευθυγράμμιση εργαλείων για τη δημιουργία IoT εφαρμογών καθώς οι ήδη υπάρχουσες (οντολογίες τομέων), δεν έχουν σχεδιαστεί υπό ένα ενοποιημένο, ομοιόμορφο και διαλειτουργικό τρόπο, κάτι που καθιστά ανεπαρκείς, έως και τις προτυποποιημένες γλώσσες σημασιολογικού ιστού, να τις διαχειριστούν.

Μεταξύ άλλων, οι Noy και λοιποί [NM01] στη μεθοδολογία ανάπτυξης οντολογιών τους, προτρέπουν τους σχεδιαστές οντολογιών στη επαναχρησιμοποίηση-ανακύκλωση ήδη υπαρχόντων οντολογιών. Διαθέτουν εργαλεία κατηγοριοποίησης της γνώσης των τομέων όπως τον κατάλογο οντολογιών Linked Open Vocabularies (LOV), το DataHub project για συλλογές δεδομένων ή σημασιολογικές μηχανές αναζήτησης (για τις οποίες έγινε μνεία παραπάνω) όπως Sindice, Watson & Swoogles. Μολαταύτα, οι ειδήμονες κάθε κλάδου δεν το ασπάζονται επί του πρακτέου. Για τις περισσότερες εκ των οντολογιών που σχετίζονται με τις έξυπνες πόλεις, επί παραδείγματι, δε γίνεται αναφορά σε κανένα εξ' αυτών των εργαλείων, ελλείψει δημοσίευσης τους διαδικτυακά ή συμμόρφωσής τους σε κατευθυντήριες γραμμές του σημασιολογικού δικτύου. Δυστυχώς, η επαναχρησιμοποίηση ήδη υπαρχουσών οντολογιών καθώς και για η μεταξύ τους σύνδεσή, είναι μια ιδιαίτερως απαιτητική εργασία. Όπως στηρίζεται και μέσα από προτυποποιήσεις των W3C Web of Things , ETSI M2M and OneM2M , η ανάγκη υποστήριξης και προτροπής προς χρήση των βέλτιστων σημασιολογικών διαδικασιών καθώς και ο επανασχεδιασμός του όλου εγχειρήματος υπό μια νέα ομοιόμορφη έκδοση, αποτελεί μονόδρομο.

Εντέλει, σύμφωνα με τον Narang Kishor, κάθε πραγματική IoT εφαρμογή ή λύση χρειάζεται τεχνογνωσία στην τομή πολλών κλάδων, ενώ συγγραφείς όπως Gubbi και λοιποί υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα καινοτόμων αλγορίθμων συγχώνευσης για την τεκμηρίωση υψηλού επιπέδου αφαιρέσεων M2M δεδομένων.

Οι πληροφορίες που συλλέγονται από την M2M επικοινωνία των αντικειμένων, είναι πολυτροπικές και αφορούν διαφορετικούς επιστημονικούς, και μη, τομείς ποικίλης φύσεως. Αυτό αποτελεί την ουσιαστικότερη τροχοπέδη στην διαδικασία αποτελεσματικής ερμηνείας των δεδομένων, και συνεπώς μια εκ των κυριότερων προκλήσεων. Οι σημασιολογικές τεχνολογίες δικτύου όπως οι οντολογίες και οι διασυνδεδεμένοι κανόνες και τα δεδομένα, είναι αυτά που αξιοποιούνται ως δραστικές λύσεις για τα παραπάνω ζητήματα. Ταυτόχρονα όμως, εν αντιθέσει με την προγενέστερη ολοκλήρωση περιγραφής των αισθητήρων αυτών καθ'αυτών, το χάσμα μεταξύ αυτών των τεχνολογικών περιοχών δεν είναι καθόλου αμελητέο. Για τη γεφύρωση του θα πρέπει να υιοθετηθεί μια ανάλογη ομοιομορφία στην επεξεργασία, το διαμοιρασμό τους και την αναφορά εν γένει σε αυτά.

Υψίστης σημασίας και προσφοράς, είναι η επέκταση του LOV με την προσθήκη του συνόλου δεδομένων LOV4IoT, του διασυνδεδεμένου ελεύθερα διαθέσιμου λεξιλογίου που προέκυψε από 200 βασισμένα σε οντολογίες projects, για τομείς που ανήκουν στη σφαίρα του IoT, όπως υγεία, αυτοματισμοί κτηρίων, διατροφή, καλλιέργειες, τουρισμός, μεταφορές και έξυπνες πόλεις. Η ύπαρξη του, είναι αυτή που θέτει το περίγραμμα του σημασιολογικού ιστού των αντικειμένων (SWoT). Αποτελείται από οντολογίες τομέων, σύνολα δεδομένων, και κανόνες βασισμένους σε τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού που θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν για την επαναχρησιμοποίηση γνώσης, για την κατασκευή cross-domain εφαρμογών.

Η διαδικασία είναι απλή. Συνοπτικά έχει ως εξής. Τα φυσικά αντικείμενα γεννούν ακατέργαστες μετρήσεις στις οποίες κατόπιν προστίθενται επιπρόσθετη πληροφορία για να δημιουργηθεί ένα δομημένο μεταδεδομένο που φέρει πληροφορίες για τη μονάδα μέτρησης, το όνομα, τον τύπο και τη μοναδική ταυτότητα του αισθητήρα κλπ. Στο επόμενο βήμα, δημιουργούνται αφαιρέσεις και δείκτες που δίνουν μια λεπτομερή εικόνα των εκάστοτε M2M δεδομένων, χρησιμοποιώντας λογικούς κανόνες κατηγορηματικής λογικής και γνώση από διαφορετικούς τομείς/κλάδους. Αυτό δίνει ως αποτέλεσμα μια αξιοποιήσιμη ευφυΐα η οποία δύναται να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων υψηλού επιπέδου & τη ρύθμιση καταστάσεων μέσα από τον έλεγχο και την ενεργοποίηση άλλων αντικειμένων.

Τα δεδομένα όμως όπως είπαμε, ανάλογα με τον εκάστοτε υπό μελέτη κλάδο λαμβάνουν διαφορετική ερμηνεία. Απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη γενικών IoT εφαρμογών μεταξύ τομέων είναι η περιγραφή της σημασίας των μετρήσεων. Για παράδειγμα η θερμοκρασία λαμβάνει 3 διαφορετικές σημασίες στον τομέα της υγείας, της μετεωρολογίας και ενός έξυπνου σπιτιού. Στους κλάδους του IoT, σε αντίθεση με την περίπτωση περιγραφής των αισθητήρων μέσω βασικών θεμελιωδών οντολογιών

(SSN, M3) , η προτυποποίηση τους είναι δυσχερής καθώς, οι ειδικοί των διαφόρων domains διαρκώς τροποποιούν τη γνώση και τους κανόνες που τη διέπουν, δε γνωρίζουν τα σημασιολογικά εργαλεία αλλά κατά τρίτον και κυριότερο, τα υπάρχοντα εργαλεία αντιστοίχισης και ταύτισης δεν είναι κατασκευασμένα για να συνδέουν γνώση τομέων. Συνώνυμα εννοιών δεν δύναται να αναγνωριστούν ακόμη και με τη χρήση λεξικών, αφού τα τελευταία, δεν ειδικεύονται τις περισσότερες φορές στην εκάστοτε τεχνική ορολογία του κάθε κλάδου.

Παρόλη την οικοδόμηση και τον εμπλουτισμό των οντολογιών και των κανόνων τους, με σχήματα όπως τα Resource Description Framework (RDF), RDF Schema (RDFS), Ontology Web Language (OWL) and SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL), η δημιουργία εφαρμογών και υπηρεσιών IoT στην τομή δυο κλάδων επιβάλλει την προτυποποίηση ορισμένων στοιχείων του σημασιολογικού δικτύου.

Μια τέτοια πρόταση, όπως αναφέρθηκε προθύστερα, έρχεται από την M3, όπου προτείνεται μια ενιαία, ομοιόμορφη περιγραφή τόσο των αισθητήρων και των μετρήσεων όσο και των τομέων. Το M3 πλαίσιο πέρα από μια σειρά φυσικών αντικειμένων (αισθητήρες, ενεργοποιητές, RFID ετικέτες κλπ), διαθέτει εργαλεία ανώτερου επιπέδου όπως μηχανισμούς εξαγωγής δεδομένων (& λογικών συμπερασμάτων επ' αυτών) και μετατροπής τους με ομοιόμορφο τρόπο (RDF/XML) σε συμμόρφωση με τα πρότυπα της M3 οντολογίας, βάσεις δεδομένων για την αποθήκευση σημασιολογικών δεδομένων αισθητήρων που πληρούν τα δεδομένα της M3 οντολογίας, μηχανισμούς διεξαγωγής SPARQL queries επί αυτών, και τέλος μέσα ανάλυσης και παρουσίασης αποτελεσμάτων στον χρήστη.

Με κάθε επιλογή αισθητήρα και τομέα ενδιαφέροντος, επιστρέφεται αυτόματα στο χρήστη μια σειρά προτάσεων κάθε μία εκ των οποίων αποτελεί περίγραμμα πιθανών εφαρμογών μεταξύ 2 ή περισσότερων τομέων. Επί παραδείγματι, εάν ένας χρήστης επιλέγει τον αισθητήρα φωτός και τον τομέα της μετεωρολογίας, πιθανές επιστροφές αποτελέσματος θα είναι:

- συσκευές καιρού, μεταφορές και ασφάλεια
- συσκευές καιρού, τουρισμός και δραστηριότητες
- συσκευές καιρού, τουρισμός και ρουχισμός
- συσκευές καιρού, φωτεινότητα και συναίσθημα

Ο χρήστης αφού επιλέξει μια εκ των παραπάνω επιλογών, το πλαίσιο M3 παράγει τις M3 οντολογίες, τα M3 σύνολα δεδομένων, τους M3 κανόνες και πιθανά M3 sparql ερωτήματα, βάσει όλων των οποίων θα οικοδομηθεί η κατάλληλη επιλεχθείσα εφαρμογή.

Πέρα από τα παραπάνω, γίνεται έκδηλο ότι οι καινοτομίες και η προσφορά του M3 πλαισίου συγκεντρώνονται επίσης και στα εξής κύρια σημεία:

- συμπλήρωση μέσω σχολιασμού και προσθηκών, των σημασιολογικών περιγραφών των αισθητήρων και των μετρήσεων διαφόρων κλάδων, με ενιαίο τρόπο, δρώντας με εργαλεία λογικής επί αυτών, αξιοποιώντας παράλληλα τους κανόνες Sensor-based Linked Open Rules (S-LOR) για τη συνεπαγωγή αφαιρέσης σε υψηλό επίπεδο.
- αφομοίωση εργαλείων αντιστοίχισης οντολογιών, για την επίτευξη εναρμόνισης της γνώσης κλάδου και κατ' επέκταση τη διευκόλυνση συναγωγής νέας γνώσης απαραίτητης για την οικοδόμηση σεναρίων μεταξύ τομέων.

Εν κατακλείδι, βλέποντας τη γενικότερη εικόνα κλιμακούμενα, στο Internet of Things (IoT) επιτυγχάνεται η σύνδεση αντικειμένων στο διαδίκτυο σε επίπεδο δικτύου, στο Web of Things (WoT) τα αντικείμενα συνδέονται μεταξύ τους μέσω προσεγγίσεων, αρχιτεκτονικών μορφών λογισμικού, και προγραμματιστικών μοτίβων σε επίπεδο εφαρμογών και τέλος στο Semantic Web of Things (SWoT) με την ολοκλήρωση του σημασιολογικού δικτύου, ομάδες αντικειμένων φέρουν τα κατάλληλα εργαλεία για το διαμοιρασμό των αντικειμένων και τη σύνθεση εφαρμογών μεταξύ τομέων, που μπορούν να λειτουργούν με βέλτιστο τρόπο. Για την αρτιότερη, πληρέστερη και λειτουργική υλοποίηση των τελευταίων, απαραίτητη προϋπόθεση/προαπαιτούμενο, είναι η προτυποποίηση των εργαλείων που χρησιμοποιούνται για αυτό τον σκοπό. Τέλος, μέσα από την εισαγωγή σε αυτά τα πιο σύνθετα συστήματα, στόχος είναι η επίτευξη της αυτονομίας διαχείρισης αυτής της πολυπλοκότητας από τις εφαρμογές, ώστε η διαμόρφωση αποφάσεων υψηλού επιπέδου και η λειτουργία στα πλαίσια πολιτικών καθορισμένων από τον άνθρωπο να μην φαντάζει κάτι ουτοπικό, αλλά αντίθετα ολοκληρωμένο εγχείρημα.

2.8 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΟΤ

Το IoT ακολουθώντας μια σειρά κανόνων και εφαρμόζοντας μια ομοιομορφία στην εκτέλεση των εργασιών, χωρίς αυτή να είναι δεσμευτική ή περιορισμένη στη συνηθισμένη περίπτωση, επιτρέπει την αυτοματοποίηση και τον έλεγχο λειτουργιών και συνθηκών σε καθημερινή βάση, παραλείποντας ή περιορίζοντας σημαντικά την ανθρώπινη παρέμβαση. Αναλαμβάνοντας το τιμόνι δράσης τόσο σε περιπτώσεις έκτακτης αλλά και συνήθους ανάγκης όπως την παρακολούθηση, πρόβλεψη και εκτέλεση αγορών προϊόντων πρώτης ανάγκης ενός νοικοκυριού ή τη ρύθμιση των συνθηκών της ατμόσφαιρας ενός χώρου, το IoT προσφέρει αποτελεσματικότητα και ταχύτητα, μειώνοντας τις ανάγκες του πιο περιζήτητου αγαθού της σημερινής εποχής, του χρόνου. Παραδίδοντας την ευθύνη επανάληψης βαρετών και ομοιόμορφων εργασιών στις αλληλεπιδράσεις μηχανών, ο άνθρωπος απολαμβάνει και πιο ακριβή αποτελέσματα αλλά και την πολυτέλεια αξιοποίησης των γρήγορων ρυθμών ζωής του με άλλον τρόπο. Όλες οι εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας συγκλίνουν στην παροχή αυξανόμενης άνεσης και καλύτερης

ποιότητας ζωής. [74] Το 2015, 43% των επιχειρηματικών κινήσεων που χρησιμοποίησαν IoT παραχθείσα πληροφορία, κατάφεραν να βελτιώσουν τις υπηρεσίες του και να αυξήσουν την δέσμευση των καταναλωτών τους. Εφαρμόζοντας ένα πλατύ εύρος μετρικών, οι IoT συσκευές μπορούν, εν κατακλείδι, να έχουν γνώση για τις καταναλωτικές (κι όχι μόνο) συνήθειες και τις προτιμήσεις του χρήστη, διαμορφώνοντας ένα προσωπικό προφίλ των εφαρμογών που τρέχουν, προσφέροντας άνεση και ικανοποίηση στον χρήστη, αλλά δίνοντας παράλληλα μια ώθηση σε άλλους επιχειρηματικούς τομείς όπως την στοχευμένη ψηφιακή διαφήμιση.

Πρώτο και κυριότερο πλεονέκτημα πέραν της παροχής άνεσης όμως, είναι αυτό του αντίκτυπου στην υγεία των ανθρώπων στις σύγχρονες κοινωνίες. Όπως είδαμε, το IoT δρα ευεργετικά για τους τεχνολογικούς και επιχειρηματικούς γίγαντες του σήμερα. Πλην όμως, η πρώτη και μεγαλύτερη συνεισφορά του είναι αυτή στη μονάδα, δηλαδή στον άνθρωπο. Εκτός του κέρδους ανακούφισης του ψυχικού φορτίου με την εξασφάλιση της δυνατότητας στους ανθρώπους να διάγουν μια ζωή απαλλαγμένη από άγχη για καθημερινές εργασίες που ίσως λάμβαναν τη μορφή αγγαρείας, το IoT μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στη διάσωση μιας ανθρώπινης ζωής. [79] Το ΔτΠ δύναται να φέρει την επανάσταση στον τρόπο περίθαλψης αλλά και επικοινωνίας μεταξύ θεραπόντων και ασθενών. Αυτός είναι και ο λόγος που ο υγειονομικός κλάδος γνωρίζει έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον σε ένα μεγάλο ποσοστό -όπως είδαμε- με την κατασκευή εμπορικών λύσεων όπως τις συσκευές παρακολούθησης συνηθειών άθλησης, ύπνο κλπ. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα κατασκευής ειδικής μελάνης, από το πανεπιστήμιο του Τόκυο, [80] το οποίο με την ενσωμάτωση του σε ένα ρούχο, μπορεί να μετρήσει συσπάσεις μυών ή καρδιακούς ρυθμούς και να ενημερώσει τον χρήστη για τυχόν ανωμαλίες επί των σχετικών με τα ζωτικά στοιχεία μετρήσεων. Εφαρμόζοντας στατιστικά μοντέλα, αλλά και αξιοποιώντας το ιστορικό του εκάστοτε ασθενούς σε πραγματικό χρόνο, η κάθε συσκευή μπορεί να δράσει βοηθητικά ως ένας προσωπικός ιατρός, ενημερώνοντας εγκαίρως ένα ασθενοφόρο ή ανοίγοντας νέους διαύλους επικοινωνίας, με την αποστολή ιστορικού σε έναν ιατρό νοσοκομείου, σε κρίσιμες στιγμές, πριν την άφιξη του ασθενούς, κερδίζοντας σημαντικά λεπτά για τη διάγνωση, την προετοιμασία και τη λήψη αποφάσεων θεραπείας. Ακόμη και εκπαιδεύοντας τον ασθενή, δίνοντας οδηγίες τόσο κατά την χρήση της εκάστοτε ιατρικής/αθλητικής συσκευής, όσο και σε μοιραία γεγονότα, τονώνεται το αίσθημα αυτοσυντήρησης του ατόμου, με τελικό αποτέλεσμα την πρόληψη.

Μια φράση που ακολουθεί τις σύγχρονες κοινωνίες, ιδιαίτερα στην εποχή της πληροφορίας, όπως είχε χαρακτηριστεί η εποχή μετά τη δημιουργία του Παγκόσμιου Ιστού, είναι ότι η γνώση είναι δύναμη. Είναι προφανές ότι η ύπαρξη όλο και περισσότερης πληροφορίας σε ανοικτή πρόσβαση και ευρέως διαθέσιμη μορφή, δίνει την ευκαιρία για λήψη καλύτερων αποφάσεων ανεξαρτήτως αν αυτές αφορούν σε καθημερινές τετριμμένες εργασίες ή αν μια επιχείρηση πρέπει να ακολουθήσει μια συγκεκριμένη στρατηγική οδό.

Πέρα από τη λήψη σοφότερων αποφάσεων, η ύπαρξη περισσότερης διάχυτα διαθέσιμης ποσότητας πληροφορίας στον κόσμο, έχει σημαντικές προεκτάσεις και οφέλη κοινωνικής και εκπαιδευτικής σημασίας. Καλύτερες ευκαιρίες εκπαίδευσης και επιμόρφωσης μπορούν να αποτελέσουν τον κανόνα παγκοσμίως, όχι μόνο σε μαθητικό επίπεδο αλλά και επιστημονικό ή ερευνητικό. [75]

Παράλληλα, υιοθετώντας και εφαρμόζοντας το σενάριο χρήσης του ΔτΠ στα πλαίσια εργασίας, μπορεί να επιτευχθεί βέλτιστη χρήση της ενέργειας και των πόρων εξοικονομώντας χρήματα και υλικό. Μέσω διαδικασιών έγκαιρης ενημέρωσης για αδιέξοδα, κινδύνους και ζημιές στο σύστημα μπορούν να προληφθούν και να αντιμετωπισθούν εξίσου επιζήμιες και ανασταλτικές καταστάσεις, συνεισφέροντας στον ίδιο σκοπό. Με την παρακολούθηση των πραγμάτων αυτού του προκύπτοντος σύμπαντος, μπορούμε να είμαστε ενήμεροι τόσο για το περιεχόμενο ενός ντουλαπιού, ενός φορτηγού ή ενός καταψύκτη γνωρίζοντας την ημερομηνία λήξεως των προϊόντων ή του ακριβούς αριθμού στοκ των αγαθών, βελτιώνοντας τα επίπεδα οικογενειακού εισοδήματος και επιχειρησιακού προϋπολογισμού. Το κόστος επισήμανσης και παρακολούθησης εν ολίγοις, ως μια σχέση εσόδων - εξόδων, είναι σαφώς μικρότερο από τα οφέλη του ΔτΠ για τον άνθρωπο τόσο ως φυσικό πρόσωπο αλλά και ως επιχειρηματική ομάδα. [75]

Τα κόστη των προϊόντων για μια επιχείρηση μέσα από την ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων διαδικασιών στην παρακολούθηση της παραγωγής και της ζήτησης, -χαρακτηριστικό παράδειγμα η κίνηση της Amazon που αναφέρθηκε παραπάνω- πέφτουν, προσφέροντας μεγαλύτερα κέρδη στις εταιρίες, ανεβάζοντας παράλληλα, την αγοραστική δύναμη των καταναλωτών, και αναδιαρθρώνοντας τις καταναλωτικές συνήθειες, συμβάλλοντας εκ νέου στην βελτίωση του τρόπου ζωής των ανθρώπων. Το σενάριο αυτό ενισχύεται και από ένα άλλο πλεονέκτημα του IoT, αυτό της δημιουργίας προοπτικών ανάπτυξης μιας προσωποκεντρικής, στοχευμένης διαφήμισης που δεν υφίσταντο προηγουμένως, βάσει των προτιμήσεων ή των προσωπικών αναγκών του χρήστη. Όπως κατέδειξαν τα αποτελέσματα του June Intelligent Oven , το project ενός βασισμένου σε υπολογιστική ισχύ φούρνου που σκέπτεται ως σεφ, η χρήση μιας διασυνδεδεμένης κουζίνας μπορεί να περιορίσει το οικονομικό κόστος για τον κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών κατά 15% ετησίως. [29]

Μέσω της χρήσης του IoT ανοίγονται απεριόριστες ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις αλλά και την κοινωνία. Δυο αντιπροσωπευτικά παραδείγματα είναι οι εφαρμογές ShotSpotter & FarmSight για τον εντοπισμό όπλων στα πλαίσια μιας πόλης αλλά και την παρακολούθηση αγροτικών εδαφών μέσω δορυφόρων, με προφανή αποτελέσματα όσον αφορά τον έλεγχο της ασφάλειας των πολιτών, αλλά και της βέλτιστης φροντίδας και παρακολούθησης απέραντων καλλιεργήσιμων εκτάσεων. [29]

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, λιγότεροι από 500 χιλιάδες προγραμματιστές ανά τον κόσμο, συνεισφέρουν στο οικοδόμημα του ΔτΠ. Με την έκρηξη στον αριθμό των διασυνδεδεμένων συσκευών να συντελείται με

ολιγigliώδεις ρυθμούς, είναι πολύ πιθανό, τα επόμενα πέντε χρόνια να δούμε αυτά τα νούμερα εργαζομένων στο χώρο του IoT, να φτάσουν τα συγκλονιστικά επίπεδα των 4,5 εκατομμυρίων ανθρώπων. Καθώς το ΔτΠ θα αναπτύσσεται αναμένεται ανάλογη αύξηση όσον αφορά τον αριθμό των απαιτούμενων θέσεων εργασίας για την υποστήριξη της ανάπτυξης αυτή της νέας αυτής αγοράς. Η πραγματικότητα είναι ότι το ΔτΠ βρίσκεται σε ικανή θέση να δημιουργήσει θέσεις εργασίας με τέτοιο ρυθμό που η IT βιομηχανία, αναμένεται να αναπτυχθεί κατά 50% πριν το 2020. Πολλές εξ' αυτών θα αφορούν σε εργασιακούς ρόλους που δεν είχαν υπάρξει σε άλλη χρονική στιγμή. Από αγρονομικούς τεχνολόγους που εφαρμόζουν την τεχνολογία για την μεγιστοποίηση των τροφίμων από καλλιέργειες και τα ζωντανά, μέχρι μηχανικούς τρισδιάστατης εκτύπωσης, από σχεδιαστές ιατρικών ρομπότ μέχρι σχεδιαστές φορετών προϊόντων τεχνολογίας. Νέα πόστα εργασίας που αναμένεται να δώσουν ώθηση στα εργασιακά ζητήματα, θα αφορούν θέματα ασφάλειας δεδομένων ή υπολογισμού στο σύννεφο (cloud computing), καθώς η ανάγκη για το IoT know-how αυξάνεται. Εταιρείες όπως η Cisco δημιουργούν νέους ρόλους για επικεφαλής διευθυντές IoT και ειδικούς καθώς ετοιμάζονται για ένα μέλλον που λίγοι είχαν οραματιστεί μέχρι πριν μερικά χρόνια. Παράλληλα, ανεπανάληπτη ζήτηση αναμένεται να γνωρίσουν τα επαγγέλματα που απαιτούν βασικές ικανότητες κατανόησης, χρήσης και συντήρησης δικτύων. [34]

2.9 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ IOT

Το οικοδόμημα του ΔτΠ είναι όπως είδαμε, ένα ποικιλότροπο και σύνθετο δίκτυο στη βάση κατασκευής του, με τους κόμβους του να είναι στενά αλληλένδετοι και αλληλοεξαρτώμενοι. Αν και αυτό αποτελεί τη δύναμη της όλης ιδέας που κρύβεται από πίσω, το ίδιο πράγμα αποτελεί και έναν από τους κυριότερους κινδύνους του. Ένα οποιοδήποτε σφάλμα, ατυχία ή κατάρρευση στο λογισμικό ή το υλικό μέρος του δικτύου θα είχε σοβαρές επιπτώσεις συμπαρασύροντας κατά τρόπο ανάλογο των χρηματιστηριακών αγορών. [74] Όπως με όλα τα πολύπλοκα συστήματα, οι ευκαιρίες υπερέχουν των ζημιών. Ωστόσο, με το IoT, οι ζημιές ενδέχεται να λάβουν διαστάσεις άλλης σημασίας. Η ύπαρξη πολλών διαφορετικών μορφοτύπων δεδομένων, ανεβάζουν τα επίπεδα πολυπλοκότητας του ΔτΠ, με συνέπεια οι κίνδυνοι σφαλμάτων εντός του να αυξάνονται ανάλογα. Αν και η θετική άποψη του IoT φέρνει μπροστά την εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος, η απώλειά αυτών των αγαθών δεν είναι εγγυημένη. Επί παραδείγματι, μελετώντας μια υποθετική περίπτωση ενός ζεύγους χρηστών που λαμβάνει μήνυμα από τους αισθητήρες του κοινού τους καταψύκτη, το οποίο λέει ότι παρήλθε η ημερομηνία λήξης του γάλατος, ενδεχομένως να οδηγήσει σε ασυνεννοησία που θα καταλήξει σε διπλή αγορά ή λόγω λάθους λογισμικού να προβαίνει αυτομάτως σε παραγγελία νέων τεμαχίων μετρώντας εσφαλμένες μετρήσεις

κάθε ώρα της ημέρας μετά από μια διακοπή ρεύματος, χωρίς αυτό να ανταποκρίνεται σε μια πραγματική ανάγκη. [75]

Με την άνοδο των μηχανών στο πηδάλιο κάθε έκφανσης του εργασιακού κλάδου, περιορίζεται αναπόφευκτα το επίπεδο απασχόλησης των ανειδίκευτων εργατών και των ατόμων προσφέροντα εργασία πέφτει στο βωμό του αυτοματισμού. Κάτι τέτοιο μπορεί να συνθέσει ένα μεγάλο πλήγμα ανεργίας στις κοινωνίες του αύριο. Θα μπορούσε να πει κανείς πως με την εξάρτηση των ανθρώπων από τις μηχανές να λαμβάνει τέτοιες διαστάσεις, όταν ήδη σήμερα γίνεται λόγος για εθισμό, ένα σημαντικό κομμάτι της ελευθερίας του ατόμου παραδίδεται ανεπιστρεπτί. Ταυτοχρόνως, ο άνθρωπος όντας πιο ανεκτικός και επιεικής στην εισχώρηση της IoT τεχνολογίας στη ζωή του, ενδεχομένως χάσει βασικές του ικανότητες. Μην όντας αναγκασμένος ακόμη και να φύγει από τον προσωπικό του χώρο, εγκλωβίζεται στην ανωνυμία, και η φωνή ή η συμμετοχή του στα κοινά, περιορίζεται, οδηγώντας σε μια αλλοίωση της μορφής των σημερινών κοινωνιών, όπου οι άνθρωποι θα είναι ευάλωτοι σε πολιτικές και καθεστώτα φόβου και ελέγχου. [75]

Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε με τις ελπίδες της δημιουργίας του IoT, είναι σπουδαία και καινοτόμος, και τίποτε δε μπορεί να μειώσει την προοπτική ανάπτυξής της. Δυστυχώς όμως, πολλές από αυτές τις τεχνολογίες, δε δημιουργήθηκαν με την ιδέα της εφαρμογής και της παροχής βοήθειας σε αναπτυσσόμενες χώρες και οικονομίες. Ένας θερμοστάτης, ο οποίος βελτιστοποιεί τη θερμοκρασία του πατώματος ή του ντους κατά ένα βαθμό μπορεί να με ένα απαραίτητο προϊόν σε κάποιον που παλεύει με την ανισορροπία ενός κρύου μπάνιου μετά από ένα αναζωογονητικό μπάνιο, αλλά για έναν αγρότη στην Αφρική, ή για έναν τεχνίτη στην Ινδία αποτυγχάνει σε όχι μόνο σε χρησιμότητα αλλά δυστυχώς και σε χρηστικότητα. [30]

Καθώς οι αισθητήρες και οι βιντεοκάμερες γίνονται όλο και περισσότερο κοινός τόπος, ειδικότερα σε δημόσιους χώρους, οι καταναλωτές διατηρούν όλο και λιγότερη γνώση σχετικά με τις πληροφορίες που συλλέγονται, αλλά ούτε και για τον τρόπο αποφυγής ή προφύλαξης από αυτή την πρακτική. Πολλοί άνθρωποι αισθάνονται απειλή και δυσφορία στην ιδέα ότι εταιρείες συλλέγουν προσωπικές και απόρρητες πληροφορίες σχετικά με αυτούς, και βρίσκονται σε ακόμη πιο δυσχερή θέση με την πιθανή αν όχι βέβαιη πώλησή τους στον οποιονδήποτε ή και σε όλους. Εν γένει, οι μεγαλύτερες γενιές δεν επιθυμούν σε μεγαλύτερο βαθμό αυτή την έκθεση σε σχέση με τον μικρότερες ηλικιακά ομάδες, αλλά σύμφωνα με έρευνα, περίπου το 45% στο σύνολο όσων έλαβαν μέρος δήλωσαν πως δεν εμπιστεύονται τις εταιρείες ως προς τη χρήση των συλλεχθέντων δεδομένων για την προστασία της ιδιωτικότητάς τους. [30]

Ταυτόχρονα [AIM10] καθώς το κόστος της αποθήκευσης μειώνεται, ενώ η χωρητικότητα των αποθηκευτικών χώρων διογκώνεται, οι διαδικασίες ψηφιακής λήθης όλων των συλλεχθεισών

πληροφοριών για ένα άτομο μπορούν να συντηρηθούν για απεριόριστο χρόνο. Καθώς το ύφασμα του ιστού, όπως παρομοιάζεται το IoT καλύπτει τα πάντα, το αίσθημα γύμνιας που χαρακτηρίζει τα μέρη που λαμβάνουν μέρος γίνεται πιο έντονο, μιας και οι τεχνικές εξόρυξης δεδομένων καθιστούν την εξεύρεση στοχευμένης πληροφορίας μέσω ερωτημάτων πιο εύκολη και γρήγορη διαδικασία. Για παράδειγμα, η ινδική φίρμα Silver push, διαθέτει τεχνολογία μέσω της οποίας, δύναται να παρακολουθεί τον χρήστη μέσα από πολλαπλές πλατφόρμες και συσκευές, με τη βοήθεια υψίσυχνων ενσωματωμένων ήχων εντός ιστοσελίδων ή τηλεοπτικών προγραμμάτων, που αν και βρίσκονται πάνω από την αντιληπτική ικανότητα της ανθρώπινης ακοής, μπορούν να εντοπιστούν από τις μηχανές, τροφοδοτώντας πίσω την Silver Push. Σύμφωνα με μελέτη της Hewlett-Packard, [81] για το 70% των IoT συσκευών ελλοχεύει ο κίνδυνος να προσβληθούν από κάποιον χάκερ, καθιστώντας τα πιθανά μέσα ελέγχου των μαζών σε ένα καθεστώς Μεγάλου αδερφού. [79]

Επί του παρόντος, οι επιλογές που αφορούν σε θέματα προστασίας απορρήτου δεν είναι ξεκάθαρες. Ο πελάτης βρίσκεται ενίοτε στο δίλημμα να παραδώσει όλη την ιδιωτική ζωή του, συχνά κάτω από μια τόσο πολύπλοκη και μπερδεμένη συμφωνία που η πλειοψηφία δεν αφιερώνει χρόνο ενδελεχούς μελέτης τους, ή να αποκλειστεί από την πρόσβαση μιας υπηρεσίας. Αυτή η πρακτική οδήγησε σε συνεχείς συζητήσεις σχετικά με την ιδιωτικότητα του πελάτη αλλά και τον βέλτιστο τρόπο εκπαίδευσης του καταναλωτικού κοινού σχετικά με σχετικά νομικά ζητήματα πρόσβασης των δεδομένων.

Ενώ υπάρχουν πολλά μέτρα που μπορούν να ληφθούν για τη διασφάλιση της ασφάλειας, δεν αποτελεί έκπληξη ότι με την ανάπτυξη του IoT, το ζήτημα λαμβάνει όλο και σημαντικότερες διαστάσεις. Δισεκατομμύρια συσκευών διασυνδέονται στην κυριολεξία, καθιστώντας μια εισβολή ενός χάκερ στην καφετιέρα ενός χρήστη και από εκεί σε όλο το οικιακό του δίκτυο, κάτι παραπάνω από πιθανό και εύκολο. Μια περίπτωση ανάμεσα στις αχανείς που θα μπορούσε να γεννήσει ένας αρρωστημένος νους, που θα αποκτούσε πρόσβαση στα δεδομένα κάποιου, θα ήταν η αλλαγή μιας αγοράς ιατροφαρμακευτικού τύπου οδηγώντας στο βλάβσιμο του ατόμου. Εξίσου πιθανό στόχο απειλής όμως, αποτελούν πλην των ιδιωτών και οι επιχειρήσεις ανά τον κόσμο. Καθώς όλες οι οικιακές συσκευές, οι βιομηχανικές μηχανές, αλλά και τα κοινωνικά αγαθά του δημόσιου τομέα όπως η παροχή νερού, ηλεκτρισμού και ρεύματος συνδέονται στο διαδίκτυο, οι επιχειρήσεις έρχονται αντιμέτωπες με την ανάγκη εξεύρεσης μιας ασφαλούς μεθόδου αποθήκευσης των δεδομένων, ενώ παράλληλα δε δυσχεραίνεται η πρόσβαση, ο εντοπισμός και η ανάλυση του τεράστιου όγκου τους, που παράγονται ακατάπαυστα. [30]

Ο James Lewis, ερευνητής στα θέματα ασφάλειας του κυβερνοχώρου για το Κέντρο στρατηγικών και διεθνών σπουδών, κατέγραψε σε μια αναφορά του τον τρόπο που οι διασυνδέσεις του IoT θα επιτρέπουν σε πιθανούς εισβολείς να προκαλέσουν το χάος μεταξύ των συσκευών-μελών του οικοδομήματος. Η εν λόγω απειλή είναι τόσο πραγματική, που ακόμα και η ομοσπονδιακή επιτροπή εμπορίου αποφάσισε να

εμπλακεί, αποζητώντας την εξεύρεση τρόπων εγγύησης της ιδιωτικότητας, αλλά και εγκατάστασης συστημάτων περιφρούρησης στις νέες και μελλοντικές προς σύνδεση συσκευές.

Ήδη σήμερα, η υφαρπαγή του ελέγχου ενός αυτοκινήτου μέσα από την ασύρματη σύνδεσή του διαδικτύου γνωρίζει αμέτρητες καταγραφές. Άγνωστος παραμένει ο βαθμός επικινδυνότητας ανάλογων επιθέσεων όταν τα αυτόματα οχήματα άνευ οδηγού περάσουν από το ερευνητικό στο εμπορικό στάδιο κυκλοφορίας τους. Τα θέματα ασφαλείας και διαχείρισης κινδύνων αποτελούν ζητήματα βαρύνουσας σημασίας προτού το IoT γνωρίσει ευρεία χρήση και επικράτηση. [30]

Τέλος, ένα σημαντικό μειονέκτημα του IoT είναι ότι τα πράγματα καλούνται να δρουν συνεργατικά με τον άνθρωπο, με αποτέλεσμα μεγάλο κομμάτι αυτών των εφαρμογών να εξαρτάται από τον χρήστη. Η παρεμβολή αυτή παρέχει πολλές ευκαιρίες σε ένα ευρύ πλάτος εφαρμογών συμπεριλαμβανομένων εκείνων της ενεργειακής διαχείρισης [LSS+10], του υγειονομικού τομέα, και των συστημάτων αυτοκίνησης [BSB74]. Ενσωματώνοντας τέτοια μοντέλα συνδυασμού του αυτόματου με τα αντανακλαστικά του ανθρώπου για την οδήγηση, έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της οδηγικής ασφάλειας, ή χρησιμοποιώντας μοντέλα δραστηριοτήτων καθημερινής ζωής στον κατοίκον υγειονομικό τομέα της περίθαλψης θα συνέβαλε στη βελτίωση των ιατρικών συνθηκών για τους ηλικιωμένους, σε ένα ευρύτερο πλαίσιο ασφάλειας. Παρόλη όμως τη συμβολή αυτή, η μοντελοποίηση αυτών των συμπεριφορών είναι αρκετά δύσκολη, καθώς η φυσιολογική και η ψυχολογική σύνθεση του ατόμου είναι κάτι πολύπλοκο το οποίο πολλές φορές είναι απρόβλεπτο, οδηγώντας το όλο σύστημα σε αβεβαιότητα και επιρρεπές σε κινδύνους.

3

***ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΣΔ) – LINKED DATA
(LD)***

3.1 ΙΣΤΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ENANTI ΙΣΤΟΥ ΕΓΓΡΑΦΩΝ (WEB OF DATA VS WEB OF DOCUMENTS)

Για το μεγαλύτερο μέρος της ιστορίας, υπήρχε μια σύγχυση της πληροφορίας με το μέσο στο οποίο εμπεριέχετο. Από τα παλαιά ακόμη χρόνια παρότι το ενδιαφέρον εστιαζόταν στην πληροφορία του μέσου, οικοδομούνταν δομές και θεσμοί αφιερωμένοι στην άμεση προστασία του μέσου και εμμέσως της πληροφορίας εντός τους. Οι πρώτες βιβλιοθήκες που δημιουργήθηκαν, προστάτευαν πάπυρους και βιβλία και όχι το λόγο που αυτά έφεραν. Περιορίζοντας και ελέγχοντας την πρόσβαση σε αυτά τα μέσα, ο στόχος ήταν να διατηρηθούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα διαθέσιμα. Ακριβώς όμοια αντιμετωπίστηκε και στο ρου των εποχών η διαφύλαξη και διάδοση πολλών άλλων πραγμάτων όπως η μουσική και οι εφημερίδες. [WZR+13]

Εντέλει, το περιεχόμενο των μέσων πληροφορίας κατέστη διαθέσιμο μέσω της εξαγωγής και της αναπαραγωγής του, και μετέπειτα με την έλευση της ψηφιακής εποχής, τη διάθεση τους υπό ψηφιοποιημένη μορφή στο διαδίκτυο. Ακόμη και στην εποχή της έκρηξης του ίντερνετ όμως, τα δεδομένα παραμένουν εγκλωβισμένα σε ιδιόκτητης μορφής μέσα όπως λογιστικούς πίνακες ή/και βάσεις δεδομένων.

Σήμερα συναντάμε στο διαδίκτυο δεδομένα σε ποικίλες μορφές. Εικόνες, βίντεο, κείμενα, λογιστικά φύλλα υπό μορφή εγγράφων, που αφορούν σε ποικίλες έννοιες. Για την ευχερή αξιοποίηση, διαχείριση και διαμοιρασμό καθενός εξ' αυτών, δημιουργήθηκαν αμέτρητες μορφές κωδικοποίησης και επεκτάσεις αρχείων. Από τις απαρχές του διαδικτύου ήταν εμφανής η εγγενής ανάγκη σύνδεσης αυτών των δεδομένων. Μέσω των hyperlinks και των hypertexts, κατορθώθηκε η εύκολη μετάβαση διαμέσου πολλών εγγράφων. Κατά μία έννοια, αποτελούν δεδομένα, στα οποία μπορεί κανείς να συνδέσει δικά του δεδομένα. Η σύνδεση αυτή αν και είναι προφανής για τον ανθρώπινο νου, παραμένει ασαφής για έναν υπολογιστή. Αυτός είναι και ο μοναδικός περιορισμός τους. Ο λόγος της δημιουργίας τους ήταν η ανθρώπινη "κατανάλωσή" τους. Οι μηχανές αντιθέτως, δε γνωρίζουν τη σημασία αυτού του συνδέσμου, αν πρόκειται για σύνδεση με μία σελίδα spam ή για κάτι όντως συναφές. Συνήθως απαιτούν ξεχωριστά και ειδικά εργαλεία για την προσπέλαση και την επεξεργασία τους. Η ενσωμάτωση και η συμπερίληψή τους σε άλλα projects απαιτεί περεταίρω επεξεργασία από τον άνθρωπο.

Το πρόβλημα αυτό καθεαυτό είναι με άλλα λόγια ότι αναζητείται ένα σχήμα το οποίο δε θα περιέχει δεδομένα, αλλά αντιθέτως θα είναι τα ίδια τα δεδομένα στα οποία θα τελείται η σύνδεση. Συνεπώς αποδομώντας οι developers τα δεδομένα αυτά από τις σελίδες του διαδικτύου και κατηγοριοποιώντας τα σε σημασιολογικές οντότητες, κατόρθωσαν να δώσουν ένα νόημα σε αυτά. Αξιοποιώντας τη φιλοσοφία ιδιότητας-τιμής (property-value) των βάσεων δεδομένων, η σύνδεση μεταξύ των ακατέργαστων

δεδομένων πήρε τη μορφή διασυνδεδεμένης λίστας. Το εγχείρημα διασύνδεσης αυτού του όλο και επεκτάσιμου κόσμου της πληροφορίας που δημιουργήθηκε, ονομάστηκε Linked Data [HB11] και περιλαμβάνει ένα τεράστιο πλούτο γνώσης, ανοιχτά διαθέσιμο σε κάθε εν δυνάμει χρήστη του διαδικτύου, οργανωμένο σε οντότητες, κλάσεις και σχέσεις. Λόγω αυτής της ποικιλομορφίας των κατηγοριών ενδιαφέροντος αλλά και της ετερογένειας της διάχυτης πληροφορίας, που συναντάμε στο διαδίκτυο, η τελευταία εκφράζεται συνήθως σε σύνθετες δομές με αποτέλεσμα η διασύνδεσή και η μετάφρασή της να καθίσταται απαιτητική.

Πιο αναλυτικά, όταν ο Berners-Lee δημιούργησε τον Ιστό, παράλληλα με την κατασκευή του πρώτου διαδικτυακού διακομιστή και φυλλομετρητή, ανέπτυξε τρία πρότυπα για την αρμονική συνεργασία αυτών των μερών. Πρώτον κατέγραψε έναν τρόπο αναπαράστασης της δομής ενός εγγράφου, ώστε ένας περιηγητής του ιστού, να γνωρίζει ποια μέρη ενός εγγράφου παίζουν το ρόλο επικεφαλίδων, συνδέσμων, παραγράφων κλπ. την αποκαλούμενη γλώσσα επισημάνσης υπερκειμένου (Hypertext Markup Language - HTML). Αφού κατέστη δυνατή η παρουσίαση των πληροφοριών, το επόμενο βήμα ήταν να δοθεί στα εξυπηρετούμενα προγράμματα ένας τρόπος επικοινωνίας μεταξύ τους. Το πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου (Hypertext transfer Protocol - HTTP) αποτελείται από λίγες σύντομες εντολές και τριψήφιους κώδικες (POST, GET, κλπ) οι οποίοι επιτρέπουν σε ένα πρόγραμμα-πελάτη όπως έναν περιηγητή, να ανταλλάσει μηνύματα και κυριότερα, αιτήματα. Ένας πλήρης τρόπος προσδιορισμού και επικοινωνίας με τους επιθυμητούς από τον "πελάτη" πόρους - πχ. το όνομα ενός αρχείου, το φάκελο στον οποίο είναι αποθηκευμένο ή /και ο διακομιστής που έχει το σύστημα αρχείων, αποτέλεσε το τρίτο πρότυπο, το οποίο ορίζει τον τρόπο αναγνωριστικής ονοματοδοσίας για μια διεύθυνση ιστού ή κάποιον πόρο το οποίο μπορεί να κοινοποιηθεί δια μέσου ενός διαδικτυακού πρωτοκόλλου όπως το http. (πχ <http://www.learningsparql.com/resources/index.html>)) [Duc13], [1]

Ακριβώς όπως ο ιστός υπερκειμένων, έτσι και ο ιστός των δεδομένων, οικοδομείται πάνω στα δημοσιευμένα έγγραφα του Ιστού. Για την σύνδεση και την διανομή των δεδομένων διαδικτυακά συνεπώς, είναι απαραίτητη η εγκαθίδρυση μιας συμφωνίας προτύπων και κανόνων που θα καταστήσουν την επικοινωνία των πόρων εφικτή διαδικασία.

Το LD δεν αποτελεί μια προδιαγραφή, αλλά αντιθέτως, ένα μεθοδολογικό σύνολο των καλύτερων πρακτικών διάθεσης μιας υποδομής δεδομένων το οποίο καθιστά ευκολότερο έργο τη σύνδεση, τη δημοσίευση και το διαμοιρασμό τους στο διαδίκτυο. Πάνω σε αυτό έρχονται και κουμπώνουν οι τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού όπως τα RDFS, OWL, και η SPARQL, προκειμένου να χτιστούν εφαρμογές με βάση αυτά τα δεδομένα. Υπ' αυτή την έννοια λοιπόν, συγκεντρωτικά, με τον όρο συνδεδεμένα δεδομένα ορίζονται τόσο τα δεδομένα αυτά καθεαυτά όσο και οι πρακτικές που εφαρμόζονται επί αυτών.

3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο Berners Lee έχοντας ως στόχο να δώσει πλέον σαφές πλαίσιο στο αρχικό του δημιούργημα έθεσε μια σειρά κανόνων και ταυτόχρονα κινήτρων για μια πειθαρχημένη ανοικοδόμηση του. Αναλυτικότερα, για την απλοποίηση της σύνδεσης των δεδομένων του Linked Data υιοθετήθηκαν 4 κανόνες. Ακριβώς όπως για κοινοποιηθεί ένα έγγραφο χρησιμοποιείται ένα URL, για την ονοματοδοσία ενός γενικότερου αντικειμένου στον ιστό των δεδομένων, αξιοποιείται ένα παγκόσμιο URI σύνολο χαρακτήρων (ή σε ένα ευρύτερο & συνάμα πληρέστερο πλαίσιο, ένα IRI). Για την αναζήτησή τους χρησιμοποιείται αντιστοίχως η τεχνολογία HTTP URI. Η έκφρασή τους σε μορφή τριπτύχου "οντότητα-χαρακτηριστικό-τιμή" (Entity-Attribute-Value , EAV) την οποία φέρει το πρότυπο σημασιολογικής τεχνολογίας του RDF, καθιστούν την σύνδεσή τους ακόμη στενότερη, αφού μπορούν όχι απλώς να περιγράψουν ένα αντικείμενο αλλά να επιδείξουν μιας μορφής ευφυΐα, δίνοντας απαντήσεις σε ερωτήματα SPARQL. Για να γίνει όμως αυτό, ένα ακόμη απαραίτητο βήμα, ίσως το κυριότερο, είναι αυτό της συμπερίληψης συνδέσμων (ακριβώς όπως μέσω των υπερσυνδέσμων) σε άλλα δεδομένα ώστε η μεταχείριση του ενός να οικοδομήσει μια σχέση με επιπλέον πράγματα ευεργετώντας έτσι τον χρήστη. με το αίσθημα της ανακάλυψης.

3.2.1 Οι αρχές των Συνδεδεμένων Δεδομένων

Αναλυτικότερα: [HB11], [WZR+13]

Αρχή 1: Χρήση URIs ως μέσο ονοματοδοσίας για τα αντικείμενα

Η πρώτη αρχή διευθετεί το κομμάτι της αναγνώρισης των πόρων του διαδικτύου και κατ' επέκταση των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου που αποτελούν πηγή πληροφοριών, προκειμένου να μπορεί να γίνει οποιαδήποτε αναφορά σε αυτά. Ένα αντικείμενο μπορεί να είναι δυνητικά το οτιδήποτε: απτά πράγματα όπως ένα βιβλίο, ένας άνθρωπος ή ένα γονίδιο, αλλά και αφηρημένα πράγματα όπως ο έρωτας, ο πόλεμος ή πιο τεχνοκρατικά άλλες αναπαραστάσεις δεδομένων όπως μια συγκεκριμένη γραμμή ενός CSV αρχείου ή ένας πίνακας μιας σχεσιακής βάσης δεδομένων.

Αρχή 2: Χρήση HTTP URIs ως μέσο αναζήτησης των αντικειμένων

Στον κόσμο του διαδικτύου των εγγράφων και των υπερκειμένων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο τρόπος επικοινωνίας, απεικόνισης και διαμοιρασμού τους, έγινε μέσω του HTTP πρωτοκόλλου και συγκεκριμένα μέσω των HTTP URLs που έχουν τη γνωστή μορφή "http://" . Πέραν αυτού ο εκάστοτε περιηγητής μπορεί να διαχειριστεί και άλλα πρωτόκολλα όπως το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (File transfer protocol - ftp) των οποίων το URL ξεκινά με "ftp://" ενώ σε τοπικό επίπεδο μπορεί απλώς να λάβει τη μορφή μονοπατιού "file:". Ακριβώς όπως όλα τα παραπάνω URLs εντοπίζουν ξεκάθαρα και μονοσήμαντα μια ιστοσελίδα φθάνοντας στο ίδιο έγγραφο κατά την εισαγωγή μιας συγκεκριμένης

διεύθυνσης σε έναν περιηγητή, έτσι και στον κόσμο των συνδεδεμένων δεδομένων, το ρόλο αυτό επιτελούν τα URIs αποκλειστικά με την εκμετάλλευση του HTTP πρωτοκόλλου. Σε περίπτωση χρήσης άλλων σχημάτων αναγνώρισης για την ονοματοδοσία των αντικειμένων, η διαχείριση και η εφαρμογή του δε θα ήταν επιλύσιμη από το διαδίκτυο. Επί παραδείγματι αν επελέγετο να προσδιοριστεί και να αναζητηθεί ένα οποιοδήποτε βιβλίο μέσω του ISBN αριθμού του, με ένα URI της μορφής isbn:0140437428, το επιστραφέν αποτέλεσμα θα ήταν εκείνο του σφάλματος αδιεξόδου ανάλογο του γνωστού απ' τον ιστό με τον αριθμό 404.

Αρχή 3: Παροχή χρήσιμων πληροφοριών με κάθε αναζήτηση ενός URI

Με την εισαγωγή ενός HTTP URI σε έναν περιηγητή ιστού, αυτό αποδομείται σε επιμέρους κομμάτια προς προσδιορισμό του τερματικού στο οποίο φιλοξενείται ο ζητούμενος πόρος, και του αριθμού θύρας που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση μιας HTTP σύνδεσης. Μέσω αυτού ζητείται ο πόρος που αναγνωρίζεται από το κομμάτι του μονοπατιού στο εισαχθέν URI. Αν ο απομακρυσμένος διακομιστής απαντήσει καταφατικά επιστρέφοντας μια μορφή αναπαράστασης του πόρου, όπως λόγου χάρη μια ιστοσελίδα, τότε το συγκεκριμένο URI είναι ταυτόχρονα και ένα URL. Η τρίτη κατά σειρά λοιπόν αρχή είναι η επίλυση και αντιστοίχιση ενός URI στο διαδίκτυο προς ανάλυση χρήσιμων περιγραφών για έναν πόρο.

Αρχή 4: Συμπερίληψη συνδέσμων προς άλλα URIs

Ακριβώς όπως στον ιστό των εγγράφων, οι ιστοσελίδες είναι περισσότερο χρήσιμες όταν και εφόσον εμπεριέχουν υπερσυνδέσμους προς σχετικές πληροφορίες, έτσι και στην περίπτωση των απλών δεδομένων, τα δεδομένα καθίστανται πλουσιότερα μέσω της σύνδεσής τους σε σχετιζόμενα δεδομένα, έγγραφα και περιγραφές. Η τέταρτη και τελευταία αρχή, είναι αυτή που ολοκληρώνει την ιδέα των ΣΔ, καθώς τα απλά δεδομένα μετασχηματίζονται σε συνδεδεμένα δεδομένα ακριβώς μόλις συνδεθούν με άλλους σχετικούς πόρους.

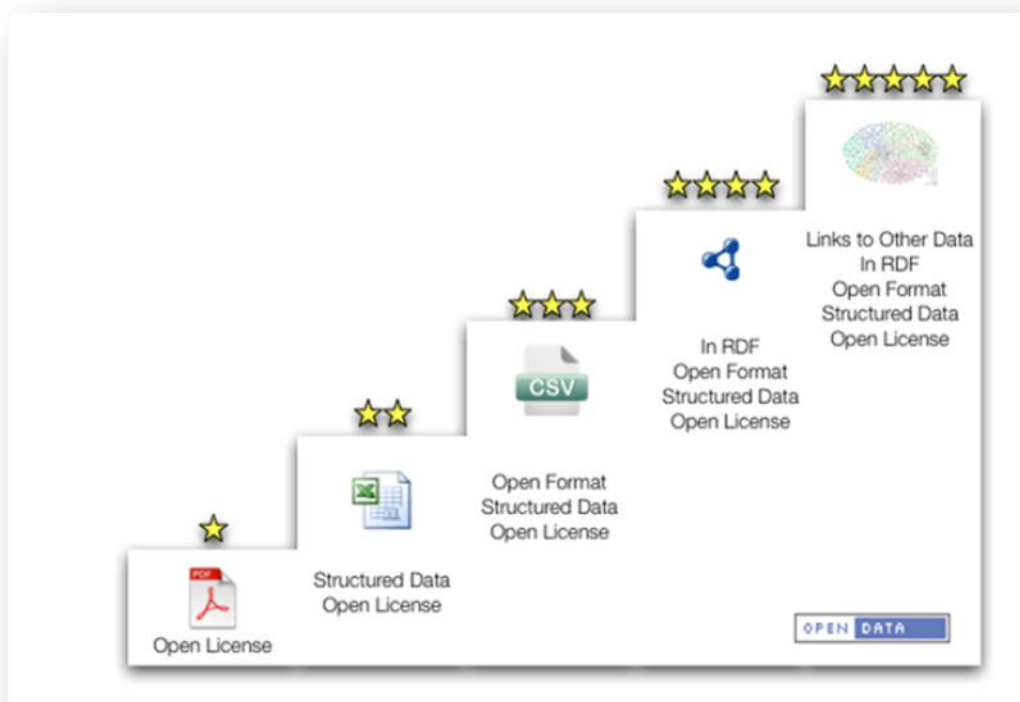
3.2.2 Κίνητρα μετάβασης στα ΣΔ & στην ελεύθερη διάθεση τους

Ως κίνητρο προς απλούς χρήστες αλλά και χειριστές κυβερνητικών δεδομένων, ο Berners Lee πρότεινε ένα μοριοδοτικό σύστημα αστεριών, όπου για κάθε στάδιο συμμόρφωσης των σχεδιαστών μιας συλλογής δεδομένων ανοιχτής πρόσβασης, η "επιβράβευση" έρχεται με τη μορφή ενός επιπλέον αστεριού. Τα Συνδεδεμένα Ανοιχτά Δεδομένα (Linked Open Data - LOD) είναι συνδεδεμένα δεδομένα που φέρουν το πρόσθετο χαρακτηριστικό της δημοσίευσης τους υπό μιας ανοιχτής άδειας ελεύθερης πρόσβασης και επαναχρησιμοποίησής τους χωρίς κάποιο κόστος καταβολής αντιτίμου προς τον ιδιοκτήτη, κάτοχο ή εμπνευστή τους. Τα συνδεδεμένα δεδομένα εν γένει δεν είναι απαραίτητο ή αναγκαίο να είναι ανοιχτά. Εξίσου σημαντική χρήση των συνδεδεμένων δεδομένων μπορεί να συντελείται και εντός προσωπικού ή ομαδικού κύκλου.

Χαρακτηριστικά κάθε αστέρι αντιστοιχεί στα εξής προαπαιτούμενα: [HB11]

- * 1 αστέρι: Τα δεδομένα είναι ανοικτά και προσβάσιμα κι επεξεργάσιμα από και προς όλους
- ** 2 αστέρια: Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε δομές κατανοητές & επεξεργάσιμες από μηχανές.
- *** 3 αστέρια: Τα δεδομένα δεν εντοπίζονται υπό μια μορφή αλλά μπορούν να δημοσιευθούν υπό μη-αποκλειστικές και ιδιόκτητες μορφές πχ CSV.
- **** 4 αστέρια: Τα δεδομένα υπακούουν σε πρότυπα και δομές σημασιολογίας.
- ***** 5 αστέρια: Τα δεδομένα συνδέονται με δεδομένα διαφορετικών πηγών/σχεδιαστών προς δημιουργία συμφραζομένων.

Το παραπάνω σχήμα είναι κλιμακούμενο, με κάθε πρόσθετο αστέρι να υπονοεί ικανοποίηση της αμέσως προηγούμενης βαθμίδας.



Σχήμα 12: Σύστημα επιβράβευσης διάθεσης δεδομένων ως ανοιχτών δεδομένων

Μέσα από αυτή την "πρωτοβουλία" των ανοιχτών διασυνδεδεμένων δεδομένων λοιπόν, τα ακατέργαστα δεδομένα καθίστανται "πολίτες" πρώτης κατηγορίας του Διαδικτύου. Τα κυριότερα ζητήματα υλοποίησής της εν λόγω σύλληψης αφορούν την δημοσίευση και την κατανάλωση των συνδεδεμένων δεδομένων. Πέραν των προτροπών του οραματιστή δημιουργού της ιδέας αυτής, στην εργασία αυτή του LD, σκιαγραφείται το κομμάτι αυτό της υλοποίησης, εστιάζοντας στο κομμάτι βέλτιστων πρακτικών

αρχιτεκτονικών προσεγγίσεων δημοσίευσης διασυνδεδεμένων δεδομένων. Χαρακτηριστικότερα, εστιάζει στο ποιά μορφή έχει το λεξιλόγιο αναγνώρισης και περιγραφής πόρων, μέσα από ποιές διεργασίες επιστρέφεται μια περιγραφή ενός πόρου στο διαδίκτυο, τι αποτελεί απαραίτητο στοιχείο και τι τροχοπέδη στην διαδικασία αυτοματοποίησης της σύνδεσης των διαφόρων συνόλων δεδομένων κλπ.

Οι τεχνικές των συνδεδεμένων δεδομένων, ως μια γενικού σκοπού σύλληψη μπορούν να περιγράψουν κυριολεκτικά το οτιδήποτε απαρτίζει τον πραγματικό κόσμο συστήνοντας έναν νέο τρόπο διαμοιρασμού της γνώσης με τρίτους. Τοποθετεί ουσιαστικά τα δομημένα δεδομένα στο κέντρο του Παγκόσμιου Ιστού διευκολύνοντας τον εντοπισμό, την προσπέλαση, το διαμοιρασμό και τον συνδυασμό τους με εκείνα άλλων χρηστών.

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (LINKED OPEN DATA - LOD)

3.3.1 Εφαρμογές γενικής φύσεως

Αποτελεί εκπληκτικό κ αξιοθαύμαστο επίτευγμα το γεγονός ότι εργασίες ανοιχτού περιεχομένου τεράστιας ποικιλίας όπως εγκυκλοπαίδειες, λεξικά, κυβερνητικά στατιστικά στοιχεία, βιβλιογραφικά δεδομένα, πληροφορίες για μουσικούς καλλιτέχνες και τα τραγούδια τους, ακαδημαϊκές ερευνητικές δημοσιεύσεις κλπ είναι όλα διαθέσιμα με την ίδια διαμόρφωση και προσβάσιμα μέσω της ίδιας διεπαφής. Αυτό κατέστη εφικτό μέσα από την λεπτομερή εργασία σύνδεσης των διαμοιρασμένων δεδομένων του διαδικτύου, το LOD project, μιας δραστηριότητα κοινότητας που ξεκίνησε το έργο της το 2007 από την ομάδα ενδιαφέροντος της W3C, για τη σημασιολογική εκπαίδευση και διάδοση (Semantic Web Education and Outreach (SWEO) Interest group) έχοντας ως στόχο την ελεύθερη πρόσβαση όλων στα δεδομένα. Η συλλογή των δημοσιευμένων ΣΔ στο διαδίκτυο αναφέρεται ως LOD σύννεφο, λόγω της τεχνολογίας του υπολογιστικού σύννεφου (cloud computing) η οποία είναι η μόνη που μπορεί να υποστηρίξει τη διαχείριση τέτοιου πλήθους δεδομένων.

Απολαμβάνοντας την αναγνώριση και τη στήριξη τόσο της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας, αλλά και κυβερνήσεων ανά τον κόσμο η πυκνότητά τους σε συνδυασμό με το εικονικό επίτευγμα του υπολογιστικού σύννεφου (LOD cloud) διευρύνεται άρδην με ασύλληπτα ταχεία βήματα. Υπηρεσίες και εφαρμογές που βασίζονται στη φιλοσοφία τους, γίνονται ολοένα και δημοφιλέστερες. Μια βάση γνώσης (knowledge base) αποτελεί μια αποθήκη πληροφοριών που επιτρέπει και προωθεί τη συλλογή, οργάνωση, διαμοιρασμό, αναζήτηση και χρήση τους. Μπορεί να είναι αναγνώσιμη από μηχανές ή να στοχεύει απλώς στην κατανάλωση από τον ανθρώπινο παράγοντα. Οι δημοφιλέστερες αυτών είναι η προσπάθεια των εγκυκλοπαιδειών DBpedia και MusicBrainz. [100,101] Η πρώτη αποτελεί βελτίωση του

εγχειρήματος της Wikipedia μέσα από τη δόμηση της πληροφορίας εντός της, με τρόπο που υπακούει στους (σημασιολογικούς) κανόνες του Tim Berners-Lee ενώ το MusicBrainz αποτελεί μια συνδεδεμένη λίστα εγγραφών των οποίων το είδος και η σύνταξη συμμορφώνεται σε οδηγίες μορφής καθορισμένης από την κοινότητα. Στόχος της νέας αυτής έκδοσης των εγκυκλοπαιδειών αυτών είναι να δώσει ώθηση σε νέα εργαλεία πλοήγησης και διασύνδεσης της εσωκλειόμενης γνώσης τους αλλά ταυτοχρόνως να προσκαλέσει κάθε πιθανό συντάκτη και εν δυνάμει χρήστη του να προσθέτει γνώση, καθιστώντας την πιο εύκολη, γρήγορη και συνάμα πειθαρχημένη σημασιολογικά. Επιπλέον αυτών, σημαντικά παραδείγματα ανάλογων εφαρμογών είναι το WordNet, μια λεξικολογική βάση δεδομένων αγγλικών όρων οργανωμένη σε σύνολα συνωνύμων με ένα εύρος σημασιολογικών διασυνδέσεων, η Europeana ένα μέσο δημοσίευσης δεδομένων σχετικών με πολιτιστικά αντικείμενα προερχόμενα από ένα μεγάλο αριθμό ευρωπαϊκών θεσμών. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί το VIAF, ένα εργαλείο δημοσίευσης δεδομένων σχετικά με ανθρώπους, έργα και γεωγραφικά μέρη προερχόμενων από έναν αριθμό εθνικών βιβλιοθηκών και άλλων οργανισμών. [WZR+13], [110]

Αντίστοιχα παραδείγματα είναι αυτά σημαντικών μηχανών αναζήτησης που μέσω του έργου των ΣΔ, υποστήριξαν βάσεις γνώσης σε συγκεκριμένα πεδία. Χαρακτηριστικότερα αυτών, η μηχανή αναζήτησης Bing, υποστηρίζει βάσεις γνώσης που αφορούν σε ψυχαγωγία, άθληση και ταξίδια. Η Google εισήγαγε το 2012 το γράφο γνώσης, βάση του οποίου αποτελεί η συγκεντρωμένη γνώση σχετικά με τις αναζητήσεις και των καθημερινών επιλογών πληκτρολόγησης των χρηστών του διαδικτύου.

Ένα ακόμη εγχείρημα που έλαβε μεγάλες διαστάσεις δημοφιλίας, είναι αυτό του FOAF (Friend of a friend) project, το οποίο έχει ως στόχο να παράγει ένα δίκτυο από μηχανιστικά αναγνώσιμες σελίδες περιγραφής ανθρώπων. Το FOAF λεξιλόγιο καθιστά εφικτή την περιγραφή των προσωπικών στοιχείων, των ενδιαφερόντων, των επιτευγμάτων, των δραστηριοτήτων και των σχέσεων των ανθρώπων με άλλα άτομα. Παράγοντας αρχεία RDF δεδομένων, αυτές οι πληροφορίες μπορούν εύκολα να συγκομιστούν από μηχανές. Αφού δημοσιευτούν τα FOAF προφίλ των ατόμων μπορούν να συνασπιστούν σχηματίζοντας ένα μικρό δίκτυο δεδομένων. [102] Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του BBC, όπου η ομάδα παραγωγής του, χρησιμοποιώντας τα συνδεδεμένα δεδομένα για να συλλέξει πληροφορίες από τον Ιστό και να διασφαλίσει την ακρίβεια και την επαναχρησιμοποίησή τους, προχώρησε στη δημιουργία σπουδαίων αλλά σύνθετων ιστοτόπων. Εκμεταλλευόμενοι τα δεδομένα που ήδη υπήρχαν σε δημόσιες υπηρεσίες, σκορπισμένα ανά τον Ιστό, παρήγαγε τρεις ιστότοπους, μέσω των παραπάνω εργαλείων, MusicBrainz, DBpedia αλλά και της World Wildlife Fund, για τρεις από τις διαδικτυακές περιοχές ενδιαφέροντός της (πρόγραμμα, μουσική και άγρια φύση). Εξαιτίας του κοινού μοντέλου δεδομένων πίσω από το LD, τα δεδομένα από αυτά τα μέρη μπορούν άμεσα να συνδυαστούν και να βελτιώσουν αδιαλείπτως την εκάστοτε πληροφορία που αφορά σε ένα μουσικό καλλιτέχνη ή ένα είδος ζώου της άγριας φύσης που μελετάται σε μια ραδιοτηλεοπτική μετάδοση του καναλιού.

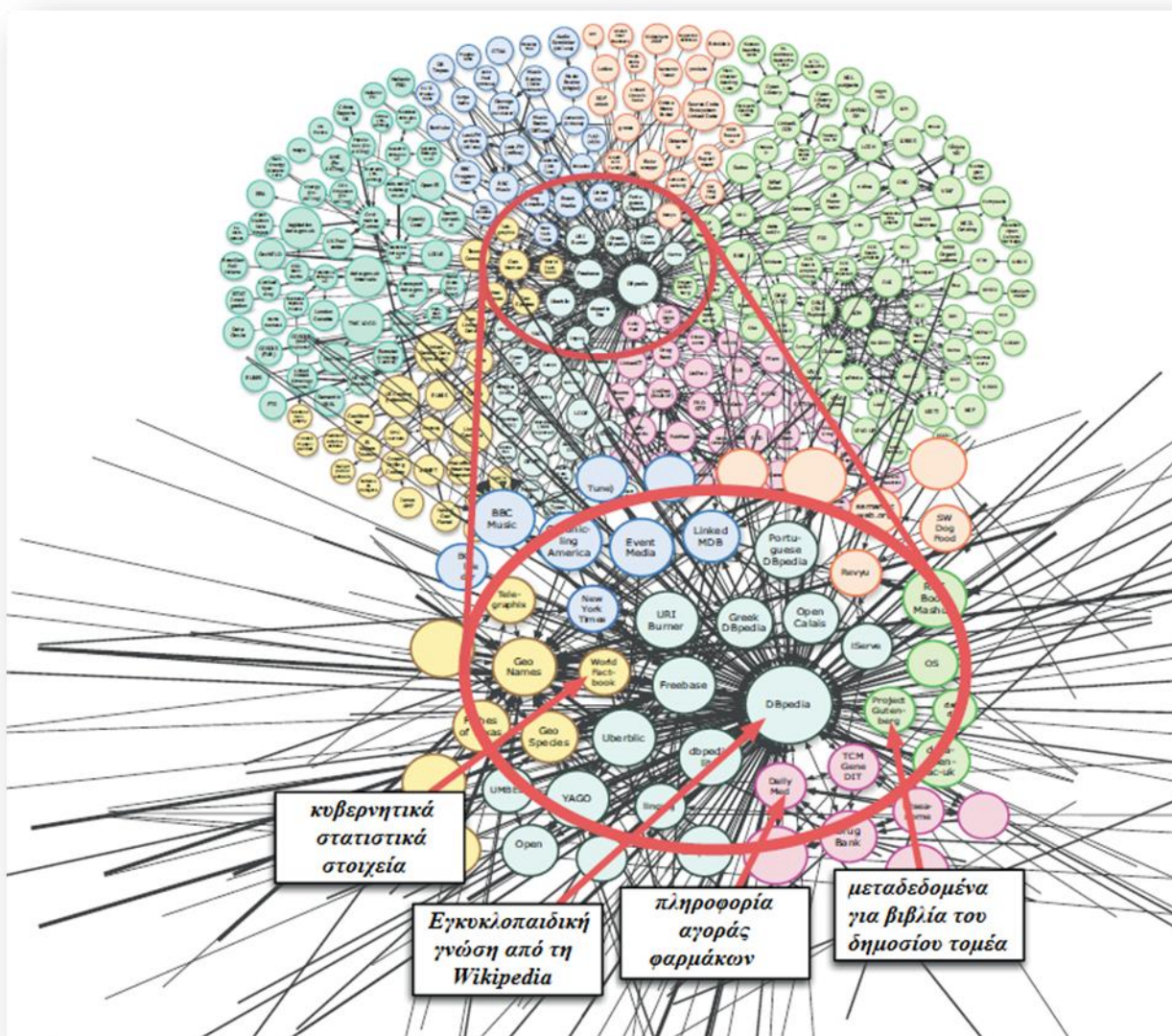
Στόχος του Linked Data εγχειρήματος, μαζί με τα πρότυπα που το συνοδεύουν (κυριότερα το RDF), είναι να επιτρέψει στον οποιονδήποτε να περιγράψει οτιδήποτε επιθυμεί και κρίνει. Ο καθένας μπορεί να δημιουργήσει ένα σύνολο από όρους, ένα λεξιλόγιο με άλλα λόγια, και να τα μετατρέψει σε εντοπίσιμες μορφές παρουσίασης στο διαδίκτυο (πχ ιστοσελίδες). Σε περίπτωση που κάποιος όρος, παρεμφερής ή ακόμη και ταυτόσημος, υπάρχει ήδη στο διαδίκτυο, υπάρχει λύση διατήρησης σύνδεσης και με αυτόν, μέσα από την κατασκευή μιας απλής δήλωσης (owl:sameAs) που τα ενώνει νοηματικά. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να συσταθούν οι απαραίτητες πληροφορίες για την οικοδόμηση σελίδων, υπηρεσιών και εφαρμογών μέσα από τη συνεργασία των εργασιών πολλών διαφορετικών ομάδων που ενδεχομένως να μην γνωρίζονται ή ακόμη και να χωρίζονται από μεγάλες αποστάσεις.

Σε έναν άλλο βαθμό, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης όπως το Facebook, αποτελούν ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής των ΣΔ. Με το πάτημα του κουμπιού Like, ουσιαστικά, κινητοποιείται η παραγωγή δυο νέων συνόλων RDF τριάδων που συνδέουν δυο πρόσωπα και έναν χρήστη με μια έννοια. Το ένα εξ' αυτών επιστρέφει στην Facebook ως εγγραφή στη βάση δεδομένων της, και η άλλη επιστρέφει σε μορφή απεικόνισης ιστοσελίδας. Επιπροσθέτως, η Facebook επιδεικνύει μια πρόσθετη υποστήριξη των ΣΔ ενσωματώνοντας το RDFa και τη χρήση πρωτοκόλλου ανοιχτού γράφου (Open Graph Protocol) σε εταιρικές σελίδες.

Οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού χρησιμοποιούνται σε ποικίλες μορφές και τα αποτελέσματα αυτής της χρήσης μπορούν να εντοπιστούν στη Siri της Apple, τον Watson της IBM, τον Knowledge Graph της Google, τον Entity Graph της Facebook, χρηματοοικονομικά συστήματα, συστήματα διαδικτυακών πληρωμών, συστήματα αποθήκευσης της NASA, ροές εργασίας για εκδότες, ανακαλύψεις νέων ιατρικών φαρμάκων από φαρμακευτικές εταιρείες, έρευνα ιατρικών παθήσεων και ιδιαίτερος των μορφών καρκίνου κλπ.

Τέλος ανάμεσα στις καταδεικνυόμενες επιτυχίες των LD είναι τα Google rich snippets, μέσω των οποίων κατά τη διενέργεια μιας αναζήτησης ο χρήστης δέχεται μαζί με τα επιστρεφόμενα αποτελέσματα, ένα πλήθος συναφών και πολλές φορές χρήσιμων πληροφοριών σχετικών με τον αναζητούμενο πόρο. Στην παρούσα φάση, απεικονίζονται βάσει του περιεχομένου μιας μόνο ιστοσελίδας, με τη δυνατότητα συνδυασμού δεδομένων από πολλαπλές πηγές, να φαντάζει το επόμενο βήμα στο μέλλον. Τα μικρά αυτά τμήματα πληροφοριών, περιλαμβάνουν ενσωματωμένα βίντεο, λίστες ατόμων που παρευρίσκονται σε ένα γεγονός, τοποθεσίες όπου υπάρχει προβολή μιας ταινίας, κλπ. Το μοντέλο στο οποίο βασίστηκε αυτή η εφαρμογή αποκαλείται περιεχομενο-κεντρικής δικτύωσης (content-centric networking) και εφαρμόζει την RDF τεχνολογία των τριπλετών.

Με άλλα λόγια η σημασιολογική τεχνολογία φαίνεται να κατακτά σε οριζόντιο επίπεδο τα πάντα, με αποτέλεσμα να καθίσταται σταδιακά η βάση μέσω της οποίας θα αμβλυνθούν τα όρια της ιδιοτικότητας των διαφόρων δικτύων αποθήκευσης της γνώσης (σιλό). Τα δίκτυα αυτά αντιμετωπίζουν ένα ιδιαίτερος μεγάλο πρόβλημα συνδυασμού των cross-domain δεδομένων τους, και τα συνδεδεμένα δεδομένα αποτελούν το καλύτερο εργαλείο για τη διευθέτησή του.



Εικόνα 3: Συνδεδεμένα Δεδομένα

3.3.2 Συνδεδεμένα Δεδομένα και ο πολιτικός παράγων

Ο στόχος και η στόχευση των ανοικτών κυβερνητικών δεδομένων (open government data - OGD) δεν είναι άλλος πέρα από τη διευκόλυνση διαμοιρασμούς μηχανιστικά-αναγνώσιμων συλλογών που

καλύπτουν την εκάστοτε κυβερνητική δραστηριότητα. Αποτελεί διεθνή προσπάθεια με τις τέσσερις πιο διαδεδομένες προσπάθειες να εντοπίζονται σε ιστοτόπους των Ηνωμένων πολιτειών (www.data.gov) , του Ηνωμένου βασιλείου (www.data.gov.uk) , της Γαλλίας (www.data.gouv.fr) και της Σιγκαπούρης (www.data.gov.sg), με τον πρώτο να διευκολύνει την πρόσβαση σε 400000 και πλέον συλλογές από 185 αμερικανικούς κυβερνητικούς οργανισμούς. Αξιοσημείωτη είναι ή συνεισφορά της Σημασιολογικής Κοινότητας (<http://semantic.data.gov>) στο κομμάτι της παροχής υποστήριξης στη χρήση ΣΔ και τεχνολογιών ΣΙ με στόχο τη βελτίωση της ικανότητας χρήσης των παραπάνω κυβερνητικών δεδομένων. Τα ανοιχτά διασυνδεδεμένα δεδομένα γνωρίζουν ευρεία αξιοποίηση σε τομείς ενέργειας, υγείας, εκπαίδευσης και δικαίου.

Όπως γνωρίζουμε, το διαδίκτυο επιτρέπει και περιλαμβάνει αναρτήσεις μιας τεράστιας ποικιλίας δεδομένων: κυβερνητικών, εταιρικών, επιστημονικών, προσωπικών, καιρικών, εκδηλώσεων, ειδήσεων κλπ. Όσον αφορά την εφαρμογή των LD στο κυβερνητικό φάσμα, όπως επισημαίνει πολύ εύστοχα σε άρθρο του ο Dr. Jo Bates, λέκτορας του μητροπολιτικού πανεπιστημίου του Manchester, [Bat12] η πρωτοβουλία των ανοιχτών κυβερνητικών δεδομένων αναδύεται ως ένα παράδειγμα μιας σειράς ανάλογων πρωτοβουλιών οι οποίες βασίζονται στην αναπτυσσόμενη λογική που αφορά στην κοινωνικά προοδευτική προοπτική των ελεύθερα και διαφανώς διαθέσιμων μοντέλων παραγωγής και διαμοιρασμού πληροφορίας. Μέσα από την κατάκτηση της γνώσης σε απλά ακατέργαστα δεδομένα και λογικούς κώδικες σε συνδυασμό με την εγκατάλειψη μοντέλων ψευδούς ανεπάρκειας που περιορίζουν την πρόσβαση, την ερμηνεία και τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης, προτείνεται μία αξιοπρόσεκτη αναθεώρηση των μεθόδων κατανόησης και παραγωγής, οι οποίες σχηματίστηκαν και κυριάρχησαν για χρόνια λόγω επικρατουςών σκοπών. Πρώτες οι κυβερνήσεις Ηνωμένου Βασιλείου και Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής οικοδόμησαν τα κατάλληλα μέσα προκειμένου να γίνουν διαθέσιμες ως ένα ασφαλή -για την εκάστοτε εθνική ασφάλεια- βαθμό, οι πληροφορίες που συλλέγουν οι κυβερνητικοί φορείς, εγείροντας όμως εν παραλλήλω αντιδράσεις και εναντιώσεις που αφορούν στην ενδυνάμωση των ήδη δυνατών, αφού τους δίνεται πρόσβαση σε γνώση που αλλιώς δε θα μπορούσαν να έχουν.

Η σημασία διάθεσης κυβερνητικών δεδομένων αποκτά τεράστιες διαστάσεις, καθώς πέραν της διαφάνειας προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε εργασίες πολλαπλών προεκτάσεων. Διανέμοντας τα, ως συνδεδεμένα δεδομένα, ανοίγει ο δρόμος για μια βελτίωση στην γνώση του τρόπου σύνθεσης μιας κοινωνίας, τον τρόπο ζωής των πολιτών της, ενώ παράλληλα, μέσω της εκμετάλλευσής των δεδομένων αυτών από εταιρείες, δύναται να επιτευχθεί άνθιση στον τρόπο διακίνησης προϊόντων, στον τρόπο διαφήμισης αυτών κλπ. [85]

3.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ

ΙΣΤΟ - ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ

Ο Παγκόσμιος Ιστός που οραματίστηκε ο δημιουργός του, Tim Berners-Lee είναι τεχνικά ένα υποσύνολο καλύτερα ορισμένο ως ο Ιστός των Εγγράφων (το κλασικό διαδίκτυο). Μια άλλη πλευρά του WWW είναι αυτή του Ιστού των Δεδομένων. Ακριβώς όπως ένα δίκτυο εγγράφων εφαρμόζει υπερσυνδέσμους για τη μεταξύ τους σύνδεση, συνδεδεμένες συλλογές δεδομένων εγκαθιστούν συνδέσεις μέσω της χρήσης των RDF συνδέσμων μεταξύ των δεδομένων που εμπεριέχονται σε αυτές. [WZR+13]

Πολλοί κάνουν λανθασμένα μια ταύτιση μεταξύ του αναπτυσσόμενου Ιστού των Δεδομένων (web of data) και του σημασιολογικού ιστού. Ο αρχικός σχεδιασμός του Παγκόσμιου ιστού όπως τον οραματίστηκε ο δημιουργός του όμως, συμπεριελάμβανε σημασιολογικούς υπερσυνδέσμους. Με άλλα λόγια κάθε υπερσύνδεσμος είχε μια ερμηνεία, με κάποιον να οδηγεί σε πληροφορία σχετικά με τον δημιουργό μιας ιστοσελίδας και έναν άλλο να οδηγεί σε μια συγκεκριμένη υπηρεσία. Παρόλα αυτά η συντριπτική πλειοψηφία των περισσότερων εξ' αυτών, καταδείκνυαν απλώς ένα σημείο παρατήρησης. Ο ιστός εξελίχθηκε προς διαφορετικές κατευθύνσεις και ιδιαιτέρως τα συνδεδεμένα δεδομένα αναπτύχθηκαν με τρομακτικούς ρυθμούς. Η εργασία της διασύνδεσης ανοιχτών δεδομένων κατόρθωσε να δημιουργήσει πληθώρα δομημένων δεδομένων στον Ιστό, αξιοποιώντας τα σε χρήσιμες μορφές. Τα συνδεδεμένα δεδομένα είναι το ίδιο σημαντικά στον ιστό των δεδομένων όσο τα υπερκείμενα για τον ιστό των εγγράφων. Ο Σημασιολογικός Ιστός σχεδιάστηκε αρχικώς ως μια εξέλιξη του WWW στους κόλπους του οποίου, οι υπολογιστές θα μπορούσαν να εκτελέσουν αυτομάτως πληθώρα λειτουργιών μέσα από λειτουργίες κατανόησης διαμοιρασμένων δομημένων δεδομένων. Ο ΣΙ όμως μετασχηματίστηκε προς διάφορες κατευθύνσεις, και οι θεμελιώδεις ιδέες του εφαρμόστηκαν σε συγκεκριμένα προβλήματα. Η σημασιολογία αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της περιγραφής των τεχνολογιών σήμερα με τα πιο εξειδικευμένα παράγωγα της να παίζουν το ρόλο διαχείρισης πληροφοριών, ελέγχου αποθήκευσης, διαδικασίας συλλογής δεδομένων και ροών εργασίας για επιχειρήσεις και οργανισμούς.

Τα ΣΔ λοιπόν αποτελούν ένα μικρό υποσύνολο των τεχνικών του ΣΙ που χρησιμοποιούνται σε αυτά γι' αυτά. Τα ΣΔ οικοδομούνται αυστηρά στον ιστό αξιοποιώντας το RDF μοντέλο. Τα δομημένα δεδομένα όμως του ΣΙ περιλαμβάνουν και άλλες έννοιες πέραν του RDF. Ορισμένα εξ' αυτών είναι η ασφάλεια, η λογική, η απόδειξη, τα μεταδεδομένα κλπ.

Το διαδίκτυο προσφέρει ένα παγκόσμιο χώρο πληροφορίας ο οποίος αν βρίσκεται σε άνθιση είναι επειδή, ενσωματωμένες συνδέσεις εγκαθιστούν σχέσεις μεταξύ δημοσιευμένων πόρων. Αυτοί οι πόροι βρίσκονται αποθηκευμένοι σε ξεχωριστούς διακομιστές σε διαφορετικά φυσικά σημεία. Τόσο οι

άνθρωποι όσο και οι μηχανές μπορούν να διασχίσουν αυτούς τους υπερσυνδέσμους αποκαλύπτοντας νέα πληροφορία. Οι μηχανές αναζήτησης μπορούν να ευρετηριάσουν αυτούς τους συνδέσμους και να συμπεράνουν σχέσεις μεταξύ των εγγράφων μέσα από τη χρήση μη-αμφίσημων URIs.

Εν γένει, οι άνθρωποι εξερευνούν τον Ιστό των Εγγράφων ώστε μηχανικά να συγκεντρώσουν σχετικές πληροφορίες που ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Το επίπεδο της ευστοχίας και αμφισημίας των αδόμητων δεδομένων, περιπλέκουν το έργο αυτό της συνάθροισης των πραγματικά συναφών πληροφοριών. Αντίθετα με αυτό, στον κόσμο των LD, οι τετριμμένες περιγραφικές δηλώσεις κάθε πράγματος εντοπίζονται σε γνωστά μορφότυπα, ακριβείς και ξεκάθαρες. Ιστορικά, τα δεδομένα στο διαδίκτυο, δημοσιεύονταν ως αδόμητα δεδομένα σε διάσπαρτα, ανόμοια, και ασύμβατα μορφότυπα τα οποία παρακώλυαν την αναγνωσιμότητα τους από μηχανές αλλά και την αυτοματοποιημένη συλλογή τους μαζί με άλλα σχετικά προς αυτά δεδομένα.

Υποθεθίσθω πως προβαίνουμε στην αγορά ενός υπολογιστή τελευταίας τεχνολογίας, ο οποίος όμως φέρει πάνω του ένα outdated, μη ενημερωμένο δηλαδή και ξεπερασμένο λειτουργικό σύστημα. Καθίσταται άμεσα αντιληπτό το γεγονός ότι λόγω αυτής της καθυστέρησης στο συγχρονισμό των παραπάνω- δηλαδή στην ενσωμάτωση της γνώσης που επιφέρει η τεχνολογική πρόοδος από το εν λόγω σύστημα- το μηχανήμα δεν αξιοποιείται στο έπακρο των δυνατοτήτων του. Διεργασίες διαφόρων μορφών θα μπορούσαν να γίνουν με έναν βελτιωμένο ή πολλές φορές εντελώς καινοτόμο τρόπο, που προηγούμενα έβρισκαν εμπόδιο στην τεχνική υποστήριξη τους από το υλικό. Εντελώς ανάλογα, επιδιώκοντας συσχέτιση με τον κόσμο του διαδικτύου, θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε το σημασιολογικό ιστό ως την αναβάθμιση που καθιστά τον παγκόσμιο ιστό-δηλαδή το μηχανισμό μας εν προκειμένω- μια ενοποιημένη και συνάμα δομημένη πηγή πληροφορίας και γνώσης, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του. Αντί να μας επιστρέφεται όπως αναφέρθηκε εμμέσως προηγούμενα ένα σύνολο ακατάλληλων και συνεπώς άχρηστων αποτελεσμάτων, ο χρόνος και οι δυνατότητες του διαδικτύου αξιοποιούνται με τρόπο αποδοτικό χωρίς περιττή σπατάλη. Κατακτάται με άλλα λόγια, η μετατροπή του, από μια αποθήκη πληροφοριών σε έναν σοφό πράκτορα γνώσης, ο οποίος με τα κατάλληλα εργαλεία, δύναται να διενεργεί ταχύτατα, απλές διεργασίες σύνθεσης και αναζήτησης μεταξύ των σελίδων, δίνοντας έτσι απαντήσεις σε εξεζητημένα και πολύπλοκα ερωτήματα επί παντός επιστητού.

Το κυριότερο πρόβλημα λοιπόν ήταν πώς μεταδίδουμε το νόημα ενός πράγματος, μιας ιδέας στον κόσμο. Πώς αν ένας υπολογιστής θέλει να επικοινωνήσει τη λέξη "bank" ως ένα οικονομικό κέντρο, ένας άλλος υπολογιστής θα πρέπει να μην της αποδώσει τη σημασία της "όχθης ενός ποταμού"; Αυτός είναι και ο λόγος που η μορφή του web φέρει το προσωνύμιο "semantic". Λόγω της μετάδοσης όχι απλώς μια λέξεως κλειδιού, μιας ετικέτας αλλά της εκάστοτε σημασίας της. Ο σημασιολογικός ιστός λοιπόν εν γένει

μπορεί να περιγραφεί ως μια τεχνολογία διαμοιρασμού δεδομένων όπως ακριβώς ισχύει και για τον ιστό υπερκειμένων που χρησιμοποιείται ως σήμερα για το διαμοιρασμό εγγράφων.

Εν συντομία ο ΣΙ εφαρμόζει διαδικτυακά πρωτόκολλα για την κωδικοποίηση συλλογών δεδομένων και τη σύνδεση αυτών με άλλα δημοσιευμένα datasets, ούτως ώστε οι εκάστοτε εφαρμογές, να μπορούν να εκμεταλλευτούν δεδομένα από πολλές διαφορετικές πηγές. Επιπροσθέτως παρέχει τις προδιαγραφές για την κωδικοποίηση γενικής γνώσης σε οντολογίες, επιτρέποντας έτσι εμπλουτισμό της, που βασίζεται σε αυτόματες συλλογιστικές διαδικασίες.

3.4.1 Περιηγητές Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web Browsers)

Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν πολλοί browsers ως εργαλεία απευθείας απεικόνισης και εξερεύνησης δεδομένων σε μορφή RDF ή OWL εντελώς ανάλογα προς τους φυλλομετρητές περιήγησης μεταξύ HTML συνδέσμων. Παραδείγματα τέτοιων αν και ως επί το πλείστον, σε ερευνητικό επίπεδο ακόμη, είναι τα Disco, Tabulator, Marbles, Explorator, Parallax, Drupal, DBPedia Faceted Browser κ.α. [100] οι οποίοι σχεδιάστηκαν τόσο για νέους χρήστες ώστε να τραβήξουν το ενδιαφέρον τους στο σημασιολογικό ιστό και να τους δώσουν τα μέσα πρόσβασης και δικτύωσης με το σύνολο του πλέγματος των rdf δεδομένων, αλλά και για προγραμματιστές rdf περιεχομένου προκειμένου να δημιουργήσουν κίνητρα γι' αυτούς να δημοσιεύουν τα δεδομένα τους υπό μορφή RDF, να βελτιώνουν και να προωθούν τα πρότυπα σύνδεσης του rdf μοντέλου και τέλος να παρουσιάζουν στους παρόχους τον τρόπο αλληλεπίδρασης των δεδομένων τους με τον υπόλοιπο ΣΙ.

Ορισμένοι σημασιολογικοί περιηγητές όπως οι Palm-DAML, RDF Author & IsaViz είναι γενικοί με περιορισμένη δυνατότητα παρουσίασης δεδομένων σε μορφή πινάκων ή γράφων όπως θα περίμεναν τυπικοί ή εταιρικοί χρήστες τους. Αντιθέτως ορισμένοι όπως CS-Aktive και mSpace παρέχουν έναν ολοκληρωμένο και δυναμικό περιβάλλον περιήγησης το οποίο όμως περιορίζεται εντός συγκεκριμένου πεδίου ενδιαφέροντος.

Σκιαγραφώντας τη λειτουργία ενός τέτοιου περιηγητή όπως ο Disco ή ο Tabulator, μετά τον εντοπισμό του προς αναζήτηση URI που εισήχθη απ' τον χρήστη, ακολουθεί συνδέσμους που μπορεί να περιέχουν περισσότερα δεδομένα για σχετικούς κόμβους, προσθέτει με άλλα λόγια αναπαραστάσεις σχετικών URI, οικοδομώντας έναν ενιαίο γράφο. Κατόπιν, περνώντας από τη λειτουργία αναζήτησης σε εκείνη της ανάλυσης, σχηματίζει τριάδες εντός του ενιαίου γράφου, όπου το δοθέν URI κατέχει θέση υποκειμένου είτε αντικειμένου ολοκληρώνοντας την εκτέλεση της διαδικασίας εκ νέου, χτίζοντας συνεχώς τον γράφο προκειμένου να ευρεθούν όλα τα παραδείγματα του συγκεκριμένου pattern. Ο περιηγητής λοιπόν εν συνεχεία, εκτελεί το ερώτημα ακολουθώντας τους συνδέσμους, προσπαθώντας να ταιριάζει το pattern με τον RDF γράφο. [BCC+06]

Ακόμη, ορισμένοι περιηγητές όπως ο Tabulator, προχωρώντας ένα βήμα παρακάτω, είναι σε θέση να προσφέρουν ένα εύρος επιλογών στον χρήστη όσον αφορά τον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων στις αναζητήσεις του, πέραν της επιλογής γράφου ή πίνακα, σε μορφή χάρτη ή χρονολογίου κάτι που καθίσταται εφικτό χάρη στην εκμετάλλευση εργαλείων όπως το google maps και η iCalendar-equivalent οντολογία. [BCC+06]

Αυτό που αποτελεί τη μεγαλύτερη ίσως πρόκληση για τους παραπάνω φυλλομετρητές, είναι το να φέρουν τη δύναμη των εφαρμογών συγκεκριμένων περιοχών σε μορφή ενός γενικού προγράμματος ενόσω νέα απρόσμενα χωρία (domains) ενδιαφέροντος κάνουν την εμφάνισή τους σε πραγματικό χρόνο. Προκειμένου να καταστεί δυνατή μια γενική αναζήτηση, οι χρήστες πρέπει να ενθαρρυνθούν να συνεισφέρουν σε οντολογίες, επαρκώς ισχυρές υποδείξεις διεπαφών χρήστη, έτσι ώστε μια γενική εφαρμογή να μπορεί, σε πραγματικό χρόνο, να αποκτά τη δυνατότητα να παρέχει μια αποτελεσματική και χρήσιμη διασύνδεση στα δεδομένα, άγνωστων έως εκείνη τη στιγμή domains.

Συγκεντρωτικά οι κυριότεροι στόχοι και τα κίνητρα γύρω από την ανάπτυξη σημασιολογικών περιηγητών μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

- η διάθεση μιας πλατφόρμας λογισμικού αναζήτησης προς ερευνητές και προγραμματιστές νέων και προκυπτουσών εφαρμογών που έχουν ως βάση τους το RDF πρότυπο
- η διερεύνηση των πιθανοτήτων, των περιορισμών και των πιθανών βελτιώσεων στην αρχιτεκτονική τόσο του ιστού όσο και του σημασιολογικού ιστού
- ο εντοπισμός προβλημάτων που αφορούν στις γενικές υλοποιήσεις/χρήσεις του περιηγητή που πρέπει να επισημανθούν ή να διορθωθούν
- ο εντοπισμός ή/και σχεδιασμός νέων πρωτοκόλλων συνδεδεμένων δεδομένων ώστε να κατασταθούν ορισμένες κλάσεις προβλημάτων επιλύσιμες

3.4.2 Μηχανές Αναζήτησης Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web Search Engines)

Αντιστοίχως των browsers, δημιουργήθηκαν και μηχανές αναζήτησης όπως Sindice, Watson, Sig.ma, SWSE, Falcons, VisiNav, Swoogle, SameAs.org κλπ οι οποίες ακολουθώντας RDF συνδέσμους εντοπίζουν χιλιάδες πηγές δεδομένων που εμπεριέχουν πληροφορίες για έναν δοθέντα πόρο και διατηρούν την δυνατότητα να διενεργούν ερωτήματα (queries) επί αυτών των πληροφοριών. Οι παραπάνω μηχανές αναζήτησης είναι για τα δεδομένα, ότι το Google για τα έγγραφα. Ο στόχος τους είναι η παροχή πολλαπλών υπηρεσιών όπως η διαδραστική οπτικοποίηση των δεδομένων, υπηρεσίες επαλήθευσης και επιβεβαίωσης δεδομένων, ανακάλυψης και δημιουργίας ευρετηρίων δεδομένων, και

τέλος υπηρεσίες αναζήτησης και διενέργειας ερωτημάτων επί αυτών. Χαρακτηριστικότερα η Sindice περιγράφεται ως μια πλατφόρμα οικοδόμησης εφαρμογών πάνω από σημασιολογικά δεδομένα.

Σημασιολογικά συστήματα QA τα οποία εργάζονται με δομημένα δεδομένα μπορούν να οδηγηθούν ευκολότερα στο επιθυμητό αποτέλεσμα σε σχέση με την αναζήτηση εντός των στενών ορίων μιας καθορισμένης ομάδας κλειστών βάσεων δεδομένων, εκμεταλλευόμενα οντολογικές σχέσεις και σημασιολογικές διασυνδέσεις μεταξύ των συλλογών δεδομένων. Ακόμη και παραδοσιακές μηχανές αναζήτησης όπως η Google και η Yahoo ενσωμάτωσαν στους κόλπους τους τα δομημένα δεδομένα παρέχοντας απλές εφαρμογές QA.

Συμπερασματικά κάθε νέα εφαρμογή ή υπηρεσία LD μπορεί μέσω των παραπάνω εργαλείων να αξιοποιεί τις συλλογές και τα ευρετήρια που ήδη αποτελούν κομμάτι του ιστού, να υποβάλλει ερωτήματα πάνω σε αυτά λαμβάνοντας σχετικά έγγραφα ή οντολογίες που καλύπτουν έννοιες συναφείς με το ερώτημα.

Τα σταθερώς αυξανόμενα δεδομένα που απαρτίζουν το Linked Data θα παρέμεναν ασήμαντα ως ακατέργαστα, αν δεν υπήρχε ένας τρόπος πρόσβασης σε αυτά, για τους απλούς χρήστες. Ο τρόπος που επετεύχθη ήταν η δημιουργία συστημάτων QA συστημάτων που επιτελούν το έργο της μετάφρασης ερωτήσεων σε φυσική/καθομιλούμενη γλώσσα σε αναζητήσεις SPARQL ή γράφους που επιστρέφουν σωστές απαντήσεις στην ζητούμενη πρόσβαση του χρήστη προς την εκάστοτε βάση.

Ορισμένα εκ των γνωστότερων QA συστημάτων που αναπτύχθηκαν είναι τα: FreyA, PowerAqua, SWIP, C-Phrase, Treo, NLP-Reduce, Quest-IO, QAKIS, Pythia, TBSL, SINA, Ephyra, ORAKEL.

Σύμφωνα με ένα πείραμα που διεξήχθη από τους Kauffmann και Bernstein, κατά το οποίο οι χρήστες κλήθηκαν να συγκρίνουν τέσσερις πλατφόρμες ερωτημάτων επί μιας οντολογίας, το αποτέλεσμα ήταν να σημειωθεί μεγαλύτερη προτίμηση σε αυτά που χρησιμοποιούσαν πλήρως φυσική γλώσσα έναντι άλλων που έκαναν χρήση λέξεων κλειδιών, τμηματικών προτάσεων ή γραφικού περιβάλλοντος.

Σημαντικό είναι να γίνει ο διαχωρισμός μεταξύ συστημάτων υποβολής ερωτημάτων, στα κλασσικά συστημάτων πολλών KB όπου η ενημερωμένη έκδοση των δεδομένων δεν αποτελεί τη συνήθη περίπτωση αλλά αντίθετα οι απαντήσεις δίδονται βάσει των στατικών δεδομένων της βάσης, και στα δυναμικά συστήματα συνεχούς ροής/παραγωγής δεδομένων παρατήρησης όπως τα δίκτυα αισθητήριων συσκευών, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά πεδία όπως η ανάλυση κίνησης ή χρήσης δικτύων.

Τα συνδεδεμένα δεδομένα αποτελούνται και τροφοδοτούνται κυρίως από δυναμικώς παραγόμενα δεδομένα, όσον αφορά την εφαρμογή τους στο IoT, με αποτέλεσμα, η διαχείριση τους να εμφανίζει διαφορές από εκείνα των στατικών δεδομένων, όπως αναφέραμε και παραπάνω. Μια τέτοια αέναη ροή δεδομένων πέραν του απεριόριστου μεγέθους της, γίνεται σταδιακά διαθέσιμη καθιστώντας την διαδικασία ελέγχου και αξιοποίησης της μέσω ερωταποκρίσεων δυσχερή, αν τα τελευταία τίθενται με την ίδια μορφή που προσαρμόζεται επί μιας κλειστής στατικής βάσης. Για την αντιμετώπιση της έκρηξης της

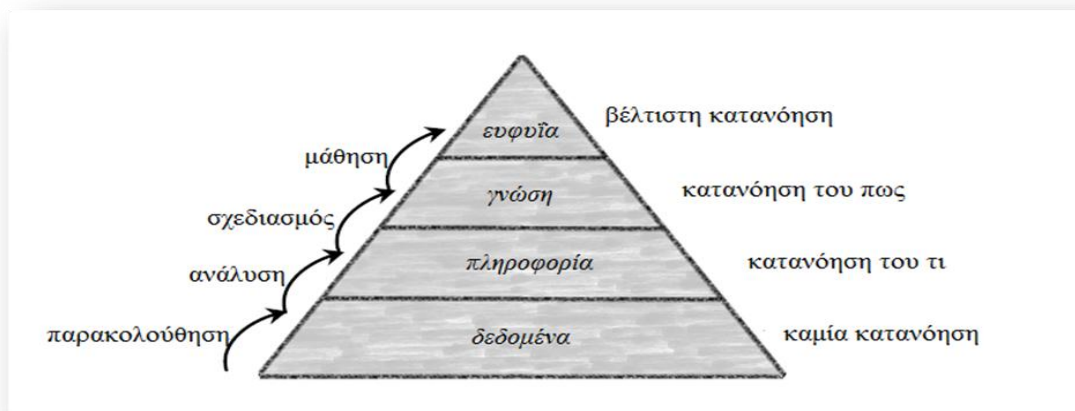
διαθέσιμης αυτής πληροφορίας, επιβάλλεται η χρήση σημασιολογίας ώστε μέσα από αφαιρετικού λογισμού διαδικασίες τα ακατάλληλα επιστρεφόμενα αποτελέσματα να αποκόπτονται.

3.5 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΝΩΣΗΣ (KNOWLEDGE REPRESENTATION)

Ένας ολόκληρος κύκλος επεξεργασίας δεδομένων, οδηγεί στην παραγωγή συνεργατικών δικτύων γνώσης τα οποία με τη σειρά τους, μπορούν να δώσουν κίνηση σε πολύπλοκα ιεραρχικά κυκλώματα ανάδρασης μιας και τα δεδομένα αισθητήρων είναι υψίστης σημασίας σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται στη σφαίρα του εικονικού μπορούν να έχουν αντανάκλαση στο πραγματικό περιβάλλον, προσφέροντας μας τη βοήθεια μιας αρτιότερης ή ιδανικά βέλτιστης διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων μας. Μολαταύτα, ένα πρώτο βήμα για το σχεδιασμό της γενικής αρχιτεκτονικής ενός έργου στους κόλπους του IoT και της κατανόησης των δυνατοτήτων και των ευκαιριών εξέλιξής του, είναι ο ορισμός του κύκλου διαχείρισης γνώσης. [VGM+14]

Η διαχείριση γνώσης είναι η διαδικασία σύλληψης, ανάπτυξης, διαμοιρασμού και αποτελεσματικής χρήσης γνώσης από όλες εκείνες τις δραστηριότητες που ως στόχο έχουν τη χρήση της με έναν αποδοτικό τρόπο για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Για την αναπαράστασή της και την παρουσίαση της δομικής και λειτουργικής διασύνδεσής της με τα δεδομένα, τις πληροφορίες και την ευφυΐα μηχανευόμαστε την εξής ιεραρχική δομή πυραμίδας: [Row07] [Ber09]

- Το επίπεδο των δεδομένων περιλαμβάνει όλα τα ακατέργαστα εκείνα χαρακτηριστικά τα οποία συλλέγονται από αντικείμενα μέσω IoT υπηρεσιών και που τα περιγράφουν στο δομικό και λειτουργικό τους πλαίσιο.
- Το επίπεδο των πληροφοριών συμπεριλαμβάνει όλη την ανάλυση των παραπάνω δεδομένων καθώς και των συνθηκών χρήσης τους (context).



Σχήμα 13: Πυραμίδα DIKW

- Το επίπεδο της γνώσης εσωκλείει προβλήματα ή εντοπισμένες καταστάσεις σχετικών με συγκεκριμένα στιγμιότυπα ή δοκιμαστικών περιπτώσεων (test cases). Σε αυτό το επίπεδο, τα αντικείμενα αποκτούν τη δύναμη της μάθησης από προηγούμενη εμπειρία, κάτι που επιτυγχάνεται μέσα από την αξιοποίηση μίας βάσης γνώσης (knowledge base), την οποία μπορούν να μοιράζονται τα αντικείμενα με κοινά χαρακτηριστικά. Αυτή η βάση χρησιμοποιείται για να βελτιώσει τη διαδικασία λήψης απόφασης οδηγώντας σε μία βέλτιστη λύση. Αντικείμενα εκτός μιας πηγής διατηρούν επίσης τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούν τον πλούτο μιας KB που φέρει τα ίδια χαρακτηριστικά.
- Το επίπεδο της ευφυΐας περιλαμβάνει συλλογιστικές τεχνικές υψηλού επιπέδου οι οποίες επιτρέπουν στα αντικείμενα μέσα από λογικές διαδικασίες κατηγορηματικού λογισμού - λογικού προγραμματισμού, να κατανοούν τις συνθήκες στις οποίες δρουν, λαμβάνοντας ανεξάρτητες αποφάσεις. Σε αυτή τη βαθμίδα της πυραμίδας, τα αντικείμενα χαρακτηρίζονται ως ευφυή, σοφά ή πολύπειρης διανόησης, καθώς διαθέτουν την ικανότητα απόκτησης, προσαρμογής, τροποποίησης, επέκτασης και χρήσης της γνώσης για την επίλυση προβλημάτων.



Εικόνα 4: Αξία ακατέργαστων δεδομένων

3.6 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

Κατά τον ίδιο τον Tim Berners-Lee (2001) :

"Το Semantic Web είναι μια επέκταση του τρέχοντος Web, στον οποίο δίνεται ένα καθορισμένο με σαφήνεια νόημα στις πληροφορίες, δίνοντας τη δυνατότητα σε υπολογιστές και ανθρώπους να συνεργάζονται καλύτερα." [BHL01]

“Το διαδίκτυο σχεδιάστηκε ως ένας χώρος πληροφορίας, έχοντας ως στόχο, να είναι χρήσιμο όχι μόνο για επικοινωνία ανθρώπου με άνθρωπο, αλλά επιτρέποντας στις μηχανές να παρεμβαίνουν και να βοηθούν σε αυτή. Ένα από τα κυριότερα εμπόδια σε αυτό, ήταν το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών στο διαδίκτυο, είναι σχεδιασμένο για ανθρώπινη 'κατανάλωση', και ακόμη κι αν προήλθε από μια βάση δεδομένων με καλά οργανωμένες ερμηνείες (τουλάχιστον για ορισμένους όρους) στη σπονδυλική του στήλη, η δομή των δεδομένων δεν είναι προφανής για ένα ρομπότ που εκτελεί αναζητήσεις στον ιστό. Αφήνοντας κατά μέρος το πρόβλημα της τεχνητής νοημοσύνης να εκπαιδεύσει τις μηχανές ώστε να συμπεριφέρονται ως άνθρωποι, η προσέγγιση του σημασιολογικού ιστού αναπτύσσει γλώσσες για την έκφραση της πληροφορίας υπό μια επεξεργάσιμη από μηχανή μορφή.”

T. Berners-Lee, "Semantic Web Roadmap" 1998. [146]

«Το πρώτο βήμα είναι να δομηθούν τα δεδομένα στο Διαδίκτυο σε μια μορφή που οι μηχανές να μπορούν φυσικά να τα καταλάβουν ή να τα μετατρέψουν σε αυτήν. Αυτή είναι η απαρχή του τι αποκαλώ Semantic Web, ένα δίκτυο δεδομένων που μπορούν να επεξεργαστούν άμεσα ή έμμεσα οι μηχανές»

Tim Berners Lee, “Weaving the Web”, Harper San Francisco, 1999 [147]

Σήμερα το διαδίκτυο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε το περιεχόμενο του (τουλάχιστον στο μεγαλύτερο τμήμα του) να μην είναι μόνο διαχειρίσιμο εννοιολογικά από προγράμματα υπολογιστών, αλλά κυρίως να είναι αναγνώσιμο από τους χρήστες τους. Έχει σαν κύρια βάση του έγγραφα σε γλώσσα HTML μια και αυτή η επιλογή δίνει την ευχέρεια περιγραφής ενός δομημένου κειμένου, δίνοντας βάρος στην οπτική απεικόνιση. Από την άλλη πλευρά η HTML έχει περιορισμένες δυνατότητες σε ότι αφορά την ταξινόμηση των επί μέρους τμημάτων του κειμένου κάποιας σελίδας. Οι υπολογιστές έχουν τη δυνατότητα να αναλύσουν αποδοτικά μια ιστοσελίδα σε ότι αφορά την εμφάνιση αλλά και τις ρουτίνες,

όμως κατά κανόνα οι υπολογιστές δεν διαθέτουν έναν αξιόπιστο τρόπο επεξεργασίας της σημασιολογίας (semantics) η οποία εμπεριέχεται σε αυτή τη σελίδα.

Ο εμπνευστής του σημασιολογικού ιστού οραματιζόταν μια διαδραστικότερη μορφή για το διαδίκτυο, μια που θα δίνει στον χρήστη - ο οποίος θα μπορούσε ισοδύναμα να είναι μια μηχανή- τη δυνατότητα κατανόησης και συνεργασίας μαζί του. Στόχος του δεν ήταν απλώς η ανάκτηση και η κοινοποίηση HTML σελίδων από τους υπολογιστές που συνδέονται στο Διαδίκτυο, αλλά και η σύνδεση τους, ακόμη και η αυτόματη ενσωμάτωση περαιτέρω διαθέσιμων πληροφοριών σε αυτή τη σύνδεση. [BHL01]

Ουσιαστικά πυρήνας του σκεπτικού του ήταν να κατασταθεί το διαδίκτυο πηγή ανταλλαγής γνώσης και όχι απλά πληροφορίας. Να μπορεί να αντιλαμβάνεται τη σημασία των προς αναζήτηση περιεχομένων του χωρίς να εκτελεί περιττή δουλειά μηχανιστικά. Σήμερα το μεγαλύτερο τμήμα των περιεχομένων του Web, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι κατανοητές οι πληροφορίες από τους ανθρώπους, αλλά την ίδια στιγμή τα υπολογιστικά προγράμματα που τις διαχειρίζονται δεν διαθέτουν μια αξιόπιστη μέθοδο επεξεργασίας της σημασιολογίας τους. Παραδείγματος χάριν, οι μηχανές αναζήτησης προβαίνουν σε απλές λεξιλογικές αναλύσεις βασισμένες σε συμβολοσειρές αναζήτησης και μας δίνουν λίστες αποτελεσμάτων οι οποίες απαιτούν περαιτέρω διαχείριση από τους χρήστες, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τα δεδομένα που είναι κατάλληλα για την ερευνώμενη θεματική περιοχή. Είναι φανερό λοιπόν ότι πέρα από τις μηχανές αναζήτησης χρειάζεται να γίνει και λογική ανάλυση από το χρήστη για να εξευρεθούν τα ζητούμενα συμπεράσματα. Το πρόβλημα αυτό συμβαίνει επειδή οι ιστοσελίδες δεν διαθέτουν την απαιτούμενη σε όγκο πληροφορία σε ότι αφορά τη σημασιολογία των επί μέρους περιεχομένων τους, με αποτέλεσμα το λογισμικό που διαθέτει ο χρήστης να μην μπορεί από μόνο του να βγάλει τα αναγκαία συμπεράσματα εκ του περιεχομένου της σελίδας. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, οι τεχνολογίες του SW προσφέρουν τη δυνατότητα σε εργαλεία που δρουν αυτοματοποιημένα να εξαγάγουν αυτά τα αναγκαία συμπεράσματα.

Πιο συγκεκριμένα, προσφέρει μια νέα δομή στο σημασιολογικό περιεχόμενο του Ιστού [BHL01] έχοντας σαν αντικείμενό του να δομήσει με τέτοιο τρόπο το σημασιολογικό περιεχόμενο στις ιστοσελίδες, ώστε να δημιουργείται ένα τέτοιο περιβάλλον ώστε οι πράκτορες λογισμικού περιπλανώμενοι στις διάφορες σελίδες του διαδικτύου να μπορούν με ιδιαίτερη ευκολία να ικανοποιήσουν κάθε περίπλοκο στόχο για λογαριασμό των χρηστών. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται ο μετασχηματισμός του Web έτσι ώστε αντί να έχουμε στατικές σελίδες να οδηγηθούμε σε δίκτυο από δυναμικούς παρόχους υπηρεσιών (Web services) οι οποίοι βρίσκουν με αυτόματο τρόπο τις πληροφορίες που ζητάμε, διαπραγματεύονται για διάφορα αγαθά που ενδιαφέρεται να αγοράσει ο χρήστης ή ακόμα συλλέγουν πληροφορίες από διαφορετικές πηγές και στη συνέχεια τις συνενώνουν σε μια ομοιογενή μορφή.

Αυξάνονται συνεπώς οι δυνατότητες του World Wide Web μέσα από τη χρήση προτύπων, τη διευκόλυνση γλωσσών επισήμανσης (mark-up) και την αξιοποίηση αντίστοιχων εργαλείων επεξεργασίας.

Προκειμένου να λειτουργήσει ο σημασιολογικός Ιστός, οι υπολογιστές πρέπει να διαθέτουν πρόσβαση σε συλλογές πληροφοριών οι οποίες είναι σωστά δομημένες και παράλληλα να περιλαμβάνουν λογικούς κανόνες τους οποίους να μπορούν να χρησιμοποιήσουν έτσι ώστε αυτοματοποιημένα να εξάγουν τα απαιτούμενα συμπεράσματα. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται σε αυτή την περίπτωση καλείται Αναπαράσταση Γνώσης (Knowledge Representation), αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχει γίνει ακόμα επαρκής χρήση της ώστε να φανούν όλες οι δυνατότητές της. Για να φανούν αυτές οι δυνατότητες θα πρέπει η πιο πάνω διαδικασία να εφαρμοστεί σε ένα και μοναδικό σύστημα παγκόσμιας ευρύτητας.

Μια εύκαμπτη τεχνολογία που δύναται να συλλάβει και να θέσει αυστηρά το πλαίσιο περιγραφής τέτοιων σχέσεων καλείται Resource Description Framework (RDF) στο οποίο ενσωματώνεται μια πλειάδα εφαρμογών χρησιμοποιώντας την ικανότητα που διαθέτει η XML να καθορίζει εξατομικεύσιμα σχήματα, για το κομμάτι της σύνταξης και τα URIs για την ονοματοδοσία. Μέσω αυτής οι σχέσεις αυτές μπορούν να αποδοθούν με τη μορφή στοιχείων που καλούμε μεταδεδομένα/μεταστοιχεία [84], τα οποία μπορούν να μεταφραστούν και να υποστούν επεξεργασία από μηχανές μέσω αυτοματοποιημένων εργαλείων, δίνοντας στον χρήστη την ψευδαίσθηση ανθρώπινης νόησης και επικοινωνίας. Ο ιστός δύναται να κατασταθεί τοιούτοτρόπως, πλήρους δυναμικότητας.

Με τη βοήθεια της RDF εκφράζεται το νόημα του περιεχομένου, αφού κωδικοποιούνται σύνολα από τριάδες-τριπλέτες (triples) τα οποία αντιπροσωπεύουν υποκείμενο, ρήμα και αντικείμενο μιας συγκεκριμένης πρότασης. Οι τριάδες που αναφέρθηκαν πιο πάνω είναι δυνατόν να γραφούν με την αξιοποίηση προσαρμοσμένων σχημάτων της XML. Την ίδια στιγμή ένα έγγραφο RDF υποδηλώνει ότι κάποιες οντότητες (ιστοσελίδες, πράγματα ή άνθρωποι) διαθέτουν κάποιες ιδιότητες και μάλιστα με συγκεκριμένες τιμές (π.χ. ο X είναι συνθέτης του τραγουδιού Y). Έτσι δημιουργείται μια μεθοδολογία αναπαράστασης η οποία δίνει τη δυνατότητα έκφρασης των περισσότερων δεδομένων με τρόπο κατανοητό από τους υπολογιστές. Υποκείμενο, ρήμα και αντικείμενο προσδιορίζονται με τη χρήση ενός URI (Universal Resource Identifier), με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τον οποίο γίνεται αυτό και στις ιστοσελίδες. Έτσι ο καθένας έχει τη δυνατότητα να προσθέσει τόσο μια νέα οντότητα, όσο και μια νέα ιδιότητα.

Η επόμενη παρέμβαση (μετά την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της RDF) η οποία απαιτείται για τον σημασιολογικό Ιστό, είναι μια γλώσσα οντολογίας (Web Ontology Language) η οποία μπορεί να περιγράψει σε σημασιολογικό επίπεδο τις κλάσεις και τις ιδιότητες που χρησιμοποιούνται στα έγγραφα Ιστού. Πάντως αν είναι ζητούμενο από τις μηχανές να εκτελούν χρήσιμους συλλογισμούς

χρησιμοποιώντας αυτά τα έγγραφα, είναι προφανές ότι η γλώσσα οντολογίας πρέπει να υπερβαίνει τη βασική σημασιολογία που παρέχει το σχήμα της RDF.

3.6.1 Σημασιολογικός Ιστός και αναπαράσταση γνώσης

Το World Wide Web, με τον τρόπο που είναι σήμερα δομημένο, δίνει την εντύπωση ενός κακοχαρτογραφημένου γεωγραφικού χάρτη. Στα ηλεκτρονικά μέσα της σημερινής εποχής έχουν συγκεντρωθεί και εμφανίζονται πληροφορίες με τη μορφή κειμένων αλλά και με τη μορφή αρχείων εικόνας και ήχου. Δυστυχώς όμως οι πιο πάνω πληροφορίες είναι σε μεγάλο βαθμό οργανωμένες χωρίς την απαιτούμενη δυναμική δόμηση. Το πρόβλημα αυτό διαπιστώνεται τόσο στο Διαδίκτυο όσο και στα εταιρικά δίκτυα που διαθέτουν πολλές εταιρείες, επιχειρήσεις, ερευνητικές ομάδες ή/ και άλλα νομικά πρόσωπα του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα της οικονομίας. [BKM01] Με αυτά τα δεδομένα υπάρχει ιδιαίτερη δυσκολία στην εξεύρεση και ακόμα περισσότερο στη συντήρηση και αναπαραγωγή των προαναφερθέντων στοιχείων και γενικότερα της διατιθέμενης γνώσης.

Ο σημασιολογικός Ιστός δημιουργεί ένα κοινό πλαίσιο το οποίο δίνει τη δυνατότητα διαμοιρασμού και επαναχρησιμοποίησης των δεδομένων για περισσότερες από μια εφαρμογή τους από μια επιχείρηση ή κοινότητα. Έτσι ο σημασιολογικός Ιστός παίρνει τη μορφή μιας συλλογικής προσπάθειας η οποία λειτουργεί με την ηγεσία του W3C και με τη συμμετοχή πολλών ερευνητών και συνεργατών από το χώρο της βιομηχανίας και των επιχειρήσεων.

Εντοπίζοντας το πρόβλημα στο χώρο της οικονομίας διαπιστώνουμε πως παρά το γεγονός ότι τα άπειρα εταιρικά δίκτυα των επιχειρήσεων αντανakλούν την αντίληψη τους για τη σημασία που έχουν στην όλη λειτουργία τους οι αποθηκευμένες εταιρικές πληροφορίες, δεν επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση αυτών των εταιρικών δικτύων. [85] Και αυτό γιατί όπως προαναφέρθηκε η έλλειψη ισχυρής δόμησης και οργάνωσης των πληροφοριών που εμπεριέχονται στα υπόψη δίκτυα δεν επιτρέπει τη διασύνδεσή τους και την πλήρη αξιοποίησή τους στην προσπάθεια επίλυσης των κάθε μορφής προβλημάτων της επιχείρησης και στην επαύξηση της επιχειρησιακής ισχύος και του ανταγωνιστικού πλεονεκτηματός της.

Γενικότερα όμως είναι φανερό ότι αν δεν μπορεί να υπάρξει αποτελεσματικός τρόπος χρησιμοποίησης των διατιθέμενων πληροφοριών, οι πληροφορίες αυτές καθίστανται σε μεγάλο βαθμό άχρηστες. Με δεδομένο μάλιστα ότι ο όγκος των διαθέσιμων πληροφοριών αυξάνεται ιλιγγιωδώς, το πρόβλημα γίνεται ακόμα μεγαλύτερο αν η αύξηση των πληροφοριών δεν συνοδεύεται από ένα αναλογικά αξιόπιστο και απόλυτα κατανοητό σύστημα διαχείρισης γνώσης που θα διασφαλίζει τη μετατροπή αυτών των πληροφοριών σε εύχρηστη και απόλυτα αντιληπτή γνώση. [85]

Για να επιτευχθεί ακριβέστερη χαρτογράφηση, οι υπολογιστικοί πράκτορες έχουν την απαίτηση δημιουργίας μηχανικά αναγνώσιμων περιγραφών του περιεχομένου αλλά και των ικανοτήτων των προσβάσιμων πόρων του Web. Οι περιγραφές αυτές θα πρέπει να προστίθενται στις εκδόσεις των πληροφοριών εκείνων που είναι αναγνώσιμες από τον ανθρώπινο παράγοντα. [UG96]

Στα πλαίσια αυτά ένα ικανό σύστημα αναπαράστασης της γνώσης θα πρέπει να διασφαλίζει τα κατάλληλα εργαλεία μοντελοποίησης της αναζήτησης πηγών πληροφόρησης, της απόκτησης της πληροφορίας και της διατήρησης/προσπέλασης της απαιτούμενης γνώσης που μπορεί να προέρχεται από διάφορους γνωστικούς τομείς, μέσω διαφορετικής μεθόδου κάθε φορά.

Οι πρώτες προσπάθειες στη δημιουργία τέτοιων συστημάτων απεικονίζονται στο μεγάλο αριθμό συστημάτων διαχείρισης εγγράφων που έχουν κυκλοφορήσει στην αγορά με στόχο την ικανοποίηση των αναγκών διαχείρισης του υπάρχοντος μεγάλου όγκου online εγγράφων. Όμως αυτά τα συστήματα παρουσίασαν μεγάλες αδυναμίες και δεν ικανοποίησαν απόλυτα τις προαναφερθείσες απαιτήσεις από ένα σύστημα διαχείρισης γνώσης για τους εξής κατά τομέα λόγους :

- αναζήτηση πηγών πληροφόρησης: Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος αναζήτησης βασίζεται σε λέξεις κλειδιά και την έξυπνη χρήση διαδικασιών συνδετικότητας και μεταχείρισης εγγράφων, γεγονός που ενδεχόμενα οδηγεί:
 - a. σε ανάκτηση γνωστικών αντικειμένων που αν και είναι άσχετα μεταξύ τους εμπεριέχουν μια επιλεγμένη λέξη, η οποία όμως χρησιμοποιείται σε διαφορετικό εννοιολογικό ή εφαρμοστικό πλαίσιο
 - b. στη μη ανάκτηση σχετικών γνωστικών αντικειμένων επειδή στις πηγές τους χρησιμοποιούνται μη επιλεγμένες λέξεις παρά το ότι πρόκειται για το ζητούμενο εννοιολογικό περιεχόμενο.
- απόκτηση/εξαγωγή πληροφοριών: Η χρησιμοποιούμενη αναζήτηση βασίζεται:
 - a. στον ανθρώπινο παράγοντα ο οποίος καλείται να ανακτήσει τη ζητούμενη πληροφορία μέσα από ένα μεγάλο σύνολο αρχικά επιλεγμένων πληροφοριών και
 - b. στην απαίτηση ανάγνωσης των όλων των αρχικά επιλεγμένων σχετικών πηγών πληροφοριών ώστε να αποκτηθούν/εξαχθούν οι πληροφορίες που ζητούνται,αφού οι διατιθέμενοι αυτόματοι πράκτορες (agents) δεν έχουν την απαιτούμενη αίσθηση ώστε να εξάγουν σχετικές πληροφορίες από τα επιλεγμένα κείμενα και παράλληλα δεν έχουν τη δυνατότητα να ανακτήσουν αντίστοιχες πληροφορίες από άλλες σχετικές πηγές πληροφόρησης
- διατήρηση/προσπέλαση απαιτούμενης γνώσης: Η ακολουθούμενη διαδικασία οδηγεί σε μια ιδιαίτερα δυσχερή και χρονοβόρα διεργασία η οποία επιβαρύνεται από το γεγονός της ανάγκης διαχείρισης και επεξεργασίας διαφόρων – ενίοτε μεγάλων σε έκταση και χωρίς ισχυρή δόμηση – κειμένων/πηγών.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι για να έχει η όλη διαδικασία ορθά, βάσιμα, απόλυτα ελεγμένα και ενημερωμένα αποτελέσματα απαιτείται ο μεθοδικός σημασιολογικός και εννοιολογικός σχεδιασμός καθώς και η ύπαρξη των αναγκαίων περιορισμών προς αποφυγή ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων.

Όλα τα παραπάνω προβλήματα σήμερα επιχειρείται να ξεπεραστούν με την ανάπτυξη των οντολογιών και με τη δημιουργία σύγχρονων μεθόδων με τις οποίες ελαχιστοποιούνται τα μοντέλα της πληροφορίας και γίνεται η αναπαράσταση του περιεχομένου των προς επιλογή πηγών πληροφόρησης και των προς ανάκτηση γνωστικών αντικειμένων. [UG96] , [Obi01] Ο πιο πάνω εννοιολογικός σχολιασμός δίνει τη δυνατότητα ώστε με εύκολο και αποτελεσματικό τρόπο :

- να γίνεται αναζήτηση της ζητούμενης πληροφορίας με ευφυή τρόπο και να μην επιδιώκεται η αναζήτηση αυτή με το ταίριασμα μιας επιλεγμένης λέξης-κλειδιού.
- να δίνεται ολοκληρωμένη απάντηση σε queries και να μην περιοριζόμαστε απλά σε ταυτόσημη απεικόνιση σχετικών με την αναζήτηση πληροφοριών.
- να γίνεται ανταλλαγή των ζητούμενων γνωστικών αντικειμένων από διαφορετικά δίκτυα με τη χρήση διαδικασιών μετάφρασης του εννοιολογικού περιεχομένου τους

3.7 ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σώμα μιας γνώσης βασίζεται σε μια αντίληψη: τα αντικείμενα, οι έννοιες και άλλες οντότητες συμπληρώνουν με την ύπαρξή τους και τις σχέσεις μεταξύ τους, μια περιοχή ενδιαφέροντος. Μια αντίληψη είναι μια αφαιρετική, απλοποιημένη οπτική του κόσμου που επιθυμούμε να αναπαραστήσουμε για κάποιο σκοπό. Κάθε βάση γνώσης, σύστημα γνώσης, ή πράκτορας γνώσης, είναι αφοσιωμένο έμμεσα ή ρητά, σε μια αντίληψη. Για αυτά τα συστήματα, οτιδήποτε "υπάρχει" μπορεί να αναπαρασταθεί. Όταν η γνώση ενός πεδίου αναπαριστάται υπό ένα δηλωτικό φορμαλισμό, το σύνολο των αντικειμένων που μπορεί να αναπαρασταθεί, αποτελεί το σύμπαν διαλόγου. Το σύνολο αυτό των αντικειμένων και των περιγραφικών σχέσεων μεταξύ τους, αντικατοπτρίζονται σε ένα λεξιλόγιο αναπαράστασης, με το οποίο ένα πρόγραμμα αναπαριστά τη γνώση.

Κατά συνέπεια, στα πλαίσια της τεχνητής νοημοσύνης, οι οντολογίες είναι δόκιμοι ορισμοί λεξιλογίων οι οποίοι επιτρέπουν την επεξήγηση και τον προσδιορισμό πολύπλοκων δομών, αλλά και νέων σχέσεων. [GOS09] Οι οντολογίες βελτιώνουν τη σημασία των δεδομένων, επιτρέποντας σε μια υπολογιστική εφαρμογή να συνάγει αυτόματα πολλά σημαντικά συμπεράσματα και facts τα οποία μπορεί να είναι προφανή για έναν άνθρωπο, αλλά όχι για ένα πρόγραμμα. Αρχιεριοθετώντας τη γνώση σε οντολογίες οι σχέσεις μεταξύ των δεδομένων καθίστανται ξεκάθαρες και άμεσα διαχειρίσιμες από λογικές υπολογιστικές διαδικασίες ενός υπολογιστή.

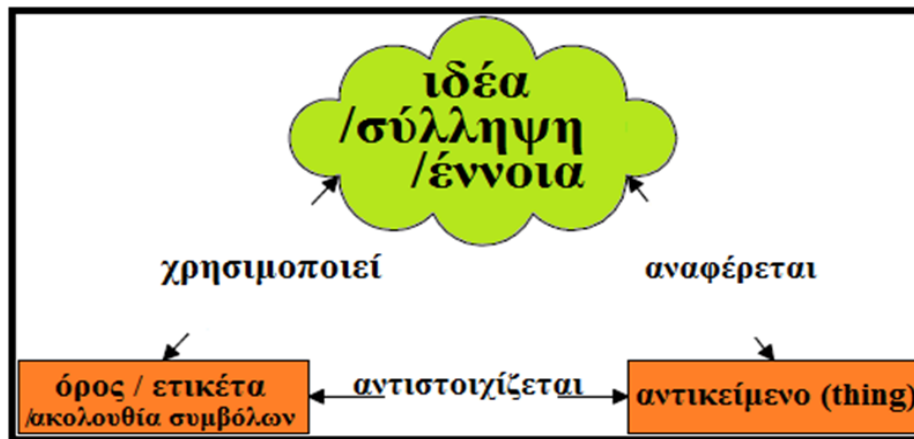
Συνήθως περιγράφουν πολύ συγκεκριμένα πεδία ορισμού, όπως περιοχές επιστημονικής έρευνας, ώστε επιστήμονες προερχόμενοι από διαφορετικά ιδρύματα, να μπορούν άμεσα να μοιραστούν δεδομένα των μελετών τους.

Η επικοινωνία της πληροφορίας εντός της οντολογίας κωδικοποιείται από την τριάδα : όρος/ετικέτα, έννοια/σύλληψη και αντικείμενο του πραγματικού/φυσικού κόσμου. Η εικόνα ενός αντικειμένου που εισάγει ένα εννοιολογικό μοντέλο σε μια οντολογία, αντιπροσωπεύεται μέσω της συμβολοακολουθίας που αποτελεί την ετικέτα.

Η οντολογία αποτελεί εν συντομία μια γενική, πλήρη και λογική λίστα λεξιλογικών όρων και ταυτόχρονα ένα σύνολο τυπικών, σαφών δηλώσεων για μια περιοχή γνώσης. Ως επί το πλείστον, βρίσκει εφαρμογή σε διαδικασίες που άπτονται του σημασιολογικού ιστού, όπως οι εννοιολογικές ερωτήσεις (semantic querying) ή η δυναμική παρουσίαση υπερκειμένων (dynamic hypertext view) εντός ενός περιβάλλοντος όπου δρουν πολλοί πράκτορες προκειμένου να εγκατασταθεί η δυνατότητα επικοινωνίας ενός συλλογισμού μέσα από πολλαπλές KB. Η τυπική αυτή αναπαράσταση, ξεκαθαρίζει σχέσεις εγκαθιστώντας ένα σύνολο ερμηνειών στα σύμβολα που αντιπροσωπεύουν τα προς περιγραφή αντικείμενα, ενώ δύναται να εμπλουτίζεται συστηματικώς αποθηκεύοντας καινούρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της προς περιγραφή γνώσης.

Ανάλογα με την εκάστοτε γλώσσα που έχει επιλεγεί για την κατασκευή της οντολογίας μια οντολογία μπορεί να λάβει μορφές που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από μια απλή ιεραρχία κλάσεων (ταξονομία) έως ένα πρόγραμμα λογικής. [95]

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως ο βασικός διαχωρισμός μεταξύ μιας οντολογίας και μιας βάσης γνώσης - που λαθεμένα ενίοτε ταυτίζονται - είναι ότι η οντολογία παρέχει τη βασική δομή ή τον εξοπλισμό γύρω απ' τα οποία θα οικοδομηθεί μια βάση γνώσης. Μια οντολογία παρέχει ένα σύνολο εννοιών και όρων για να περιγράψει έναν κόσμο, όταν μια βάση γνώσης χρησιμοποιεί αυτούς τους όρους για να αναπαραστήσει το αληθές σε έναν πραγματικό ή υποθετικό κόσμο. Συνεπώς, μια ιατρική οντολογία, μπορεί να περιέχει ορισμούς όρων όπως "λευχαιμία" ή "θανατηφόρος αρρώστια", αλλά δε θα περιελάμβανε διαβεβαιώσεις ότι ένας συγκεκριμένος ασθενής πάσχει από κάποια ασθένεια, κάτι που πολύ πιθανό να μπορεί μια βάση. [Obi01]



Σχήμα 14: Αφαιρετική απεικόνιση της λειτουργίας μιας οντολογικής σχέσης

3.7.1 Ορισμός

Ο όρος οντολογία εμφανίζεται και στη φιλοσοφία, [Gru95] όπου υπό το συγκεκριμένο πρίσμα ο συγκεκριμένος όρος αφορά στην επεξήγηση της ύπαρξης και συγκρότησης του Όντος, της φύσης και της ουσίας των Όντων εντός της , δηλαδή του υπάρχουν, όπως επίσης και των σχέσεων τους, με συστηματικό τρόπο. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια απόλυτα έντονη σύνδεση με τον κλάδο της Τεχνητής Νοημοσύνης, σύμφωνα με την οποία οτιδήποτε υπάρχει στον κόσμο έχουμε τη δυνατότητα να το αναπαραστήσουμε. [Obi01]

Έτσι τη γνώση που έχουμε γύρω από μια περιοχή μπορούμε φορμαλιστικά να την περιγράψουμε με ένα σύνολο από τυπικές δηλώσεις και εντέλει απεικονίζοντας το σύνολο των αντικειμένων που είναι δυνατό να αναπαρασταθούν να κατασκευάσουμε/καταγράψουμε ένα ολοκληρωμένο κ συνάμα τεκμηριωμένο γλωσσάρι διαλόγου. Η τεκμηριωμένη αυτή ονοματοδοσία, εμπεριέχει τους κανόνες οι οποίοι δίνουν τη δυνατότητα συνδυασμού και χρήσης της ορολογίας που απαιτείται τόσο για δημιουργία δηλώσεων (statements) όσο και για τη δημιουργία συμπερασμάτων τα οποία ανακύπτουν από τις πιο πάνω δηλώσεις σε σχέση με την εξεταζόμενη περιοχή γνώσης. [Gua98] Αυτονοήτως οι πιο πάνω δηλώσεις θέτουν περιορισμούς στις ερμηνείες που θα μπορούσαν να δοθούν στους ορισμένους όρους. Όλο αυτό το σύνολο των αναπαριστώμενων αντικειμένων αλλά και των μεταξύ τους αλληλεξαρτήσεων αντικατοπτρίζονται σε έναν οδηγό που μεταχειριζόμαστε ώστε να αναπαραστήσουμε συνολικά τη γνώση. Έχει σαν βάση μια κοινή αντίληψη τόσο για τα αντικείμενα, τις έννοιες, καθώς και τις άλλες οντότητες οι οποίες προκύπτουν από μια περιοχή γνώσης όσο και οι μεταξύ τους σχέσεις. Η προαναφερόμενη κοινή αντίληψη λαμβάνει τη μορφή αφηρημένης αλλά ταυτόχρονα και απλοποιημένης εικόνας του κόσμου τον οποίο καλούμαστε να αναπαραστήσουμε.

Ραχοκοκαλιά μιας οντολογίας [MS01] είναι με άλλα λόγια μια γενικευμένη ή μια εξειδικευμένη ιεραρχία εννοιών ή αλλιώς μια ταξινόμηση, όπως φορμαλιστικά παρουσιάζεται στους μαθηματικούς ορισμούς πολλών συγγραφέων. [Mae03] Εντελώς ανάλογα, η ίδια διαδικασία ακολουθείται και στο πεδίο της πληροφορικής, στο οποίο η οντολογία λαμβάνει τη μορφή ενός κώδικα, που ορίζει τα σύνολα των όρων που επιθυμούμε να αναπαραστήσουμε. Με βάση όλη την παραπάνω ακολουθούμενη λογική, η οντολογία αποκτά τη μορφή μιας αυστηρά τυπικής και λογικής θεωρίας. Προς αυτό το λόγο, οι Gruber και Borst όρισαν αμφότεροι μια οντολογία, ως "μια ρητή και επίσημη προτυποποίηση μιας κοινής αντίληψης". [Gru95], [Bor97] Επίσημη σε αυτό το πλαίσιο σημαίνει, ότι η οντολογία οφείλει να είναι αναγνώσιμη από μηχανή, και αντικατοπτρίζει σκέψεις και συλλήψεις αποδεκτές από μια ομάδα. [Ohg04]

Με άλλα λόγια και σε πρακτικό επίπεδο η οντολογία είναι μια περιγραφή της υφιστάμενης γνώσης γύρω από τους πόρους που υπάρχουν στο διαδίκτυο, με τρόπο όμως απόλυτα αναγνώσιμο από τον υπολογιστή. [GN87] Ο τελευταίος αυτός προσδιορισμός της οντολογίας, αν και γενικότερος, συμφωνεί με αυτή καθαυτή τη χρήση της οντολογίας σαν ένα σύνολο ορισμών εννοιών. Χαρακτηριστικός είναι ο ορισμός των Uschold & Gruninger όπου η οντολογία λαμβάνει τη μορφή "μιας κοινά αποδεκτής από πολλούς κατανόησης κάποιου πεδίου ενδιαφέροντος, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα ενοποιητικό πλαίσιο εργασίας (framework)". [UG96] Ομοίως, μια παραλλαγή του παραπάνω ενστερνίζονται οι Studer και λοιποί [CJB99], οι οποίοι καταγράφουν ως στόχο μιας οντολογίας, την αποτύπωση γνώσης πεδίου υπό ένα γενικό πρίσμα και την παροχή μιας κοινά συμφωνημένης κατανόησης του πεδίου, η οποία μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και να μοιραστεί μεταξύ εφαρμογών και ομάδων. Θεωρούμε πως ο πράκτορας λογισμικού "δεσμεύεται" με μια οντολογία αν προβαίνει σε ενέργειες σύμφωνες με τους ορισμούς της οντολογίας. Στην πράξη, μια κοινή οντολογία προσδιορίζει το λεξιλόγιο με βάση το οποίο ανταλλάσσονται ισχυρισμοί και ερωτήσεις ανάμεσα στους πράκτορες λογισμικού. Οι οντολογικές δεσμεύσεις αποτελούν συμφωνίες για τη χρησιμοποίηση του κοινού λεξιλογίου με κατανοητό και συμβατό τρόπο. Οι πράκτορες λογισμικού οι οποίοι διαμοιράζονται ένα λεξιλόγιο δεν χρειάζεται να διαμοιράζονται και μια βάση γνώσεων ενώ κάθε πράκτορας δεν χρειάζεται να απαντήσει σε κάθε μία ερώτηση η οποία είναι δυνατό να διατυπωθεί στο κοινό λεξιλόγιο. Με τη χρήση των οντολογιών οι πράκτορες λογισμικού αναβιβάζονται στο επίπεδο του ευφυούς δεδομένου ότι μπορούν να κάνουν χρήση της γνώσης η οποία περιλαμβάνεται στην οντολογία τόσο κατά το στάδιο της διαπραγμάτευσης, όσο και κατά το στάδιο της λήψης αποφάσεων. [How04]

Τα υπολογιστικά προγράμματα έχουν τη δυνατότητα να κάνουν χρήση μιας οντολογίας για διάφορους λόγους περιλαμβανομένου και του επαγωγικού συλλογισμού, [BKM01] των μεθόδων ταξινόμησης, των διαφόρων τεχνικών επίλυσης προβλημάτων, καθώς επίσης και για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας και της διανομής των πληροφοριών ανάμεσα στα διαφορετικά συστήματα. [Obi01] Τα υπολογιστικά προγράμματα χρησιμοποιούνται από ανθρώπους, βάσεις δεδομένων, και εφαρμογές οι οποίες έχουν

στόχο να μοιραστούν τις πληροφορίες κάποιων περιοχών (ως περιοχή εννοείται ένας συγκεκριμένος θεματικός χώρος ή τομέας γνώσης, όπως πχ η ιατρική, η κατασκευή μηχανών, η ακίνητη περιουσία, η γεωλογία, η οικονομική διαχείριση, κ.λπ.).

Η οντολογία δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων [KS03] γύρω από την ομοιότητα αλλά και την ανομοιότητα εννοιών και ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας αντιστοιχιών και συσχετίσεων (mapping) τέτοιων που να επιτρέπουν την καθιέρωση καναλιών επικοινωνίας με εννοιολογική βασιμότητα, δημιουργώντας ένα πλέγμα συνδεδεμένων πληροφοριών. Πρόκειται για τη διαδικασία αντιστοίχισης πεδίων μεταξύ οντολογιών <http://aetos.it.teithe.gr/~dsphinx/ontology.html> - [BibliographyNo2](#). Έχοντας στη διάθεσή μας μια οντολογία, μπορούμε να την συσχετίσουμε με μία άλλη που εμπεριέχει την υπάρχουσα (import). Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι η οντολογία συνδυαζόμενη με το σύνολο των διαφόρων κλάσεων της στοιχειοθετούν τη βάση της γνώσης. Είναι επίσης σημαντικό να λεχθεί ότι όλες οι χρησιμοποιούμενες έννοιες έχουν μια πολύ λεπτή σημασία και διάσταση και για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρχει σαφής διαχωρισμός κατά τις διάφορες εφαρμογές.

Πέραν των ανωτέρω θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός των οντολογιών αφορά: [ABH+98]

- τον καθορισμό των επί μέρους κλάσεων (εννοιών) της οντολογίας
- την καθιέρωση ιεραρχικής ταξινόμησης στις παραπάνω κλάσεις
- τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων και των αντίστοιχων τιμών στις πιο πάνω κλάσεις
- τη δημιουργία παραδειγμάτων/υποδείξεων (instances)
- τον προσδιορισμό σαφών περιορισμών για τα πιο πάνω instances

Συμπερασματικά, η οντολογική ανάλυση διασαφηνίζει τη δομή της υφιστάμενης γνώσης. [CJB99] Με δεδομένη μια περιοχή, η οντολογία διαμορφώνει τον κεντρικό πυρήνα οποιουδήποτε συστήματος με το οποίο γίνεται αναπαράσταση γνώσης για την περιοχή αυτή. [FDE+98] Άνευ των οντολογιών, ή των συλλήψεων που υποκρύπτονται κάτω από μια γνώση, δεν είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα λεξιλόγιο με το οποίο θα γίνεται αναπαράσταση της συγκεκριμένης γνώσης.

Ο σχεδιασμός των οντολογιών γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται από αυτές η ανταλλαγή γνώσης αλλά κυρίως η εκ νέου χρησιμοποίησή της. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη διαπίστωση ότι η οντολογία είναι μια μορφή προδιαγραφής η οποία καθορίζει με συγκεκριμένο τρόπο ένα κατάλογο εννοιών. Επεκτείνοντας την παραπάνω συλλογιστική οι οντολογίες αποτελούν προδιαγραφές οι οποίες χρησιμοποιούνται με σκοπό να προκύψουν οντολογικές δεσμεύσεις. Ο όρος αυτός προσδιορίζει τη συμφωνία χρήσης ενός λεξικού, (π.χ. για ερωτήματα/ απαντήσεις με ισχυρισμούς), κατά τρόπο που να είναι συνεπής με τα θεωρητικά πλαίσια της οντολογίας. Οι πράκτορες που μοιράζονται αυτό το λεξιλόγιο

και αφοσιώνονται με άλλα λόγια σε αυτή την οντολογία, δεν χρειάζεται να μοιράζονται μια βάση γνώσης, ούτε απαιτείται να απαντά σε όλα τα ερωτήματα που μπορούν να διαμορφωθούν εντός αυτού. Εν συντομία, η δέσμευση σε μια οντολογία αποτελεί εγγύηση συνοχής αλλά όχι πληρότητας. [Obi01]

Εκφράζονται κατά κανόνα σε μια γλώσσα που είναι βασισμένη στη λογική και με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να γίνουν λεπτομερειακές, ακριβείς, απόλυτα συνεπείς και σημαντικές διακρίσεις ανάμεσα στις κλάσεις, τις ιδιότητες, και τις σχέσεις. Κάποια εργαλεία οντολογίας έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτοματοποιημένο συλλογισμό κάνοντας χρήση των οντολογιών και παρέχοντας προηγμένες υπηρεσίες σε διάφορες ευφυείς εφαρμογές όπως η σημασιολογική αναζήτηση-ανάκτηση, οι πράκτορες λογισμικού, η υποστήριξη αποφάσεων, η ομιλία και η φυσική κατανόηση γλώσσας, η διαχείριση γνώσης, οι ευφυείς βάσεις δεδομένων και το ηλεκτρονικό εμπόριο. Με τη χρήση λοιπόν των οντολογιών, οι μελλοντικές εφαρμογές είναι δυνατό να γίνουν “ευφυείς”, αφού θα έχουν την ικανότητα να λειτουργούν ακριβέστερα στο εννοιολογικό επίπεδο του ανθρώπου.

3.7.2 Κατηγοριοποίηση

Από τη σκοπιά της επαναχρησιμοποίησης γνώσης, οι μηχανικοί οντολογιών, ταξινομούν τα εργαλεία που είναι οι οντολογίες, σε τρεις βασικές κατηγορίες: [ABH+98], [GCF03], [Obi01]

1. Οντολογίες πληροφοριών - αναπαράστασης γνώσης (Task ontology):

Οι οντολογίες αυτής της κατηγορίας - οι οποίες καλούνται και θεμελιώδεις ή ανώτερες (foundation / upper ontologies) - συνιστούν μια περιγραφή του πληροφοριακού μεταμοντέλου (meta-model) και εστιάζοντας στη δομή αλλά και στη μορφή των εξεταζόμενων πηγών πληροφορίας. Με άλλα λόγια σκιαγραφούν τους απαραίτητους μηχανισμούς αναπαράστασης της γνώσης. Αποτελούνται από ένα λεξιλόγιο περιγραφής μιας δομής επίλυσης προβλημάτων όλων των πιθανών εργασιών, ανεξαρτήτως πεδίου. Μια τέτοια οντολογία, χαρακτηρίζει την υπολογιστική αρχιτεκτονική ενός συστήματος βασισμένου στη γνώση, το οποίο εκτελεί μια εργασία. [MKS+00] Δεν καλύπτει την δομή ελέγχου αλλά συνιστώσες ή θεμελιακά στοιχεία μονάδων εκτελούμενων εργασιών. Η γνώση της εργασίας καθορίζει μετά με τη σειρά της την γνώση πεδίου, δίνοντας ρόλους σε κάθε αντικείμενο και σχέσεις μεταξύ τους. Επί παραδείγματι, στον προγραμματισμό εργασιών: στόχος, περιορισμός, διαθεσιμότητα, φορτίο, επιλογή, ανάθεση, κατηγοριοποίηση, απόσυρση, προσθήκη, ξεκούραση.

2. Οντολογίες περιοχής/πεδίου γνώσης (Domain ontology):

Οι οντολογίες αυτής της κατηγορίας εντοπίζονται στο περιεχόμενο των προς εξέταση πηγών πληροφορίας (π.χ. ιατρική, νομική, μηχανική, κλπ) και αποτελούν ένα γλωσσάρι όρων και συσχετίσεων γύρω από μια θεματική. Μια τέτοια οντολογία αναλόγως με το αν φέρει εξάρτηση από μια εργασία χωρίζεται σε δυο υπο-ομάδες.

2.1. Εξαρτημένες:

Μια δομή εργασίας, δεν απαιτεί όλη την γνώση τομέα αλλά ένα συγκεκριμένο τμήμα. Παραδείγματα από προγραμματισμό job-shop: εργασία, γραμμή, ημερομηνία παράδοσης, διαθεσιμότητα μηχανών, καθυστέρηση, φορτίο, κόστος.

2.2. Ανεξάρτητες:

2.2.1. Σχετιζόμενες με δραστηριότητα (activity-related)

2.2.1.1. *Οντολογία Αντικειμένου:* Καλύπτει τη δομή, τη συμπεριφορά και τη λειτουργία ενός αντικειμένου. Επί παραδείγματι, στα κυκλώματα: συνιστώσα σύνδεση, γραμμή, ολοκληρωμένο κύκλωμα, πύλη, οδός, κατάσταση, ρόλος

2.2.1.2. *Οντολογία Δραστηριότητας:* Παραδείγματα από την επιχειρησιακή οντολογία: χρήση, κατανάλωση, παραγωγή, απελευθέρωση, κατάσταση, πόρος, (απ)ενεργοποίηση, ολοκλήρωση.

2.2.2. Μη-σχετιζόμενες με δραστηριότητα (activity-independent)

2.2.2.1. *Οντολογία χώρου:* Αφορά σε αρχές, αξιώματα και θεωρήματα που κυριαρχούν στο πεδίο. Περιέχει θεμελιικά στοιχεία εννοιών που εμφανίζονται σε θεωρίες, σχέσεις και τύπους που συνθέτουν τις αρχές, αξιώματα και θεωρήματα του πεδίου.

2.2.2.2. *Οντολογία μονάδων:* Παραδείγματα: κιλό, μέτρο, αμπέρ, ακτίνιο.

2.2.2.3. *Οντολογία εφαρμοσμένων μαθηματικών:* Παραδείγματα: γραμμική άλγεβρα, φυσική ποσότητα, φυσική διάσταση, μονάδα μέτρησης, μονάδα κλίμακας, φυσικές συνιστώσες.

3. Οντολογίες επιχειρηματικών διαδικασιών - πειραματικών εφαρμογών (workplace ontology):

Οι οντολογίες αυτής της κατηγορίας δημιουργούν μοντέλα για τις διαδικασίες μιας επιχείρησης ή μιας πειραματικής μελέτης, ώστε η ανάγκη γνώσης να μοντελοποιηθεί ως μια που θα επιτρέπει τη διανομή γνώσης με αποτελεσματικό τρόπο. Καθορίζουν συνοριακές συνθήκες οι οποίες χαρακτηρίζουν και δικαιολογούν συμπεριφορές επίλυσης προβλημάτων σε έναν χώρο εργασίας. Επί παραδείγματι, στην επίλυση κυκλωματικών προβλημάτων: αξιοπιστία, αποτελεσματικότητα, ακρίβεια,.

4. Γενική, Κοινή ή υβριδική οντολογία (Global, Common, Hybrid ontology):

Καλύπτει γενικά ή κοινά αντικείμενα. Παραδείγματα: πράγματα, γεγονότα, χρόνος, χώρος, αιτιατότητα, συμπεριφορά, λειτουργία, κλπ.

Σύμφωνα με τον Heijst και λοιπούς [HSW96] η κατηγοριοποίηση των οντολογιών μπορεί να γίνει σε δυο διαστάσεις, με τη μία να αφορά το πλήθος και τον τύπο της δομής μιας αντίληψης (conceptualisation) και την άλλη, το άμεσο αντικείμενο της αντίληψης.

1. Η πρώτη κατηγορία χωρίζεται στις εξής τρεις κατηγορίες:

- 1.1. Οντολογίες ορολογίας πχ. λεξικά, όροι αναπαράστασης γνώσης ενός συγκεκριμένου πεδίου.
- 1.2. Οντολογίες πληροφορίας πχ. σχήματα βάσεων δεδομένων
- 1.3. Οντολογίες μοντελοποίησης γνώσης, καθορίζουν τις έννοιες μιας γνώσης

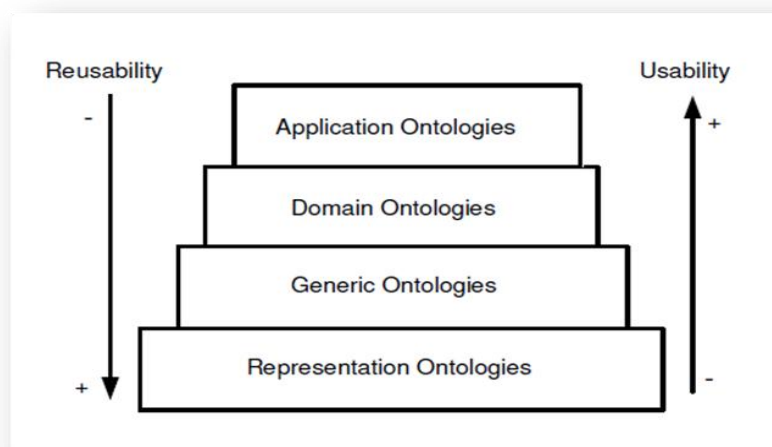
2. Η δεύτερη κατηγορία διαιρείται στις:

- 2.1. Οντολογίες εφαρμογών: Σχετίζονται με μια συγκεκριμένη εφαρμογή και μοντελοποιούν την απαιτούμενη, για αυτή, γνώση
- 2.2. Οντολογίες πεδίου: για ένα συγκεκριμένο κλάδο
- 2.3. Γενικευμένες οντολογίες: δηλώνουν συλλήψεις γενικές αναμεταξύ πολλών χώρων.
- 2.4. Οντολογίες αναπαράστασης: παρέχουν ένα πλαίσιο εργασίας αναπαράστασης χωρίς παρεισφρέουν στον κόσμο που αναπαριστούν.

Τέλος, ένας πιο γενικός διαχωρισμός των τύπων των οντολογιών προέκυψε από τη μελέτη των Cui και λοιπών [CJO01] όπου επικρατούν οι ακόλουθοι τρεις τύποι:

- 1. Οντολογίες Πόρων: καθορίζουν τη σημασιολογία που χρησιμοποιείται σε συστήματα λογισμικού
- 2. Ιδιωτικές/Προσωπικές Οντολογίες: καθορίζουν τη σημασιολογία ενός ή μιας ομάδας χρηστών
- 3. Οντολογίες κοινής πρόσβασης: καθορίζουν την κοινή σημασιολογία που μοιράζονται τα πληροφοριακά συστήματα.

Εν κατακλείδι, σε έναν κοινό παρονομαστή, όπως παρατηρούμε, οι οντολογίες ποικίλουν από πιο γενικές σε πιο συγκεκριμένης εφαρμογής. Το γεγονός αυτό, συνδέεται άμεσα με το επίπεδο της επαναχρησιμοποίησης όπως ξεκάθαρα απεικονίζεται και στο παρακάτω σχέδιο:



Σχήμα 15: Είδη οντολογιών και επαναχρησιμοποίηση

3.7.3 Βασικά συστατικά μέρη μιας οντολογίας

Η γνώση ως εμπορεύσιμο προϊόν μπορεί να συνοδευτεί από τεκμηρίωση και να διανεμηθεί μέσα από απλά ή πολυμεσικά έγγραφα. Μπορεί επίσης να ενταχθεί, να συγκεντρωθεί και να μεταφερθεί με τη βοήθεια προϊόντων αλλά και υπηρεσιών. [86]

Η γνώση αυτή εντός των σύγχρονων οντολογιών, ανεξαρτήτως της επιλεγείσας γλώσσας συγγραφής της, εμφανίζει τυπικές δομικές ομοιότητες μέσω της χρήσης των εξής ειδών στοιχείων, ήτοι:

- Ιεραρχικά οργανωμένες κλάσεις: Μια έννοια μπορεί να έχει οποιαδήποτε μορφή αφηρημένης έννοιας, συνόλου ή συλλογής αντικειμένων, πχ. περιγραφή μιας εκτελούμενης εργασίας, μια μαθηματική συνάρτηση, μια μονάδα μέτρησης, μια ενέργεια ή διαδικασία κλπ.
- Σχέσεις (relations): έχουν τη μορφή αναπαράστασης του τύπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν οι έννοιες στο χώρο
- Συναρτήσεις (functions): είναι σχέσεις ειδικού τύπου με την ιδιαιτερότητα ένα τυχαίο στοιχείο τους φέρει μορφή μοναδικού συνδυασμού όλων των προηγούμενων
- Χαρακτηριστικά (attributes): ιδιαίτερα γνωρίσματα και ιδιότητες ή παράμετροι των στιγμιotypών ή επί του συνόλου μιας κλάσεως πχ. διαστάσεις, μορφή σχήματος κλπ.
- Αξιώματα (axioms): μοντελοποιούν τις δηλώσεις οι οποίες είναι πάντα αληθείς
- Περιορισμοί (restrictions): Περιγραφές περί του τι δύναται να είναι ισχύον και αποδεκτό ή όχι ως υποψήφια είσοδος στην οντολογία.
- Στιγμιότυπα (individuals /instances): έχουν σκοπό να δηλώσουν τα στοιχεία που προσδιορίζουν τη βάση γνώσης (δηλαδή, τα γνωστικά αντικείμενα), γι' αυτό το λόγο αποτελούν και το βασικότερο μέρος του συνόλου της οντολογίας. Μπορεί να είναι αριθμοί ή λέξεις ή παραδείγματα των αντικειμένων εντός των κλάσεων.

3.7.4 Χαρακτηριστικά μιας οντολογίας

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις οντολογίες μπορούν να συνοψισθούν με τα εξής χαρακτηριστικά γνωρίσματα: [Gru95], [CJB99], [87], [NM01]

- **Συμπερασματολογία (Inference)**: Η διαδικασία με βάση την οποία δημιουργείται νέα γνώση από μια προϋπάρχουσα γνώση. Σαν παράδειγμα μιας τέτοιας διαδικασίας μπορούμε να θεωρήσουμε τη μεταβατική ιδιότητα από τα μαθηματικά, που οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων κι έχει τη μορφή: αν $X > Y$ και $Y > Z$ τότε $X > Z$

- **Επεκτάσιμη (Extensible):** Είναι φανερό ότι οι ακριβείς απαιτήσεις που θα εμφανιστούν κατά τη χρήση μιας οντολογίας δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν από την αρχή και έτσι η οντολογία θα πρέπει να δέχεται επέκταση τόσο σε ότι αφορά στιγμιότυπα, έννοιες ή/και σχέσεις.
- **Σαφής (Clear):** Το μήνυμα στο οποίο στοχεύουμε απαιτείται να μεταφέρεται με αποδοτικό τρόπο και με τη μέγιστη δυνατή ελάττωση του ενδεχομένου ασαφειών.
- **Συνεκτική (Coherent):** Σε μια οντολογία ιδιαίτερη αξία έχει η εσωτερική συνέπεια. Μέσα στα πλαίσια αυτά τόσο τα αξιώματα ορισμού όσο και οι έννοιες θα πρέπει να διακρίνονται από λογική συνέπεια.
- **Μεροληπτική σε ελάχιστο δυνατό βαθμό στη διαδικασία της κωδικοποίησης:** Ο στόχος της οντολογίας περιορίζεται στο γνωστικό επίπεδο χωρίς να επικεντρώνεται στη συμβολική αναπαράσταση της. Στα πλαίσια αυτά πρέπει να επιδιώκεται η χρήση της από διαφορετικά συστήματα που διαθέτουν διαφορετική προσέγγιση σε ότι αφορά τις αναπαραστάσεις.
- **Κληρονομικότητα (Inheritance):** Οι κλάσεις θα πρέπει να ταξινομούνται ιεραρχικά με βάση τη λογική σχέση «subclass_of»
- **Αντίστροφες σχέσεις (Inverse Relations):** Ως σχέσεις αυτής της μορφής εννοούνται σχέσεις όπως: «το A παράγει το B» - «το B παράγεται από το A»

Αν και είναι περίσσεια η ταυτόχρονη αποθήκευση και των δύο παραπάνω σχέσεων, θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμος ο ορισμός των αντίστροφων σχέσεων, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στο σύστημα η ώθηση να κάνει ευφυώς από μόνο του την πιο πάνω προφανή συνεπαγωγή.

3.7.5 Κύκλος ζωής οντολογιών

Για την υποστήριξη των οντολογιών υπάρχουν διάφορα εργαλεία τα οποία μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες όλων των σταδίων που ενυπάρχουν στον κύκλο ζωής της οντολογίας. Για τη χρήση των εργαλείων ανάπτυξης οντολογιών είναι απαραίτητη όμως η εκπαίδευση των χρηστών στα επί μέρους θέματα αναπαράστασης γνώσης (knowledge representation) αλλά και στον κατηγορηματικό λογισμό (predicates).

Ο κύκλος ζωής των οντολογιών και αντίστοιχη υποστήριξη κάθε σταδίου με τη χρήση εργαλείων έχει ως εξής : [88], [Lop99], [NM01], [89]

- **Δημιουργία** – Σε αυτό το στάδιο η υποστήριξη διατίθεται ακόμα και από το μηδενικό επίπεδο, με τη χρήση ενός διατιθέμενου εργαλείου κατάλληλου για τη δημιουργία αλλά και την επεξεργασία δομών των επιλεγμένων κλάσεων. Σε σχέση με την άφθονη βοήθεια που διατίθεται στο στάδιο αυτό υπάρχει δυνατότητα εξόρυξης κειμένων (text mining) [Ohg04] γεγονός που διευκολύνει την εξαγωγή

ορολογίας μέσα από διάφορα έγγραφα, δίνοντας έτσι μια σημαντικό βοήθεια στο αρχικό επίπεδο δημιουργίας της οντολογίας. Παραδείγματα συστημάτων που χρησιμοποιούν μια ημι-αυτόματης προσέγγισης για την ανάπτυξη οντολογιών είναι οι e OntoLearn & Text-To-Onto, ενώ αξίζει να αναφερθούμε και στα διαφορετικά περιβάλλοντα για την κατασκευή και την εξέλιξη των οντολογιών, τους λεγόμενους επεξεργαστές οντολογιών όπως οι OntoEdit, Protégé κλπ. [Ohg04]

Παράλληλα η απαιτούμενη για την οντολογία πληροφορία διατίθεται σε σχήματα βάσεων δεδομένων ή επίσης μέσω της επαναχρησιμοποίησης- τόσο στο σύνολό τους όσο και μερικά αναπτυγμένες στο παρελθόν- οντολογιών για τη δημιουργία νεότερων. Το γεγονός αυτό παρέχει το πλεονέκτημα της δυνατότητας μελλοντικής εκμετάλλευσης αλλά και επέκτασης δοκιμασμένων ήδη εργασιών που έχουν γίνει στο παρελθόν από άλλους συνήθως πιο εξειδικευμένους μηχανικούς οντολογιών. (import and reuse) [Obi01] Στην πρώτη φάση αυτού του βήματος, αναγνωρίζονται τα σχήματα και το γενικό τους περιεχόμενο υποβάλλεται σε διάλογο από τους ειδικούς πεδίου. Καθεμία εκ των πηγών γνώσης εισάγεται ξεχωριστά, είτε χειροκίνητα είτε αξιοποιώντας αντίστροφες διαδικασίες εξαγωγής πληροφορίας από διαγράμματα σχέσεων-οντοτήτων μιας σχεσιακής βάσης δεδομένων. Στο δεύτερο μέρος, οι εισαχθείσες εννοιολογικές δομές πρέπει να ενοποιηθούν ή να ευθυγραμμιστούν για να αποτελέσουν ένα ενιαίο κοινό τόπο πληροφορίας.

- **Εισαγωγή εννοιών - Δημιουργία πληθυσμού** – Σε αυτό το στάδιο η υποστήριξη αφορά στη διαδικασία που ακολουθείται για τη δημιουργία instances των επιλεγμένων εννοιών της εξεταζόμενης οντολογίας, καθώς και στη διασύνδεση τους με τις διατιθέμενες εξωτερικές πηγές. Στα πλαίσια αυτά με δεδομένο ότι οι συνήθεις ιστοσελίδες δίνουν τη δυνατότητα ύπαρξης μιας χρήσιμης πηγής πληροφοριών κυκλοφορούν αρκετά εργαλεία εκμετάλλευσης των σχολιασμών αυτών για την κατασκευή και τον εμπλουτισμό μιας οντολογίας. Δοθείσης μιας λεξικολογικής εισαγωγής, και ενός συνόλου εννοιών, το επόμενο σημαντικό βήμα είναι η ταξονομική κατηγοριοποίησή τους. Μία γενικά εφαρμοσμένη μέθοδος είναι αυτή της ιεραρχικής ομαδοποίησης. [Obi01] Αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τους Uschold & Gruninger [UG96] υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τρόποι προσέγγισης της ανάπτυξης μιας ιεραρχίας κλάσεων: α)Top-down β)Bottom-up γ)Συνδυασμός των παραπάνω. Σύμφωνα με την πρώτη δυνατότητα, η διαδικασία ξεκινά με τον ορισμό των πιο γενικών εννοιών του πεδίου ακολουθούμενου από την εξειδίκευσή τους. Για παράδειγμα πρώτα θα οριστεί μια κλάση "Κρασί" ή "Φαγητό" και κατόπιν θα δημιουργηθούν υποκλάσεις λευκού, ροζέ και ερυθρού οίνου και προχωρώντας μετέπειτα σε μεγαλύτερο βάθος κατηγορίες ερυθρού όπως Syrah, Burgundy, Cabernet Sauvignon κλπ. Η αντίστροφη πορεία ακολουθείται στην δεύτερη περίπτωση όπου οι έννοιες συνθέτουν κλιμακωτά, ανώτερες υπερκλάσεις, ενώ η τρίτη και τελευταία αποτελεί μια παράλληλη διαδικασία κατάλληλης γενίκευσης και εξειδίκευσης των εξεχουσών εννοιών. [NM01]

- **Ανάπτυξη** - Κατόπιν της δημιουργίας και της πληθυσμιακής πλήρωσης της, η ανοικοδόμηση της οντολογίας χωρίζεται σε τρία μέρη: την αποτύπωση, την κωδικοποίηση και την ενσωμάτωση. Η αποτύπωση περιλαμβάνει την αναγνώριση των κύριων εννοιών και σχέσεων, την παραγωγή γραπτών ορισμών και τον καθορισμό όρων για αυτές, υπό το επιστέγασμα μιας συμφωνίας επ' αυτών. Απαραίτητο στάδιο, του σταδίου αυτού, είναι η επανεξέταση ορισμών, ο έλεγχος της συνοχής αλλά και ο περιορισμός της αμφισημίας των όρων. Η κωδικοποίηση περιλαμβάνει την απόδοση της εξόδου του προηγούμενου σταδίου, σε μια επίσημη γλώσσα, κατηγορηματικής λογικής πρώτης τάξεως. Το τρίτο και τελευταίο βήμα, αφορά στο σταυροδρόμι επιλογής ή απόρριψης της επαναχρησιμοποίησης μιας ήδη υπάρχουσας οντολογίας. Η σημασιολογική ενσωμάτωση σε όλες τις ποικίλες εφαρμογές είναι πιθανότατα η πιο ταχέως αναπτυσσόμενη περιοχή για συστήματα βασισμένα σε οντολογίες.

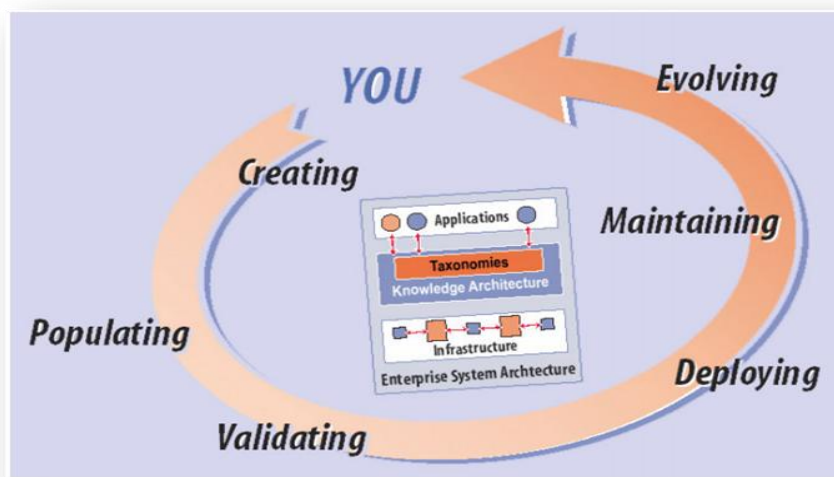
Ένα κοινό ζήτημα μοντελοποίησης είναι η ισορροπία μεταξύ πληρότητας και ανεπάρκειας του μοντέλου του πεδίου. Στοχεύοντας στη μεν πληρότητα το μοντέλο καταλήγει πρακτικά μη διαχειρίσιμο και συνεργάσιμο, ενώ καλύπτοντας κάθε έλλειψη περιορίζεται η εκφραστικότητα του. Μέσα από διαδικασίες "κλαδέματος" της οντολογίας, η οντολογία μειώνεται στα κατάλληλα επίπεδα. Μια οντολογία δε χρειάζεται να περιλαμβάνει όλες τις πιθανές πληροφορίες σχετικά με έναν πεδίο. Επί παραδείγματι, η γνώση του τύπου χαρτιού της ετικέτας ενός μπουκαλιού ή του τρόπου μαγειρέματος ενός ψαριού, δεν προσφέρουν ουσιαστική γνώση σε έναν τομέα. Αντιθέτως καθιστούν το μοντέλο μη σκόπιμα πολύπλοκο. Έννοιες και σχέσεις όπως "αγαπημένο" ή "προτιμώμενο" μπορούν να εισαχθούν από άλλες οντολογίες, οι οποίες ασχολούνται με τη συχνότητα και το χρόνο εμφάνισης μιας επιλογής.

- **Επικύρωση, Εξέλιξη και Διατήρηση** - Οι οντολογίες, ακολουθώντας τη γενικότερη λογική που ισχύει για κάθε άλλο συστατικό σύνθετων συστημάτων, πρέπει να έχουν τη δυνατότητα διαρκούς αλλαγής τους με κάθε αλλαγή του περιβάλλοντός τους. Όντας ένα δυναμικό εργαλείο, οφείλουν να είναι ικανές να εξελιχθούν καθώς πρέπει να ακολουθήσουν τυχόν αλλαγές στο περιγραφέν πεδίο, στην κοινή τους σύλληψη ή στις απαιτήσεις του χρήστη. Ο αριθμός των οντολογιών σε χρήση αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς, και μαζί τους το κόστος της ενημέρωσής τους. Όπως ορίζουν οι Maedche & Volz, η εξέλιξη της οντολογίας είναι "μια επίκαιρη προσαρμογή της στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και στη συνεπή διάδοση των αλλαγών στα εξαρτώμενα μέρη." [CJO01] Ο Stojanović και λοιποί [MMS+03] την ορίζουν ως την επίκαιρη προσαρμογή των οντολογιών στις μεταβαλλόμενες επιχειρησιακές απαιτήσεις, στις τάσεις των οντολογικών στιγμιότυπων καθώς και στον τρόπο χρήσης των βασισμένων σε οντολογίες εφαρμογών, και της συνεχούς διαχείρισης των αλλαγών. Ο Ferrara από την άλλη πλευρά, προσδιορίζει τον στόχο της εξέλιξης των οντολογιών σε διαμοιρασμένα περιβάλλοντα, ως την αύξηση της γνώσης κάθε κόμβου ενός ανοιχτά διαμοιρασμένου συστήματος, μέσω της απόκτησης περιγραφών πόρων από οντολογίες άλλων κόμβων. [KF01] Οι

Klein και Fensel, προσεγγίζουν τις διάφορες εκδόσεις μιας οντολογίας ως την "ικανότητα διαχείρισης αλλαγών επί αυτών, μέσω της δημιουργίας ή/και τροποποίησης των παραλλαγών της". [KF01] Ο Heflin ορίζει την διάθεση νέων εκδόσεων μια οντολογίας ως μια αλλαγή στις συνιστώσες μιας οντολογίας [HH00], ενώ οι Noy & Klein, συνδυάζουν τα ζητήματα εξέλιξης και έκδοσης σε μια έννοια , αυτή της ικανότητας διαχείρισης οντολογικών αλλαγών και των συνεπειών τους, μέσω της δημιουργίας και της συντήρησης διάφορων παραλλαγών της. [NK04]

Μερικές από αυτές τις αλλαγές είναι δυνατό να γίνονται απλά και μόνο με σκοπό να καλύψουν κάποια λάθη ή παραλείψεις που υπήρξαν στην αρχική οντολογία και άλλες με σκοπό να γίνει προσαρμογή της οντολογίας σε μια μεταβολή του περιβάλλοντος. Στα πλαίσια αυτά διατίθενται πολλοί τρόποι και εργαλεία επικύρωσης μιας οντολογίας ώστε να υπάρξει ενημέρωση, βελτίωση και εξέλιξη της. Οι διαφορές άλλωστε, μεταξύ συντήρησης, εξέλιξης και επανεξέτασης είναι απειροελάχιστες με ασαφή διαχωριστικό πλαίσιο. Η κεντρική ιδέα είναι ότι, ακόμη και μια μικρή αλλαγή σε μια οντολογία μπορεί να αλλάξει ή/και να αλλοιώσει άλλα κομμάτια αυτής καθαυτής της οντολογίας, στιγμιοτύπων της οντολογίας, εξαρτώμενες οντολογίες και εφαρμογές βασισμένες στη χρήση τους. [Ohg04] Αποτελεί όλο και περισσότερο, κοινή πρακτική, μια οντολογία να εξαρτάται από μια ή και περισσότερες της μιας οντολογίες συνεπώς μια αλλαγή μπορεί να επιφέρει ρωγμές στη συνοχή άλλων ή εφαρμογών που την/τις αξιοποιούν.

Μερικά από τα προηγμένα εργαλεία κάνουν χρήση αυτοματοποιημένων μηχανών βασισμένων στην περιγραφική λογική προκειμένου να ελέγξουν εάν υπάρχουν αντιφάσεις σε μια οντολογία, ή αν υπάρχει δυνατότητα διαφορετικής ταξινόμησης μιας συγκεκριμένης έννοιας μιας οντολογίας, με βάση την περιγραφή της και με βάση την περιγραφή των άλλων επιλεγμένων εννοιών.



Σχήμα 16: Κύκλος ζωής οντολογιών

3.7.6 Γλώσσες οντολογιών

Η ερευνητική προσπάθεια για την δημιουργία καταλλήλων γλωσσών για την μοντελοποίηση και περιγραφή οντολογιών άρχισε σχεδόν ταυτόχρονα (~1990) με την εισαγωγή του όρου οντολογία στα πεδία των Knowledge Engineering, Natural-language Processing, Knowledge Representation κ.α. Έκτοτε προτάθηκαν διάφορες γλώσσες οι οποίες είχαν σύντομη ιστορία ή που εξελίχθηκαν και υπάρχουν έως σήμερα με κάποια μορφή.

Ακολουθεί μία παράθεση των κυριοτέρων από αυτές: [86]

Από όλες αυτές τις γλώσσες, οι SHOE, XOL, RDF, RDFS, DAML, OIL, DAML+OIL, OWL έχουν ιδιαίτερη σημασία καθώς η διαχρονική εξέλιξή τους είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εξέλιξη του σημασιολογικού ιστού. Επιπλέον οι γλώσσες RDF, RDFS, και OWL έχουν ιδιαίτερη σημασία, δεδομένου ότι έχουν αποτελέσει και σχετικά "Recommendation" του W3C, σε ότι αφορά την πορεία προς την υλοποίηση του σημασιολογικού ιστού.

- ✚ SHOE: Simple HTML Ontology Extensions: [90] η γλώσσα SHOE δημιουργήθηκε ως μία επέκταση της HTML. Χρησιμοποιεί tags διαφορετικά από αυτά της HTML και ο κώδικάς της συνυπάρχει μέσα στο ίδιο φυσικό αρχείο μαζί με τον κώδικα HTML. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η παρεμβολή οντολογιών μέσα στο HTML έγγραφο. Η SHOE συνδυάζει frames και κανόνες. Μπορεί να αναπαραστήσει ταξονομίες εννοιών, δυαδικές σχέσεις, στιγμιότυπα και κανόνες για την εξαγωγή συμπερασμάτων.
- ✚ XOL: [91] Σχεδιάστηκε ως η XML εκδοχή του OKBC-Lite, μικρού υποσυνόλου "primitives" (στοιχειωδών οντοτήτων) του πρωτοκόλλου OKBC. Πολύ αυστηρή γλώσσα που μπορεί να αναπαραστήσει μόνο έννοιες και δυαδικές σχέσεις
- ✚ DAML: DARPA Agent Markup Language [92] Η γλώσσα DAML δημιουργήθηκε στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος του US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) για την δημιουργία της υποδομής που θα επέτρεπε την επεξεργασία της πληροφορίας του παγκόσμιου ιστού με τρόπο κατάλληλο για επεξεργασία από μηχανές, με την χρήση οντολογιών για την αναπαράσταση των αντικειμένων και των μεταξύ τους σχέσεων. Σχεδιάστηκε ως επέκταση των XML και RDF.
- ✚ OIL: Ontology Inference Layer: [HFB+00] Η γλώσσα OIL ήταν η ευρωπαϊκή προσπάθεια αντίστοιχη της αμερικανικής DAML, και έγινε στο πλαίσιο του προγράμματος "On-To-Knowledge" (the European EU-IST project No. 10132).
- ✚ DAML+OIL: [92] Η γλώσσα DAML+OIL βασίζεται σε προηγούμενα πρότυπα του W3C όπως αυτά των RDF και RDF Schema, σε μία προσπάθεια να συνδυάσει την DAML και την OIL και να προεκτείνει αυτές τις γλώσσες με περισσότερες και πλουσιότερες στοιχειώδεις οντότητες (primitives).

✚ OWL / OWL2: Ontology Web Language [93,94] Η γλώσσα OWL επεκτείνει την ικανότητα των XML, RDF και RDF Schema στην αναπαράσταση των οντολογιών του παγκόσμιου ιστού. Έρχεται σαν αναθεώρηση της DAML+OIL και έχει τρεις διαφορετικές εκδοχές - υπογλώσσες, τις OWL Lite, OWL DL, και OWL Full με αυξανόμενη ικανότητα έκφρασης οντολογιών, αντιστοίχως. [AH08]

3.8 ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΠΟΡΩΝ (RESOURCE DESCRIPTION FRAMEWORK - RDF)

Ο Tim Berners-Lee στο έργο του "Πραγματοποιώντας την πλήρη προοπτική του Ιστού" [107], αναγνωρίζει δυο κύριες στοχεύσεις που καλείται να ικανοποιεί ο Ιστός. Ο πρώτος στόχος, είναι η ενίσχυση της συνεργασίας των εκπροσώπων διαφόρων επιστημονικών πεδίων προκειμένου να μοιραστούν γνώση. Ο δεύτερος στόχος είναι να ενσωματώσει εργαλεία, τα οποία θα βοηθήσουν τους ανθρώπους να αναλύουν και να διαχειρίζονται την πληροφορία που μοιράζονται με τρόπο ουσιαστικό.

Η επικράτηση του Ιστού όσον αφορά το διαμοιρασμό περιεχομένου online μεταξύ των χρηστών, αποτέλεσε μια ριζική μεταμόρφωση του υπολογιστικού κόσμου. Το ίδιο ακριβώς χαρακτηριστικό που ευθύνεται για την προαγωγή του πρώτου στόχου του Σ.Ι., είναι αυτό που παρακωλύει την υλοποίηση του δεύτερου. Αρκετό μέρος των περιεχομένων του ήδη υπάρχοντος Ιστού, συχνά αποκαλούμενου και "Συντακτικός Ιστός", [SS13] είναι αναγνώσιμο αποκλειστικά από τον ανθρώπινο παράγοντα και όχι από μηχανές. Παράλληλα υπάρχει μεγάλη διακύμανση στην ποιότητα, την διαχρονικότητα και τη σχετικότητα των πόρων του ιστού (ιστοσελίδων όπως και δεδομένων ή/και υπηρεσιών προσπελάσιμων από διαδίκτυο) [107], χαρακτηριστικά που καθιστούν δυσχερή την αξιολόγηση της σημασίας ενός πόρου. Το όραμα του Σ.Ι. είναι να αυξήσει το συντακτικό ιστό κατά τρόπο που οι πόροι θα είναι πιο εύκολα "μεταφράσιμοι" από προγράμματα και ευφυείς πράκτορες λογισμικού. Προς αυτό το σκοπό, οι βελτιώσεις επιτυγχάνονται μέσα από την δημιουργία και την υιοθέτηση σημασιολογικών γλωσσών επισήμανσης, οι οποίες δίνουν κατανοητή (και από μηχανές) ερμηνεία στα αντικείμενα που απαρτίζουν τον ιστό.

Το RDF πλαίσιο (Resource Description Framework) είναι ένα σύνολο προδιαγραφών της κοινοπραξίας του παγκόσμιου ιστού (World Wide Web Consortium -W3C) η αρχική σχεδίαση του οποίου ήταν να αποτελέσει ένα μοντέλο διαχείρισης και αναπαράστασης μεταδεδομένων για τους πόρους και οποιαδήποτε άλλα δεδομένα του σημασιολογικού ιστού όπως ο τίτλος, το όνομα του δημιουργού ενός αντικειμένου, η διαθεσιμότητα του κλπ. [109]

Σήμερα ή χρήση του καλύπτει μια πιο ευρεία θέση στο σημασιολογικό ιστό, έχοντας τη μορφή μιας γενικής μεθόδου εννοιολογικής περιγραφής και μοντελοποίησης πληροφοριών. Όντας θεμέλιος λίθος των

Συνδεδεμένων Δεδομένων, παρέχει την απαραίτητη γλώσσα για την απεικόνιση πληροφοριών επί των διαδικτυακών πόρων, οντοτήτων δηλαδή του πραγματικού κόσμου, οι οποίες μπορούν μέσα από διαδικασίες ονοματοδοσίας και διευθυνσιοδότησης, να εκφραστούν και να δημοσιευτούν στο διαδίκτυο χωρίς αλλοίωση της σημασίας τους [110].

Το μοντέλο RDF αποτελεί μέλος της οικογένειας των στάνταρντ κωδικοποίησης, ανταλλαγής, επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης μεταδεδομένων προκειμένου η σημασιολογία που εγκλείεται στον εκάστοτε πόρο πρώτον να επιδειχθεί στον τελικό χρήστη σε μια σαφή, τυπική και αναγνώσιμη μορφή (στόχος εν παραλλήλω και της HTML) [110] αλλά και να αξιοποιηθεί με αυτοματοποιημένο τρόπο και να συνδυαστεί/συνδεθεί με την πληροφορία άλλων πόρων. [108] Η ικανότητα ανταλλαγής πληροφορίας μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών άλλωστε σημαίνει πως η πληροφορία θα πρέπει να καταστεί διαθέσιμη και σε άλλες εφαρμογές πλην εκείνων, για τις οποίες σχεδιάστηκε αρχικά. [110]

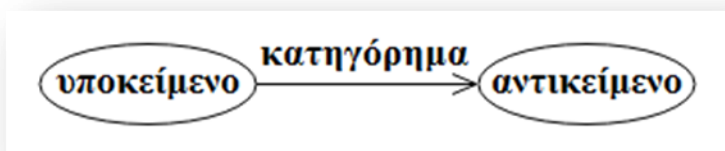
Για το σκοπό αυτό επιστρατεύεται για την περιγραφή των πραγμάτων ένας μηχανισμός συμβολοσειρών, αποκαλούμενα διεθνή αναγνωριστικά πόρου (international resource identifiers ή IRIs), [116] και πιο συγκεκριμένα το μέρος των URIs (uniform resource identifiers) μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η περιγραφή των πόρων του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής, από τη σκοπιά των ιδιοτήτων και των τιμών τους (properties - property values). Το URI είναι ουσιαστικά, μια γενίκευση του Ενιαίου Εντοπιστή Πόρων (Uniform Resource Locator ή URL), το οποίο αντιπροσωπεύει την ηλεκτρονική διεύθυνση πρόσβασης σε ένα έγγραφο του Παγκόσμιου Ιστού και αποτελεί σαφή διαχωρισμό μεταξύ των πόρων. [111] Ένας εντοπιστής (url), γνωστός και ως διευθύνσεις ιστού, βοηθά στον εντοπισμό ενός αντικείμενου, πχ μιας ιστοσελίδας, ενώ ένα αναγνωριστικό (uri) απλώς αναγνωρίζει ένα αντικείμενο. Ένα URI μπορεί να δείχνει όπως ένα URL και μπορεί όντως να περιλαμβάνει μια ιστοσελίδα αλλά ενδεχομένως και όχι. Η πρώτη και κύρια δουλειά του είναι να παρέχει ένα μοναδικό όνομα σε κάτι και όχι να οδηγήσει έναν φυλλομετρητή σελίδων σε κάποια συγκεκριμένη σελίδα.

Το RDF αγνοεί τι αντιπροσωπεύει το IRI παρόλο που το μεταχειρίζεται. Ωστόσο συγκεκριμένα λεξιλόγια και συμβάσεις, δίνουν νόημα στα IRIs όπως πχ η DBPedia, το παράδειγμα που αναφέρθηκε ανωτέρω, όπου για να περιγραφεί το κάθε αντικείμενο που εκμαιεύτηκε από ένα άρθρο της Wikipedia μεταχειρίζονται IRIs της μορφής <http://dbpedia.org/resource/Name>

Συγκεκριμένα ο πόρος "Λεονάρντο ντα βίντσι" αντιπροσωπεύεται από το IRI http://dbpedia.org/resource/Leonardo_da_Vinci. [110]

Το εν λόγω μοντέλο δεδομένων, υιοθετεί τα βασικά χαρακτηριστικά κλασσικών προσεγγίσεων εννοιολογικής περιγραφής, όπως τα διαγράμματα οντοτήτων-συσχετίσεων και κλάσεων [Che76], καθώς βασίζεται στην ιδέα της σύνταξης δηλώσεων (statements) για διαδικτυακούς πόρους με τη μορφή προτάσεων «υποκείμενο-κατηγορημα - αντικείμενο» (subject - predicate -object), γνωστών ως τριάδες ή

πιο ελεύθερα, τριπλέτες (triples). Το υποκείμενο είναι το μέρος της τριάδας, που προσδιορίζει τον πόρο άμεσου ενδιαφέροντος περιγραφής. Το κατηγορημα αναδεικνύει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ή/και εκφράζει τη φύση μιας σχέσης ανάμεσα στους κόμβους υποκειμένου-αντικειμένου που δεν είναι τίποτε άλλο πέρα από την τιμή μιας εκ των ιδιοτήτων αυτού του πόρου. Και τα τρία μέρη όπως αναφέρθηκε προσδιορίζονται μέσω του ενιαίου αναγνωριστικού πόρων και ουσιαστικά δηλώνουν μια συσχέτιση δυο εννοιών.



Σχήμα 17: Το RDF σχήμα

3.8.1 Χρήσεις του RDF

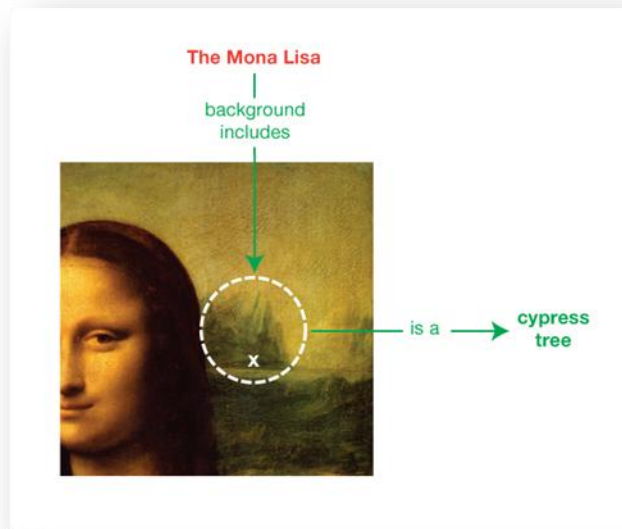
Το W3C έχει δημοσιεύσει μια σειρά εγγράφων εν είδει αλφαβητάριου για τον ενδελεχή ορισμό, την ερμηνεία και την προώθηση του RDF μοντέλου. [SS13]

Οι κυριότερες χρήσεις που προωθεί το εν λόγω μοντέλο είναι οι εξής:

- Προσθήκη αναγνώσιμων από μηχανές πληροφοριών στις ιστοσελίδες χρησιμοποιώντας ένα λεξιλόγιο που θα καταστήσει εφικτή την παρουσίαση τους με τη μορφή εξελιγμένων μορφοτύπων σε μηχανές αναζήτησης καθώς και την αυτόματη εκτέλεση τους από τρίτες εφαρμογές.
- Εμπλουτισμός μιας συλλογής δεδομένων μέσω της σύνδεσής της με άλλες προκειμένου να δοθεί πρόσβαση σε μια ευρεία κλίμακα άμεσα σχετιζόμενων πληροφοριών.
- Διασύνδεση σημείων διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών (APIs), διασφαλίζοντας τον εύκολο εντοπισμό και την πρόσβαση των χρηστών τους σε μεγαλύτερο μέρος πληροφορίας.
- Αξιοποίηση των ήδη δημοσιευμένων συλλογών δεδομένων υπό τη μορφή των Linked Data, χτίζοντας συσσωρεύσεις δεδομένων γύρω από συγκεκριμένους τομείς και πεδία.
- Οικοδόμηση διαμοιρασμένα κοινωνικά δίκτυα, διασυνδέοντας RDF περιγραφές ανθρώπων διαμέσου πολλαπλών σελίδων του Ιστού.
- Παροχή ενός προτυποποιημένου τρόπου ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ βάσεων δεδομένων
- Διασύνδεση ποικίλων συλλογών δεδομένων εντός ενός οργανισμού, διευκολύνοντας διαδικασίες ερωτημάτων (queries) αναμεταξύ τους, μέσω της SPARQL

3.8.2 Μορφές απεικόνισης RDF για τα Συνδεδεμένα Δεδομένα

Η απεικόνιση των δηλώσεων τύπου rdf που αφορούν στη μεταβλητή ενός πόρου, τις ιδιότητες και τις τιμές του, λαμβάνει την πολύ χρήσιμη και σημαντική δομή ενός απλού κατευθυνόμενου γράφου κόμβων (υποκείμενο/ αντικείμενο) και κλάδων (κατηγορήμα - τόξο από τον κόμβο υποκειμένου στον κόμβο αντικείμενου). Το υποκείμενο μπορεί να λάβει είτε τη μορφή ενός uri είτε αυτή ενός κενού / ανώνυμου κόμβου που πιθανότατα απλά φέρει μια δεδομένη τιμή. Ένας τέτοιος κόμβος, είναι μια μεταβλητή η τιμή της οποίας δεν είναι απαραίτητως γνωστή. Για παράδειγμα μπορεί να είναι ένα άγνωστο δέντρο της οικογένειας των κυπαρισσιών στο φόντο του πίνακα της Μόνα Λίζα. [110]



Εικόνα 5: Χρήση URI για τον προσδιορισμό υποκειμένου-αντικειμένου

Το κατηγορήμα λαμβάνει τη μορφή uri υποδηλώνοντας έναν πόρο, ο οποίος καθορίζει μια σχέση μεταξύ των υπολοίπων δυο μερών. Το αντικείμενο παίρνει τη μορφή URI, ή κενού κόμβου ακριβώς όπως και το υποκείμενο, είτε τη μορφή ενός λεκτικού. Τα λεκτικά (literals) είναι συμβολοσειρές όπως πχ "η Τζοκόντα", ημερομηνίες όπως "4η Ιουλίου, 1990" ή αριθμοί φερειπείν "3.14159". Τα λεκτικά συνδέονται με έναν τύπο δεδομένων (datatype) επιτρέποντας τέτοιες τιμές να μπορούν να ερμηνευθούν ορθά. Συχνά σχετίζονται με μια ετικέτα επισήμανσης γλώσσας, επί παραδείγματι το λεκτικό "Λεονάρντο Ντα Βίντσι" θα μπορούσε να σχετιστεί με την ετικέτα "fr". Τα λεκτικά καλύπτουν μόνο την θέση του αντικειμένου στην τριπλέτα. [110]

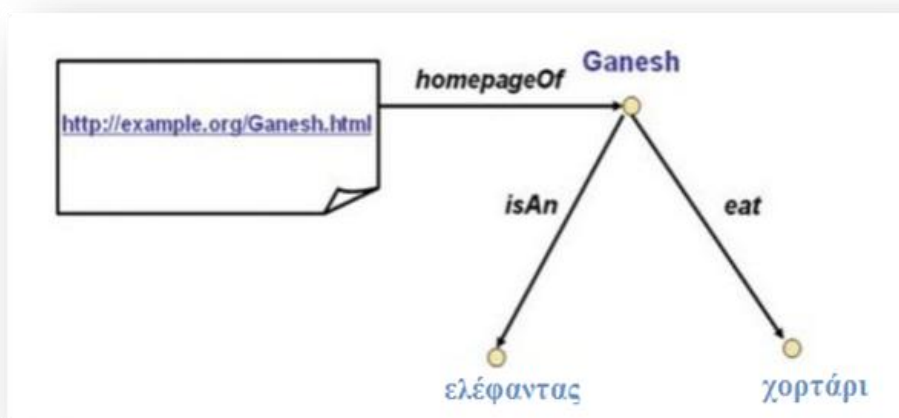
Ο πιο συνήθης τρόπος αναπαράστασης πάραυτα στα πλαίσια εφαρμογών του σημασιολογικού ιστού, είναι εκείνος των IRI όπως αναφέρθηκε εν συντομία και παραπάνω, ο οποίος σε αντιδιαστολή με το URI,

επιτρέπει στην συμβολοσειρά να αποτελείται συντακτικά και από μη-ASCII χαρακτήρες όπως Κυριλλικούς ή κινέζικους χαρακτήρες αλφαβήτου [110].

Το RDF παρέχει έναν μηχανισμό ομαδοποίησης RDF δηλώσεων εντός πολλαπλών γράφων υπό την διευθυνσιοδότηση ενός κοινού IRI εφεξής αποκαλούμενου "όνομα γράφου". Εισήχθη σαν κύριο χαρακτηριστικό στην γλώσσα ερωτημάτων SPARQL.

Αυτά τα κομμάτια πληροφοριών που δύνανται να συνδεθούν στον ιστό και να αποτελέσουν τους παραπάνω κόμβους, αντίθετα με τις συμβατικές πρακτικές του επικρατούντος υπερκειμένου (hypertext), μπορούν να αναφερθούν όχι μόνο σε προσπελάσιμα αντικείμενα του υπολογιστικού χώρου (φερειπείν ιστοσελίδες), αλλά αντίθετα και σε εικονικές απεικονίσεις απτών πραγματικών οντοτήτων, όπως ένα συγκεκριμένο άτομο, μια επιχείρηση, ειδησεογραφικά γεγονότα κλπ. Παράλληλα, η μορφή γράφου προτιμάται εν συγκρίσει με τη δενδρική δομή της XML [120] λόγω της ευκολίας ενοποίησης γράφων, κάτι που επιτρέπει με άλλα λόγια, το συνδυασμό εγγράφων από πολλαπλές πηγές προέλευσης.

Ένα παράδειγμα αντιστοίχισης πόρων του ιστού μέσω του RDF όπως φαίνεται στο έργο του J.Z.Pan [SS13], στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σύνδεση του πόρου Ganesh με την ιστοσελίδα που φέρει το αναγνωριστικό <http://example.org/Ganesh.html> και περιγράφει έναν ελέφαντα που φέρει το διατροφικό χαρακτηριστικό του χορταριού.



Σχήμα 18: Σύνδεση πόρων με URI αναγνωριστικά

Η διαγραμματική αυτή αναπαράσταση όμως, αν και εύχρηστη και ευκρινής στο ανθρώπινο μάτι, δεν ενδείκνυται για επεξεργασία από υπολογιστές. Προς αυτή την κατεύθυνση ανέκυψαν νέες σειριακές κωδικοποιήσεις όπως η RDF/XML. [110]

Το RDF/XML αποτελεί ένα είδος σύνταξης για την καταγραφή και ανταλλαγή γράφων rdf.

Παρόλα αυτά όντας ιστορικά το πρώτο W3C πρότυπο σχετικά με την rdf ιδέα παρερμηνεύεται ως το ίδιο πράγμα με αυτό το αφηρημένο μοντέλο. Παρά το γεγονός ότι η εν λόγω μορφή σύνταξης χρησιμοποιείται

ακόμα, άλλες μορφές πιο ευανάγνωστες από τον άνθρωπο, κερδίζουν έδαφος σε δημοφιλία όπως για παράδειγμα η Turtle όπου οι προτάσεις αναπαρίστανται λιτά, επιτρέποντας την ομαδοποίηση προτάσεων με κοινό υποκείμενο ή/και ιδιότητα και την αποφυγή χειρόγραφης παρέμβασης για τη διατύπωσης μεγάλου όγκου δεδομένων. Άλλες μορφές που συναντώνται είναι ονομαστικά οι : N-triples, N-Quads, N3 και JSON-LD. [112,113,114]

```
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
@prefix ex: <http://example.org/#>
@prefix elp: <http://example.org/Animal#>

elp:Ganesh ex:mytitle "A resource called Ganesh" ;
            ex:mycreator "Pat Gregory" ;
            ex:mypublisher _:b1 .
_:b1 elp:name "Elephant United" .
```

Εικόνα 6: N3 Σύνταξη

Ένα παράδειγμα RDF γράφου σε N3 σύνταξη φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, όπου μέσω των σύντομων προθεμάτων "@prefix" εισάγονται συντμήσεις αναγνωριστικών διαφόρων namespaces τα οποία περιορίζουν σε έκταση την περιγραφή και μέσω των ερωτηματικών ";" εισάγονται περισσότερες ιδιότητες προς περιγραφή του ίδιου υποκειμένου.

Οι αντιστοιχίσεις και οι επισημάνσεις αυτές όπως καταδείχθηκαν από το παραπάνω παράδειγμα, δεν αρκούν από μόνες τους για την εγκατάσταση σημασιολογίας επί των επισημασμένων. Στις παραπάνω αντιστοιχίσεις πχ δεν εξηγείται η έννοια του ελέφαντα.

Το RDF είναι ένα μοντέλο δεδομένων και όχι ένα μορφότυπο. Υπάρχουν πολλές μορφές που τα RDF δεδομένα μπορούν να υιοθετήσουν για την αναπαράστασή τους και κατ' επέκταση για την αναπαράσταση των Συνδεδεμένων Δεδομένων. Οι λόγοι ύπαρξης ποικιλίας μορφών άπτονται των αναγκών του εκάστοτε χρήστη τους. Συστήματα που κάνουν χρήση των RDF δεδομένων επιδιώκουν να περιορίσουν την υπολογιστική πολυπλοκότητά τους και να εστιάσουν στην περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων παρά στην προσαρμογή του συστήματός τους σε ένα μοναδικό πρότυπο. Για παράδειγμα οι προγραμματιστές έχουν την τάση να επιλέγουν τη μορφή JSON εξαιτίας της καλής υποστήριξης Javascript βιβλιοθηκών, ενώ εταιρίες που έχουν επενδύσει σε τεχνολογίες XML, ακολουθούν συνήθως το XML μορφότυπο στα δεδομένα τους. Παρόλο που χρησιμοποιούνται πολλαπλά μορφότυπα στα ΣΔ όμως, όλα είναι εξίσου συμβατά, ακριβώς επειδή μοιράζονται ένα κοινό μοντέλο δεδομένων.

Ένα δεύτερο παράδειγμα καθημερινής εφαρμογής σε (αναγνώσιμη απ' τον ανθρώπινο παράγοντα) μορφή Turtle, είναι αυτό της περιγραφής της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων ενός αεροδρομίου, εν προκειμένω του Galway Airport:



Σχήμα 19: Σύνταξη Turtle

Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να ειπωθεί πως μια αναφορά URI (URIfref) είναι ένα URI ακολουθούμενο από ένα προαιρετικό μικρό ψήγμα αναγνωριστικού στο τέλος. [119] Για παράδειγμα η URI αναφορά "http://www.example.org/Elephant#Ganesh" αποτελείται από το URI "http://www.example.org/Elephant" και το συμπλήρωμα #Ganesh.

Ένα πολύ σημαντικό εργαλείο ανάπτυξης RDF σχημάτων και περιγραφών, είναι ο μηχανισμός ονοματοδοσίας XML (XML namespace), ένα σύνολο κλάσεων και ιδιοτήτων, στο οποίο αντιστοιχίζεται ένα μοναδικό πρόθεμα URI, ακολουθούμενο από το χαρακτήρα "#", στο παράδειγμα μας "http://www.example.org/Elephant#". Το RDF με αυτόν τον τρόπο λαμβάνει την μορφή ενός namespace που προσδιορίζεται μοναδικά από ένα URI, δια μέσου του οποίου, τα μέρη του συνόλου αυτού αναγνωρίζονται μονοσήμαντα, ως κανονικοί πόροι στο Διαδίκτυο, γεγονός που καθιστά επιτρεπτή την επαναχρησιμοποίησή τους.

Εν κατακλείδι συνεπώς:

Μια **RDF τριπλέτα** αποτελείται από τρεις συνιστώσες με τις εξής πιθανές αναπαραστάσεις:

- το υποκείμενο (subject), το οποίο είναι ένα IRI ή ένας κενός κόμβος
- το κατηγορημα (predicate), το οποίο αντιπροσωπεύεται μέσω ενός IRI
- το αντικείμενο (object), το οποίο είναι IRI, ή λεκτικό (literal) ή κενός κόμβος

Ένας RDF γράφος αποτελείται από πολλές RDF τριπλέτες.

Μια συλλογή RDF (RDF dataset) είναι μία συλλογή RDF γράφων οι οποίοι μπορεί να είναι είτε ένας προκαθορισμένος ανώνυμος κεντρικός (πιθανώς και κενός) γράφος, είτε πολλοί ονοματισμένοι γράφοι που αποτελούν μια σύνδεση μεταξύ ενός IRI και ενός γράφου. [118]

3.8.3 Dublin Core

Δεδομένου ότι το RDF από μόνο του δεν δύναται να καθορίσει την επιθυμούμενη ερμηνεία κάθε πόρου, ώστε οι χρήστες να επικοινωνούν στη βάση μιας κοινής σημασιολογίας των αναγνωριστικών καθενός εξ' αυτών, η ερμηνεία μέσα από τις επισημάνσεις έρχεται είτε μέσα από προσυμφωνημένες ανεπίσημες σημασιολογίες, (πχ μέσα από το Dublin core) ή από οντολογίες.

Ένας τρόπος απόδοσης σημασίας σε αντιστοιχίσεις έρχεται από το Dublin Core Metadata Element Set [115], το οποίο παρέχει 15 θεμελιώδεις ιδιότητες πληροφοριών όπως "τίτλος", "δημιουργός", "ημερομηνία" με τη βοήθεια περιγραφικών σημασιολογικών ορισμών σε φυσική γλώσσα.

```
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
@prefix dc: <http://purl.org/dc/elements/1.1/>
@prefix elp: <http://example.org/Animal#>

elp:Ganesh dc:title "A resource called Ganesh" ;
            dc:creator "Pat Gregory" ;
            dc:publisher _:b1 .
_:b1 elp:name "Elephant United" .
```

Σχήμα 20: Dublin Core Metadata

Αντικαθιστώντας στο προηγούμενο παράδειγμα τις ιδιότητες ex:mytitle, ex:mycreator, ex:mypublisher με τους dc:title, dc:creator, dc:publisher όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα οι συμβατοί με το Dublin core ευφυείς πράκτορες μπορούν να καταλάβουν ότι ο τίτλος του συγκεκριμένου πόρου είναι "A resource called Ganesh" και ο δημιουργός του ο Pat Gregory, κάτι που προηγουμένως ήταν σε περιορισμένο κύκλο κατανοητό καθώς οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν αμφίσημα και αόριστα ονόματα ως ιδιότητες τίτλου, δημιουργού ή εκδότη κλπ.

Η οντολογική προσέγγιση αντίθετα με τα παραπάνω αποτελεί μια ακόμη πιο ευέλικτη επιλογή καθώς οι χρήστες διατηρούν τη δυνατότητα εξατομίκευσης λεξιλογίου και περιορισμών.

3.8.4 RDF Schema (RDFS): Μια οντολογικού σχήματος γλώσσα Ιστού

Το RDF αν και παρέχει τη δυνατότητα έκφρασης μεμονωμένων πόρων και εννοιών μέσω απλών δηλώσεων, δεν επαρκεί για την περιγραφή των σχέσεων, των τύπων ή των κοινών χαρακτηριστικών λογικά ομοειδών τμημάτων αυτών, που συνασπίζονται εντός κλάσεων για τη μοντελοποίηση ενός γνωστικού πεδίου.

Το RDF σχήμα (RDF Schema - RDFS) είναι μια σημασιολογική επέκταση του RDF [Miz04], που έρχεται να επιλύσει αυτά τα ζητήματα αφού συμπληρώνει τον ορισμό αυτών των *κλάσεων* (*classes*) των *ιδιοτήτων* (*properties*) γνωρισμάτων και σχέσεων που τις συνδέουν, καθώς και την περαιτέρω διαίρεση τους ιεραρχικά σε *υποκλάσεις* (*subclass*) και *υπο-ιδιότητες* (*subproperties*). Επιπλέον εισάγει περιορισμούς όσον αφορά τα *πεδία ορισμού* (*domain*) και *πεδία τιμών* (*range*) μιας ιδιότητας.

Οι πόροι μπορούν να είναι ορισμένοι ως στιγμιότυπα (*instances*) μιας ή περισσότερων κλάσεων επιτρέποντας μια οπτική των σχέσεων και συσχετίσεών τους. Εν αντιθέσει με παρεμφερείς λογικές αρχιτεκτονικής γλωσσών προγραμματισμού, οι κλάσεις στην περίπτωση του *rdfs* δεν αντιπροσωπεύουν απλώς ένα "καλούπι" συγκεκριμένων χαρακτηριστικών αλλά παρέχουν πρόσθετη πληροφορία για τους πόρους RDF που περιγράφουν, επιτρέποντας τη συσχέτισή του με άλλα μέλη της κλάσης του. Για παράδειγμα, αν είχαμε μια κλάση *Songs* με ένα χαρακτηριστικό *creator* και μια άλλη κλάση *SoftwareInterface* που επίσης είχε χαρακτηριστικό *creator*, αυτά τα δύο χαρακτηριστικά θα θεωρούνταν διαφορετικά στις γλώσσες προγραμματισμού, αλλά στα πλαίσια του RDFS η έννοια της λέξης "δημιουργός" αποκτά μια ευρύτερη - καθολική σημασιολογία εκτός της εκάστοτε κλάσης και κατ' επέκταση ανάλογο πεδίο δράσης. Αντί λοιπόν οι κλάσεις να έχουν κάποιες ιδιότητες, οι ίδιες οι ιδιότητες μπορούν να περιγράψουν κι άλλες κλάσεις αλλά με διαφορετική σημασιολογία.

Κάθε RDF ιδιότητα αποτελεί κι αυτή -όντας πόρος ειδικού σκοπού, όπως είδαμε παραπάνω- ένα στιγμιότυπο της κλάσης *rdf:Property*.

Στο παράδειγμα του J.Z.Pan παρατηρούμε πώς οι RDFs δηλώσεις δεν είναι παρά απλές τριπλέτες RDF στις οποίες το RDFS συμβάλει με συντακτικούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα η οντολογία ζώων που επιλέχθηκε έχει τρεις κλάσεις *elp:Animal*, *elp:Habitat* & *elp:Elephant* η οποία είναι υποκλάση της πρώτης (*rdfs:subClassOf elp:Animal*) και μια ιδιότητα *elp:liveIn* το πεδίο και το εύρος της οποίας είναι τα *elp:Animal* & *elp:Habitat* αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, δηλώνει πως ο πόρος *elp:Ganesh* είναι ένα στιγμιότυπο του *elp:Elephant* και ότι ζει (*elp:liveIn*) σε ένα οικοσύστημα (*elp:Habitat*) το οποίο καλείται νότιος Σαχάρα (*elp:south-sahara*).


```

@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
@prefix elp: <http://example.org/Animal#>

elp:Animal rdf:type rdfs:Class .
elp:Habitat rdf:type rdfs:Class .
elp:Elephant rdf:type rdfs:Class ; rdfs:subClassOf elp:Animal .
elp:liveIn rdf:type rdf:Property ;
           rdfs:domain elp:Animal ; rdfs:range elp:Habitat .

elp:south-sahara rdf:type elp:Habitat .
elp:Ganesh rdf:type elp:Elephant ; elp:liveIn elp:south-sahara .

```

Σχήμα 21: RDF Schema

Με μια γρήγορη ματιά λοιπόν, το RDFS είναι μια γλώσσα απλού οντολογικού σχήματος, η οποία επιτρέπει μόνο ιεραρχίες κλάσεων και ιδιοτήτων όπως επίσης και περιορισμούς επί των πεδίων ορισμού και εύρους τιμών των ιδιοτήτων. Παράλληλα παρέχοντας την προδιαγραφή των τύπων δεδομένων (datatypes) και των τιμών δεδομένων (data values) επιτρέπει τη χρήση τύπων εξωτερικών συστημάτων. Συνοπτικά, ένα datatype αποτελείται από ένα λεξικογραφικό σύνολο συμβολοσειρών, ένα χώρο τιμών και έναν τρόπο αντιστοίχισης μεταξύ των δυο. Πχ. ο τύπος boolean, λογικών δεδομένων, είναι ένα datatype με λεξικογραφικό χώρο {"A","Ψ","I","0"}, χώρο τιμών {αληθής, ψευδής} και τρόπο αντιστοίχισης {"A" → αληθής, "I" → αληθής, "Ψ" → ψευδής, "0" → ψευδής}.

3.8.4.1 Περιορισμοί εκφραστικότητας του RDF Schema

Το κύριο μέρος των πρωτοτύπων μοντελοποίησης των RDF/RDFS αφορά στην οργάνωση λεξιλογίων σχετικών με την οργάνωση ιεραρχικών τύπων. Ωστόσο ένας αριθμός χαρακτηριστικών παραμένει εκτός της παραπάνω περιγραφής. Μεταξύ αυτών είναι: [SS13]

- a. τοπική εμβέλεια ιδιοτήτων. Μέσω της rdfs:range ορίζεται το πεδίο εφαρμογής μιας ιδιότητας επί όλων των κλάσεων, πχ της ιδιότητας "τρώει". Συνεπώς στο RDF σχήμα δε μπορούμε να δηλώσουμε περιορισμούς που εφαρμόζουν μόνο σε ένα μέρος του συνόλου των κλάσεων. Επί παραδείγματι, δεν υπάρχει τρόπος να δηλωθεί ο διαχωρισμός μεταξύ χορτοφάγων, σαρκοφάγων ή παμφάγων.
- b. ασυμβίβαστες κλάσεις. Πχ. οι κλάσεις "αρσενικό", "θηλυκό" αν και είναι ασυμβίβαστες μέσω του RDFS η γνώση αυτή δεν αντιπροσωπεύεται. Αντίθετα περιορίζεται στη γνώση ότι καθεμία είναι υποκλάση (μεταξύ άλλων) της κλάσης "άνθρωπος".
- c. λογικοί συνδυασμοί κλάσεων. Κατ'επέκταση του παραπάνω, ο συνδυασμός κλάσεων μέσω διαδικασιών ένωσης, τομής ή συμπληρώματος ώστε να προκύψουν νέες κλάσεις, δηλαδή νέα σύνολα, δεν επιτρέπεται από το σχήμα rdfs.

- d. περιορισμοί πληθικότητας. Δεν υπάρχει η δυνατότητα έκφρασης περιορισμών στον αριθμό των διακριτών τιμών που μπορεί ή πρέπει να λαμβάνει μιας ιδιότητα. Πχ. δεν μπορεί να οριστεί η αυτονόητη σύλληψη πως ένα άτομο έχει ακριβώς δυο βιολογικούς γονείς.
- e. Ειδικά χαρακτηριστικά ιδιοτήτων. Ορισμένες φορές είναι χρήσιμο να ειπωθεί πώς μια ιδιότητα είναι μεταβατική ("μεγαλύτερος από") , μοναδική ("είναι μητέρα του/της") ή αντίστροφη κάποιας άλλης ("τρώει", "τρώγεται από").

3.8.5 RDFa - RDF σε HTML

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε την εξέλιξη της χρήσης του Παγκόσμιου Ιστού να περνά από την ανθρώπινη κατανάλωση, σε αυτή των μηχανών. Τα περιεχόμενα του ιστού καταναλώνονται σε ασύλληπτα ραγδαίους χρόνους από τις μηχανές που υποστηρίζουν δομημένα δεδομένα. Οι ιστοσελίδες μπορούν να αναγνωρίζουν τίτλους, τύπους περιεχομένων, καθώς και να προβάλουν μια συνοπτική εικόνα στον χρήστη. Εντός των κόλπων του, υπάρχει η τάση να συμπεριλαμβάνεται αδόμητο κείμενο το οποίο όμως, αποτελείται κι εκείνο από στοιχεία δεδομένων, όπως τηλεφωνικούς αριθμούς, διευθύνσεις, ονόματα ανθρώπων, ακόμη και περιγραφές προϊόντων.

Μια τεχνολογία κλειδί πίσω από αυτές τις εξελίξεις είναι η ικανότητα απευθείας ενσωμάτωσης δομημένων δεδομένων σε HTML και XML έγγραφα. Το RDFa (Resource Description Framework in Attributes) αποτελεί μια τεχνική - πρότυπο της W3C, η οποία επιτρέπει σε υπηρεσίες ιστού και μηχανές αναζήτησης, ακριβώς αυτό. Παρέχει στοιχεία επισήμανσης που στόχο έχουν να βελτιστοποιήσουν την οπτικοποίηση της πληροφορίας στο διαδίκτυο, με λεπτομερείς και κυρίως αναγνώσιμες από μηχανές υποσημειώσεις οι οποίες γεφυρώνουν τις δυο οπτικές της ιστοσελίδας, από τον άνθρωπο και τη μηχανή. [117] Καθορίζει νέα και εξειδικεύει ήδη υπάρχοντα HTML χαρακτηριστικά (attributes), ως μέρη αποθήκευσης ή αναγνώρισης υποκειμένων, αντικειμένων ή κατηγορημάτων αναμεμιγμένων με δεδομένα ενός XML ή HTML εγγράφων. [117] Κατά την προβολή μιας ιστοσελίδας, το υποβόσκον RDFa παραμένει κρυμμένο από τον χρήστη αλλά είναι χρήσιμο άπαξ και εξαχθεί. Η συμπληρωματική φύση του RDFa, το καθιστά άσφογο εργαλείο για το χειρισμό μεταδεδομένων σχετικών με το περιεχόμενο εγγράφων με αποτέλεσμα, εξάγοντας τριάδες από αυτά τα attributes, να διευκολύνεται η διαδικασία ερωτημάτων επί αυτών, μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών συλλογής δεδομένων που βασίζονται στην γλώσσα SPARQL. Αυτός είναι και ο λόγος επιλογής του για τη βελτιστοποίηση μηχανών αναζήτησης (search engine optimization - SEO) και για το schema.org σχήμα που ορισμένες σημαντικές μηχανές αναζήτησης προάγουν σήμερα. προς επίτευξη εμπλουτισμού των αποτελεσμάτων αναζήτησης τους.

Το να είναι ένας πόρος ψηφιακά προσβάσιμος δεν αποτελεί συνώνυμο του να είναι κατανοητός από μια μηχανή. Για παράδειγμα, το εξώφυλλο ενός δημοσιεύματος μπορεί να διαθέτει μια ψηφιακά διαθέσιμη φωτογραφία, αλλά η σημασία, ή καλύτερα, η σημασιολογία αυτής της φωτογραφίας είναι κάτι πέρα από κατανοητή. Ένας κωδικός barcode όμως είναι μια πληροφορία που μπορεί να καταναλωθεί από μια μηχανή, επιτρέποντας σε ένα πρόγραμμα να αναγνωρίσει το αντικείμενο και πιθανότατα να αποκτήσει πρόσβαση στο κόστος και κατόπιν στην αγορά του. Η χρήση του RDFa πίσω από μια ιστοσελίδα, υπηρετεί ισοδύναμο σκοπό με τον παραπάνω κωδικό. Επιτρέπει σε μια μηχανή αναζήτησης να αναγνωρίσει τη σημασία των ψηφιακών δεδομένων, καθιστώντας τα δομημένα. Το RDF σε χαρακτηριστικά (RDF in Attributes - RDFa) εν κατακλείδι, είναι μια γλώσσα, ένας μηχανισμός που επιτρέπει την έκφραση RDF δεδομένων εντός ενός εγγράφου HTML.

3.8.6 RDF Λεξιλόγια

Για κάθε έναν εκ των πόρων και των ιδιοτήτων, μπορεί να δημιουργηθεί ένα καινούριο URI εντός των τριάδων. Μολαταύτα με τη χρήση ήδη υπαρχόντων αναγνωριστικών, μέσω των οποίων η σύνδεση των δεδομένων με άλλα ήδη δημοσιευμένα στο διαδίκτυο οδηγεί στην αξιοποίηση παραπάνω δυνατοτήτων. Τέτοια παραδείγματα είναι η περίπτωση του FOAF ή του Dublin core παραπάνω. Αντίθετα όμως με την περίπτωση του Dublin core, το RDFS δεν προκαθορίζει ιδιότητες πληροφοριών αλλά ένα σύνολο μετα-ιδιοτήτων, οι οποίες μπορούν να αναπαραστήσουν παρασκηνακές υποθέσεις εντός οντολογιών. Είδαμε ήδη, πως τα RDF κατηγορήματα χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν ένα αντικείμενο με ένα άλλο. Συλλέγοντας ορισμένα εξ' αυτών σε ομάδες οι οποίες αποκαλούνται με τον όρο λεξιλόγια, επιτελείται ο ίδιος στόχος που προσφέρουν τα σχήματα σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων, που δεν είναι άλλος από την περιγραφή του τι αναπαριστούν τα δεδομένα. Τα λεξιλόγια αυτά των συνδεδεμένων δεδομένων ονοματίζονται όπως όλα μέσω της χρήσης των HTTP URIs με τις περιγραφές τους να είναι μετατρέψιμες σε αναπαραστάσεις στο διαδίκτυο, δηλαδή με άλλα λόγια να μεταφράζονται σε ένα αίτημα GET από το πρωτόκολλο HTTP προς ένα τερματικό που περιέχει τις ζητούμενες απαντήσεις. Προσφέρουν ορισμούς των όρων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των σχέσεων μεταξύ των στοιχείων δεδομένων. Αντίθετα με το σχήμα μιας σχεσιακής βάσης ωστόσο, τα RDF λεξιλόγια διαμοιράζονται διαμέσου του διαδικτύου, αναπτύσσονται από ανθρώπους ανά τον κόσμο, και συγκλίνουν σε μια κοινή πορεία χρήσης αποκλειστικά στα πλαίσια των ΣΔ και μονάχα εφόσον το επιλέξουν οι χρήστες τους. Η επαναχρησιμοποίηση τέτοιων λεξιλογίων διασφαλίζει πως, για τις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις, οι περισσότεροι άνθρωποι θα χρησιμοποιήσουν τα πιο συνήθη λεξιλόγια, Αυτό αποτελεί έναν άγραφο κανόνα, μια σύμβαση που πιθανότατα θα χρησίμευε ως μια επιπλέον πέμπτη αρχή στη δομή των ΣΔ.

Πιο αναλυτικά, το λεξιλόγιο μερικών εκ των βασικών όρων, που ορίζεται για την περιγραφή των πόρων είναι: [SS13]

rdfs:Resource	Η κλάση όλων των πόρων
rdfs:Class	Η κλάση όλων των κλάσεων
rdfs:Datatype	Η κλάση των RDF τύπων δεδομένων
rdfs:Container	Η κλάση των RDF συλλογών
rdfs:ContainerMembershipProperty	Η κλάση των ιδιοτήτων μέλους των συλλογών.
rdfs:member	Μέλος του σχετικού πόρου
rdfs:Property	Η κλάση όλων των ιδιοτήτων
rdfs:type	Η τύπος ενός πόρου, η κλάση στην οποία ανήκει
rdfs:subClassOf	Ορίζει μια υποκατηγορία κλάσης εντός μιας ή περισσότερων άλλων (υπερκλάσεων).
rdfs:subPropertyOf	Συσχετίζει μια ιδιότητα με μια εκ των υπερ-ιδιοτήτων της.
rdfs:domain	Καθορίζει το πεδίο ορισμού μιας ιδιότητας και δηλώνει ότι όλοι οι πόροι που την ενστερνίζονται, αποτελούν στιγμιότυπα των κλάσεων του πεδίου ορισμού.
rdfs:range	Καθορίζει το σύνολο τιμών μιας ιδιότητας P και δηλώνει ότι οι τιμές της ιδιότητας P είναι στιγμιότυπα των κλάσεων του συνόλου τιμών.
rdfs:seeAlso	Συνδέει ένα πόρο με ένα άλλο πόρο που τον περιγράφει
rdfs:isDefinedBy	Υπο-ιδιότητα της παραπάνω, η οποία συνδέει ένα πόρο με το σημείο ορισμού του, (συνήθως ένα RDF σχήμα).
rdfs:comment	Σχόλια σχετικά με κάποιο πόρο.
rdfs:label	Ετικέτα ενός κόμβου RDF που αντιστοιχεί σε έναν πόρο.

Άλλα λεξιλόγια που έχουν κατορθώσει να γίνουν αξιόπιστα μοντελοποιώντας άλλα συνηθισμένα αντικείμενα όπως προϊόντα προς πώληση, γεωγραφικές τοποθεσίες, βιβλιογραφικές πληροφορίες, πνευματικά δικαιώματα, κοινωνικά δίκτυα και διαδικτυακές κοινότητες ή/και συνδυασμούς ψηφιακών αντικειμένων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά, οι πιο συχνά συναντώντες τύποι λεξιλογίων μαζί με το προτιμώμενο σύντομο πρόθεμα τους, το URI του namespace στο οποίο αντιστοιχίζονται και ο σκοπός τους.

ONOMA	ΠΡΟΘΕΜΑ	NAMESPACE URI	ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ
Airport Ontology	air:	http://www.daml.org/2001/10/html/airport-ont#	Κοντινότερα αεροδρόμια
BIBO	bibo:	http://purl.org/ontology/bibo/	Βιβλιογραφίες
Bio	bio:	http://purl.org/vocab/bio/0.1/	Βιβλιογραφικές πληροφορίες
Creative Commons Rights Expression Language	cc:	http://creativecommons.org/ns#	Άδειες / Πνευματικά δικαιώματα
DOAP	doap:	http://usefulinc.com/ns/doap#	Projects
Dublin Core Elements	dc:	http://purl.org/dc/elements/1.1/	Δημοσιεύσεις
Dublin Core Terms	dct:	http://purl.org/dc/terms/	Δημοσιεύσεις
FOAF	foaf:	http://xmlns.com/foaf/0.1/	Ανθρώπους
Geo	pos:	http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#	Γεωγραφική θέση
GeoNames	gn:	http://www.geonames.org/ontology#	Ονόματα τοποθεσιών
Good Relations	gr:	http://purl.org/goodrelations/v1#	Προϊόντα
Object Reuse and Exchange	ore:	http://www.openarchives.org/ore/terms/	Χάρτες πόρων
RDF	rdf:	http://www.w3.org/1999/02/22-rdfsyntax-ns#	Κεντρικό πλαίσιο εργασίας
RDFS	rdfs:	http://www.w3.org/2000/01/rdfs-schema#	RDF λεξιλόγια
SIOC	sioc:	http://rdfs.org/sioc/ns#	Online Κοινότητες
SKOS	skos:	http://www.w3.org/2004/02/skos/core#	Ελεγχόμενα λεξιλόγια
vCard	vcard:	http://www.w3.org/2006/vcard/ns#	Επαγγελματικές κάρτες
VoID	void:	http://rdfs.org/ns/void#	Λεξιλόγια
Web Ontology Language (OWL)	owl:	http://www.w3.org/2002/07/owl#	Οντολογίες
WordNet	wn:	http://xmlns.com/wordnet/1.6/	Αγγλικές λέξεις
XML Schema Datatypes	xsd:	http://www.w3.org/2001/XMLSchema#	Τύπους Δεδομένων

Πίνακας 1: Τύποι Λεξιλογίων

Τα λεξιλόγια αυτά δημιουργούνται ανεξάρτητα, ενώ κοινότητες χρηστών διατηρούν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης λεξιλογίων άλλων ομάδων είτε μέσα από διαδικασίες επέκτασης ή επεξεργασίας τους είτε πιο σπάνια μέσα από αυτούσια υιοθέτηση/ενσωμάτωσή τους, σύμφωνα με τις ανάγκες τους.

Εν κατακλείδι, τα παραπάνω εργαλεία του προτύπου RDF και της επέκτασής του συνθέτουν την εικόνα μιας βασικής και απλής γλώσσας αναπαράστασης γνώσης, μέσα από την αξιοποίηση της οποίας μπορούν να οριστούν και να κατασκευαστούν οντολογίες.

3.8.7 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα RDF

Το RDF μοντέλο δεν δύναται αυτόνομα να ορίσει νέα δεδομένα παρά μόνο να κάνει αναφορά σε εξωτερικά ορισμένους τύπους δεδομένων μέσω της ευχέρειας των URI αναγνωριστικών.

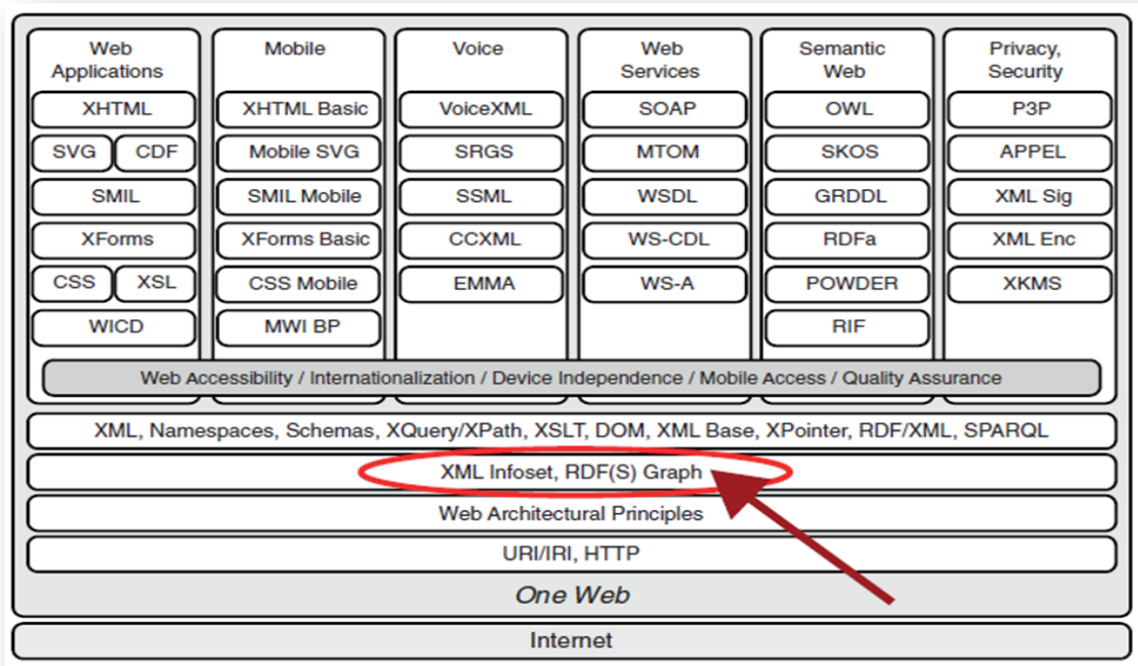
Παρ' όλα αυτά όμως, βάσει της ιεραρχικής δομής του υπό μελέτη προτύπου, οι συσχετίσεις μεταξύ των αναπαριστώμενων κωδικοποιημένων πληροφοριών κάθε κόμβου, καθίστανται εν γένει μια απλή και εύκολη διαδικασία. Η κατασκευή της λοιπόν με άλλα λόγια, ευνοεί μηχανισμούς συνεπαγωγής, λειτουργίας συνυφασμένης με την αυτοματοποίηση της "σκέψης" και της δράσης των μηχανών.

Μιλώντας χωρίς αυστηρότητα, ένας RDF γράφος A συνεπάγεται μια RDF πρόταση B, όταν τα αντικείμενα ή έννοιες που ικανοποιούν το A ικανοποιούν και το B επίσης. Μέσα από τη διαδικασία αυτή της συνεπαγωγής εντέλει, ευνοείται η εξαγωγή νέας γνώσης και ο εμπλουτισμός μιας οντολογίας που περιγράφει ένα σαφώς δηλωμένο πεδίο γνώσης οδηγώντας τη γνώση ένα σκαλί παραπάνω στην πυραμίδα προς την ευφυΐα. Εντούτοις, οι δυνατότητες έκφρασης του RDF σχήματος για σύνθετες περιπτώσεις γνώσης, είναι αρκετά περιορισμένες. Για την επαρκή οικοδόμηση ενός ικανότερου μοντέλου, δημιουργήθηκαν εκφραστικές γλώσσες βασισμένες σε τυπική λογική όπως η OWL, [106] οι οποίες ευνοούν διεργασίες συλλογισμού (reasoning) εξάγοντας γνώση που υπονοείται από τα κατηγορηματικώς εκπεφρασμένα γεγονότα.

Όπως φάνηκε και από τους περιορισμούς του RDF Schema, μια γλώσσα οντολογίας η οποία καλύπτει τα κενά του υπό μελέτη παρόντος προτύπου, είναι κάτι παραπάνω από απαραίτητη. Η σχεδίαση μιας τέτοιας γλώσσας απαιτεί έναν συγκεκριασμό εκφραστικότητας και αποτελεσματικής υποστήριξης λογικών διεργασιών συμπερασμού. Εν γένει, όσο πλουσιότερη η γλώσσα, τόσο λιγότερο αποτελεσματική είναι η συμπερασματολογία, περνώντας συχνά τα διακριτά σύνορα υπολογισιμότητας.

3.9 ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ RDF (RDF DATABASES)

Εν γένει, οι βάσεις δεδομένων κατηγοριοποιούνται σε δύο ευρείες κατηγορίες: σχεσιακές και NoSQL (όχι μόνο SQL). [WZR+13] Οι RDF βάσεις, είναι μια εκ των πολλών NoSQL τύπων βάσεων, και ο μόνος τύπος που βασίζεται σε μια διεθνή οικογένεια προτύπων, και που η σημασιολογική τους ερμηνεία δηλώνεται με φορμαλιστικό τρόπο. Όπως φαίνεται κι απ' το σχήμα, η RDF όντας μια εκ των τριών ορισμένων μοντέλων δεδομένων που υπόκειται όλων των W3C προτύπων, είναι μια ολοκληρωμένη συνιστώσα της τεχνολογίας που δίνει κίνηση στο υποβόσκον επίπεδο υποστήριξης του Σημασιολογικού Ιστού. Είναι οικοδομημένο σε πρότυπα εργαλεία κατώτερης βαθμίδας όπως HTTP και URIs. Όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο, το RDF είναι ένα γενικό μοντέλο δεδομένων, βασισμένο σε γράφους, μέσα απ' το οποίο, τα δεδομένα αναπαρίστανται σε μορφή τριάδων. Αυτές οι τριάδες είναι εγγραφές που εμπεριέχουν τρεις τιμές (υποκείμενο, κατηγορήμα, αντικείμενο) υπό τη μορφή (URI,URI,URI) ή (URI,URI, τιμή). Υπάρχουν δομές που μπορούν να αποθηκευτούν τέτοια δεδομένα, με την πιο απλή (κυρίως για τον άνθρωπο) να είναι αυτή των αρχείων Turtle δηλώσεων. Στο σύμπαν της RDF, τέτοια μεμονωμένα αρχεία μπορούν να ειωθούν ως μιας μορφής βάση δεδομένων, στην οποία μπορεί να διενεργηθούν ερωτήματα SPARQL και τα εξαχθέντα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς συγκέντρωση δεδομένων ή/και ως είσοδος σε άλλες εφαρμογές. Παρόλα αυτά, η εξερεύνηση μεγάλων αρχείων τριάδων μπορεί να γίνει μια ιδιαίτερα βραδεία διαδικασία.



Σχήμα 22: W3C πρότυπα δόμησης Σημασιολογικού Ιστού

Ένα σύστημα βάσης δεδομένων RDF οφείλει να πληροί ορισμένες προκλήσεις:

- οι τριάδες πρέπει να μοναδικώς αναγνωρίσιμες
- δοθέντος ενός υποκειμένου και ενός κατηγορήματος, οι αναζητήσεις πρέπει να είναι αποτελεσματικές και γρήγορα εκτελέσιμες.
- δοθέντος ενός κατηγορήματος και ενός αντικειμένου, οι αναζητήσεις πρέπει να είναι αποτελεσματικές και γρήγορα εκτελέσιμες.
- ο αναπαριστώμενος RDF γράφος δεδομένων πρέπει να αποθηκεύεται.

Εν γένει τα συστήματα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων (RDBMS) μπορούν να αποθηκεύσουν αποτελεσματικά, μεγάλες ποσότητες δεδομένων, ωστόσο όχι RDF φύσεως, καθώς η μετάφραση ενός SPARQL query σε SQL αποτελεί μια σημαντική πρόκληση. Γι' αυτό το λόγο οι RDF βάσεις δεδομένων λαμβάνουν μια άλλη μορφή ειδικού σκοπού, αυτή των αποθηκών τριάδων (triplestores). Ένα triplestore είναι ένα σύστημα διατήρησης RDF δεδομένων που επιτρέπει να τρέξουν SPARQL ερωτήματα επί αυτών. Πολλά εξ' αυτών των συστημάτων βασίζονται στην επαναχρησιμοποίηση και στην προσαρμογή καθιερωμένων τεχνικών προερχόμενων από τις σχεσιακές βάσεις δεδομένων.

Μια εκτενής ποικιλία triplestores είναι διαθέσιμη για κάθε εργασία, με κάποια εκ των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων να είναι τα εξής: [WZR+13]

4Store	http://www.4store.org/
Allegro-Graph	http://www.franz.com/agraph/allegrograph
BigData	http://www.bigdata.com/
Fuseki	http://jena.apache.org/documentation/serving_data/index.html
Mulgara	http://mulgara.org/
Oracle	http://www.oracle.com/technetwork/database/options/semantic-tech/index.html
OWLIM	http://www.ontotext.com/owlim
Redland RDF Library	http://librdf.org/
Sesame	http://www.openrdf.org/
StarDog	http://stardog.com/
Virtuoso	http://virtuoso.openlinksw.com/

Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος προς αξιοποίηση στα ΣΔ, οδηγείται από κριτήρια όπως στρατηγικές αποθήκευσης, το υποστηριζόμενο μέγεθος των ικανοποιούμενων δεδομένων, καθώς και οι σχετικές

συχνότητες πρόσβασης και ενημέρωσης επί αυτών. Μια αξιόπιστη στρατηγική αποθήκευσης διασφαλίζει την διατήρηση, την ακεραιότητα και την συνέπεια των δεδομένων. Πρόσθετα κριτήρια περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις υλικού και λογισμικού, το κόστος, την υποστήριξη από την SPARQL, την ικανότητα ενσωμάτωσης τους σε άλλο υπάρχον σύστημα, τη δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας, καθώς και τα επίπεδα ασφάλειας.

3.9.1 Διαφορές RDF βάσεων δεδομένων με κλασσικά RDBMS

Οι σχεσιακές βάσεις δεδομένων ακολουθούν το κάτωθεν μοντέλο χαρακτηριστικών: [WZR+13]

- Ατομικότητα (atomicity) στις δραστηριότητες διασφαλίζει ότι αν οποιαδήποτε συναλλαγή σε κάποια πολυεπίπεδη διαδικασία αποτύχει, όλες οι άμεσα σχετιζόμενες δραστηριότητες ανακόπτονται και η βάση παραμένει αμετάβλητη.
- Συνέπεια κάθε δραστηριότητας συναλλαγής: σημαίνει ότι κανένα στοιχείο μιας ατομικής συναλλαγής με την βάση, δε θα παραβιάσει τους κανόνες της βάσης. Κάθε συναλλαγή που παραβιάζει έναν κανόνα, καταλήγει σε αποτυχία και η βάση δεδομένων παραμένει αμετάβλητη.
- Απομόνωση μεταξύ πολλών συναλλαγών: σημαίνει ότι η συναλλαγή συμβαίνει και ολοκληρώνεται σειριακά.
- Ανθεκτικότητα: διασφάλιση διατήρησης μιας επιτυχούς συναλλαγής με τη βάση, μέσα από τη χρήση αντιγράφων ασφαλείας ή εγγραφών των συναλλαγών (transaction logs)

Αντίθετα οι NoSQL βάσεις, στις οποίες εμπεριέχονται οι RDF databases, ευνοούν ένα πιο χαλαρό μοντέλο με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Βασική διαθεσιμότητα των δεδομένων, ακόμη και εν μέσω γεγονότων πολλαπλών αποτυχιών. Οι NoSQL βάσεις διανείμουν τα δεδομένα διαμέσου πολλών αποθηκευτικών συστημάτων με μεγάλο βαθμό αναπαραγωγής. Αν ένα τμήμα δεδομένων διαταραχθεί, τότε περιμένει ότι άλλα τμήματα θα γίνουν διαθέσιμα προκειμένου να αποφευχθεί μια ολοκληρωτική κατάρρευση λειτουργίας της βάσης.
- Χαλαρή κατάσταση, με την έννοια ότι η ευθύνη συνέπειας των δεδομένων αφήνεται στα χέρια του εκάστοτε προγραμματιστή-δημιουργού τους και δε συντηρείται από τη βάση.
- Συνέπεια γεγονότων: σημαίνει ότι κανένα NoSQL σύστημα δεν αναμένει αλλαγή δεδομένων σε μια συνεπή κατάσταση χωρίς εγγυήσεις του πότε θα συμβεί αυτό.

Σε επίπεδο περιγραφής σχήματος, τα δεδομένα εντός μιας βάσης δεδομένων συνήθως καταχωρούνται με τέτοια μορφή που απαιτείται προσθήκη επισημάνσεων για να κατανοηθεί το πλαίσιο συμφραζομένων που υποκρύπτουν. Τα δεδομένα ενδέχεται να βρίσκονται καταχωρημένα σε πίνακες, όπου τα ονόματα των στοιχείων καθενός πεδίου θα αναπαριστούν το σχήμα και πιθανώς να καθορίζονται από ένα λεξικό

δεδομένων. Η κατανόησή τους βασίζεται στην επιλογή ή όχι περιγραφικών ονομάτων από τους σχεδιαστές των βάσεων. Αντιθέτως, η χρήση μιας RDF database, εξυπακούεται ότι συνοδεύεται από μια ξεκάθαρη και μη-αμφίσημη παρουσίαση καθώς το δομημένο RDF πρότυπο δεν αφήνει περιθώρια αβεβαιότητας.

Σε περίπτωση που δεδομένα που αφορούν στο ίδιο αντικείμενο αλλά σε διαφορετικές πλευρές ή χαρακτηριστικά του, υπήρχαν αποθηκευμένα εντός δύο ή περισσότερων βάσεων, η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους -προκειμένου να συσταθεί μια ενιαία απεικόνιση συνδυασμού τους υπό μια κοινή μορφή- θα ήταν αδύνατη. Ενώνοντας τους πίνακες που περιέχονται σε κάθε μια βάση και αφορούν στο ίδιο αντικείμενο θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί ταυτόχρονα μια κατανοητή εικόνα του ζητούμενου. Οι δυο αυτοί πίνακες (ή και παραπάνω) είναι απίθανο να μοιράζονται τα ίδια πρωτεύοντα κλειδιά, μεταδεδομένα ή/και αναγνωριστικά, ενώ τα ατομικά συστήματα βάσης δεδομένων των διακομιστών τους είναι πιθανότατα ασύμβατα το ένα προς το άλλο. Συνεργασία μεταξύ τους, θα μεταφραζόταν σε από κοινού εργασία για το σχεδιασμό ενός κοινού μορφότυπου δεδομένων και κοινών αναγνωριστικών (ευθυγράμμιση λεξιλογίου). Η ανταλλαγή και ο διαμοιρασμός πληροφοριών αυτής της μορφής, δια μέσου ασύμβατων και ανεξάρτητα σχεδιασμένων συστημάτων δεδομένων απαιτεί χρόνο, πρόσθετο κόστος καθώς και ανθρώπινη παρέμβαση για την παροχή και προσθήκη ερμηνείας συμφραζομένων των διαφορετικών συνόλων.

Η τελευταία διαφορά αφορά στην εξάλειψη της ανάγκης κατασκευής αποθηκών γεγονότων. Παραδοσιακά, ο συνδυασμός πόρων από πολλαπλές βάσεις, απαιτούσε την κατασκευή τέτοιων κεντρικών αποθηκών, όπου συγκεντρώνονταν δεδομένα από ποικίλα συστήματα, εφαρμογές κι άλλες πηγές μέσα από χρονοβόρες και κοστοβόρες διαδικασίες. Ένα μεγάλο κομμάτι αυτών των διαδικασιών αφορά σε λειτουργίες εξαγωγής, μετασχηματισμού και αποθήκευσης των δεδομένων. Τέτοιες αποθήκες, καθίστανται περιττές όταν οι βάσεις αφορούν σε RDF δεδομένα. Ανάλογες διαδικασίες ενσωμάτωσης πολλαπλών πηγών δεδομένων στους κόλπους των Συνδεδεμένων δεδομένων, διευκολύνεται από μηχανισμούς όπως: [WZR+13]

- χρήση των ίδιων URIs για την ονοματοδοσία πόρων όποτε είναι εφικτό
- επαναχρησιμοποίηση κοινών λεξιλογίων όποτε είναι εφικτό
- χρήση του owl:sameAs για την κατάδειξη ισοδυναμίας ή απολύτου ταύτισης ενός συγκεκριμένου πόρου με κάποιον άλλο.

3.9.2 Πλεονεκτήματα RDF βάσεων δεδομένων (triplestores)

- Πρόσβαση: Χρήση ενός ισχυρού προτύπου γλώσσας ερωτημάτων (SPARQL) επί των συνδεδεμένων δεδομένων, επενεργώντας σε αυτά με πιο φυσικό και ικανό τρόπο εν συγκρίσει με την SQL. Η

SPARQL δύναται να εκτελέσει διαμοιρασμένα ερωτήματα προς πολλαπλούς στόχους (μέσα από τη χρήση των προτάσεων FROM, FROM NAMED) κάτι που το SQL πρότυπο δεν υποστηρίζει.

- Πρότυπα μορφότυπα παρουσίασης παρέχουν τη δυνατότητα εισαγωγής/εξαγωγής δεδομένων εργαζόμενοι σε συνεργασία μεταξύ τους
- Φορητότητα των δεδομένων καθώς διευκολύνουν τη μεταπήδηση από μια λύση αποθήκευσης σε μια άλλη, ή την χρήση πολλαπλών διαφορετικών λύσεων ταυτόχρονα.
- Αποφυγή αποκλεισμού δεδομένων, υπό την έννοια ότι αν μια λύση X (όπου λύση είναι μια πιθανή προς πρόσβαση ΒΔ) δεν είναι διαθέσιμη, είναι δυνατή η μεταπήδηση σε μία δεύτερη ή τρίτη χωρίς την ανάγκη κανενός μετασχηματισμού των δεδομένων.
- Αποτελεσματικότητα: Ο κώδικας που βασίζεται σε RDF δεν χρήζει τροποποιήσεων σε περίπτωση μεταπήδησης σε διαφορετικό πρόγραμμα βάσης. Με αυτό τον τρόπο, οι βάσεις αυτές καθίστανται εύκολες και γρήγορες όσον αφορά στην πρόσβαση και στην διαχείριση, εν συγκρίσει με άλλους μηχανισμούς.

3.10 ΣΥΛΛΟΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATASETS)

Μία *database* συνήθως εννοείται μια οργανωμένη συλλογή συσχετιζόμενων δεδομένων, η οποία ελέγχεται από ένα ενσωματωμένο σύστημα διαχείρισης, μορφής λογισμικού που μεταξύ άλλων, ρυθμίζει την πρόσβαση πολλών χρηστών σ' αυτήν. [EN10] Αποτελούν μια συλλογή εγγράφων κειμένου στην ουσία, επεξεργασμένων με γλώσσες προγραμματισμού τύπου awk και Python, η οποία διατηρείται για συγκεκριμένο σκοπό και αναπαριστώντας φορμαλιστικά μια άποψη του πραγματικού κόσμου.

Με τον όρο *dataset* αντίθετα αναφερόμαστε σε δεδομένα, επιλεγμένα και αρχειοθετημένα σε σειρές και στήλες, διαθέσιμα προς επεξεργασία από στατιστικά λογισμικά πακέτα. Αυτά τα δεδομένα ενδέχεται να προκύπτουν/συλλέγονται μέσα από μια *database*, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο. Πρόκειται ουσιαστικά για μία συλλογή σχετιζόμενων δημοσιευμένων, διατηρημένων ή συγκεντρωμένων δεδομένων από έναν μοναδικό πάροχο. Συνήθως, είναι διαθέσιμα υπό την RDF μορφή και προσβάσιμα μέσα από HTTP URIs ή/και SPARQL endpoints.

Το αρνητικό των βάσεων δεδομένων που προϋπήρχαν αυτών των δεξαμενών πληροφοριών είναι, ότι η γνώση που διατηρείται σ' αυτές είναι ιδιωτική και συνεπώς αποκομμένη απ' τον υπόλοιπο κόσμο. Ταυτόχρονα οι περισσότερες καλύπτουν συγκεκριμένα πεδία γνώσης, ενώ σύνηθες γνώρισμά τους είναι ότι δημιουργήθηκαν από σχετικά μικρές ομάδες πχ εργαστήρια, επιχειρήσεις κλπ. Συστήνουν έναν τρόπο μονοσήμαντης απεικόνισης των οντοτήτων του πραγματικού κόσμου, των συγκεκριμένων γνωρισμάτων που τα περιγράφουν και που απλώνονται σε διάφορα πεδία ορισμού καθώς και των συσχετίσεων μεταξύ

τους, μη μπορώντας όπως είδαμε, να συνδεθούν εύκολα με άλλες που καλύπτουν άλλες πλευρές απεικόνισης των οντοτήτων αυτών.

Μια από τις βασικές αρχές των ΣΔ είναι όπως είδαμε η χρήση των HTTP URIs προκειμένου κάθε αναφορά σε έναν πόρο καθώς και ο ορισμός του, να είναι απεικονίσιμα στο διαδίκτυο χωρίς αμφιλογία. Κάνοντας χρήση λεξιλογίων όπως "Περιγραφή ενός έργου" (Description of a Project - DOAP) για την περιγραφή έργων λογισμικού, "Λεξιλόγιο διασυνδεδεμένων Συλλογών Δεδομένων (Vocabulary of Interlinked Datasets (VoID) για την περιγραφή datasets καθώς και χαρτών ιστοτόπων (sitemaps) για την περιγραφή των ιστοσελίδων, υποστηρίζονται οι αρχές των ΣΔ και διευκολύνεται η σύνδεση σε άλλες συλλογές και η δημοσίευση των δεδομένων στο σύννεφο ανοιχτών ΣΔ (LOD cloud). [WZR+13] Η δημοσίευση των δεδομένων είναι μια εξίσου απλή διαδικασία όπως η αποθήκευσή τους σε έναν δημόσια προσβάσιμο διακομιστή, διασφαλίζοντας τον ορισμό των απαιτούμενων αδειών. Αν ο δημιουργός τους κρίνει ως επιθυμητό ή απαραίτητο, η εκάστοτε συλλογή μπορεί να δημοσιευθεί στο LOD σύννεφο και να καταγραφεί στο Data Hub, ζητώντας εξερχόμενους συνδέσμους από την DBpedia προς τη συλλογή. Καθιστώντας τη συλλογή εμφανή και αναζητήσιμη μέσω της διασύνδεσης και της καταγραφής της στο σύννεφο, διευκολύνεται ο διαμοιρασμός των δεδομένων με τρίτους.

Οι δημιουργοί δεδομένων δείχνουν σημαντικά αυξανόμενο ενδιαφέρον όσον αφορά το να καταστήσουν το περιεχόμενο της εργασίας τους αναζητήσιμο, διασυνδέσιμο και ευκολότερο στη διάθεση του για συγκέντρωση και αναπαραγωγή από τρίτους. Τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και οι μηχανές αναζήτησης επιθυμούν να εκθέσουν τα περιεχόμενά τους στους χρήστες σε μια πλούσια και ελκυστική μορφή. Οι χρήστες από την άλλη χρειάζεται να γνωρίζουν τα περιεχόμενα μιας συλλογής, που τοποθετείται, ποια λεξιλόγια αξιοποιεί και τις άλλες συλλογές στις οποίες αναφέρεται. Αυτά τα μεταδεδομένα οφείλουν να παρέχουν σαφή πληροφορία δικαιωμάτων χρήσης, έτσι ώστε οι χρήστες να καθορίζουν τον τρόπο χρήσης τους, και τον τρόπο απόδοσης αναφοράς σε αυτή. Το λεξιλόγιο των διασυνδεδεμένων συλλογών δεδομένων, έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει αυτές τις ανάγκες, και την δημοσίευση ενός VoID αρχείου σχετικά με την εκάστοτε συλλογή, διευκολύνοντας τη χρήση της από τρίτους.

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, η άτακτα κατανεμημένη γνώση επί παντός επιστητού που είναι άμεσα διαθέσιμη στο διαδίκτυο προς ελεύθερη εκμετάλλευση και επαναχρησιμοποίηση από τους χρήστες, μετά την εμφάνιση του σημασιολογικού ιστού, συγκεντρώνεται σε αποθήκες σχετικών δεδομένων, τα datasets. Η ραγδαία ανάπτυξη του Web of Data είχε ως επακόλουθο γεγονός να γίνουν διαθέσιμες ευρέως πολλές τέτοιες συλλογές δεδομένων όπως DBpedia, MusicBrainz, Siren, YAGO, Freebase, PostgreSQL, QALL-ME. Παραδείγματα και οντολογικά αντικείμενα εκπερασμένα σε τυποποιημένη μορφή RDF και OWL, δηλαδή τριπλών SPO facts, είναι αυτά που συνθέτουν το περιεχόμενο τέτοιων συλλογών. Κάθε fact απαρτίζεται από τρία σημασιολογικά αντικείμενα καθένα εκ

των οποίων είναι μια οντότητα, μια κλάση ή μια ιδιότητα/σχέση μεταξύ άλλων αντικειμένων. Ορισμένες από τις προαναφερθείσες συλλογές περιέχουν εκατομμύρια διασυνδεδεμένων τέτοιων facts.

Το VoID εισήχθη το 2009, ως ένα RDFS λεξιλόγιο για την έκφραση μεταδεδομένων σχετικά με RDF datasets. Σκοπός του είναι να διατελεί ως γέφυρα μεταξύ των δημιουργών και των χρηστών των RDF δεδομένων, μέσω εφαρμογών που καλύπτουν περιοχές από ανακάλυψη δεδομένων μέχρι κατηγοριοποίησης και αρχειοθέτησης συλλογών. Περιέχει όρους που διευκολύνουν την έκφραση γενικών και δομικών μεταδεδομένων, και μεταδεδομένων πρόσβασης ή/και συνδέσμων μεταξύ συλλογών.

Τα γενικά μεταδεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως έναν τίτλο, ονόματα του δημιουργού-εκδότη, ημερομηνίες δημιουργίας ή τελευταίας τροποποίησης, και μια γενική περιγραφή του αντικειμένου μιας συλλογής. Τα μεταδεδομένα πρόσβασης, περιγράφουν τους τρόπους πρόσβασης στα RDF δεδομένα μέσω πρωτοκόλλων όπως τα RDF Data Dumps, τα SPARQL endpoints, και τα αντιστοιχίσια HTTP URIs. Τα δομικά μεταδεδομένα παρέχουν πληροφορία υψηλού επιπέδου, σχετικά με το σχήμα και την εσωτερική δομή μιας συλλογής, ενώ μπορούν να γίνουν χρήσιμα κατά την εξερεύνηση και τη διενέργεια ερωτημάτων επί αυτών. Αυτά περιλαμβάνουν πληροφορία όπως τα λεξιλόγια χρήσης, στατιστικά σχετικά με το μέγεθος της συλλογής, και παραδείγματα τυπικών πόρων στη συλλογή. Αυτές οι πληροφορίες είναι ιδιαίτερες χρήσιμες σε εργασίες όπως τα ερωτήματα και η ενσωμάτωση των δεδομένων. [WZR+13]

Μια σημαντική συνιστώσα δυνατότητας εγκατάστασης διασύνδεσης μεταξύ των RDF datasets, είναι η χρήση της owl:sameAs. Αυτή η ιδιότητα διευκολύνει τις μηχανές να ενώνουν τις περιγραφές πόρων εφόσον αυτές συνδέονται σε μια τριάδα μέσω αυτής. Χρησιμοποιείται συχνά προς υποστήριξη της ενσωμάτωσης των ΣΔ διαμέσου αναγνωρισμένων πόρων αλλά και διαμοιρασμένων συλλογών δεδομένων. Διαδραματίζει καίριο ρόλο στην υποστήριξη των αρχών των ΣΔ όπως αυτά δηλώθηκαν από τον Tim Berners-Lee, προκειμένου να προαχθεί η ανακάλυψη σχετικών δεδομένων. Τέλος, παρέχει μια εναλλακτικό τρόπο, σε σχέση με το rdfs:seeAlso για την αναφορά σε έναν άλλο εξωτερικό, ισοδύναμο πόρο. Ο αριθμός των δημοσιευμένων datasets στο LOD σύννεφο αναπτύσσεται ιλιγγιωδώς από την αρχική σύλληψή του πριν περίπου μια δεκαετία. Σήμερα περιλαμβάνει παραπάνω από 31 δισεκατομμύρια τριάδες, οργανωμένες σε παραπάνω από 5000 συλλογές, με τον αριθμό να αυξάνεται καθημερινώς. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει μια σύνοψη ορισμένων εκ των πιο επικρατέστερων συλλογών όπως αναγνωρίστηκαν από το DataHub.io:

Biportal	http://datahub.io/group/biportal
Canadian, citizen-led effort to promote open data	http://www.datadotgc.ca/
Economics	http://datahub.io/group/economics
Linking Open Data cloud	http://datahub.io/group/locloud

3.11 ΓΛΩΣΣΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ SPARQL

Κατά τη ρήση του διευθυντή του W3C και εμπνευστή του διαδικτύου Tim Berners-Lee, "Το να προσπαθείς να χρησιμοποιήσεις το σημασιολογικό ιστό χωρίς τη SPARQL, είναι σα να προσπαθείς να χειριστείς μία σχεσιακή βάση δεδομένων χωρίς την SQL." [Duc13] ,[98] Η SPARQL συνεπώς, δε σχεδιάστηκε για να αναζητά σχεσιακά δεδομένα αλλά αντίθετα, αναζητά δεδομένα σύμμορφα του RDF μοντέλου δεδομένων κάτι που μας επιτρέπει να της προσδώσουμε, μη αυστηρά, τον χαρακτηρισμό της ισοδύναμης SQL στον σημασιολογικό ιστό των συνδεδεμένων δεδομένων.

Η SPARQL (αναλυτικότερα SPARQL - Protocol and RDF Query Language) [96] όπως αποκαλύπτει και το όνομά της, αποτελεί μια εκφραστική γλώσσα ερωτημάτων αναζήτησης, επί δομημένης σε μορφή RDF γράφων πληροφορίας. Με άλλα λόγια η SPARQL αφενός είναι μια γλώσσα αποτελούμενη από ερωτήματα σημασιολογικής μορφής που απευθύνονται σε βάσεις δεδομένων και αφετέρου έχει την ικανότητα ανάκτησης, διαχείρισης και παρουσίασης δεδομένων αποθηκευμένων σε μορφή RDF. [HS05]

Η RDF λύση, παρέχει σπουδαίους τρόπους μοντελοποίησης και αποθήκευσης δεδομένων ενώ η δομή των Linked Data προσφέρει τόνους από αυτά. Όπως κατεδείχθη όμως από τον "κόσμο" των σχεσιακών βάσεων δεδομένων και της XML, μια ξεκάθαρη γλώσσα ερωτημάτων, η οποία δεν απαιτεί καμία μεταγλώττιση για να τρέξει, καθιστά ευκολότερη υπόθεση για τον ανθρώπινο παράγοντα την εκμετάλλευση της για την ταχύτερη σύνταξη όλο και περισσότερων εφαρμογών. Στα πλαίσια αυτά, η SPARQL έχοντας αναδειχθεί το 1999 μεταξύ άλλων ανάλογων γλωσσών, προτυποποιήθηκε από το RDF Data Working Group (DAWG) στα πλαίσια της κοινοπραξίας του W3C (World Wide Web Consortium) από το 2008 και πλέον κρίνεται ως ένα εκ των βασικότερων κομματιών του Σημασιολογικού Ιστού. [Duc13]

Αποτελεί έναν τρόπο εκμαίευσης δεδομένων από δημόσιες ή ιδιωτικής προσβάσεως αναπτυσσόμενες συλλογές, ανεξαρτήτως αν τα εν λόγω δεδομένα είναι μέρος ενός έργου του σημασιολογικού ιστού ή η ενσωμάτωση δύο αποθηκευτικών βάσεων δεδομένων σε δυο διαφορετικές πλατφόρμες. Το κομμάτι του "πρωτοκόλλου" στο όνομα της γλώσσας, αναφέρεται στους κανόνες που ακολουθούνται από το εκάστοτε πρόγραμμα πελάτη και έναν server επεξεργασίας και ανταλλαγής SPARQL ερωτημάτων και αποτελεσμάτων.

Το RDF όπως εκτενώς παρουσιάστηκε προηγουμένως δεν αποτελεί μορφότυπο αλλά μοντέλο δεδομένων με μια ευρεία γκάμα συντακτικών επιλογών για την αποθήκευση αρχείων δεδομένων. Στο εν λόγω μοντέλο, εκφράζονται γεγονότα μέσω τριμερών δηλώσεων γνωστών και ως τριάδων/τριπλετών. Τα ερωτήματα συνεπώς προκειμένου να εγκατασταθεί μια συμμόρφωση προς αυτά, αποτελούνται από σύνολα μοτίβων τριάδων - τριπλετών (triple patterns) τα οποία υιοθετούν κι αυτά σκοπίμως, τη μορφή «υποκείμενο-κατηγορούμενο-αντικείμενο» (spo: subject-predicate-object), ή/και από συζεύξεις ή

διαζεύξεις τέτοιων, ακριβώς όμοια με το RDF πρότυπο, σχηματίζοντας έναν γράφο. Ένα SPARQL query τυπικά αναζητεί τα κομμάτια εκείνα της πληροφορίας από ένα υποσύνολο δεδομένων το οποίο πληροί τις εκάστοτε συνθήκες αναζήτησης. Αυτές οι συνθήκες είναι που εκφράζονται ουσιαστικά με τα μοτίβα τριπλέτων. Ουσιαστικά πρόκειται για μια τριάδα που υπακούει στη μορφή *rdf* με τη διαφορά ότι κάποια εκ των τριών μερών παίρνουν τη μορφή μεταβλητής προκειμένου να συμπληρωθούν κατά τη διάρκεια της αναζήτησης με τη διενέργεια του ερωτήματος, σχηματίζοντας όλους τους δυνατούς ισοδύναμους γράφους.

Επιχειρώντας έναν παραλληλισμό με την SQL μπορούμε να δούμε τα δεδομένα RDF - με όρους σχεσιακής βάσης δεδομένων SQL - σαν ένα πίνακα που διαθέτει τρεις στήλες και συγκεκριμένα τη στήλη των υποκειμένων, τη στήλη των κατηγορούμενων και τη στήλη των αντικειμένων. [HS05] Αντίθετα με την SQL όμως, η SPARQL δεν περιορίζεται στην διενέργεια ερωτημάτων επί μίας μόνο πηγής δεδομένων. Πολλαπλά αρχεία, διαδικτυακοί πόροι, βάσεις δεδομένων ή/και συνδυασμοί των παραπάνω, είναι εφικτό να αποτελέσουν αντικείμενο αναζήτησης ερωτημάτων ακριβώς λόγω της μορφής γράφου που λαμβάνει η σύνδεση των RDF δεδομένων. Ένα παράδειγμα ερωτήματος μεταξύ δύο πόρων θα μπορούσε να αφορά σε πληροφορίες ενός ατόμου μέσω των λεξιλογίων προφίλ FOAF και Vcard, της εικονικής επαγγελματικής κάρτας ενός ατόμου μέσα από το συνδυασμό των οποίων μπορεί να εξαχθεί η πλήρης εικόνα ενός ατόμου..

Η SPARQL, προσφέρει ένα ολοκληρωμένο σύνολο αναλυτικών λειτουργιών ερωτημάτων, [96] όπως οι JOIN, SORT και AGGREGATE για δεδομένα που το διάγραμμα (schema) τους είναι εγγενές τμήμα αυτών των δεδομένων και δεν έχει ανάγκη ενός ξεχωριστού ορισμού. Παρ' όλα ταύτα όμως οι πληροφορίες του διαγράμματος (με άλλα λόγια η οντολογία) δίνονται συχνά εξωτερικά, έτσι ώστε να μπορούν να συνενωθούν χωρίς κίνδυνο ασαφειών διαφορετικά σύνολα δεδομένων.

3.11.1 Εξήγηση και επισκόπηση του μηχανισμού της γλώσσας

Τα ερωτήματα SPARQL μπορούν να πάρουν πολλές μορφές. Η πιο συχνή μορφή είναι ένα ερώτημα *select* μέσω του οποίου επιλέγεται πληροφορία βασισμένη σε περιορισμούς. Κάθε SPARQL *SELECT* ερώτημα οργανώνεται ως εξής:

1 PREFIX (προθέματα *Namespace*.)

2 SELECT (καθορίζεται το τι επιθυμείται να αναζητηθεί.)

3 FROM (Καθορισμός των συλλογών όπου θα αναζητηθούν τα αποτελέσματα)

4 WHERE {(Περιγραφή των κριτηρίων πάνω στα οποία θα βασιστεί η επιλογή. Η περιγραφή αυτή βρίσκεται υπό τη μορφή ενός ερωτήματος μοτίβου τριάδας)}

5 ORDER BY, LIMIT, κ.α. (τροποποιούν και επηρεάζουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.)

Τα ερωτήματα είναι δυνατό να διαμοιραστούν σε μια σειρά SPARQL endpoints. Αυτά τα SPARQL endpoints αποτελούν υπηρεσίες που από τη μια επιδέχονται ερωτήματα SPARQL και από την άλλη επιστρέφουν ως αποτέλεσμα γράφους, ενώ τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να υπολογιστούν και να συγκεντρωθούν. Προς αυτό το σκοπό ενυπάρχει στο ερώτημα μια πρόταση WHERE η οποία περιγράφει το βασικό/σταθερό μέρος του γράφου που πρέπει να ταυτίζεται η επιθυμούμενη απάντηση, αλλά και μια πρόταση SELECT η οποία καθορίζει το έτερο μεταβλητό μέρος για το οποίο θέλουμε να πάρουμε απαντήσεις. Τα αποτελέσματα που συγκεντρώνονται στο τέλος περιέχουν τους rdf όρους από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς υπογράφων του rdf συνόλου δεδομένων εντός του οποίου γίνεται το ερώτημα.

Για αν γίνει άμεσα κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας της γλώσσας και η σύνδεση της με την RDF μορφή των δεδομένων που παρουσιάστηκε παραπάνω, διατυπώνουμε σύντομη εφαρμογή της.

Ένα παράδειγμα δηλώσεων με χρήση των τριπλετών, [Duc13] είναι προτάσεις συμπλήρωσης ενός καταλόγου διευθύνσεων όπως "το τηλέφωνο της οικείας του Richard είναι (229) 276-5135" και " η διεύθυνση ηλεκτρονικής αλληλογραφίας της Cindy είναι cindym@gmail.com." **Έτσι ένα μικρό δείγμα αυτού σε σύνταξη turtle είναι το ακόλουθο:**

@prefix ab: <http://learningsparql.com/ns/addressbook#> .

ab:richard ab:homeTel "(229) 276-5135"

ab:richard ab:email "richard49@hotmail.com"

ab:cindy ab:homeTel "(245) 646-5488"

ab:cindy ab:email "cindym@gmail.com"

ab:craig ab:homeTel "(194) 966-1505"

ab:craig ab:email "craigellis@yahoo.com"

ab:craig ab:email "c.ellis@usairwaysgroup.com"

Παρατηρούμε πως κάθε μία όπως μια κανονική πρόταση τελειώνει με τελεία ενώ η συντόμευση "ab" αντιπροσωπεύει το URI του namespace στο οποίο ανήκει ο κάθε πόρος, μειώνοντας την έκταση των δηλώσεων.

Σε ένα ερώτημα μοτίβου τριπλέτας, μπορεί η μεταβλητή, δηλαδή το ζητούμενο μας, να είναι σε μία, δύο ή και όλες τις θέσεις του μοτίβου. Έστω ότι αναζητείται το Email της καταχώρησης Craig. Η μεταβλητή καταλαμβάνει την τρίτη θέση και κατά την εκτέλεση του ερωτήματος, συμπληρώνεται από εκείνες τις καταχωρημένες τιμές όπου τα 2 πρώτα στοιχεία ταυτίζονται με αυτά του ερωτήματος.

PREFIX ab: <http://learningsparql.com/ns/addressbook#>

SELECT ?craigEmail

WHERE

{ ab:craig ab:email ?craigEmail . }

ή απολύτως ισοδύναμα σε πλήρη ανάπτυξη των URIs

SELECT ?craigEmail

WHERE

{

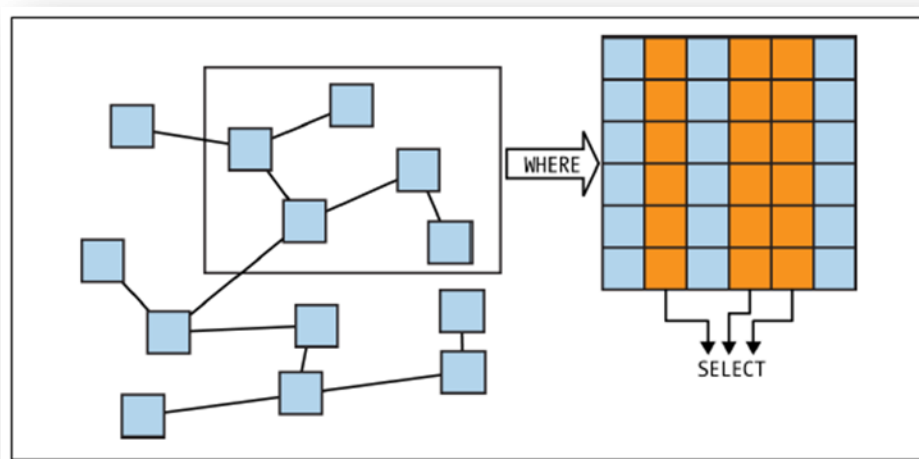
<http://learningsparql.com/ns/addressbook#craig>

<http://learningsparql.com/ns/addressbook#email>

?craigEmail .

}

Μέσω της πρότασης *WHERE*, όπως καταδεικνύεται παραστατικά και στην εικόνα, το ερώτημα "τραβά" τα κατάλληλα δεδομένα από τη συλλογή, εννοώντας εκείνα που όπως είπαμε παραπάνω ,ταιριάζουν τα 2 πρώτα μέρη της καταχωρημένης spo πρότασης με τα 2 πρώτα του μοτίβου τριπλέτας. Η φράση *SELECT* κατόπιν, αναλαμβάνει να επιλέξει εκείνα τα δεδομένα που μπορούν να συμπληρώσουν το μοτίβο.



Σχήμα 23: Λειτουργία WHERE & SELECT προτάσεων

Κατ' αντιστοιχία με τα πρότυπα του RDF, ένα σύνολο μοτίβων τριπλέτων συστήνουν μια ακόμη μεγαλύτερη δομή δεδομένων, ένα μοτίβο γράφου όπου οι τριάδες εργάζονται μαζί ως μονάδα. Όσο τα ερωτήματα γίνονται πιο σύνθετα, η τεχνική της χρήσης μεταβλητών για τη σύνδεση μοτίβων τριπλέτων γίνεται πιο συχνή πρακτική. Η δυνατότητα εντοπισμού συνδέσεων μεταξύ τριάδων από διαφορετικές πηγές, κατά την επεξεργασία ερωτημάτων είναι ένα από τα καλύτερα χαρακτηριστικά της SPARQL.

Για τη διεξαγωγή δημόσια διαθέσιμων πηγών δεδομένων, δεν απαιτείται να καταφύγει κανείς σε κάποιο ειδικό λογισμικό, καθώς αυτές οι συλλογές δεδομένων γίνονται προσβάσιμα μέσω SPARQL endpoints, εφαρμογών ιστού που δέχεται queries σε SPARQL γλώσσα. Το πιο διαδεδομένο endpoint δεν είναι άλλο από την DBpedia, μια συλλογή δεδομένων από τις παράπλευρες στήλες πληροφοριών στη δεξιά πλευρά των σελίδων της ηλεκτρονικής εγκυκλοπαίδειας Wikipedia. Όπως πολλά SPARQL endpoints, η DBpedia συμπεριλαμβάνει στους κόλπους της, μια φόρμα ιστού (SNORQL) μέσω της οποίας, ο εκάστοτε χρήστης μπορεί να εισάγει ερωτήματα και να εξερευνήσει τα αποτελέσματα.

Ένας εύκολος τρόπος κατάδειξης της ανωτερότητας του όλου εγχειρήματος των RDF δεδομένων και της SPARQL γλώσσας θα ήταν η επίτευξη αναζήτησης συμβολοσειράς ανάμεσα στα δεδομένα, ακριβώς όπως ακολουθείται ως διαδικασία σε μηχανισμούς αναζήτησης βασισμένους σε ταίριασμα λέξης κλειδιών. **Πχ. αναζήτηση email διευθύνσεων yahoo παίρνει τη μορφή:**

```
PREFIX ab: <http://learningsparql.com/ns/addressbook#>
```

```
SELECT *
```

```
WHERE
```

```
{
```

```
?s ?p ?o
```

```
FILTER (regex(?o, "yahoo", "i"))
```

```
}
```

Η γλώσσα ερωτημάτων SPARQL αφορά σε δεδομένα που ακολουθούν ένα συγκεκριμένο μοντέλο, αλλά ο σημασιολογικός ιστός δεν αφορά στη γλώσσα ερωτημάτων ούτε στο μοντέλο — αφορά στα δεδομένα. Η άνθιση στο μέγεθος των διαθέσιμων δεδομένων στο σημασιολογικό ιστό, ανοίγει νέους ορίζοντες για τη δημιουργία νέων σπουδαίων μορφών εφαρμογών. Ως ένα καλώς υλοποιημένο και ώριμα εφαρμόσιμο πρότυπο σχεδιασμένο στα χνάρια του ΣΙ, η SPARQL είναι ο βέλτιστος τρόπος λήψης των δεδομένων και αξιοποίησής τους σε εφαρμογές.

Τα URIs βοήθησαν στην επίλυση προβλημάτων διασύνδεσης και συνεπώς στη διευκόλυνση μια γλώσσας ερωτημάτων όπως η SPARQL να διατρέξει τα δεδομένα παρουσιάζοντας αποτελέσματα συναφή και πλήρη.

Όσο η γλώσσα επισήμανσης XML γινόταν πιο δημοφιλής, οι χειριστές της μπόρεσαν αξιοποιώντας την να συνδυάσουν συλλογές στοιχείων διαφορετικών περιοχών ενδιαφέροντος προς τη δημιουργία εξειδικευμένων εγγράφων. Αυτό οδήγησε σε μια δύσκολη ερώτηση, εκείνη της περίπτωσης διαχωρισμού δυο συνόλων επί διαφορετικών πεδίων, τα οποία χρησιμοποιούν τα ίδια ονόματα για δυο διαφορετικά αντικείμενα.

Για παράδειγμα αν θέλουμε να διατυπώσουμε την θέση πως ο "τίτλος" του Tim Berners-Lee στην W3C είναι αυτός του "διευθυντή" και ότι ο "τίτλος" του βιβλίου του από το 1999, είναι ο "Υφαίνοντας τον Ιστό", χρειάζεται διευκρίνιση του στοιχείου "τίτλος". Για την επίλυση αυτού το ζητήματος και την παροχή δυνατότητας αναφοράς σε όλα τα στοιχεία, η επιστήμη των υπολογιστών και η W3C κατ' επέκταση, εφηύρε τον όρο namespace για τον ορισμό της περιοχής εφαρμογής συγκεκριμένου σκοπού της εκάστοτε έννοιας όπως αυτή του "τίτλου" παραπάνω.

Προς αυτό το σκοπό βοηθούν και οι λύσεις του rdfs λεξιλογίου, και συγκεκριμένα των ιδιοτήτων rdfs:label και rdfs:comment, μέσω των οποίων είναι δυνατή μια διαδικασία εμπλουτισμού των εννοιών, συμπληρώνοντας μέσω των παραπάνω ιδιοτήτων τα μεταδεδομένα ήδη υπάρχοντων. Πιο αναλυτικά μέσω του rdfs:comment είναι δυνατή μια λεπτομερέστερη και εκτενέστερη περιγραφή χρήσης ενός πόρου ή μιας ιδιότητας, διευκολύνοντας την αξιοποίησή τους ακριβώς όπως η προσθήκη σχολίων στον πηγαίο κώδικα ενός προγράμματος μπορεί να βοηθήσει τους προγραμματιστές να κατανοήσουν τον τρόπο λειτουργίας ενός προγράμματος ώστε να το χρησιμοποιήσουν με τον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο. Αντίστοιχα, μέσω της ετικέτας rdfs, τα SPARQL ερωτήματα καθίστανται περισσότερο αναγνώσιμα συμπεριλαμβάνοντας αναπαραστάσεις φυσικής γλώσσας των πόρων αντί των URIs, ενώ παράλληλα μπορούν να διαχωριστούν έννοιες σε επίπεδο γεωγραφικό όπως σε θέματα διαλέκτου ή/και εκφράσεων συγκεκριμένου χαρακτήρα, **όπως παρακάτω όπου μέσω αυτής της ιδιότητας αναθέτεται σε κάθε έκφραση η γνώση της χώρας προέλευσης της:**

@prefix : <http://www.learningsparql.com/ns/demo#>

@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

:sideDish42 rdfs:label "french fries"@en-US

:sideDish42 rdfs:label "chips"@en-GB

:sideDish43 rdfs:label "chips"@en-US

:sideDish43 rdfs:label "crisps"@en-GB

ή ανατίθενται σε έναν πόρο πολλές διαφορετικές ονομασίες, διευκολύνοντας την επίλυση SPARQL ερωτημάτων, πχ. για την ονομασία μιας χώρας:

@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .

<http://dbpedia.org/resource/Switzerland> rdfs:label "Switzerland"@en,

"Suiza"@es, "Sveitsi"@fi, "Suisse"@fr .

Τέλος σημαντικό στοιχείο σύνδεσης των δεδομένων και συνεπώς διευκόλυνσης της διαδικασίας των queries, είναι τα FOAF αρχεία. Ένα τέτοιο αρχείο είναι ουσιαστικά μια RDF συλλογή προσωπικών στοιχείων που αφορούν ένα άτομο, όπως ο χώρος εργασίας, σπουδές, ή λίστα επαφών του. Ο πρωταρχικός στόχος του FOAF project ήταν να παρέχει τη βάση για ένα διαδεδωμένο κοινωνικής δικτύωσης σύστημα, βασισμένο στο RDF, αλλά το λεξιλόγιο του, αναγνωρίζει τόσο βασικά στοιχεία για τους ανθρώπους, ώστε η χρήση του είναι διευρυμένη πλέον πέραν των FOAF αρχείων.

Δηλώνοντας μια ιδιότητα ή ένας πόρος να έχει συγκεκριμένες σχέσεις με άλλες ιδιότητες και κλάσεις, επιτρέπεται σε επεξεργαστές, όπως σε μηχανές SPARQL να πράξουν πολλά περισσότερα με τις τιμές τους. Ακολουθώντας "μονοπάτια" ιδιοτήτων, ένα μικρό ερώτημα σε αυτές μπορεί να ανακαλέσει ένα δίκτυο συνδεδεμένων τριάδων δηλαδή δεδομένων. Ακόμη και κενοί κόμβοι που μακροσκοπικά φαντάζουν ανούσιοι ή πλεονάζοντες, μικροσκοπικώς έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν μαζί μεγάλες ομάδες τριάδων και να διευκολύνουν διαδικασίες απόδοσης απάντησης από μία SPARQL υπηρεσία.

Μια τυπική σχεσιακή βάση δεδομένων, θα είχε δυο ή περισσότερους πίνακες από εκατοντάδες ή χιλιάδες ακόμη σειρές δεδομένων που θα μπορούσαν να συνδεθούν με ένα SQL query, αλλά με την προϋπόθεση ότι οι εν λόγω πίνακες είναι ορισμένοι μαζί ως μέρος της ίδιας βάσης. Μια τεράστια δύναμη των RDF και SPARQL είναι ότι η παραπάνω συνδυαστική εργασία μπορεί να γίνει με συλλογές δεδομένων (datasets) διαφορετικών προελεύσεων, συναθροισμένων από ανθρώπους που πολύ πιθανόν αγνοούν τη δουλειά της άλλης πλευράς, αν και εφόσον υπάρχουν URIs πόρων σε μια συλλογή που θα μπορούσαν να ευθυγραμμιστούν με τα URIs μιας άλλης. Αυτός είναι και ο ουσιαστικότερος και πολυτιμότερος λόγος προώθησης προς τους προγραμματιστές του ΣΙ, της επαναχρησιμοποίησης ήδη υπάρχοντων διατυπωμένων και δημοσιευμένων URIs για την αναπαράσταση εννοιών όπως ανθρώπων, πραγμάτων, τοποθεσιών και σχέσεων εντός των δεδομένων τους.

Επιπροσθέτως, γνωρίζοντας ότι τα RDF σχήματα αλλά και οι OWL οντολογίες αποτελούν συλλογές τριάδων, εάν μια συλλογή δεδομένων ακολουθείται από μια οντολογία άμεσα συνδεδεμένη με αυτήν, εκτελώντας ερωτήματα ταυτόχρονα και στα δυο, μπορούμε να εξάγουμε περισσότερα δεδομένα.

3.11.1.1 *Τύποι Δεδομένων, Συναρτήσεις και ερωτήματα (Datatypes, Functions & Queries)*

Όπως ακροθιγώς αναφέρθηκε κατά την μελέτη του RDF, ιστορικά δεκαετίες πριν την εμφάνιση και την επικράτηση του Σημασιολογικού Ιστού, η καταγραφή σημασιολογικής πληροφορίας θύμιζε προγραμματιστική λογική και λάμβανε χώρα αποθηκεύοντας τα όποια δεδομένα, υπό τη μορφή συμβολοακολουθιών συνοδευόμενα από μεταδεδομένα που φανέρωναν τον τύπο τους. Γνωρίζοντας αυτό το μικρό κομμάτι πληροφορίας για ένα ακατέργαστο μέρος δεδομένων, ο χρήστης είχε μια εικόνα του πως θα έπρεπε να τα μεταχειριστεί κανείς ώστε να οικοδομηθούν περισσότερο αποτελεσματικά συστήματα. Οι βασικοί αυτοί και συνάμα πρωτόλειοι τύποι δεδομένων που έως και σήμερα υιοθετεί η SPARQL για την περιγραφή τους [Duc13] αφορούν σε απλή αναγνώριση αριθμητικών τύπων (ακέραιοι, δεκαδικοί, διπλής ακρίβειας, κινητής υποδιαστολής) λογικών τύπων (boolean) ,αλφαριθμητικών αλλά και ημερομηνίας-ώρας. Παράλληλα μέσω συναρτήσεων η γλώσσα SPARQL "δένει" τιμές σε νέα δεδομένα προσδίδοντας προγραμματιστική λογική σε σύντομες εκφράσεις. Συνηθέστερη επιλογή τέτοιων συναρτήσεων, είναι οι λογικές, μέσω των οποίων αναγνωρίζεται η ταυτότητα ενός κόμβου (κενός, λεκτικό, αλφαριθμητικός, IRI κλπ). Η χρήση των datatypes γίνεται ακόμη πιο απαραίτητη, καθώς ούτε η RDFS μήτε η OWL παρέχει έναν ξεκάθαρο τρόπο δήλωσης του τύπου μιας συγκεκριμένης ιδιότητας.

3.11.2 *Μορφές SPARQL ερωτημάτων*

Στις περιπτώσεις ερωτημάτων που αφορούν αναζήτηση δεδομένων από κάποιες βάσεις, η SPARQL καθορίζει 4 πιθανές εκδοχές ερωτημάτων καθεμία από τις οποίες εξυπηρετεί ένα διαφορετικό σκοπό όπως τη δημιουργία ενός απλού πίνακα τιμών για κάθε μεταβλητή όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, την κατασκευή ενός νέου γράφου ή την επιστροφή μιας boolean τιμής. [96]

Αναλυτικότερα έχουμε τις εξής παραλλαγές ερωτημάτων:

- **SELECT query:** Η χρήση της ενδείκνυται για την εξαγωγή διαφόρων ακατέργαστων τιμών από κάποιο SPARQL endpoint υπό μορφή πίνακα.
- **CONSTRUCT query:** Επιλέγεται στην περίπτωση εξόρυξης πληροφοριών από κάποιο SPARQL endpoint και καταλήγει στη μετατροπή των επιστρεφόμενων αποτελεσμάτων σε μορφή RDF. Η πρόταση αυτή επιστρέφει τριάδες. Μέσω των ερωτημάτων, ένας επεξεργαστής διατηρεί την επιλογή να τραβήξει τριάδες απευθείας από μια πηγή, είτε να τραβήξει μονάχα τιμές τις οποίες θα χρησιμοποιήσει για την οικοδόμηση νέων τριάδων.

- **ASK query:** Για κάποιο ερώτημα προς έναν επεξεργαστή που στόχο έχει να επιβεβαιώσει αν ένα δοθέν μοτίβο γράφου περιγράφει ένα σύνολο τριάδων σε κάποιο dataset. Δίνει ως επιστροφή ένα απλό αποτέλεσμα της μορφής "Αληθές/Ψευδές". Πιο απλά, ο στόχος ενός ASKερωτήματος, είναι να τεστάρει αν και εφόσον, τα μοτίβα τριάδων εντός της πρότασης WHERE θα επέστρεφαν μια απάντηση. Οι Where προτάσεις μπορούν να γίνουν ιδιαίτερες εκτενείς και πολύπλοκες, κάτι που καθιστά τη χρήση τους χρήσιμη για την εξέταση μεγάλων ερωτημάτων.
- **DESCRIBE query:** Είναι παράξενο το γεγονός ότι μόνο δυο από τα 4 αναφερόμενα είδη ερωτημάτων παραπάνω δεν είναι κι αυτά δηλώσεις RDF. Το ερώτημα DESCRIBE μετά από το CONSTRUCT, είναι μπορεί να συγκρατήσει ή να παράξει έναν γράφο από ένα SPARQL ερώτημα. Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που αναζητείται η εξαγωγή ενός RDF “γράφου” από κάποιο SPARQL τερματικό, ενώ παράλληλα για τα περιεχόμενα του αποφασίζει το endpoint εφόσον κρίνει ότι αυτά αποτελούν αξιοποιήσιμη πληροφορία. Απαιτεί μόνο ένα URI ως παράμετρο και επιστρέφει έναν γράφο περιγραφής του ονοματισμένου πόρου.

3.11.3 Βασικές Λειτουργίες της Γλώσσας

Κατά τη συγγραφή των ερωτημάτων, η γλώσσα SPARQL παρέχει μια σειρά από διαθέσιμες επιλογές εξόρυξης συγκεκριμένης μορφής πληροφοριών. Μεταξύ αυτών είναι οι: [96], [Duc13]

- **FILTER**, όπου εφαρμόζοντας την εν λόγω λέξη κλειδί σε έναν πόρο, τα αποτελέσματα περιορίζονται μέσω λογικών προτάσεων (boolean clauses) κατά ένα επιθυμητό σύνολο χαρακτηριστικών. πχ η συνθήκη FILTER NOT EXISTS επιστρέφει την τιμή "αληθής" αν και εφόσον ένα συγκεκριμένο μοτίβο γράφου δεν υπάρχει.
- **OPTIONAL**, μοτίβο γράφου το οποίο επιτρέπει μια χαλαρότητα στην εκτέλεση ερωτημάτων, όσον αφορά την ύπαρξη κάποιων αναζητούμενων πληροφοριών καθώς επιλέγεται διερευνητικά, σε περίπτωση άγνοιας των περιεχομένων ενός dataset. Αυτή η λέξη κλειδί είναι ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την εξερεύνηση μιας νέας, μη οικείας συλλογής δεδομένων. Εισάγοντας μοτίβα τριάδων εντός τομέων OPTIONAL, συλλέγονται τιμές αν και εφόσον συμπεριλαμβάνονται χωρίς να παρεμβαίνουν στην συλλογή σχετικών δεδομένων αν τελικά δεν υπάρχουν.
- **MINUS**, όπου μέσω αυτής της λέξης κλειδί εξαιρούνται από τα αποτελέσματα όσα δεν πληρούν μια επιθυμητή συνθήκη, σε κάποια από τις τρεις πιθανές θέσεις μιας τριάδας
- **DISTINCT**, για τον περιορισμό της έκθεσης πολλαπλών αντιγράφων στα επιστρεφόμενα αποτελέσματα. Ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο σε διαδικασίες εκτέλεσης βασικών αναγνωριστικών queries επί του περιεχομένου αγνώστου περιεχομένου datasets.

- **UNION**, επιτρέπει τον καθορισμό πολλαπλών διαφορετικών μοτίβων γράφων και κατόπιν να αναζητήσει έναν συνδυασμό όλων εκείνων των δεδομένων που ταιριάζουν σε κάποιο εξ' αυτών των μοτίβων.
- **LIMIT**, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να περιορίσει τον αριθμό των επιστρεφόμενων αποτελεσμάτων στο επιθυμητό πλήθος.
- **OFFSET**, όπως και πριν ο επεξεργαστής προτρέπεται να παραλείψει έναν ορισμένο πληθυσμό αποτελεσμάτων προτού επιλέξει να επιστρέψει τα εναπομείναντα. Συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το LIMIT ώστε να επιλεγθεί περιορισμένος αριθμός τριάδων από μια εκτενή συλλογή.
- **VALUES**, με την πρόταση αυτή δημιουργούνται πίνακες τιμών που προσδίδουν νέες δυνατότητες κατά το φιλτράρισμα αποτελεσμάτων queries.

3.11.4 Περαιτέρω λειτουργίες της γλώσσας

Πέραν των μορφών αναζήτησης δεδομένων που εκτελεί όμως η γλώσσα αλλά και των παραπάνω δυνατοτήτων φιλτραρίσματος και συνδυασμού συνθηκών αναζήτησης, περιορισμού των πλεοναζόντων αποτελεσμάτων, που προσφέρει η SPARQL, ενσωματώνει και άλλες λειτουργίες στις νεότερες εκδόσεις της, όπως εμφωλευμένα queries εντός άλλων subqueries μέσω των οποίων ένα σύνθετο ερώτημα μπορεί - ομοίως με τις γλώσσες προγραμματισμού- να σπάσει σε μικρότερα διαχειρίσιμα μέρη.

Ακόμη, αφού ένα SPARQL ερώτημα "τραβήξει" τιμές από μια συλλογή δεδομένων, μπορεί να τις χρησιμοποιήσει σε εκφράσεις που εκτελούν μαθηματικές και άλλες συναρτήσεις. Τέτοιες μπορεί να είναι διαδικασίες ταξινόμησης, αθροίσματος, υπολογισμού ακροτάτων ή μέσω των τιμών δεδομένων.

Επιπροσθέτως, η SPARQL 1.1 [Duc13] δίνει τη δυνατότητα κατάστρωσης ερωτημάτων προς μια οποιαδήποτε SPARQL υπηρεσία σε κάποιο απομακρυσμένο endpoint. Ενώ ένα τυπικό SPARQL query /subquery τραβά δεδομένα από μια τοπική συλλογή, με την προσθήκη της πρότασης SERVICE η SPARQL δύναται να αποστέλλει ερωτήματα προς οποιαδήποτε διαθέσιμη endpoint υπηρεσία ζητώντας αποτελέσματα τα οποία μπορούν να προσδώσουν μεγαλύτερη ευφυΐα στο σύστημα ή/και τις εφαρμογές μας. Μέσα από το εργαλείο αυτό είναι ικανή με ένα ερώτημα (query) να εξερευνηθούν ταυτόχρονα πολλαπλά datasets για την απόδοση απαντήσεων.

Η γλώσσα όμως αυτή, δεν έχει σα στόχο μονάχα τη διενέργεια ερωτημάτων και την απόδοση αποτελεσμάτων. Σημαντικές χρήσεις της SPARQL καλύπτουν επίσης χώρους όπως αυτούς της αντιγραφής, της τροποποίησης δεδομένων καθώς και μετατροπής της μορφής αυτών. Αφορούν σε περιπτώσεις όπου επιθυμείται μεταφορά τριάδων από μια συλλογή σε μια νέα, προκειμένου να συλλεχθούν από πολλαπλές πηγές, δεδομένα γύρω από ένα πεδίο, κάτω από μια ενιαία ομπρέλα. Με

αυτόν τον τρόπο, οι συναφείς εφαρμογές να μπορούν να εργαστούν απολαμβάνοντας ταχύτερη και εγκυρότερη εξυπηρέτηση επιστροφής αποτελεσμάτων. Κατόπιν εκτέλεσης ενός μοτίβου γράφου νέα προκύπτοντα στοιχεία - facts μπορούν μέσω της SPARQL να αποθηκευτούν ως νέα δεδομένα εντός των συλλογών (χρήση των προτάσεων INSERT/INSERT DATA, DELETE.DELETE DATA). Τέλος, αν μια εφαρμογή περιμένει τα δεδομένα να ταιριάζουν σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο, η SPARQL παρέχει τη δυνατότητα εύκολης μετατροπής, ενημέρωσης και προσαρμογής των δεδομένων σε νέας μορφής τριάδες, οδηγώντας σε νέες ευκαιρίες αφομοίωσης από άλλα δεδομένα και εφαρμογές.

Όσον αφορά το κομμάτι της εξόδου, [98] δηλαδή των επιστρεφόμενων αποτελεσμάτων, οι μηχανές SPARQL μπορούν συνήθως να επιστρέφουν απαντήσεις σε ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών συντάξεων. Οι επιλογές περιλαμβάνουν επιλογές για τον καθένα, από επαγγελματίες μηχανικούς υπολογιστών έως επιχειρηματικούς αναλυτές που χειρίζονται φύλλα excel. Οι συντάξεις είναι μέρος της SPARQL οικογένειας προτύπων, έτσι ώστε όταν αναπτύσσεται ένα ερώτημα προς επεξεργασία από μια συγκεκριμένη μηχανή ερωτημάτων, να μπορεί να αξιοποιηθεί από άλλες ισοδύναμα και εναλλακτικά. Οι κυριότερες εξ' αυτών είναι τα τρία μορφότυπα XML, JSON, CSV & TSV. Η πρώτη, ούσα η πιο δημοφιλής μορφή επιλέγεται συχνότερα καθώς μετατρέπεται ευκολότερα σε μια οικεία τεχνολογία, αυτή της HTML. Η XML είναι αυτό που ρέει συνηθέστερα μέσα από τα αυτοματοποιημένα συστήματα δημοσίευσης, και συνεπώς η δυνατότητα απόδοσης αποτελεσμάτων από ερωτήματα, απευθείας σε αυτή τη μορφή, καθιστά εύκολη υπόθεση την ενσωμάτωση της δύναμης τόσο της RDF τεχνολογίας όσο και των διασυνδεδεμένων δεδομένων σε αυτά τα συστήματα. Η JSON προτυποποιημένη μορφή από την άλλη, περιγράφει πώς οι SPARQL επεξεργαστές μπορούν να επιστρέφουν ένα αντικείμενο με χρήση της επισήμανσης JavaScript. Η τελευταίες δυο μορφές είναι συντακτικά σύντομες, με τη CSV να αναπαριστά όλες τις τιμές υπό τη μορφή συμβολοσειρών, καθιστώντας την εύχρηστη για μη-προγραμματιστές και την TSV η οποία εκμεταλλευόμενη την Turtle καθώς και συμβάσεις της SPARQL, συμπεριλαμβάνει επιπλέον μεταδεδομένα σχετικά με τις τιμές των αποτελεσμάτων.

3.11.5 SPARQL και συμπερασμός (inferencing)

Η εισαγωγή των RDF σχημάτων και των OWL οντολογιών, όπως εκτενώς παρουσιάστηκαν, προσέφεραν στο λογικό συμπερασμό νέας γνώσης από τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα, εμπλουτίζοντας τις εκάστοτε συλλογές. [97] Μολαταύτα, αν και ανοίγουν πολλές νέες ευκαιρίες εκμείωσης τιμών από δεδομένα, η SPARQL από μόνη της μπορεί να εκτελέσει τα απαραίτητα στάδια ταιριάσματος μοτίβων προκειμένου να συμπεράνει τις ζητούμενες νέες τριάδες μιας εφαρμογής. Κάτι τέτοιο προσδίδει μεγαλύτερη ευχέρεια και ευελιξία για την αρχιτεκτονική των εφαρμογών του σημασιολογικού ιστού, καθώς οι επιλογές

διαθέσιμων επεξεργαστών που κατανοούν και διαχειρίζονται RDFS ή/και OWL είναι πολύ περισσότερο περιορισμένη εν σχέσει με τις επιλογές μηχανών υποστήριξης SPARQL που διαθέτει ένας χρήστης.

Ταυτόχρονα όμως, μια εναλλακτική βασισμένη στην SPARQL έναντι των RDFS & OWL για συμπερασματολογία δεν είναι πάντοτε η βέλτιστη. [Duc13] Κι αυτό διότι αυτά τα δυο στάνταρντ, παρέχουν μια βάση μοντελοποίησης η οποία δύναται να κλιμακωθεί, καθιστώντας τες την καλύτερη επιλογή για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Τα αίτια επιλογής της SPARQL είναι συνεπώς η ταχύτητα εκτέλεσης και η ευρύτερη επιλογή ελεύθερων και εμπορικών λογισμικών ταιριάσματος μοτίβων.

Ο λογικός συμπερασμός εν κατακλείδι, προκύπτει και προωθείται από την άμεση αυτή συσχέτιση των προτύπων της οικογένειας του RDF, καθώς όλα αυτά τα σχήματα εκφράζονται με την ίδια σύνταξη και το ίδιο μοντέλο δεδομένων όπως τα ίδια τα μοντέλα, τις τριάδες. Γι' αυτό το λόγο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ίδια γλώσσα ερωτημάτων με τα σχήματα που χρησιμοποιούνται για να δηλωθούν και να περιγραφούν τα δεδομένα. Εν συντομία, πολλές διαφορετικές πηγές ανομοιογενών δεδομένων μπορούν να προσεγγισθούν μέσω ερωτημάτων ακριβώς σα να προέρχονται από την ίδια. Αυτή η συνθήκη διευκολύνει την αναγνώριση και την εξοικείωση ενός σχήματος αλλά και την οργάνωση μελλοντικών queries αλλά και εφαρμογών.

3.11.6 Αξιοποίηση της γλώσσας SPARQL στην ανάπτυξη εφαρμογών

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω η SPARQL είναι ένα εργαλείο ικανό να δώσει στο χρήστη και στις εφαρμογές, πρόσβαση σε μια μεγαλύτερη ποικιλία δεδομένων και μεταδεδομένων. [Duc13] Ανεξάρτητα από τις τεχνολογίες που επιλέγουν οι εκάστοτε εφαρμογές, η διαδικασία αφορά σε μια κεντρική αποθήκη γνώσης και ορισμένες διαδικασίες που αποστέλλουν αιτήματα προς την πρώτη ζητώντας παράδοση ή/και ενημέρωση στα δεδομένα της. Αυτές οι αιτήσεις όπως παρουσιάστηκε συμπεριληπτικά ανωτέρω, αναζητούν συνήθως υποσύνολα αυτών των δεδομένων, τα οποία πληρούν συγκεκριμένες συνθήκες καθορίζοντας τον τρόπο απεικόνισης ή/και ταξινόμησης των αποτελεσμάτων. Με τη λήψη αυτών των αποτελεσμάτων, οι διεργασίες-πελάτες που εκτέλεσαν την αναζήτηση, δύνανται να τα χρησιμοποιήσουν για την επίτευξη των όποιων στόχων τους, είτε αυτοί αφορούν σε απλή παρουσίαση τους, αποθήκευση τους για μελλοντική χρήση, ή πιο τεχνικά θέματα όπως την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση μιας μηχανής.

Καθώς τα πλεονεκτήματα χρήσης και γενικότερου ενστερνισμού των RDF τεχνολογιών για συγκεκριμένα είδη εφαρμογών, γίνονται ολοένα και πιο εμφανή στους αρχιτέκτονες συστημάτων, η χρήση βάσεων τριάδων ως σύστημα αποθήκευσης και της SPARQL ως τη γλώσσα ερωτημάτων για διαδικασίες αίτησης και ενημέρωσης των πληροφοριών επί αυτών, λαμβάνει εξέχουσα θέση στην διαδικασία ανοικοδόμησης του Σημασιολογικού Ιστού.

Το κυριότερο όφελος αυτών των προσεγγίσεων, συγκεντρώνεται στην ευελιξία που κερδίζεται από την δυνατότητα χειρισμού διαφορετικών μορφών δεδομένων με την μορφή τριάδων, ασχέτως του πως σχεδιάστηκαν- για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας την SPARQL για την εκτέλεση ερωτημάτων σε εγγραφές μιας σχεσιακής βάσης.

Καθώς τα περισσότερα δεδομένα βρίσκονται σε σχεσιακές βάσεις δεδομένων, [HS05] για την διενέργεια ερωτημάτων και εργασιών ενημέρωσής τους χρησιμοποιείται η γλώσσα SQL. Τέτοια ερωτήματα όμως δεν υποστηρίζονται από κάποιο πρότυπο ώστε να επικοινωνηθούν μέσω ενός δικτύου σε κάποιο σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων (Relational database management system - RDBMS) και να αποδώσουν σύνολα απαντήσεων. Προκειμένου να κατασταθούν διαθέσιμα όλο και περισσότερα σχεσιακά δεδομένα, πολλοί προγραμματιστές εφαρμόζουν ένα στρώμα επικοινωνιών το οποίο δέχεται ερωτήματα SPARQL, αναλαμβάνει μια ενδιάμεση μετάφραση από και προς SQL, και κατόπιν εκτέλεσης του query, επιστρέφει αποτελέσματα. Μέσα από τα παραπάνω γίνεται εμφανής η δύναμη της SPARQL να καταστήσει όχι μόνο RDF δεδομένα διαθέσιμα και εξερευνήσιμα αλλά και ως ενδιάμεσος, δεδομένα άλλων τύπων και προελεύσεων.

3.12 Πλεονεκτήματα χρήσης Συνδεδεμένων Δεδομένων

Το LD παρέχει νέους τρόπους διαχείρισης αυτών των ήδη υπάρχουσών προκλήσεων χειρισμού των δεδομένων. Ένας απ' αυτούς είναι η προσφορά πολλών στρωμάτων ευελιξίας όσον αφορά την αλλαγή των όρων σχήματος.

Η αυτο-περιγραφόμενη φύση των LD φέρει πολλές θετικές "παρενέργειες", με λιγότερο εμφανή, αυτή της επαναχρησιμοποίησης (reusability). Ένας εκδότης συνδεδεμένων δεδομένων μπορεί να εκθέσει τα δεδομένα του με ένα συγκεκριμένο στόχο ή σκοπό κατά νου, αλλά την ίδια στιγμή ο οποιοσδήποτε άλλος μπορεί να κάνει χρήση των ίδιων καθορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο θα τα αξιοποιήσει και θα τα εκθέσει. Τα συνδεδεμένα δεδομένα μετασχηματίζουν τον παγκόσμιο ιστό σε μια μορφή παγκόσμιας βάσης δεδομένων, τον Ιστό των δεδομένων (Web of Data). Οι δημιουργοί των συλλογών μπορούν να αναζητήσουν μέσω ερωτημάτων τον κόσμο των συνδεδεμένων δεδομένων, συλλέγοντας και συνδυάζοντας δεδομένα μεμιάς από πολλαπλές πηγές, κάτι ιδιαίτερος δυσχερές αν όχι πολλές φορές αδύνατο μέσω των παραδοσιακών τεχνολογιών διαχείρισης δεδομένων. [WZR+13]

Το LOD σύννεφο δεν είναι απλά μια συλλογή αποθηκών δεδομένων, αλλά αντίθετα, προσφέρει κάτι που δεν μπορεί να εντοπιστεί σε συστήματα όπως τις σχεσιακές βάσεις δεδομένων ή συστήματα διαχείρισης περιεχομένου, κι αυτό το κάτι είναι η δυνατότητα της ανακάλυψης. Αυτό προκύπτει χάρη στις επισημάνσεις που το LOD συνοδεύει τα οποιαδήποτε δεδομένα του ιστού, μέσα από τις οποίες συστήνεται το ευρύτερο απαιτούμενο πλαίσιο συμφραζομένων προκειμένου αυτά να γίνουν σαφή.

Το πλέον γνωστό παράδειγμα προς υποστήριξη και κατάδειξη των ανωτέρω, ήταν η εργασία που παρουσίασε ο Hans Rosling σχετικά με τα επίπεδα φτώχειας εν σχέσει με χαρακτηριστικά πληθυσμών ανά τον κόσμο. [105] Σύμφωνα με το σχολιασμό του Berners-Lee επ' αυτού, σε άλλη ομιλία, ο Rosling ουσιαστικά συγκέντρωσε πολλά ανομοιογενή δεδομένα, και δημιούργησε μια παρουσίαση, που κατέρριψε πολλούς μύθους που συντηρούσαν οι άνθρωποι για την οικονομία στον αναπτυσσόμενο κόσμο, αναδεικνύοντας έτσι την δύναμη των συνδεδεμένων δεδομένων να καθορίσουν τη ζωή των ανθρώπων σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό μέσα από την προσωπική παρέμβαση και αξιοποίησή τους από τον καθένα. Ο Lee επεσήμανε πως όσο περισσότερα δεδομένα συνδέονται, τόσο ισχυρότερο γίνεται το όλο οικοδόμημα. [85]

Αν υποθέσουμε επί παραδείγματι ότι μελετάται ένας τυχαίος πίνακας χαρακτηριστικών ενός κάποιου χώρου, και μια στήλη του φέρει τον τίτλο Temp ή μια άλλη φέρει κατανοητά εγγραφές καταγεγραμμένων ημερομηνιών, επισημάνσεις καθιστούν ξεκάθαρη -μεταξύ άλλων- τη μετάφραση του ονόματος Temp σε temperature (θερμοκρασία) και όχι στην σύντμηση temporary (προσωρινός), ή την σειρά ημέρας-μήνα-έτους στην καταγραφή μιας ημερομηνίας.

The diagram shows a table with two columns: 'Day' and 'Temp'. The 'Temp' column contains numerical values. Red circles and arrows highlight specific elements with questions:

- A red circle around the 'Temp' header with the question: "Does 'Temp' mean Temperature?"
- A red circle around the value '3' in the 'Temp' column with the question: "Degrees Fahrenheit or Celsius (or Kelvin or Rankine)?"
- A red circle around the date '1/5/2011' in the 'Day' column with the question: "Day/Month/Year or Month/Day/Year date format?"
- A red circle around the entire table with the question: "Where was this data recorded?"
- A red circle around the entire table with the question: "Who recorded it?"

Day	Temp
1/1/2011	0
1/2/2011	2
1/3/2011	3
1/4/2011	2
1/5/2011	0
1/6/2011	1
1/7/2011	3
1/8/2011	5
1/9/2011	6
1/10/2011	2
1/11/2011	3
1/12/2011	4

Σχήμα 24: Επισημάνση δεδομένων

Με άλλα λόγια τα ΣΔ μπορούν να προσφέρουν το κατάλληλο σχήμα πληροφορίας για οποιοδήποτε δεδομένο και αυτομάτως να διασαφηνίσουν την πρόθεση του δημιουργού τους, με άμεση συνέπεια να το καταστήσουν κατανοητό και επεκτάσιμο. Εξαλείφοντας την αμφισημία ενός δεδομένου σε ικανοποιητικό βαθμό τα δεδομένα κατά μία ελεύθερη έννοια απελευθερώνονται από τον δημιουργό τους και προσφέρονται για κατανάλωση από ένα ευρύτερο σύνολο, όχι αναγκαστικά δημόσιο, αλλά σίγουρα μη σχετιζόμενο με τον δημιουργό τους. Σημαντικό ρόλο ως προς αυτό διαδραματίζουν τα σημασιολογικά εργαλεία που οικοδομούν τον ιστό, όπως η ομοιομορφία που εισάγουν τα πρότυπα του RDF.

Όπως παρουσιάστηκε, όλες οι δυνατές μορφές παρουσίασης της RDF είναι ισοδύναμες και εναλλακτικές ή μια προς την άλλη, αντιπροσωπεύοντας δεδομένα σε μορφή RDF μοντέλου. Τα δεδομένα σε όλες αυτές τις μορφές απεικόνισης (RDF/XML, Turtle, N3, JSON-LD κλπ) μπορούν να μετασχηματιστούν σε μια πρωτόλεια μορφή απλού RDF, με αποτέλεσμα πολλά δεδομένα από πολλαπλά τέτοια μορφότυπα να μπορούν να συνδυαστούν σε ένα μοναδικό RDF γράφο. Εξαιτίας αυτής της ευελιξίας, δίδεται στον εκάστοτε χρήστη η δυνατότητα προσωπικής επιλογής της ευκολότερης ή προσφιλέστερης σε αυτόν μορφής για να κατανοήσει και να χρησιμοποιήσει ως εργαλείο για τη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων. Όπως είδαμε υπάρχουν μορφότυπα που απευθύνονται σχεδιαστικά κυρίως προς τον άνθρωπο ως χρήστη αλλά και ως προγραμματιστή (turtle, N3, JSON-LD κλπ), αλλά και στο ήδη υπάρχον τεχνολογικό οικοδόμημα του διαδικτύου με την επικράτηση της XML για τις επιχειρήσεις και την προσθήκη της RDFa για τις διαδικτυακές πλατφόρμες, επιτρέποντας τον σχεδιασμό ευρείας γκάμας εφαρμογών. Επιπλέον μέσω της ολοκλήρωσης του RDFa στις HTTP ιστοσελίδες του διαδικτύου, επιτυγχάνεται η παροχή περισσότερο σχετικών αποτελεσμάτων από τις μηχανές αναζήτησης, επιτρέποντας την ενσωμάτωση του περιεχομένου τους με τη μορφή συνδεδεμένων δεδομένων στο διαδίκτυο, κατανοητών και "καταναλώσιμων" υπό διαλειτουργικής απόψεως, τόσο από μηχανές όσο και από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Η αξιοποίηση του RDF μοντέλου, μπορεί άνετα συνεπώς να συνδεθεί με τον σημασιολογικό ιστό ως επέκταση της χρήσης του από μηχανές, προάγοντας αυτοματοποιημένες διαδικασίες που διαχειρίζονται το κομμάτι της αναγνώρισης, επαναχρησιμοποίησης, ανταλλαγής, διαμοιρασμού, επέκτασης, και αποθήκευσης των διάχυτων πληροφοριών άνευ καμίας παρέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα, συμβάλλοντας και ανοίγοντας τον δρόμο κατ' επέκταση στην ανάπτυξη εφαρμογών που αφορούν στην ιδέα του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Κύριο μέλημα του εν λόγω μοντέλου, όπως παρουσιάστηκε είναι να επιτρέπει στα πλαίσια εφαρμογών, την ανταλλαγή δεδομένων αλλά και τη διακίνηση πληροφορίας. Σε αντίθεση με την HTML τεχνολογία, όπου μοναδικός στόχος είναι η ορθή παρουσίαση εγγράφων του Ιστού στον χρήστη, το RDF μοντέλο στοχεύει στη διευκόλυνση και αυτοματοποίηση της επεξεργασίας αλλά και στον συνδυασμό της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε αυτά τα έγγραφα.

Ορισμένες ιδέες πίσω από τα σημασιολογικά μοντέλα ή τις προς ενσωμάτωση οντολογίες, θυμίζουν αρκετά, γνωρίσματα που αφορούν τη διαχείριση μεταδεδομένων. Βασίζονται άλλωστε σε παρεμφερείς συλλήψεις. Παρ' όλα αυτά, οι υπέρμαχοι της σημασιολογικής ολοκλήρωσης υποστηρίζουν πώς η χρήση των W3C προτύπων γλωσσών αναπαράστασης γνώσης, παρέχει τα εξής ξεχωριστά προτερήματα: [89]

✚ **Ανοιχτά διαθέσιμα πρότυπα.** Αξιοποιώντας προσεγγίσεις αναπαράστασης γνώσης βασισμένες στα πρότυπα της κοινοπραξίας εξασφαλίζει, ανοιχτά, και μελλοντικώς διασφαλισμένες εφαρμογές, όπου τα μοντέλα μπορούν να επεκταθούν, να διασυνδεθούν και να αναμειχθούν σε μια ομόσπονδη συλλογή.

- ✚ **Πλούσια Σημασιολογία.** Οι γλώσσες αναπαράστασης γνώσης, προσφέρουν υποστήριξη για πλουσιότερη και πιο ακριβή σημασιολογία εν συγκρίσει με την γλώσσα μοντελοποίησης λογισμικού (Unified Modeling Language - UML) , μια προτυποποιημένη γλώσσα των αποθηκών μεταδεδομένων. Οι γλώσσες που η W3C κοινοπραξία καθιέρωσε ως πρότυπα, όπως RDF, RDF Schema και η OWL, σχεδιάστηκαν εν μέρει για να συλλαμβάνουν σχέσεις μεταξύ εννοιών, και καθορίζουν γενικούς και ειδικούς κανόνες (ισχυρισμούς) με την ακρίβεια που απαιτεί ο λογικός συμπερασμός.
- ✚ **Εγγενής στον Παγκόσμιο Ιστό.** Οι RDF και OWL are παρουσιάζονται υπό την μορφή και χρήση της XML κάτι που τις καθιστά συνέχεια της φιλοσοφίας του παγκόσμιου ιστού.

Η οπτική της W3C κοινοπραξίας όσον αφορά τα σημασιολογικά στάνταρντ λαμβάνει τη μορφή μιας θεμελιώδους επίτρεψης και υποκίνησης για την επόμενη φάση των διαδικτυακών λύσεων ιστού.

Αξίζει ακόμη να σημειωθεί πώς σημαντικά είναι τα πλεονεκτήματα των ΣΔ μεταξύ άλλων στον κινητήριο τροχό της οικονομίας, στο εμπόριο. [WZR+13] Μέσω του λεξιλογίου GoodRelations αλλά και των οντολογιών, προάγεται ευρέως η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce). Αυτό δίνει τη δυνατότητα δημοσίευσης λεπτομερειών για τα προϊόντα και τις υπηρεσίες με τέτοιο τρόπο που οι μηχανές αναζήτησης, οι κινητές εφαρμογές και οι επεκτάσεις των περιηγητών μπορούν να αξιοποιήσουν την πληροφορία βελτιώνοντας τα επίπεδα δημοτικότητας τους. Δίνοντας στις περιγραφές μια βαθύτερη επεξήγηση μέσω επισημάνσεων, βελτιώνεται η αναζήτηση τους από μηχανές. Χαρακτηριστικά, μηχανές όπως ή Google και η Yahoo! αναγνωρίζουν τα GoodRelations δεδομένα σε ιστοσελίδες 10000 και πλέον γνωστών πωλητών όπως οι Sears, Kmart και BestBuy. Σύμφωνα με τον Martin Hepp, καθηγητή ηλεκτρονικού εμπορίου στο Πανεπιστήμιο Bundeswehr του Μονάχου, και δημιουργό της GoodRelations οντολογίας, τα στοιχεία μελετών δείχνουν πως ο εμπλουτισμός των ιστοσελίδων με τις δυνατότητες του RDFa, βελτιώνει κατά 30% τα επίπεδα δημοτικότητας ενός ενδιαφερόμενου πωλητή, στοιχεία συνεπή με τα αποτελέσματα αναφοράς του Jay Myers, επικεφαλής του τμήματος ανάπτυξης εφαρμογών διαδικτύου στο bestbuy.com.

Συγκεντρωτικά λοιπόν τα κυριότερα εκ των προτερημάτων των ΣΔ μπορούν να συνοψισθούν στα εξής κάτωθι: [WZR+13]

- ✚ Ευκολία ανακάλυψης τους μέσω γενικών μηχανών αναζήτησης
- ✚ Εύκολα ενσωματώσιμα με άλλα δεδομένα ποικίλων πηγών
- ✚ Εκφράζονται μέσα από διαφορετικά σχήματα και διαφορετικά μορφότυπα σύνταξης και παρουσίασης
- ✚ Διερευνούνται ακολουθώντας URIs προς πρόσθετη πληροφορία.

3.13 Μειονεκτήματα χρήσης Συνδεδεμένων Δεδομένων

Τα συνδεδεμένα δεδομένα είναι χτισμένα στα πρότυπα και στα ίδια θεμέλια με τον Παγκόσμιο Ιστό, με αποτέλεσμα να έχει τα ίδια οφέλη και τα ίδια προβλήματα με εκείνο. Δεν αποτελεί καμία ασπίδα προστασίας καθώς δεν παρέχει καμία προστασία έναντι θεμάτων ποιότητας ή από αποτυχίες υπηρεσιών. Δεν υφίσταται τίποτα το εγγενές εντός της φιλοσοφίας κατασκευής των LD που να βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των διαμοιρασμένων ερωτημάτων (queries), αλλά ούτε και για την οποιαδήποτε τροποποίηση του ορισμού όρων του σχήματος. Ενδεχόμενη αλλαγή στη σημασία ενός όρου, με άλλα λόγια, θα καθιστούσε περισσότερο δυσχερή την κατανόησή του στο αρχικό πλαίσιο ορισμού τους.

Η ποιότητα των δεδομένων (data quality), αποτελεί ένα πρόβλημα κάθε συστήματος διαχείρισης δεδομένων. Τα λεγόμενα "βρώμικα" δεδομένα (dirty data) μιας σχεσιακής βάσης, από την οποία αντλεί δεδομένα το οικοδόμημα των linked data, ή ενός ιστότοπου, μπορεί πολύ γρήγορα να μετασχηματιστεί σε βρώμικα συνδεδεμένα δεδομένα. Τα συνδεδεμένα δεδομένα εντοπίζονται συνήθως δημοσιευμένα σε μορφές μη εξειδικευμένες και συνυφασμένες με μια συγκεκριμένη εφαρμογή, γεγονός που καθιστά τη διαφάνεια της καθαρότητάς τους -που αλλιώς δε θα ήταν εμφανής- ευκολότερα διαυγή. Παρ' όλα αυτά, πολλές ιστοσελίδες, δομούν την επαναχρησιμοποίηση των συνδεδεμένων δεδομένων τους, με τέτοιο τρόπο που μπορούν να επαναξιολογηθούν, ακόμη και να διορθωθούν πριν τη χρήση τους. Αυτή η πρακτική άπτεται της θέλησης και επιλογής του εκάστοτε χρήστη. [WZR+13]

Η περιοχή μεθοδολογιών ανάπτυξης οντολογιών, με μια πρώτη ματιά φαίνεται πλούσια σε ερευνητικό περιεχόμενο και αριθμό μελετών. [Ohg04] Κοιτώντας όμως λεπτομερώς τις μεθοδολογίες, συνειδητοποιεί κανείς εύκολα, ότι υπάρχουν αρκετά πράγματα που μένουν να γίνουν. Πολλές εκ των υπάρχουσών μεθοδολογιών ανάπτυξης οντολογιών, περιλαμβάνουν ένα κομμάτι που αφορά στην ολοκλήρωση και ενσωμάτωσή τους, χωρίς όμως να παρέχουν εκτενείς οδηγίες του τρόπου διενέργειας αυτών των διαδικασιών, όπως λόγου χάρη, το που μπορούν να βρεθούν οντολογίες να συνδεθούν. Δεν περιγράφουν όλες οι μεθοδολογίες τον πλήρη κύκλο ζωής μιας οντολογίας και οι περισσότερες εξ' αυτών δεν είναι ιδιαιτέρως λεπτομερείς. Δεν υπάρχουν οδηγίες όσον αφορά την προτίμηση μιας συγκεκριμένης μεθοδολογίας, καθώς είναι γενικής φύσης και όχι σημαντικά εξαρτώμενες από το περιεχόμενο ή το πεδίο. Θα έπρεπε να είναι δυνατή μια επέκταση των μεθοδολογιών, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος ανάπτυξης, πχ για μια οντολογία συγκεκριμένου τύπου για ένα συγκεκριμένο πεδίο ή μια συγκεκριμένη περιοχή χρήσης. Ακόμη, δεν επαρκούν οι οδηγίες στις μεθοδολογίες όσον αφορά το κομμάτι αξιολόγησης μιας οντολογίας, και απαιτείται περεταίρω έρευνα περαιτέρω. Όσον αφορά την περιοχή της οντολογικής εξέλιξης, εν συγκρίσει με την περιοχή των μεθοδολογιών, παραμένει ακόμη σε ένα μεγάλο

βαθμό ανεξερεύνητη. Οι λιγοστές υπάρχουσες προσεγγίσεις, εστιάζουν κυρίως στην διατήρηση συνέπειας μιας οντολογίας και των εξαρτώμενων συνιστωσών, κατόπιν εφαρμογής αλλαγών. [CFG03]

Μια ακόμη ανοιχτή ερώτηση είναι ο τρόπος γνώσης της ορθής χρονικής στιγμής που η ανάγκη τροποποίησης μιας οντολογίας, είναι πραγματική, απαραίτητη και ουσιώδης, όπως επίσης και τι χρήζει αλλαγής. Σε περίπτωση που απαιτούμενη πληροφορία δε βρίσκεται εντός μιας οντολογίας, είναι προφανής η ανάγκη προσθήκης. Η ανάγκη παρέμβασης προς διαγραφή εννοιών ή ολικού/μερικού επανασχεδιασμού της οντολογίας όμως, δεν είναι κάτι το προφανές. Μια λύση είναι η χρήση μοτίβων της οντολογίας και η βάση των όποιων αποφάσεων σε αυτά.

Κάτι που χρήζει περεταίρω εξέτασης, είναι τα πιθανά προβλήματα και οι αρνητικές συνέπειες που θα επιφέρουν οι πρωτοβουλίες των ανοιχτών δεδομένων, όσον αφορά το κυβερνητικό φάσμα στο οποίο αναφερθήκαμε παραπάνω. Τέσσερις σημαντικές κριτικές που εγείρουν αξιόλογα ερωτήματα για τη χρήση των ΣΔ αλλά και τις πιθανές επιπτώσεις τους, αξίζουν και απαιτούν σημαντική προσοχή: τα ανοιχτά δεδομένα στερούνται βιώσιμου οικονομικού μοντέλου, προωθούν μια αγαθή πολιτική που ενδυναμώνει τους ήδη παντοδύναμους, το όλο οικοδόμημα στερείται ωφέλιμης αξίας - χρησιμότητας και ευχρηστίας και διευκολύνει το νεοφιλελευθερισμό και την ιδιωτικοποίηση των δημοσίων υπηρεσιών. Αυτές οι κριτικές δεν προτείνουν την εγκατάλειψη του κινήματος μετάβασης προς έναν κόσμο ανοιχτών δεδομένων, αλλά έχουν ως στόχο να εγείρουν αμφιβολίες και να προκαλέσουν τη σκέψη, προκειμένου να τεθούν κάποια όρια και περιορισμοί στο τι δεδομένα καθίστανται δημοσίως ελεύθερα προς χρήση, το πως γίνονται αυτά διαθέσιμα, πώς χρησιμοποιούνται και από ποιές πηγές χρηματοδοτούνται.

Σήμερα η όλη προσοχή όσον αφορά το οικοδόμημα των ΣΔ, εστιάζεται κυρίως στο κομμάτι της παροχής και της πρόσβασης στα δεδομένα και στη δημιουργία πρωτοβουλιών ανοιχτής διάθεσής τους, χωρίς όμως ικανοποιητική προσοχή όσον αφορά το οικονομικό σκέλος της δημιουργίας τέτοιων βιώσιμων χρηματοδοτούμενων πρωτοβουλιών. Τα δεδομένα μπορεί να είναι φύσει μη ανταγωνιστικά, με την έννοια ότι μπορούν να διαμοιραστούν έναντι μηδαμινού κόστους, αλλά η πρωτότυπη έκδοσή τους, απαιτεί κάποιας μορφής πληρωμή, όπως επίσης και οι διαδικασίες διαχείρισης και συντήρησής τους αλλά και η υπηρεσίες πελατών που τα επιλέγουν. [Pol06] Με αυτό το σκεπτικό, τα ανοιχτά δεδομένα μπορεί να αποτελούν μια δωρεάν πηγή πληροφοριών για τους τελικούς χρήστες, αλλά η παραγωγή και η επιμέλειά τους δεν έρχεται χωρίς αξιοσημείωτο κόστος (ειδικότερα αν λάβει κανείς υπόψη το ισχύον τεχνολογικό καθεστώς και την εξοικείωση προσωπικού για την επίτευξη της ολοκλήρωσής τους). Σε πολλές περιπτώσεις, η απελευθέρωση των δεδομένων αποτέλεσε μια τεράστια πηγή εσόδων για οργανισμούς και στην περίπτωση των εταιρειών, ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Μια ερώτηση κλειδί, συνεπώς που λαμβάνει έκταση, επικεντρώνεται στο πώς τα έργα ανοικτών δεδομένων χρηματοδοτούνται υποστηρικτικά εν τη απουσία μιας άμεσου πηγής εσόδων.

Η θέση που γνωρίζει τη μεγαλύτερη αναγνώριση και στήριξη για την διασφάλιση μιας σταθερής οικονομικής βάσης, από τους υπέρμαχους των ΣΔ, υποστηρίζει ως βέλτιστη πηγή εισοδήματος τις άμεσες κυβερνητικές επιδοτήσεις κάτι που και θα πρέπει να συμψηφιστεί με δυο επιπλέον παράγοντες. Πρώτον, τα ανοικτά δεδομένα θα παράγουν ποικίλη καταναλωτική υπεραξία, οδηγώντας σε σημαντικά δημόσια αγαθά τα οποία αξίζουν την επένδυση των δημοσίων εξόδων. Δεύτερον, τα ανοικτά δεδομένα θα οδηγήσουν σε νέα πρωτοποριακά προϊόντα τα οποία θα δημιουργήσουν νέες αγορές, που με τη σειρά τους θα παράγουν πρόσθετα εταιρικά έσοδα και επιστροφές φόρων. [Pol09] Ο De Vries και λοιποί, στην αναφορά τους [VKN+11] προσπάθησαν να αποδείξουν πως οι παραπάνω υπολογισμοί είναι κάθε άλλο παρά ρεαλιστικοί. Σήμερα, το εισόδημα του μέσου προγραμματιστή εφαρμογών από τις πωλήσεις των εφαρμογών είναι ιδιαίτερος χαμηλός, ενώ το 80% των επί πληρωμή εφαρμογών γνωρίζουν μόνο από μερικές ελάχιστες εκατοντάδες κατεβάσματα (downloads), με άμεση συνέπεια, να μην εμφανίζουν κέρδη. Αντιθέτως, τα επιχειρηματικά κεφάλαια στοχεύουν στην επένδυση έργων με προοπτική και ένα βιώσιμο επιχειρησιακό μοντέλο. Δοθείσας της κατάστασης λιτότητας και περικοπών που αποτελεί τον κανόνα στις σημερινές κοινωνίες, η ανεύρεση των απαραίτητων κονδυλίων για την απελευθέρωση και συντήρηση του οικοδομήματος των ανοικτών δεδομένων, αποτελεί μια τεράστια πρόκληση. Επιπλέον, οι συνέπειες μειώσεων ή διακυμάνσεων στην οικονομική βάση των υπηρεσιών ανοιχτών δεδομένων θα ήταν πιθανώς μια πτώση στην ποιότητα των δεδομένων, στην αποκρισιμότητα, στην καινοτομία και την γενική απόδοση των LD. [VKN+11] Εν κατακλείδι, η ετυμηγορία για την απελευθέρωση των δεδομένων του δημοσίου τομέα όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα (και ιδιαίτερα στο εγγύς μέλλον) μένει να διατυπωθεί.

Στα πλαίσια μίας μελέτης ενός αριθμού διαφορετικών εργασιών ανοιχτών δεδομένων, [HCB+12] ο Helbig και λοιποί, αναφέρουν ότι πολλά εξ' αυτών εστιάζουν υπερβολικά στο τεχνικό κομμάτι, λαμβάνοντας τη μορφή ιστοσελίδων συνδεδεμένων σε εξαιρετικά αρχαία δεδομένων, χωρίς όμως καμία προσοχή στο κομμάτι της ευχρηστείας, της ποιότητας περιεχομένου ή τις συνέπειες της χρήσης τους. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο ιστοτόπων ανοιχτών δεδομένων, που λειτουργούν περισσότερο ως αποθήκες ή σωροί δεδομένων, στερούμενο των προτερημάτων που αναμένει κανείς από ένα καλά οργανωμένο οικοδόμημα δεδομένων όπως καθαρά, υψηλής ποιότητας, επικυρωμένα και διαλειτουργικά δεδομένα που συμμορφώνονται με τα πρότυπα μεταδεδομένων και τις πολιτικές διατήρησης, ανάπτυξης, επαναχρησιμοποίησης και επεξεργασίας. Επιπλέον οι προς έκδοση συλλογές δεδομένων, ως επί το πλείστον αφορούν σε μια ευαίσθητα δεδομένα με σχετικά μικρή χρηστικότητα και κατ' επέκταση, χαμηλή αξία. [Chi13] Συνήθως οικοδομούνται από οργανισμούς που έχουν μικρή εμπειρία από καταγραφή δεδομένων ή το πεδίο χρήσης των προς απελευθέρωση δεδομένων. Όπως επισημαίνουν οι McKeon & Portway [Por13], [Gor13] η σύνθεση αυτών των συλλογών συντελείται στα πλαίσια διαγωνισμών και εκδηλώσεων όπου οι προγραμματιστές καλούνται να κατασκευάσουν εφαρμογές

βασισμένες σε ανοιχτά δεδομένα, κάτι που μπορεί να κάνει περισσότερο κακό παρά να δράσει υπέρ της προώθησης των LD. Αν και εστιάζουν την προσοχή τους στα δεδομένα και τη διασύνδεση τους, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, δεν διαθέτουν τις απαραίτητες γνώσεις συμφραζομένων όσον αφορά το πεδίο αναφοράς των δεδομένων, δεν στοχεύουν σε μια ευρύτερη αξιοποίησή τους από τον απλό χρήστη ενώ πιστεύουν ότι τα βαθιά δομικά προβλήματα μπορούν να επιλυθούν μέσα από τεχνολογικές λύσεις. Με άλλα λόγια "οικοδομούνται από μικροκοινότητες εθελοντών και όχι από ανθρώπους που έχουν ως όραμα την επιτυχία του προγράμματος". [Gor13]

Εξαιτίας αυτών των αιχμηρών ζητημάτων, αντί να δημιουργείται ένας κύκλος επιτυχίας, όπου η απελευθέρωση όλο και περισσότερων datasets, σε όλο και περισσότερες μορφές (formats), θα παρήγαγε ανάπτυξη χρήσης και συνεπώς την απελευθέρωση ακόμη περισσότερων δεδομένων, - όπως καλοπροαίρετα υποθέτει το κίνημα των ανοιχτών δεδομένων-, ο Helbig και λοιποί [HCB+12] υπογραμμίζουν τη μικρή δημοφιλία που γνωρίζουν πολλές ιστοσελίδες όσον αφορά την πρόσβαση των χρηστών σε αυτές, καθώς δεν ενθαρρύνεται και δε διευκολύνεται η χρήση τους από τους χρήστες αλλά αντίθετα περιορίζεται από άλλους παράγοντες όπως πρακτικές διαχείρισης των δεδομένων.

Μετά από μια αρχική σπίθα ενδιαφέροντος, η χρήση των δεδομένων πέφτει κατακόρυφα καθώς οι περιορισμοί των δεδομένων αποκαλύπτονται και οι χρήστες παλεύουν να ξεχωρίσουν τον τρόπο που τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν και να χρησιμοποιηθούν προς το συμφέρον τους. Χαρακτηριστικά, ο McClean [Mcc11] σημειώνει πως οι αναλύσεις προερχόμενες από τα ανοιχτά δεδομένα είχαν συνάντησαν περιορισμένο αντίκτυπο στις πολιτικές λογομαχίες (debates), ενώ όσον αφορά τα COINS (τα κυβερνητικά χρηματοοικονομικά δεδομένα του Ηνωμένου Βασιλείου) καταλήγει πως μετά από μια σύντομη αιχμή ενδιαφέροντος των δημοσιών μέσων στα μέσα του 2010, κατόπιν της διάθεσής τους δηλαδή, οι αναφορές καταδεικνύουν πως τα COINS συναντώνται ιδιαίτερος σπάνια, ενώ τα μέλη του τύπου που επέδειξαν περισσότερο από όλους ενδιαφέρον για την απόκτηση πρόσβασης σε αυτό, καταγράφουν πως δεν κατέστη ιδιαίτερος χρήσιμο ως εργαλείο δημοσιογραφίας. Εξαιτίας της περιοδικής απελευθέρωσης των δεδομένων (ετησίως ή ανά τετράμηνο), η χρήση των ΣΔ τείνει να έχει κυκλική μορφή ζωής, και συχνά συνυφασμένη με συγκεκριμένα έργα (όπως συμβουλευτικών αναφορών) παρά αυτή ενός συνεπούς μοτίβου χρήσης.

Τέλος, σε ένα άλλο πλαίσιο ο Gurstein, [Gur13] αποδίδει την πραγματική ατζέντα των ανοιχτών δεδομένων, στο κομμάτι της ιδιωτικοποίησής τους. Μέσω της απελευθέρωσης των δεδομένων, οι επιχειρήσεις θα λάβουν ακριβώς παραχθέντα δεδομένα για μηδενικό κόστος, και μαζί., ένα επιδοτούμενο υποστηρικτικό οικοδόμημα από το οποίο μπορούν να αναζητήσουν τον κέρδος, βγάζοντας εν παραλλήλω τον δημόσιο τομέα εκτός αγορών και αποδυναμώνοντας τη θέση του ως δημιουργού τέτοιων δεδομένων. Πράγματι, στα πλαίσια αυτής της απελευθέρωσης τα σώματα του δημοσίου τομέα πιθανότατα να αναγκαστούν να εξάγουν τις υπηρεσίες τους στον ιδιωτικό τομέα τους οποίους θα πρέπει και να

επιδοτούν. Κατόπιν, οι όποιες υπηρεσίες δεδομένων που προέκυψαν από δημόσια δεδομένα, ενδεχομένως να πρέπει να επαναγοραστούν από τον αρχικό δημιουργό τους.

4

ΜΙΑ ΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΛΥΣΗΣ ΣΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔτΠ

Όπως είδαμε, σύμφωνα με τους Atzori και λοιπούς [AIM10] το IoT μπορεί να υλοποιηθεί σε μια καθημερινή πραγματικότητα μέσα από τρία διαφορετικά μέρη: το διαδίκτυο, δηλαδή το ενδιάμεσο λογισμικό, τα αντικείμενα, δηλαδή τους αισθητήριους και ενεργοποιητικούς μηχανισμούς επί αυτών, και τη σημασιολογική ερμηνεία, δηλαδή τη γνώση. Η ιδέα-κλειδί πίσω από το διαδίκτυο των πραγμάτων, κρύβεται στις τεράστιες προοπτικές του ενσωματωμένου υπολογισμού και των δυνατοτήτων επικοινωνίας των αντικειμένων καθημερινής χρήσεως. Πέραν όμως από το κομμάτι του υπολογισμού και της επικοινωνίας σε επίπεδο ταυτοποίησης ετικετών, η απόβαση των αισθητήρων και των ενεργοποιητών αποτελούν ένα ακόμη μεγαλύτερο και συνεχώς επεκτεινόμενο μέρος, που παράγουν εκθετικά αυξανόμενα πλήθη πληροφοριών. Με τα παράλληλα καταναεμημένα συστήματα να θέτουν τις βάσεις, τα αντικείμενα πλέον δύνανται να συνθέσουν δίκτυα, δημιουργώντας ταυτόχρονα μια ενιαία πλατφόρμα όπου οι εφαρμογές μπορούν να εκτελούνται είτε σειριακά είτε παράλληλα σε διαφορετικούς, διασυνδεδεμένους κόμβους.

Δοθέντος ενός συστήματος έξυπνων διασυνδεδεμένων αντικειμένων, εξοπλισμένων με τις κατάλληλες διεπαφές προγραμματιστικού σκοπού, οι εφαρμογές θα πρέπει να συντονίζουν διαδικασίες επικοινωνίας και υπολογισμού, προκειμένου να αξιοποιούν τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από διάφορες πηγές.

Συνεπώς, καθώς τα διάφορα IoT σενάρια χαρακτηρίζονται από μια άνθιση του πλήθους των δεδομένων τους, είναι προφανής η ανάγκη αναπαράστασης τόσο των δεδομένων αλλά και των ροών δεδομένων.

Όπως διαπιστώσαμε στη μελέτη του κεφαλαίου 3, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχής εφαρμογή της έξυπνης συνδεσιμότητας και του υπολογισμού με επίγνωση περιεχομένου (context-aware computation), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων χρειάζεται να υποστηρίξει μια σειρά χαρακτηριστικών, τα οποία αποτελούν ανοιχτά ζητήματα. Μια λύση σε αυτά τα ζητήματα μπορεί να εντοπιστεί στην τεχνητή νοημοσύνη και τα παρακλάδια αυτής, μέσω της οποίας, αυτόνομες οντότητες λογισμικού, οι οποίες συναντώνται με τον όρο "πράκτορες", μπορούν να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον αλλά και μεταξύ τους, με τέτοιο τρόπο, ώστε να αναζητείται ένας κοινός στόχος. Η κατανεμημένη ευφυΐα όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα²⁵, [NSP+14] αποτελεί κυρίαρχη συνιστώσα στις απαιτήσεις του IoT σεναρίου.

Πιο αναλυτικά, είδαμε ότι οι λύσεις που προτείνει η άνοδος του Σημασιολογικού ιστού, μέσω των οντολογικών εργαλείων, έρχονται και κουμπώνουν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό με τα προβλήματα του ΔτΠ. Ορισμένα εκ των ζητημάτων που συναντήσαμε και ο τρόπος με τον οποίο ικανοποιούνται από τα συνδεδεμένα δεδομένα και τις σημασιολογικές τεχνικές συνοψίζονται παρακάτω:

1. **Ετερογένεια συσκευών**: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων διακρίνεται από την σύμπραξη διαφόρων τεχνολογιών στο σύστημα, διαφορετικών ως προς το επικοινωνιακό και υπολογιστικό επίπεδο αλλά με κοινό στόχο την ανακάλυψη τους και την πρόσβαση αυτών, από και σε υπηρεσίες με ένα γενικό τρόπο. Στα πλαίσια του σημασιολογικού ιστού, μέσω της διαδικασίας της επισημείωσης των προς περιγραφή πραγμάτων αλλά και των εργαλείων συμπερασμού, το σημαντικό κομμάτι που αναδεικνύεται είναι η σύνδεση μεταξύ των πραγμάτων. Μέσα από την επισήμανση των όποιων συσχετίσεων, είναι δυνατή μια μετάφραση και μετάδοση των δεδομένων και των λειτουργιών μεταξύ των συσκευών. Μέσα από διαδικασίες επισήμανσης γλώσσας, μονάδων μέτρησης αλλά και μαθηματικών διαδικασιών, είναι δυνατή μια επικοινωνία ανομοιογενών αντικειμένων, που δε θα περίμενε κανείς να παρουσιάζουν σύνδεση. Για άλλη μια φορά αξίζει να σημειωθεί το παράδειγμα της εργασίας του Hans Rosling, όπου συνδυάζοντας δεδομένα από διαφορετικές πηγές, παρήχθη νέα με διαφορετικές προεκτάσεις. Χάρη στο τεράστιο πλεονέκτημα της επαναχρησιμοποίησης των δεδομένων, τα τελευταία μπορούν να εκτεθούν ή/και να αξιοποιηθούν συνεπώς με διαφορετικό τρόπο, οδηγώντας και σε ακόμη περισσότερους διαφορετικούς τρόπους αξιοποίησης.
2. **Επεκτασιμότητα**: Λόγω της σύνδεσης των αντικειμένων καθημερινής χρήσης σε ένα παγκόσμιο υπόστρωμα πληροφοριών, τα ζητήματα επεκτασιμότητας εμφανίζονται σε διάφορα επίπεδα:
 - 2.1. Σε ό,τι αφορά την ονοματοθεσία και την διευθυνσιοδότηση εξαιτίας του υπερμεγέθους όγκου του υφιστάμενου συστήματος

- 2.2. Στο επίπεδο μετάδοσης των δεδομένων και στην δημιουργία σύνδεσης σε δίκτυο εξαιτίας της ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα σε όγκο οντοτήτων
- 2.3. Στην επεξεργασία της πληροφορίας και της γνώσης εξαιτίας της ικανότητας παραγωγής ψηφιακού αντιγράφου για οιαδήποτε οντότητα
- 2.4. Στην πρόβλεψη και επιμέλεια της λειτουργίας της υπηρεσίας εξαιτίας του πλήθους των υφιστάμενων επιλογών εφαρμογής των υπηρεσιών και της απαίτησης διαχείρισης διαφορετικών πόρων

Ένα θέμα κλειδί στο ΔτΠ, είναι τα συστήματα ονοματοδοσίας καθώς οι περισσότερες IoT εφαρμογές απαιτούν μοναδικά αναγνωριστικά καθώς και ένα παγκόσμιο συντονισμό του σχήματος ονοματοδοσίας καθενός εκ των συσκευών. Στο κοντινό πεδίο, όπου κυριάρχησαν οι RFID λύσεις, η πιο ευρέως διαδεδομένη λύση είναι εκείνη το Ηλεκτρονικού κώδικα προϊόντος (EPC). Χάρη στην ξεκάθαρη και σαφή μορφή του RDF προτύπου όμως καθώς και της μετάβασης στο IPv6, η αναγνώριση κάθεμιας συσκευής μπορεί να γίνεται και στο αχανές σύμπαν του Internet μονοσήμαντα, καλύπτοντας μεγάλες αποστάσεις συνεπώς, αφού κάθε αντικείμενο φέρει μια εικόνα στο χώρο του εικονικού, ένα στιγμιότυπο της κλάσεως στην οποία ανήκει. Μέσα από αυτή τη σχέση του ανήκειν, ένα αντικείμενο δύναται να υιοθετήσει χαρακτηριστικά τα οποία θα επιτρέψουν περαιτέρω σύνδεση και διάθεσή του αναμεταξύ των πραγμάτων.

Παράλληλα μέσω κλάσεων περιγραφής μιας ροής δεδομένων ή του γεγονότος μιας καταγραφής, ο όγκος που κατακλύζει το σύστημα δύναται να κατασταθεί αντιμετωπίσιμος.

- 3. **Ανταλλαγή πανταχού παρούσας πληροφορίας (ubiquitous data exchange) με την χρήση ασύρματων τεχνολογιών:** Στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι υψηλής αξίας η χρήση των ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας λόγω της δυνατότητας που παρέχουν ως προς την δικτύωση των έξυπνων αντικειμένων. Μέσα από την περιγραφή βασικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών των αισθητήριων οργάνων και των ενεργοποιητών, η επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων ενισχύεται με μια γλώσσα υψηλού επιπέδου, μέσω της οποίας επιτρέπεται η ολοκλήρωση των βημάτων μετάδοσης της πληροφορίας και επίτευξης του εκάστοτε στόχου.
- 4. **Εύρεση και καταγραφή δυνατοτήτων σε ένα άγνωστης τοπολογίας δίκτυο:** Λόγω της ευχέρειας προσδιορισμού και παροχής των οντοτήτων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων με δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας μικρού εύρους γίνεται αντιληπτή η ύπαρξη ευκαιρίας εντοπισμού της τοποθεσίας των έξυπνων αντικειμένων στον φυσικό κόσμο, γεγονός ιδιαιτερότητας σημασίας σε ό,τι αφορά τον κλάδο διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics) καθώς και του κύκλου ζωής προϊόντων όπου υπάρχουν εγκατεστημένες κατά το πλείστον τεχνολογίες RFID. Και πάλι μέσα από καταγραφές χωροχρονικού χαρακτήρα, οι οποίες υποστηρίζονται από κατάλληλες οντολογίες, η

επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων, επεκτείνεται από τις απλές τεχνολογίες αναγνώρισης σε κοντινό πεδίο, στο Διαδίκτυο.

5. **Δυνατότητες αυτό-οργάνωσης:** Η περίπλοκη μορφή διαφόρων σεναρίων του Διαδικτύου των Πραγμάτων καθιστά αναγκαία συνθήκη την διάχυση της γνώσης στο σύστημα, γεγονός που θα ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη παρέμβαση καθώς η δυναμική αυτή θα παρέχει τη δυνατότητα στο σύνολο ή το υποσύνολο των έξυπνων αντικειμένων για αυτόνομη ανταπόκριση σε ένα ευρύ πλαίσιο διαφορετικών καταστάσεων. Κατόπιν γενικότερης απαίτησης των χρηστών, η διαμόρφωση και συστηματοποίηση των κόμβων του Διαδικτύου θα γίνεται αυτόνομα σε προσωρινά αυτό-οργανωμένα δίκτυα (transient ad hoc networks), δίνοντας με αυτόν τον τρόπο τα απαιτούμενα μέσα τόσο για την διανομή των δεδομένων όσο και για την εκτέλεση συντονισμένων καθηκόντων. Μέσα από τις διαδικασίες συμπερασμού υψηλών αφαιρετικών εννοιών από μετρήσεις και καταγραφές αισθητήρων λοιπόν, το κυριότερο ίσως πλεονέκτημα των συνδεδεμένων δεδομένων, μπορεί να συναχθεί νέα γνώση προάγοντας αυτοματοποιημένες διαδικασίες αναγνώρισης, ανταλλαγής, διαμοιρασμού, επέκτασης και αποθήκευσης των σημασιολογικά επισημασμένων διάχυτων πληροφοριών, άνευ παρεμβάσεως του ανθρώπινου παράγοντα, γεγονός που προσδίδει στο οικοδόμημα, την ψευδαίσθηση ευφυΐας.

Ο όγκος των δεδομένων που διαχειρίζεται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι πολύ μεγάλος. Για να καταστεί εφικτή η μετατροπή αυτών των δεδομένων σε αξιοποιήσιμες πληροφορίες για και να εξασφαλιστεί η αλληλεπίδραση και η λειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών, αναγκαίος είναι ο διαμοιρασμός των δεδομένων σε επαρκή και τυποποιημένα, μοντέλα καθώς και σημασιολογικές περιγραφές των περιεχομένων τους (μετά-δεδομένα). Η διαδικασία αυτή διασφαλίζει την ικανότητα των εφαρμογών του διαδικτύου για στήριξη του αυτοματοποιημένου συλλογισμού (automated reasoning), γεγονός που μπορεί να συνδράμει στην ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας.

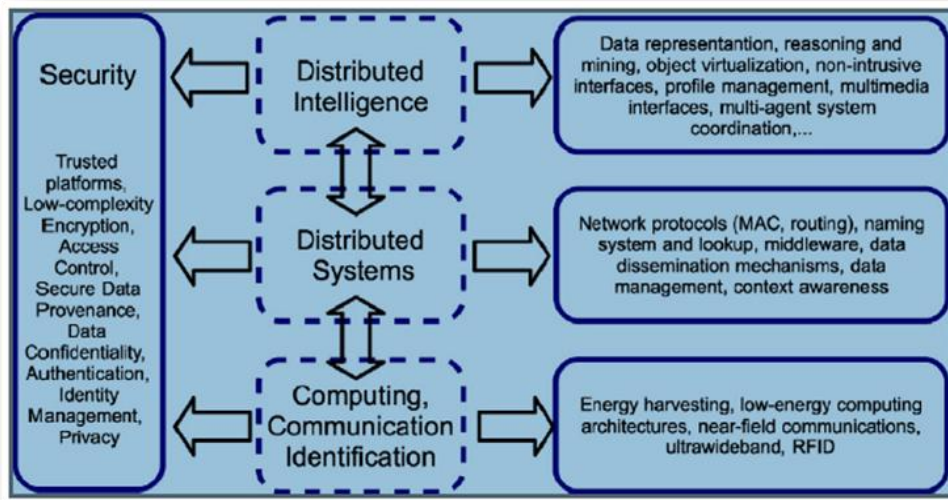
Οι IoT εφαρμογές αναμένονται ιδανικά να διαθέτουν μια προσαρμοστικότητα σε ιδιαίτερα ετερογενή πλαίσια συμφραζομένων, με διαφορετικούς κάθε φορά διαθέσιμους πόρους, αλλά και συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα εφαρμογής τους. Όσες προσεγγίσεις επιχειρήθηκαν με υπέρτατο στόχο να ξεπεραστεί η σκόπελος της ετερογένειας αυτής εγκαταλείφθηκαν λόγω υπερίσχυσης των αρνητικών τους μειονεκτημάτων. Πιο συγκεκριμένα, προτάθηκε η χρήση μιας πρότυπης εικονικής πλατφόρμας για όλες τις δικτυακές συσκευές [GJS96], [GAB+00] η οποία αν και θα διευκόλυνε την ανάπτυξη λογισμικού αλλά και υπηρεσιών προσφέροντας ένα στάνταρ σύνολο εργαλείων για το ΔτΠ, θέτει μια σειρά απαιτήσεων υποστήριξης υλικού από τις ίδιες τις συσκευές, που θα καθιστούσε την υλοποίηση της μεγάλης έκτασης του IoT, ένα εγχείρημα απαγορευτικού κόστους.

Όλες οι προσπάθειες που απαιτούνται, όσον αφορά την ανάπτυξη αρχιτεκτονικών για το ΔτΠ, μεθόδων για τη διαχείριση των πόρων, κατανεμημένης επικοινωνίας και υπολογισμού αντιπροσωπεύουν τη βάση για την εισαγωγή καινοτόμων εφαρμογών που θα ανταποκρίνονται γρήγορα στα θέλω του χρήστη, θα προβλέπουν τις ανάγκες του, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται, μέσα από δυναμικά σχήματα διαχείρισης πόρων και άμεσης σύνθεσης διαφορετικών συνιστωσών. Μια λύση όπως εισαγωγικά παρουσιάστηκε και παραπάνω προκύπτει από τη σύγκλιση των χώρων της τεχνητής νοημοσύνης και του διάχυτου υπολογισμού, στο δημιούργημα των συνδεδεμένων δεδομένων και του σημασιολογικού ιστού, μέσα από τη θεώρηση των πόρων ως υπηρεσίες.

Επιπροσθέτως, οι περισσότερες εκ των προταθεισών προσεγγίσεων αφορούν από τη σύλληψή τους, σε ένα μοναδικό, καλά ορισμένο πεδίο εφαρμογής. Αντιθέτως, τα IoT σενάρια εφαρμογών όμως, απαιτούν ένα σύνολο σχεδιαστικών μοτίβων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν ή και να αυξήσουν τις εφαρμογές χρηστών με αυτο-προσαρμοζόμενες ιδιότητες. Με άλλα λόγια, απαιτούν, μεθόδους ανακάλυψης, σύνθεσης και στράτευσης πόρων σε πραγματικό χρόνο, υπό έναν κατανεμημένο τρόπο που υποστηρίζει την αυτονομία. Καθώς λοιπόν οι συσκευές του IoT μπορούν θεωρητικά να τρέξουν ένα περιορισμένο αριθμό ελαφριών, μη απαιτητικών εφαρμογών, ένα σημείο κλειδί για την επέκταση του οικοδομήματος αυτού, είναι η ενσωμάτωσή του με τη δομή του διαδικτύου και ιδιαίτερα με το υπολογιστικό σύννεφο.

Παρόλα αυτά, είμαστε ακόμη μακριά από την επίτευξη μιας γενικού χαρακτήρα κατανόησης του τρόπου ανάπτυξης αυτο-προσαρμοζόμενων εφαρμογών και υπηρεσιών με την ευελιξία που απαιτούν τα IoT σενάρια.

Όπως επισημαίνουν οι Serrano [130] και Barnaghi και λοιποί [BWH+12], τα περισσότερα υπάρχοντα IoT σενάρια είναι όμοια, επικαλύπτοντα και μη διαλειτουργικά μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τόσο η αναγκαιότητα ευθυγράμμισης των μοντέλων δεδομένων και πλαισίων εργασίας, όσο και της ερμηνείας και λογικής συνεπαγωγής για τον περιορισμό της ανθρώπινης παρέμβασης. Η ανάγκη νέων καινοτόμων αλγορίθμων συμπερασμού υψηλού επιπέδου εννοιών από δεδομένα μηχανών εντοπίζεται πιο έντονη από ποτέ [YYQ11] καθώς οι περισσότερες εκ των σύγχρονων προσεγγίσεων δεν προτείνουν εργαλεία για μια εύκολη ερμηνεία των IoT δεδομένων, αλλά ταυτόχρονα οι όποιες M2M εφαρμογές δεν δύνανται να συνδυαστούν μεταξύ τους όντας ισχυρά εξαρτημένες από το πεδίο εφαρμογής τους. [CXL+14], [MSP+12] Όπως επισημαίνει και ο Narang Kishor, "κάθε πραγματική IoT εφαρμογή ή λύση χρειάζεται μια cross-domain εξειδίκευση" [131] Η κεντρική πρόκληση λοιπόν είναι η παροχή ενός ενοποιημένου τρόπου παραγωγής διαλειτουργικών IoT εφαρμογών βασισμένων σε σημασιολογικά εργαλεία, τα οποία θα επιτρέπουν την ενοποίηση, τη διερμηνεία των δεδομένων και τον συνδυασμό των πεδίων εφαρμογής.



Σχήμα 25: Ερευνητικές περιοχές σχετικά με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

4.1 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Ένα από τα αναφερόμενα τμήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι και η έξυπνη συνδεσιμότητα με τα υφιστάμενα δίκτυα. Η επανατοποθέτηση του ενδιαφέροντος της τεχνολογίας προς την πανταχού παρούσα τεχνολογία (ubiquitous information) και τα δίκτυα επικοινωνιών οφείλεται εμφανώς στην διαδεδομένη χρήση των αισθητήρων συσκευών.

Ένας αισθητήρας (sensor) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή, η οποία συγκεντρώνει δυνατότητες επικοινωνίας, παρατήρησης και επεξεργασίας δεδομένων φυσικών μεγεθών του εγγύς περιβάλλοντός του. Ο συνασπισμός τους εντός ασύρματων δικτύων αποσκοπεί στην αποτελεσματικότερη συνεργατική μεταφορά τους σε ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα σημαντικότερης επεξεργαστικής και ενεργειακής ισχύος.

Όσο τα δίκτυα των αισθητήρων εντάσσονται, όλο και περισσότερο στα πλαίσια του συνήθους κανόνα, ανακύπτει όλο και περισσότερο η ανάγκη υποβοήθησης της διαχείρισης και συνδιαλλαγής με αυτά, μέσω της ανάπτυξης και εγκατάστασης προτύπων αλλά και διαδικασιών κατηγορηματικού λογισμού. Μέσα από αυτή την ολοκληρωτική διαδικασία, ανοίγει ο δρόμος επίτευξης πλήρους δυναμικής στο IoT.

Πρακτικά, μια υποδομή ξέροντας όχι μόνο τις δυνατότητες ενός αισθητήρα, αλλά και του σημασιολογικού βάθους αυτών (πχ της θέσης που δρα), μπορεί να παίζει το ρόλο του συντονιστή και να ρυθμίζει την επικοινωνία πολλών ανάλογων πόρων, συμπληρώνοντας, περιγράφοντας, προστατεύοντας τη δράση τους και ταυτόχρονα διασφαλίζοντας το επιθυμούμενο αποτέλεσμα.

Η κοινοπραξία ανοιχτής γεωεπισκόπησης (Open Geospatial Consortium), ένας συνεταιρισμός 330 εταιριών, κυβερνητικών πρακτορείων, ερευνητικών οργανισμών και πανεπιστημίων που έχει ως έργο την δημιουργία δημόσια διαθέσιμων στάνταρντ διεπαφών για γεωχωρικό περιεχόμενο και ανάλογες

υπηρεσίες, ανέπτυξε και συντηρεί το εγχείρημα Ενεργοποίησης Δικτύου Αισθητήρων (Sensor Web Enablement - SWE) [136] μια συστοιχία προτύπων-προδιαγραφών οι οποίες σκοπό έχουν να δώσουν στους προγραμματιστές τη δυνατότητα να καταστήσουν όλα τα είδη αισθητήρων, μετατροπέων και αποθηκών αισθητήριων δεδομένων εντοπίσιμα, προσπελάσιμα και κυρίως αξιοποιήσιμα δια μέσου διαδικτύου. Τέτοια στάνταρ είναι:

- Υπηρεσία επαγρύπνησης αισθητήρα
- Υπηρεσία παρατηρήσεων αισθητήρα
- Υπηρεσία ειδοποιήσεων ιστού
- Σχήμα παρατηρήσεων και μετρήσεων
- Γλώσσα μοντελοποίησης αισθητήρα
- Γλώσσα περιγραφής μορφοτροπέα (σε επίπεδο υλικού)
- Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών αισθητήρων

Οι δραστηριότητα του SWE [137] παρήγαγε μια υπηρεσιο-κεντρική αρχιτεκτονική καθώς επίσης και στάνταρντ συμπεριλαμβανομένων τεσσάρων γλωσσών για την περιγραφή των αισθητήρων, των δυνατοτήτων τους, τις μετρήσεις τους, και άλλες σχετικές πλευρές περιβαλλόντων όπου δρουν πολλαπλοί ετερογενείς αισθητήρες (sensor web). Αυτά τα στάνταρντ συμβάλλουν, μεταξύ άλλων πραγμάτων, στην καταγραφή αισθητήρων και την κατανόηση των διαδικασιών δια μέσου των οποίων αλιεύονται οι μετρήσεις όπως επίσης και της περιορισμένης διαλειτουργικότητας και της βασισμένης σε XML και προτυποποιημένες ετικέτες ανταλλαγής δεδομένων. Μολαταύτα, δεν παρέχουν σημασιολογική διαλειτουργικότητα αλλά ούτε και μια βάση κατηγορηματικού λογισμού που θα διευκόλυνε την ανάπτυξη πιο προηγμένων εφαρμογών πλην όσων επιζητούν μόνο την αναζήτηση αισθητήρων και ανάγνωση των μετρήσεών τους.

Οι οντολογίες και άλλες σημασιολογικές τεχνολογίες μπορούν να αποτελέσουν στοιχεία κλειδιά για δίκτυα αισθητήρων, καθώς μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας, της ενοποίησης, ή/και ταξινόμησης όπως επίσης και στη διευκόλυνση λογικών διαδικασιών διασφάλισης και αυτοματισμού που δεν καλύπτονται από τα ήδη υπάρχοντα στάνταρντ της OGC.

Ένα δίκτυο αισθητήρων υποστηριζόμενο από σημασιολογικές τεχνολογίες, θα επέτρεπε στο δίκτυο, στους αισθητήρες του και στα προκύπτοντα δεδομένα να είναι οργανωμένα, εγκατεστημένα, διαχειρίσιμα, κατανοητά, αναζητήσιμα μέσω διαδικασιών QA και ελέγχιμα μέσω υψηλού επιπέδου προδιαγραφών.[137] Οι αισθητήρες διαφέρουν από άλλες τεχνολογίες, όπως υπηρεσίες σε αρχιτεκτονικές

προσανατολισμένες προς υπηρεσίες, εξαιτίας της φύσεως των αισθητήρων (και των δικτύων τους) να πυροδοτείται η δράση τους από γεγονότα, καθώς επίσης και λόγω των χρονικών και χωρικών σχέσεων που επιβάλλεται να λαμβάνονται υπόψη. Επιπροσθέτως, κατά τη διαδικασία συλλογιστικής διαδικασίας επί των αισθητήρων, πολύπλοκα φυσικά εμπόδια όπως λόγου χάρη, περιορισμένη δυνατότητα ενέργειας, περιορισμένη χωρητικότητα μνήμης, μεταβλητότητα στην ποιότητα των δεδομένων και χαλαρή συνδεσιμότητα είναι επιτακτικό να λαμβάνονται υπόψη. Εφόσον αυτοί οι περιορισμοί αναπαρίστανται επίσημα εντός μιας οντολογίας, διαδικασίες και τεχνικές λογικού συμπερασμού δύνανται να εφαρμόζονται άμεσα.

4.2 ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΙοΤ

Πολλοί είναι οι ορισμοί που δίνουν οι μελετητές του ΙοΤ όσον αφορά τις οντολογίες αλλά στο κομμάτι της σημασίας και της χρήσης τους, όλες συγκλίνουν στην τοποθέτησή των πρώτων στον πυρήνα όλου του εγχειρήματος. Σύμφωνα με τους παραπάνω λοιπόν, μια οντολογία είναι "ένας τυπικός και σαφής ορισμός μιας κοινής και συμφωνημένης εννοιολογικής μορφοποίησης που αφορά σε ένα πεδίο ενδιαφέροντος". Ή πιο περιεκτικά, σύμφωνα με τον δημιουργό της υπηρεσίας Siri, Tom Gruber, μια "δόκιμη και ταυτόχρονα ρητά αυστηρή προδιαγραφή μιας κοινοποιημένης έννοιας/ιδέας/αντίληψης" η οποία θα είναι εύκολο να μεταφραστεί και να επεξεργαστεί από μια μηχανή.

Στη συγκεκριμένη διατύπωση:

- Με τον όρο «*αντίληψη*» εννοείται ένα μοντέλο αφηρημένης μορφής για τα φαινόμενα του σύμπαντος που περιλαμβάνει εκείνους τους όρους που είναι σχετικοί με τα φαινόμενα αυτά.
- Με τον όρο «*σαφής*» εννοείται ότι είναι με σαφήνεια ορισμένοι τόσο ο τύπος των χρησιμοποιούμενων εννοιών, όσο και ο τύπος των τιθέμενων στη χρήση τους περιορισμών
- Με τον όρο «*τυπικός*» εννοείται ότι η οντολογία θα πρέπει να παρουσιάζει τη δυνατότητα ανάγνωσης από μηχανές.
- Με τον όρο «*κοινής*» εννοείται ότι η οντολογία πρέπει να έχει τη δυνατότητα να συλλαμβάνει γνώση που θεωρείται από την κοινωνία ως κοινά αποδεκτή.

Αποτελείται από 4 μέρη: τις κλάσεις (classes), τις σχέσεις (relations), τις ιδιότητες (attributes) και τα individuals. Κατά σειρά αναφοράς τα πρώτα περιγράφουν τις ιδέες του υπό περιγραφή συστήματος, στιγμιότυπα ή παραδείγματα/test cases των οποίων είναι τα individuals- instances. Η συσχέτιση και η σύνδεση των δυο αυτών μερών, κλάσεων και στιγμιότυπων αντικατοπτρίζεται από τις σχέσεις. Οι ιδιότητες, όπως μαρτυρά το όνομά τους περιγράφουν τα γνωρίσματα κ τα χαρακτηριστικά της κάθε κλάσης.

Οι τεχνολογίες και οι λύσεις που ενεργοποιούν την ενσωμάτωση των δεδομένων και των υπηρεσιών του πραγματικού κόσμου με τις σύγχρονες τεχνολογίες δικτύωσης πληροφορίας περιγράφονται υπό τον όρο του IoT.

Το IoT όπως έχει αναφερθεί, έχει ως στόχο να καταστήσει δυνατή μια παγκόσμια διασύνδεση μεταξύ φυσικών αντικειμένων, τη δημοσίευση πληροφοριών από μηχανές σε πραγματικό χρόνο, αλλά και την διευκόλυνση της αλληλεπίδρασης του μέσου ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον συνδυάζοντας ευρεία πρόσβαση στη γνώση, ανεξαρτήτως τόπου κ χρόνου μέσω της cloud τεχνολογίας. Τα αντικείμενα όμως που την απαρτίζουν είναι ποικίλης μορφής και είδους, με αποτέλεσμα μοιραία να γίνει ξεκάθαρη η ανάγκη για μια πιο δομημένη ομάδα λύσεων, όπου τα αντικείμενα είναι με ομοιόμορφο τρόπο εντοπίσιμα ανεξαρτήτως του τρόπου σύνδεσής τους με το IoT.

Τα συνδεδεμένα δεδομένα όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι μια μεγάλη και συνεχώς αναπτυσσόμενη συλλογή διασυνδεδεμένων δημόσια προσβάσιμων συλλογών δεδομένων "κωδικοποιημένων" υπό μορφή RDF, οι οποίες εκτείνονται και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών και μη περιοχών από τις ανθρωπιστικές επιστήμες, φυσικές επιστήμες ως κάτι πιο ανάλαφρο χαρακτήρα όπως η ψυχαγωγία. Τέτοια παραδείγματα δεν είναι μόνο ηλεκτρονικές συσκευές αλλά και φυσικές οντότητες του πραγματικού κόσμου οι οποίες εξοπλίζονται με αισθητήρες, ενεργοποιητές ή rfid tags. Όπως ορίζεται στο [NSP+14], το IoT αναφέρεται σε αντικείμενα που μπορούν να διαβαστούν, να αναγνωριστούν, να διευθυνσιοδοτηθούν κ επομένως να εντοπιστούν, ή τέλος να ελεγχθούν διαδραστικά δια μέσου του Ιντερνετ. Ως εκ τούτου τα αντικείμενα που πρέπει να συνυπάρξουν είναι τόσο διαφορετικά και ετερογενή μεταξύ τους που καθίστα την επίτευξη της απαραίτητης μεταξύ τους επικοινωνίας τους μια πρόκληση. Αν λάβουμε υπόψη και τον εκθετικά αυξανόμενο αριθμό αυτών των αντικειμένων, η πολυπλοκότητα της πρόκλησης αυτής αυξάνεται αναλόγως απαισιόδοξα. Πιο συγκεκριμένα, όπως αυστηρά καταγράφεται από το [DBB+11], ως "συσκευή" ορίζεται μια hardware συνιστώσα που είτε είναι μέρος είτε προσκολλάται σε μία οντότητα προκειμένου να την παρακολουθεί κ να επιτρέπει κατ' αυτό τον τρόπο την ένταξή της εν λόγω οντότητας στον ψηφιακό κόσμο μεσολαβώντας διαδραστικά στις συναλλαγές της με άλλα μέρη αυτού. Ως "πόρος" ορίζεται αυτό καθαυτό το λογισμικό που προσφέρει πληροφορία γύρω από την οντότητα. Μια οντότητα μπορεί να φέρει ορισμένες ιδιότητες/γνωρίσματα όπως χαρακτηριστικά κλάδου στον οποίο υπάγεται, χρονικά ή/και τοπικά χαρακτηριστικά.

Πιο αναλυτικά, η σημασιολογική μοντελοποίηση περιλαμβάνει μεταφράσιμα από μηχανή μεταδεδομένα, μηχανισμούς λογικών διεργασιών και μηχανισμούς ερωτημάτων. Στα πλαίσια του IoT αυτό μεταφράζεται σε οντολογίες: για πόρους (πχ αισθητήρες), δεδομένα παρατηρήσεων και μετρήσεων, επιστημονικές έννοιες εκπεφρασμένες αριθμητικά (πχ μονάδες μέτρησης, τοποθεσία) καθώς και για υπηρεσίες (για τις οποίες γίνεται λόγος παρακάτω).

Η σημασιολογική μοντελοποίηση αποτελεί μια σημαντική συνιστώσα αντιμετώπισης ζητημάτων σχετικών με τη διαλειτουργικότητα αυτών των διαφορετικών οντοτήτων προκειμένου να πάρει σάρκα και οστά το όραμα που είναι το IoT. Αναφερόμαστε στη διαλειτουργικότητα ως την ικανότητα των συσκευών να καθιστούν κατανοητή και με απόλυτη σαφήνεια την ερμηνεία των δεδομένων που επικοινωνούν μέσω πρωτοκόλλων διαδικτύου. Όπως παρατηρείται από τους Kotis & Katasonon [KK13] μια τάση στην επιστημονική περιοχή του IoT είναι η απρόσκοπτη αφομοίωση των πραγμάτων με την υπάρχουσα δομή του διαδικτύου και η ομοιόμορφη έκθεση των συνδεδεμένων αυτών αντικειμένων ως πόρων του, κάτι που έχει οδηγήσει σε αυτό που αποκαλείται WoT (δίκτυο των πραγμάτων). Η επίτευξη μιας ουσιαστικής διαλειτουργικότητας στη μορφή που αναφέρεται παραπάνω, γίνεται εφικτή μέσω της επέκτασης του Ιστού των πραγμάτων μέσω της συνεισφοράς του σημασιολογικού ιστού.

Παρά τη σύγκλιση των μελετητών, στο κομμάτι του ορισμού αυτού του χρησιμότητας εργαλείου που αποτελούν οι οντολογίες όμως, η χρήση και η αξιοποίησή τους λαμβάνει ποικίλες και ξεχωριστές μορφές. Γ' αυτό το λόγο οι επικρατούσες προσεγγίσεις αυτή τη στιγμή στον συγκεκριμένο τομέα είναι ουσιαστικά δυο. Η bottom-up και η top-down.

4.2.1 Από κάτω προς τα πάνω (Bottom-up)

Στην πρώτη κατηγορία, οι μελετητές εστιάζουν στην αναπαράσταση της γνώσης που φέρουν οι αισθητήρες, και αφού η οντολογία είναι η κύρια μέθοδος αναπαράστασης της γνώσης, διευκολύνοντας διαδικασίες συλλογιστικής, οι ερευνητές προσπάθησαν να τη χρησιμοποιήσουν για την αναπαράσταση όλων αυτών των αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας οντολογίες, κάθε ερώτημα αναζήτησης που περιλαμβάνει αφηρημένες έννοιες, μπορεί ιεραρχικά να αποσυντεθεί σε μικρότερα και απλούστερα τα οποία μπορούν να χειρίζονται οι σένσορες ατομικά και ευκολότερα.

Τα περισσότερα δείγματα σύγχρονων ερευνών εστιάζουν στη μοντελοποίηση των αισθητήρων και των δεδομένων παρατήρησής τους, δίνοντας λιγότερη έμφαση στο κομμάτι της πρόσβασης και της αξιοποίησης της πληροφορίας που παράγεται απ' τα αντικείμενα. Στο [DBB+11] αναφέρονται χαρακτηριστικά τα σημαντικά παραδείγματα των SSN και CSIRO οντολογιών που περιγράφουν τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρων, τις δυνατότητές τους, τον τρόπο λειτουργίας τους, μηχανισμούς πρόσβασης σε αυτούς, αμελώντας όμως να συμπεριλάβουν μοντελοποιημένη διάσταση για στοιχεία άμεσου ενδιαφέροντος όπως οι μονάδες μέτρησης, η γνώση επί ενός τομέα που σχετίζεται με τα δεδομένα που φέρει ο αισθητήρας, ούτως ώστε να καταστεί εφικτή μια αυτόνομη επικοινωνία δεδομένων και η ανάπτυξη δυνατότητας διενέργειας αποδοτικών λογικών διεργασιών, απαραίτητη για αυτόματη διαδικασία λήψης απόφασης.

Συνεπώς, είναι αναγκαίες περισσότερες προσεγγίσεις για τη σύνδεση των περιγραφών των αισθητήρων με τις μετρήσεις αυτών και σε επόμενη φάση με την προς παρατήρηση οντότητα του τομέα του IoT που εφάπτεται. Μια παρεμφερής προσέγγιση διαχωρισμού παρατηρήσεων και παρακολουθούμενης οντότητας παρουσιάζεται στην SEEK Extensible Observation Ontology (OBOE), η οποία πέρα από μια κεντρική οντολογία παρατηρήσεων, συμπληρώνεται από μια επέκταση για το σύστημα των μονάδων και μια επιπλέον επέκταση για χρήση επί συγκεκριμένου domain (παράκτια οικοσυστήματα).

Η σημασιολογική μοντελοποίηση αποτελεί καταλύτη στην επίτευξη της διαλειτουργικότητας των αντικειμένων, της δημιουργίας και παροχής στα αντικείμενα, μηχανισμών αυτόματης λήψης απόφασης. Ακριβώς εκεί στοχεύει η πληθώρα των σημερινών σύγχρονων ερευνητικών κ επιστημονικών μελετών. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγει και η μελέτη [DBB+11] στην οποία καταγράφονται οι απαιτήσεις ώστε η επέκταση σε δεδομένα ετερογενών αντικειμένων του φυσικού κόσμου να είναι εφικτή. Αναλυτικά, αναγνωρίζονται οι εξής απαιτήσεις: α) αναγνώριση όλων των πιθανών τομέων κάλυψης του IoT και η δομημένη αναπαράστασή τους β) ένας μηχανισμός πρόσβασης που προσφέρει μια ομογενή πλατφόρμα σε ετερογενή IoT αντικείμενα ποικίλων δυνατοτήτων, και τέλος γ) αυτοματοποιημένη μετάφραση από την πλευρά των μηχανών των αλληλεπιδράσεων και ολοκλήρωσης με υπάρχουσες εφαρμογές του σημασιολογικού ιστού.

Αξιοσημείωτη είναι η υποσχόμενη μελέτη των [KK13] η οποία έχει ως όραμα ένα ανοιχτό και διαλειτουργικό IoT το οποίο θα μπορεί σταδιακά να οικοδομήσει ένα εύφορο κ συνεχώς επεκτεινόμενο περιβάλλον αντίθετα με την εφάπαξ υλοποίηση κ εξοπλισμό του με συσκευές και το απαραίτητο λογισμικό. Θα υποστηρίζει διασύνδεση συσκευών διαφορετικής κατασκευαστικής προέλευσης, εξοπλισμένες με ξεχωριστές εφαρμογές λογισμικού αναπτυγμένες ακόμη και από ομάδες διαφορετικές από εκείνες του ιδίου του κατασκευαστή των συσκευών αυτών. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η επικράτηση ενός IoT με εφαρμογές καθολικής και γενικής εφαρμογής κ όχι περιορισμένης σε μιας συγκεκριμένης μορφολογίας μηχανές. Αυτό το όραμα βασίζεται εξ' ολοκλήρου στα θετικά των οντολογιών και του σημασιολογικού ιστού εν γένει. Η θεώρηση και η ανάπτυξη μιας κοινά συμφωνημένης και διαμοιρασμένης οντολογίας την οποία θα ακολουθούν όλες οι εφαρμογές και οι συσκευές παραμένει μια μη ρεαλιστική υπόθεση. Αντίθετα όμως, η χρήση μιας οντολογίας ως αναφορά ή ενδιάμεσο που θα ρυθμίζει και θα "τακτοποιεί" τις οντολογίες ανά τομέα κατορθώνει να μεταφράσει ημιαυτόματα και να συνδέσει τα ζητούμενα κάθε ερωτήματος με έξυπνες οντότητες. Εισάγεται η έννοια των "έξυπνων οντοτήτων", οι οποίες είναι εξοπλισμένες με εννοιολογική περιγραφή των ιδιοτήτων των φυσικών οντοτήτων στις οποίες είναι ενσωματωμένες και των δεδομένων που είτε παράγουν είτε καταναλώνουν. Αυτή η περιγραφή καλείται οντολογικός ορισμός και καθιστά εύκολη υπόθεση τον εντοπισμό και την ανάκτηση οντοτήτων με έξυπνη μέθοδο.

Η εργασία [Mun14] έρχεται να συμπληρώσει στα προηγούμενα πως μια παγκόσμια κοινή οντολογία η οποία θα περιγράφει τα πάντα από αισθητήρες μέχρι υπηρεσίες, προκειμένου να ξεπερνάται η πρόκληση της διαλειτουργικότητας, είναι ανύπαρκτη και ανέφικτη, καθώς αν υπήρχε θα ήταν είτε πολύ απλοϊκή και αόριστη, μη αρκετή για την ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων ή πολύ σύνθετη και συνεπώς δυσχερής και χρονοβόρα κάθε απόπειρα αξιοποίησης. Για την επίτευξη σημασιολογικής διαλειτουργικότητας σε παγκόσμια κλίμακα, οι λύσεις είναι κοινές πλατφόρμες σημασιολογικής αντιστοίχισης (οι οποίες δεν είναι τίποτα άλλο πέρα από την κόλλα που συνδέει οντολογίες με τα έγγραφα του διαδικτύου) καθώς και οι περιγραφές οντολογιών.

Ένα επιπλέον ζήτημα που θέτει προς συζήτηση η μελέτη των [PRB+11] είναι το κλείδωμα της χρήσης μιας οντότητας του IoT για ένα συγκεκριμένο κλειστό σύστημα, περιορίζοντάς τη διαθεσιμότητά του προς αξιοποίηση για ένα μόνο μικρό αριθμό υπηρεσιών. Αντίθετα, συνδέοντας έναν αισθητήρα στο ίντερνετ κ ακολούθως, δημοσιεύοντας μέσω μιας υπηρεσίας τις εξόδους του με έναν κατανοητό και επεξεργάσιμο από μηχανές σχήμα, η πληροφορία του γίνεται ελεγχόμενα προσβάσιμη και διαθέσιμη προς χρήση και για υπηρεσίες εντελώς καινούριο προσανατολισμό. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των αισθητήρων κίνησης ενός κτηρίου το οποίο είναι αξιοποιήσιμο αποκλειστικά για ένα σύστημα ελέγχου εισβολέων. Δημοσιεύοντας τα ευρήματα του διαδικτυακά όμως γίνεται δυνατή η εκμετάλλευση τους και από άλλες υπηρεσίες όπως πχ ο λειτουργικός εντοπισμός μιας μη κατειλημμένης αίθουσας, ή ο ενεργειακός έλεγχος του κτηρίου κλπ. Για την επίτευξη αυτού του στόχου το μόνο που απαιτείται είναι για τον ειδικό μιας υπηρεσίας να είναι εύκολη η δημοσίευση περιγραφών, των δεδομένων εξόδου ενός αισθητήρα χωρίς ιδιαίτερα προηγμένες γνώσεις στο διαδίκτυο και αντίστοιχα για τον χρήστη, η απεικόνιση κ εν συνεχεία η μετάφραση των ακατέργαστων αριθμητικών δεδομένων εξόδου ενός αισθητήρα σε όρους υψηλού επιπέδου (αν μια αίθουσα είναι κατειλημμένη πχ ή αν έχει υπερβεί ένα όριο θερμοκρασία κλπ).

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως μια γενικού σκοπού προσέγγιση, συμβατή εξ' ολοκλήρου με τα στοιχεία του LOD (Linked Open Data) εγχειρήματος, δεν υφίσταται κ πιθανότατα είναι ανέφικτη η υλοποίηση της. Αντίθετα οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν είτε στο κομμάτι των αισθητήρων ή στη μοντελοποίηση της γνώσης που συσσωρεύουν. Οι οντολογίες παίζουν ένα σημαντικό ρόλο καθορισμού των URIs για ένα συγκεκριμένο τομέα εφαρμογών και για τη μεταξύ τους σχέση μοντελοποιώντας μια κοινή εννοιολογική γνώση. Οι χρήστες όμως πρωτίστως, όπως προαναφέρθηκε, ενδιαφέρονται για τις πραγματικές οντότητες (πχ δωμάτιο συσκέψεων) και τις υψηλού επιπέδου καταστάσεις τους (πχ κατειλημμένο) και όχι για το ακατέργαστο προϊόν αυτής της γνώσης που φέρει ένας αισθητήρας (πχ παρατηρήθηκε κίνηση στον χρόνο t). Επιθυμητός στόχος λοιπόν παραμένει το πέρασμα από ένα *σημασιολογικό δίκτυο αισθητήρων σε ένα σημασιολογικό δίκτυο αντικειμένων*. Για την επίτευξη αυτού του στόχου όμως πρέπει να παρασχεθούν τρόποι αντιστοίχισης των αισθητήρων και των αποτελεσμάτων

τους (πχ γεγονότα εντοπισμού κίνησης) με καταστάσεις (πχ ελεύθερο προς χρήση) οι οποίοι συνήθως ενδέχεται να απαιτούν το συνδυασμό γνώσης πολλαπλών αισθητήρων ή πληροφορία διαθέσιμη σε άλλες πηγές του διαδικτύου. Ο τρόπος περιγραφής των αισθητήρων με τέτοιο τρόπο που να είναι κατανοητός από μηχανές είναι μέσω του σημασιολογικού ιστού και συγκεκριμένα της RDF περιγραφής, ενώ η αναγκαία συσχέτιση τους με το κομμάτι του διαδικτύου επιτυγχάνεται μέσω της OWL (Web Ontology Language), μιας εκ των κύριων γλωσσών περιγραφής οντολογιών στο διαδίκτυο.

4.2.2 *IoT πόροι ως υπηρεσίες (Top-down)*

Μια ακόμη αξιοπρόσεκτη στροφή και τάση πολλών εκ των μελετών είναι ο αφαιρετικής μορφής ορισμός των πόρων του IoT ως υπηρεσιών. Με την καθιέρωση νέων τεχνολογιών όπως η δομή του υπολογιστικού σύννεφου (cloud computing), μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε εικονικά πρόσβαση και να χρησιμοποιούμε web εφαρμογές χωρίς να τις διαθέτουμε στον υπολογιστή μας ή σε κάποια άλλη συσκευή που είναι διασυνδεδεμένη με το ίντερνετ. «Υπηρεσία», είναι η δυνατότητα που μας παρέχει το cloud σύστημα να χρησιμοποιούμε κάποιο software μέσα σε αυτό το δίκτυο. Σε αυτή τη δομή η εφαρμογή βρίσκεται σε ένα server και εμείς τη χρησιμοποιούμε χωρίς να χρειάζεται να την εγκαταστήσουμε στον υπολογιστή μας.

Μέσω αυτής της "εικονικοποίησης" σε διάφορα επίπεδα επετράπησαν σε λογισμικά, πλατφόρμες αλλά και υποδομές δικτύων ως υπηρεσιών να κάνουν την εμφάνισή τους. Πιο αναλυτικά, κάποια εκ των πλέον γνωστών υπηρεσιών του σύννεφου, είναι οι: Software as Service (SaaS), Platform as Service (PaaS), Storage as a service (StaaS), Hardware as Service (HaaS) & Database as Service (DaaS). [123]

Κάτι τέτοιο ανοίγει διάπλατα και πιο δυναμικά, το δρόμο για την επίτευξη των λεγόμενων έξυπνων εφαρμογών όπως το έξυπνο σπίτι, έξυπνο γραφείο, έξυπνες μεταφορές, έξυπνες πόλεις κλπ. Μπορούμε λοιπόν να διαμοιράσουμε τις λειτουργίες ενός σπιτιού πχ σε έναν αριθμό συσκευών ενσωματωμένων ή εικονικών, κάθε μια εκ των οποίων θα ολοκληρώνει και θα παρέχει μια υπηρεσία. Τέτοιες υπηρεσίες όμως παρέχονται όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από ετερογενή, άμεσα συσχετισμένα με τον φυσικό κόσμο αντικείμενα. Ο τεράστιος αριθμός συσκευών που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο καθιστά εύκολη μια περιγραφική προσέγγιση φυσικών παραμέτρων των οντοτήτων που τον απαρτίζουν. Συνεπώς μια συγχώνευση αυτών των δύο κόσμων, ψηφιακού και πραγματικού καθίσταται αναγκαία. Είναι απαραίτητο-και υπό αυτό τη την σκοπιά μελέτης- να μπορούν να περιγραφούν αυτά τα δεδομένα και οι υπηρεσίες με έναν ομογενή τρόπο προκειμένου να γίνεται εύκολη η διαλειτουργικότητα τους καθώς και η υποστήριξη διαδικασιών αυτόνομων μηχανισμών λήψης απόφασης. Εδώ είναι που εισχωρεί η έννοια της οντολογίας.

Στα παραδοσιακά συστήματα υπηρεσιών δικτύου, η ολοκλήρωση αυτών των υπηρεσιών βασίζεται σε καθαρά στατικές οντότητες που δρουν σε ένα πλούσιο περιβάλλον διαθέσιμων πόρων, με δυνατότητες συντήρησης, διαμόρφωσης, παραμετροποίησης κλπ. Τέτοια συστήματα επί παραδείγματι μπορεί να είναι συστήματα όπως το taxis ή συστήματα τύπου crm (customer relationship management) τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στον τομέα του μάρκετινγκ, της τεχνικής υποστήριξης, των πωλήσεων κ.α. Αντίθετα οι παρεχόμενες υπηρεσίες στο IoT παρέχονται από συσκευές που στερούνται σε αριθμό αλλά και σε είδος ανάλογων πόρων, έχουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ, εύρος ζώνης σε δίκτυα για τη μεταφορά δεδομένων ασύρματα στις περισσότερες των περιπτώσεων, αποθήκευσης και ενέργειας.

Στα πλαίσια αυτού του σκεπτικού κινείται και επεκτείνεται μεταξύ άλλων, και η μελέτη των LEE et al. στο SOA-based Service Layering for Facilitating Dynamic Service Composition and Alternative Service Discovery όπου τονίζεται η σημασία μιας αρχιτεκτονικής προσανατολισμένης προς την κατεύθυνση των υπηρεσιών, περιγράφοντας μια μεθοδολογία σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων. Χαρακτηριστική είναι η περιγραφή των ετερογενών και υπολογιστικών οντοτήτων υπό τον ενοποιητικό όρο του πανταχού παρόντος/ευρέως διαδεδομένου υπολογιστικού χώρου (ubiquitous computing space). Ουσιαστικά αυτός αποτελεί έναν ακόμη τρόπο περιγραφής του IoT ο οποίος περιγράφει την παρουσία του υπολογισμού οπουδήποτε και οποτεδήποτε με την οποία μπορεί να αλληλεπιδρά ο κάθε χρήστης από μια ευρεία ποικιλία μορφών ενός τερματικού. Αποτελεσματικός τρόπος αλληλεπίδρασης και χειρισμού αυτού του υπολογιστικού χώρου, είναι η υπό περιγραφή προσανατολισμένη προς υπηρεσίες αρχιτεκτονική (SOA). Οι θεμελιώδεις αρχές αυτής είναι η επαναχρησιμοποίηση, η αυτονομία, η αφαίρεση και η σύνθεση. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η διαδικασία της σύνθεσης, κατά την οποία αναζητείται η επίτευξη σύνδεσης μεταξύ IoT υπηρεσιών προκειμένου να παραχθεί κάποιο κοινό επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτή αναζητείται και επιτυγχάνεται μετά από έλεγχο για ομοιότητες και διασύνδεσης μεταξύ ξεχωριστών αυτόνομων υπηρεσιών. Αυτή η διαδικασία μπορεί να διαχωριστεί στη στατική και τη δυναμική, με την πρώτη να φέρει πολλές ομοιότητες με τις παραδοσιακές υπηρεσίες δικτύου όπου η πορεία για το ζητούμενο αποτέλεσμα είναι ξεκάθαρη και προκαθορισμένα μονόδρομος. Αντίθετα μια δυναμική αντιμετώπιση περιλαμβάνει πολλά σύνθετα, αμφίσημα και ποικίλα χαρακτηριστικά λόγω του προσωποποιημένου χαρακτήρα που λαμβάνει η υπηρεσία για κάθε χρήστη ξεχωριστά αλλά και των εκάστοτε συνθηκών τη στιγμή ενεργοποίησης της. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτής της υπηρεσίας συνεπώς διαμοιράζεται, διασυνδέεται και επικοινωνείται το ζητούμενο σε άλλες συσκευές ή χρήστες οι οποίοι συστήνουν την έννοια της "κοινότητας". Πολλές υπηρεσίες λοιπόν συστήνουν αυτές τις ομάδες οδηγώντας σε έναν κοινό μεγαλύτερο στόχο. Εδώ μελετάται το παράδειγμα της υπηρεσίας "καθιστώ ένα περιβάλλον κατάλληλο για ύπνο", όπου η συνθήκη για μία συγκεκριμένη θερμοκρασία δωματίου θα κρίνει αν θα ενεργοποιηθεί μια άλλη υπηρεσία ρύθμισής της θερμοκρασίας, φωτεινότητας δωματίου αναλόγως των τρεχουσών συνθηκών. Παράλληλα τα απαιτούμενα/ζητούμενα χαρακτηριστικά

για την ικανοποίηση της παραμέτρου "κατάλληλο" είναι ποικίλες και ξεχωριστές για κάθε χρήστη της υπηρεσίας. Κατηγοριοποιώντας όμως τις υπηρεσίες βάσει της επίδρασης τους στο περιβάλλον ή σε άλλες λειτουργίες εντός αυτού, μπορεί να περιοριστεί κ να υποβαθμιστεί ο βαθμός πολυπλοκότητας υλοποίησής τους. Μέσω του ορισμού της κοινότητας λοιπόν, το ζητούμενο περιορίζεται τοπικά και η επίτευξη του στόχου γίνεται με την επικοινωνία και τη συνεργασία ενός θερμοστάτη, ενός λαμπτήρα, μιας κουρτίνας κλπ. Επιπλέον, εφόσον υπάρχει μέσω αυτής της επικοινωνίας μια αναζήτηση, η βεβαιότητα εντοπισμού κάποιας εναλλακτικής υπηρεσίας/συσκευής γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη.

Μια υπηρεσία παρέχει σύμφωνα με τους [DBB+11] μία άρτια καθορισμένη και προτυποποιημένη διεπαφή, η οποία προσφέρει όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες αλληλεπίδρασης με άλλες οντότητες ή σχετικές διαδικασίες. Οι υπηρεσίες προβάλλουν τη λειτουργικότητα μιας συσκευής, μέσω της πρόσβασής τους στους πόρους που την απαρτίζουν. Οι σχέσεις μεταξύ υπηρεσιών και οντοτήτων μοντελοποιούνται ως αντιστοιχίες. Αυτές μπορεί να είναι είτε στατικές σε περίπτωση που η συσκευή είναι ενσωματωμένη στην οντότητα ή δυναμικές αν η συσκευή καταγράφει τη δράση μιας κινητής οντότητας.

Η οπτική αυτή των πόρων του IoT ως υπηρεσιών οδήγησε μάλιστα, στην ανάδυση οντολογιών υπηρεσιών (service ontologies) οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας την επέκταση της OWL, την OWL-S η οποία είναι προσανατολισμένη σε οντολογίες περιγραφής διαδικασιών και λειτουργιών εν αντιθέσει με αυτές που χρησιμοποιούν μια πιο κατηγορηματική λογική μέσω της OWL. Η Ontology Web Language for Services (OWL-S) όπως παρουσιάζεται στην [DBB+11] είναι μια μινιμαλιστική προσέγγιση περιγραφής σημασιολογικών διαδικτυακών υπηρεσιών, η οποία παρέχει καλά ορισμένα semantics και ενδελεχώς εκπεφρασμένες περιγραφές. Περιγράφει τα χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας, χρησιμοποιώντας 3 ιδέες υψηλού επιπέδου α) το προφίλ της υπηρεσίας β) τη βάση της υπηρεσίας και γ) το μοντέλο της υπηρεσίας. Το προφίλ δημοσιεύεται σε αποθήκες υπηρεσιών παρέχοντας πληροφορίες για τον πάροχό της, καθώς και λειτουργική (είσοδοι, έξοδοι, συνθήκες και συνέπειες) και μη λειτουργική (κατηγοριοποίηση, βαθμολόγηση ποιότητας) περιγραφή της. Το τρίτο κατά σειρά concept του μοντέλου που ακολουθεί μια υπηρεσία περιγράφει τη λειτουργία της και διευκολύνει τις διαδικασίες κλήσης, σύνθεσης και παρακολούθησής της. Περιγράφει αν είναι ατομική ή αν συστάται από άλλες ατομικές. Η βάση τέλος, καθορίζει τεχνικά πως εφαρμόζεται μια υπηρεσία από τον χρήστη συμπεριλαμβάνοντας μια διεύθυνση δικτύου του τερματικού απ' όπου τρέχει.

Μιλάμε πλέον λοιπόν με ανάλογους αφηρημένους όρους μεταυπηρεσιών όπως μεταδεδομένων που σκοπό έχουν να υποστηρίξουν την οικοδόμηση μιας υπηρεσίας. Οι τάσεις αυτές δίνουν στον εκάστοτε χρήστη, τη δυνατότητα να περιορίσει άρδην το κομμάτι του κόστους καθώς το κόστος ιδιοκτησίας και διαχείρισης κάποιων πόρων αντικαθίσταται μόνο από το κόστος χρήσης του εικονικού ισοδύναμου του.

Μέσα από αυτή τη σύγκλιση των συλλήψεων cloud και IoT θα δημιουργήσει πρωτοφανείς ευκαιρίες και ανακατατάξεις στη δομή των υπηρεσιών.

Διευρύνοντας το πεδίο δράσης από μια εφαρμογή, ανάλογη θεώρηση εικονικότητας, θα μπορούσε να θεωρηθεί και για τα ίδια τα αντικείμενα, πχ thing/object as a service, υπό ένα πρίσμα ενσωμάτωσης και διαμοιρασμού εντός διαφορετικού κάθε φορά πλαισίου, με στόχο και πάλι την συντήρηση του αντικειμένου και τη συρρίκνωση του κόστους ιδιοκτησίας του.

Μια αξιοπρόσεκτη προσέγγιση αρχιτεκτονικής δομής για IoT συστήματα που παρουσιάζεται και υποστηρίζεται στα [NSP+14], [HTI11] είναι αυτή του EU FP7 iCore project, όπου διατυπώνεται η συλλογιστική πως για την ομαλότερη μετάβαση από τον πραγματικό στον εικονικό κόσμο, κάθε φυσικό αντικείμενο του πραγματικού κόσμου μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα εικονικό αντικείμενο (VO), το οποίο περιλαμβάνει μια σημασιολογική περιγραφή της λειτουργίας του πραγματικού αντικειμένου αποκρύπτοντας παράλληλα την ετερογενή του πλευρά. Ορισμένα εξ'αυτών των εικονικών οντοτήτων μπορούν να συνθέσουν ένα σύνθετο εικονικό αντικείμενο (CVO) το οποίο εξυπηρετεί συγκεκριμένες πιο κατανοητές και ανθεκτικές υπηρεσίες. Μπορεί να θέτουν προσωπικούς στόχους και όντας εξοπλισμένα με εσωτερική λογική να φτάνουν επιτυχώς στην υλοποίηση εργασιών.

Οι Akshay και λοιποί [NSP+14], προτείνουν μια γενική ενοποιημένη KB για το IoT η οποία βασιζόμενη σε μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική 3ων στρωμάτων (Service, CVO, CO) "εξοπλισμένων" με 5 κατηγορίες οντολογιών, εξυπηρετεί και τις δυο παραπάνω προσεγγίσεις, για οποιαδήποτε IoT εφαρμογή.

Αυτές είναι οι οντολογίες

- 1) Πόρων
- 2) Τοποθεσίας
- 3) Περιεχομένου & τομέα
- 4) Πολιτικής
- 5) Υπηρεσιών

Στην πρώτη κατηγορία, τα αντικείμενα που απαρτίζουν το IoT περιγράφονται σε 4 κατηγορίες:

- a) αισθητήρες - συσκευές με την ικανότητα μέτρησης μιας φυσικής παραμέτρου του πραγματικού κόσμου (επίπεδα υγρασίας, βάρους κλπ)
- b) ενεργοποιητές - συσκευές με την ικανότητα επιβολής & εκτέλεσης μιας ενέργειας ή ενός ελέγχου σε μια φυσική οντότητα του πραγματικού κόσμου
- c) φυσικά αντικείμενα - αντικείμενα του πραγματικού κόσμου
- d) σύνθετα αντικείμενα - συνδυασμοί των τριών ανωτέρω.

Σε αντίστοιχα χνάρια κινείται και η δουλειά των [HTI11], οι οποίοι όμως ανήκουν προτείνουν το διαχωρισμό της αναπαράστασης του κόσμου του IoT σε τρία επίπεδα κατασκευάζοντας μια κοινή, γενικού σκοπού οντολογία για το IoT, που μοντελοποιεί και τα τρία εξ' αυτών και μπορεί να εφαρμοστεί και να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε συσκευή ή υπηρεσία ως μια γενική εγκυκλοπαίδεια πληροφοριών, ανεξαρτήτως τομέα μελέτης. Πιο αναλυτικά, τα τρία αυτά επίπεδα είναι: α) το φυσικό (αντικείμενα και συσκευές) που περιγράφεται από την device οντολογία, β) της πληροφορίας (δεδομένων και μεταδεδομένων) που περιγράφεται από την οντολογία της φυσικής και των μαθηματικών και του λειτουργικού (υπηρεσίες) μέσω της περιγραφής της οντολογίας εκτιμήσεων το οποίο επιχειρείται μια προσέγγιση του πραγματικού κόσμου η οποία περιγράφει πιθανοτικά και προσεγγιστικά μοντέλα για τον υπολογισμό μη διαθέσιμων υπηρεσιών ή την εκτίμηση απαραίτητης αλλά ελλιπούς πληροφορίας.

Η εκτίμηση μιας οποιασδήποτε νέας οντολογίας μπορεί να επέλθει μέσα από διαδικασία σύγκρισής της με αυτή την κεντρική οντολογία αναφοράς την οποία ορίζουμε με τον όρο "ευθυγράμμιση οντολογίας". Η εμπειρία, όπως απεικονίζεται στα ερευνητικά κείμενα υποστηρίζει μια όχι συγκεντρωτικής μορφής οντολογία, αλλά αντίθετα ένα σχετικά απλοϊκό μοντέλο που ισορροπεί περιγραφικότητα και συνδυαστική πολυπλοκότητα.

Για να επιτευχθεί καλύτερη διαλειτουργικότητα, δηλαδή η δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης, ερμηνείας, ανταλλαγής και ολοκλήρωσης δεδομένων μεταξύ αντικειμένων του IoT, 3 πλευρές του πραγματικού κόσμου μοντελοποιούνται ενδελεχώς σε οντολογίες: τα αντικείμενα, οι παραχθείσες πληροφορίες αυτών, οι λογικές διεργασίες επί αυτών, καθώς και οι υπηρεσίες. Κάποιες μελέτες προχωρώντας ένα βήμα παρακάτω χρησιμοποιούν οντολογίες για την περιγραφή συμφραζόμενων πληροφοριών, δυναμικό επαναπροσδιορισμό και προσαρμοσμένη διαχείριση των πόρων.

Σε αντίθεση όμως με την πλειοψηφία των μελετών οι οποίες δεν φαίνεται να τα καταφέρνουν στο κομμάτι της επεκτασιμότητας, η εργασία των [HTI11] έρχεται μέσω των προσεγγιστικών και πιθανοτικών μοντέλων που περιγράφονται στις οντολογίες της KB τους να δώσει λύση σε αυτό. Σε περίπτωση μη ικανοποιητικής αντιστοίχισης σε μια υπηρεσία, ενεργοποιείται ο μηχανισμός αναζήτησης όχι του βέλτιστου αλλά ενός απλώς αποδεκτά κοντινού εναλλακτικού αντικειμένου που θα δώσει απάντηση στο προς επίλυση ερώτημα/query. Η διασύνδεση των συσκευών καθώς και η συλλογή κ επεξεργασία δεδομένων από αυτές δημιουργεί μια κατάσταση ενημέρωσης των συνθηκών για τον χρήστη και καλύτερης γνώσης του περιγύρου τους για εφαρμογές και μηχανές.

Εν κατακλείδι, τα σημασιολογικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν υπό τη μορφή συνδέσμων μεταξύ οντοτήτων, πόρων, περιγραφών υπηρεσίας, γνώσης σε ένα συγκεκριμένο domain, σχηματίζοντας οντολογίες της LOD. Το κύριο πλεονέκτημα της σύστασης σημασιολογικών μοντέλων για την περιγραφή των IoT παραμέτρων δεν είναι άλλο από την παροχή διαλειτουργικότητας στα δεδομένα και στα επίπεδα

των υπηρεσιών. Αυτά τα μοντέλα δεν περιορίζουν τα δεδομένα ή/και τους παροχείς των υπηρεσιών σε αυτά που μπορούν να παρέχουν αλλά αντίθετα καθιστούν δυνατή στους παροχείς των δεδομένων κ των υπηρεσιών του IoT, την προμήθεια δεδομένων κ περιγραφών κατανοητών και μεταφράσιμων από μηχανές. Καθιστούν κατανοητό σε επίπεδο μηχανής, τι παρέχει μια υπηρεσία, με τι δεδομένα/υπηρεσίες σχετίζεται, ποια είναι η τρέχουσα τοποθεσία του παροχέα της και ποια η ταυτότητά του.

Εφαρμόζοντας τεχνολογίες σημασιολογικού περιεχομένου στο IoT ευνοείται η διαλειτουργικότητα μεταξύ των πόρων του, διευκολύνεται η αποτελεσματική πρόσβαση στα δεδομένα, ενσωμάτωση αυτών, ο εντοπισμός περεταίρω πόρων, λογικές διεργασίες και εξαγωγή γνώσης. Καθορίζοντας μια οντολογία και χρησιμοποιώντας σημασιολογικές περιγραφές δεδομένων, η πρώτη καθίσταται διαλειτουργική, προσβάσιμη για κάθε χρήστη και ενδιαφερόμενο που την μοιράζεται και την αξιοποιεί. Παρέχει όλα τα απαραίτητα σημασιολογικά εργαλεία για τις προδιαγραφές των IoT συσκευών, όπως τη σχετική προς τους σένσορες και τις παρατηρήσεις τους ορολογία και ένα κοινό λεξιλόγιο και μοντέλο γνώσης, αναγκαίο για την περιγραφή των δεδομένων. Η παροχή οντολογιών όμως και σημασιολογικών περιγραφών δεν επιλύουν όλα τα προβλήματα που αφορούν την ανακάλυψη, τη διαχείριση των δεδομένων και την υποστήριξη αυτόνομων συνεργασιών. Το σημαντικό ζήτημα είναι πώς θα χρησιμοποιηθεί μια οντολογία και τα σημασιολογικά μοντέλα για να υποστηρίξουν κοινούς στόχους σε ένα σημασιολογικό και προσανατολισμένο προς υπηρεσίες IoT.

Η ανάγκη τους είναι λοιπόν ξεκάθαρη και μπορεί να συγκεντρωθεί συνοπτικά στα εξής:

- καθορισμός ενός συνόλου δεδομένων καθώς και της δομής τους προκειμένου να μπορούν να διαμοιράζονται και να χρησιμοποιούνται καθολικά από προγράμματα
- επαναχρησιμοποίηση της γνώσης ενός επιστημονικού τομέα/κλάδου
- διαχωρισμός αυτής της γνώσης από τη λειτουργική γνώση κ τις παρατηρήσεις που επιστρέφονται ως ανάδραση
- ενοποιημένος τρόπος πρόσβασης στα δεδομένα , ενοποιημένος τρόπος περιγραφής τους
- δυνατότητα επέκτασης και ανακάλυψης νέας γνώσης βάσει λογικών διεργασιών

Τέλος, όσον αφορά το νέο προσανατολισμό στο IoT, όπως περιεκτικά υπογραμμίζεται από τους De et al [DEB+12] μια υπηρεσία προσφέρει μια επαρκώς ορισμένη και προτυποποιημένη πλατφόρμα, η οποία προσφέρει όλες τις απαραίτητες λειτουργικότητες που ευνοούν τη διαδραστικότητα μεταξύ οντοτήτων και αλληλοσχετιζόμενων διαδικασιών. Μια IoT υπηρεσία μοντελοποιείται ως μια εικονική έννοια/σύλληψη η εικόνα και τα αποτελέσματα της οποίας εκτίθενται μέσα από έναν πόρο του IoT.

4.3 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΔΙΕΞΟΔΑ ΜΗ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ

Πολλές είναι οι βιβλιογραφικές και ερευνητικές πηγές, οι οποίες ενστερνίζονται μια σημασιολογική προσέγγιση των ζητημάτων του ΔτΠ. Στην διπλωματική του εργασία ο Henson [Hen13] εξηγεί την ιδέα της σημασιολογικής σκέψης για την ερμηνεία και την λογική επεξεργασία των δεδομένων αισθητήρων, αλλά και την σημασία της μηχανιστικής γνώσης. Ο Ganz [Gan14] περιγράφει την ανάγκη νέων τεχνικών ερμηνείας των κυβερνο-φυσικών δεδομένων και του συμπερασμού νέας γνώσης, λαμβάνοντας υπόψη την πληροφορία συμφραζομένου, ένα προτυποποιημένο μοντέλο μεταπληροφορίας αλλά και χωροχρονικές επισημάνσεις επί των δεδομένων. Οι Sheth και λοιποί [SHS08] ,σχεδίασαν την έννοια του Σημασιολογικού Ιστού Αισθητήρων (Semantic Sensor Web) για την σημασιολογική επισήμανση των αισθητήρων και των δεδομένων εισάγοντας ξεκάθαρη την ανάγκη οντολογιών τομέων χωρίς όμως την έκθεση των σχετικών ζητημάτων επαναχρησιμοποίησης τους. Το πρόγραμμα Spitfire [PRB+11] συνδύασε το ΣΙ με το ΔτΠ για να δημιουργήσει το Σημασιολογικό Ιστό των Πραγμάτων εστιάζοντας στο κομμάτι της ανακάλυψης αισθητήρων και όχι στην ερμηνεία των παραχθέντων τιμών αυτών.

Η πλειοψηφία των εργασιών σήμερα όπως SemSOS [HPS+09], η Sense2Web [DEB+12] πλατφόρμα, Graph of things [LQN+14] και Semsor4grid4env [GGK+11] παρέχουν το κομμάτι της ανακάλυψης αισθητήρων, της σημασιολογικής επισήμανσης ροών αισθητήριων δεδομένων, συνδέοντάς τα στα Συνδεδεμένα Ανοικτά δεδομένα (LOD) οπτικοποιώντας αυτά.

Οι Patel και λοιποί [PPC+13] προτείνουν ένα εργαλείο για την εύκολη ανάπτυξη IoT εφαρμογών, χωρίς να καταργούν την ανάγκη παρέμβασης των προγραμματιστών για τον προγραμματισμό του στρώματος λογικής που θα αναλαμβάνει την ερμηνεία των αισθητήριων δεδομένων. Εξηγούν την ανάγκη κοινών λεξιλογίων μεταξύ τομέων χωρίς να τις χρωματίζουν με σημασιολογικές τεχνολογίες. Οι Paganelli και λοιποί [PTG16], βαδίζοντας στα ίδια βήματα, προτείνουν την ανοικοδόμηση ενός πλαισίου εργασίας που θα επισπεύσει την ανάπτυξη των εφαρμογών του ιστού των πραγμάτων βασιζόμενο σε υπηρεσίες ιστού όπως η REST. Η Hackem [Hac14] σε εργασία της υπογραμμίζει πως η παρέμβαση ειδικών μεταξύ τομέων για την ερμηνεία αισθητήριων δεδομένων είναι κοστοβόρο και χρονοβόρο και πως η ανάγκη προσεγγίσεων διαμοιρασμού και επαναχρησιμοποίησης ενός κοινού τρόπου ερμηνείας των αισθητήριων δεδομένων είναι εμφανής. Επιπλέον, στα πλαίσια της εργασίας της περιγράφεται ως μακροπρόθεσμη προοπτική, η ανάγκη ενσωμάτωσης ενός μηχανισμού λογικού συμπερασμού που θα εξάγει γνώση υψηλού επιπέδου από δεδομένα αισθητήρων, μια εργασία για την οποία, οι προγραμματιστές δεν διαθέτουν την ειδικευση.

Στα πλαίσια όλων αυτών των εργασιών συναντούμε ορισμένες ανεπάρκειες, μεταξύ των οποίων, ο συμπερασμός υψηλού επιπέδου συλλήψεων από τα δεδομένα των αισθητήρων, ο σχεδιασμός μιας ενοποιημένης μορφής γνώση πεδίου καθώς και η παραγωγή διαλειτουργικών IoT εφαρμογών. Οι υπάρχουσες αυτές προσεγγίσεις δεν ακολουθούν απλούς κανόνες για τον διαμοιρασμό και την επαναχρησιμοποίηση των δεδομένων, μήτε συνδυάζουν τέτοιους για την παραγωγή πρόσθετης γνώσης. Εντοπίζουν την ανάγκη ύπαρξης ενός λεξιλογίου χωρίς όμως να αναφέρουν συγκεκριμένα ούτε ποιες μήτε τους τρόπους που αυτές μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή/και να συνδυαστούν. Αναφέρεται η ανάγκη συνδυασμού γνώσης τομέων, χωρίς όμως την εφαρμογή εργαλείων ταιριάσματος οντολογιών επί οντολογιών τομέων, καθώς τέτοια εργαλεία είναι ακόμη σε μη ώριμα στάδια κατασκευής. Μια εργασία πρόκληση συνεπώς, είναι αυτή του επανσχεδιασμού μιας ενοποιημένης γνώσης τομέων (οντολογιών, συλλογών δεδομένων και κανόνων) και SPARQL ερωτημάτων για την παροχή διαλειτουργικών IoT εφαρμογών. Τέλος οι υπάρχουσες μελέτες κάνουν ξεκάθαρη την ανάγκη διερεύνησης νέων εργαλείων που θα βοηθούν τους προγραμματιστές στο κομμάτι της ερμηνείας των αισθητηριακών δεδομένων που παράγονται από τα αντικείμενα για να επιταχύνουν το κομμάτι της σχεδίασης εφαρμογών και της διάθεσης αυτών στην αγορά.

4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΗΜΟΦΙΛΩΝ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Όπως είδαμε, μέσα από τις οντολογίες μπορούν να βρουν περιγραφή βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία και λειτουργίες της καθημερινότητας που αφορούν σε πράγματα και διαδικασίες επί παντός επιστητού. Υπάρχουν και συνεχώς αναπτύσσονται, οντολογίες για τους τομείς της υγείας, της μουσικής, των τεχνών και πολλών άλλων πραγμάτων. Ένας εξ' αυτών των χώρων είναι αυτός του δικτύου αισθητήρων και ενεργοποιητών. Πολλές είναι εκείνες οι οντολογίες, οι οποίες αναλαμβάνουν την περιγραφή τόσο των χαρακτηριστικών καταγραφής δεδομένων αλλά και ροών δεδομένων και γεγονότων, όσο και εννοιών του πραγματικού κόσμου που παίζουν πρώτο ρόλο στην διαδικασία επικοινωνίας των αντικειμένων με άλλες πιο εξειδικευμένες οντολογίες.

Στα πλαίσια αυτά, επιχειρήθηκε μια συγκριτική μελέτη των δομικών στοιχείων, ορισμένων εκ των βασικότερων και δημοφιλέστερων οντολογιών αισθητήρων, που τυγχάνουν ευρείας αποδοχής από τρέχοντα projects, και διαθέτουν όλα εκείνα τα φόντα για να δώσουν μια απάντηση στα ανοιχτά εκείνα ζητήματα του ΔτΠ. Ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση τόσο των κλάσεων όσο και των διαφόρων ιδιοτήτων των IoT οντολογιών αυτών και μια εκτενής αναφορά σε καθεμία εξ' αυτών ξεχωριστά σε επόμενο κεφάλαιο.

	FIESTA-iot	M3 Lite	M3	IoT Lite	SSN	PROV-O	Timeline	Stream Annotation	Event
<u>Classes</u>	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ABS (Anti-lock braking system)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
AbstractInstant	X	X	X	X	X	X	√	X	X
AbstractInterval	X	X	X	X	X	X	√	X	X
AbstractTimeLine	X	X	X	X	X	X	√	X	X
acceleration	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Acceleration Instantaneous	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Accelerometer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Acoustic Sensor	X	X	√	X	X	X	X	X	X
active power	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Activity	X	X	X	X	X	X	X	√	X
Activity recognition	√	√	√	X	X	√	X	X	X
ActivityInfluence	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Actuating Device	√	√	√	√	X	X	X	X	X
Accuracy	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Agriculture	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Agriculture M2M Devices	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Agent	X	X	X	X	X	√	X	X	X
AgentInfluence	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Air	√	√	√	X	X	X	X	X	X

Air conditioner	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Air Pollutant Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Air Pollution	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Air Quality	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Air Temperature, Weather Temperature, Ambient Temperature	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Air Thermometer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Alarm Systemr	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Alcohol Level	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Alcohol Level Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Alert	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Altitude	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Ampere (A)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Angular	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Animal	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Atmospheric Pressure	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Atmospheric Pressure Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
attribute	√	X	X	√	X	X	X	X	X
Attribution	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Association	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Bar	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Barcode	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Battery level	√	√	X	X	X	X	X	X	X
BatteryLifetime	X	X	X	X	√	X	X	X	X

Beat Per Minute (bpm)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Bed	X	X	√	X	X	X	X	X	X
bed occupancy	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Blind	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Blood Glucose	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Blood pressure	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Blood Pressure Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Blood Oxygen Saturation Sensor	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Board Temperature	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Board Thermometer	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Body Temperature	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Body Thermometer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Boiler	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Book	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Building/Room Temperature	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Bundle	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Calcium	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Camera	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Candela	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Capacitance	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Car Speed Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Carbon Dioxide (CO2) Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Carbon Monoxide (CO) Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X

CD	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Centibar	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Centimetre, Centimeter	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Chemical Agent Atmospheric Concentration	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Chemical Agent Atmospheric Concentration Air Particles	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Chemical Agent Atmospheric Concentration CO	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Chemical Agent Atmospheric Concentration NO2	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Chemical Agent Atmospheric Concentration O3	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Cholesterol	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Cholesterol Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
circle	√	X	X	√	X	X	X	X	X
Clock	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Close	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Clothes	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Cloud Cover	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Cloud Cover Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
CO2 measurements	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Coffee Machine, Coffee maker	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Collection	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Computer, PC	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Communication	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Condition	X	X	X	X	√	X	X	X	X

Conductivity	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Conductivity Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Controller	X	X	√	X	X	X	X	X	X
ContinuousTimeLine	X	X	X	X	X	X	√	X	X
Coulomb	√	√	√	X	X	X	X	X	X
coverage	√	X	X	√	X	X	X	X	X
Cup	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Cupboard	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Curtain	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Day	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Decibel (db)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
degree	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Degree angle	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Degree celsius	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Degree fahrenheit	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Degree Kelvin	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Delegation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Delta Dew Point	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Delta Dew Point Sensor	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Deployment	√	X	X	X	√	X	X	X	X
Deployment-related Process	√	X	X	X	√	X	X	X	X
Derivation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
DesignedArtifact	X	X	X	X	√	X	X	X	X
DetectionLimit	X	X	X	X	√	X	X	X	X

Device	√	X	X	√	X	X	X	X	X
Dew Point	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Dew Point Sensor	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Dew Point Temperature	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Diastolic Blood pressure	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Dimension less	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Direction	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Direction Azimuth	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Direction Heading	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Dish Washer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Distance	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Distance Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
DiscreteCosineTransform	X	X	X	X	X	X	X	√	X
DiscreteFourierTransform	X	X	X	X	X	X	X	√	X
DiscreteInstant	X	X	X	X	X	X	√	X	X
DiscreteInterval	X	X	X	X	X	X	√	X	X
DiscreteTimeLine	X	X	X	X	X	X	√	X	X
Safety Distance	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Domain M2M Devices	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Door	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Drawer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Drift	X	X	X	X	√	X	X	X	X
DVD	√	√	√	X	X	X	X	X	X
ECG or EKG	√	√	√	X	X	X	X	X	X

(Electrocardiogram)									
Electric Charge	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electric Current	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electric Field	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 1800 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 2100 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 2400 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 900 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Potential	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electrical Resistance	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electrical Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X

Πίνακας 2: Κλάσεις βασικών οντολογιών αισθητήρων

Στο παραπάνω απόσπασμα του συγκριτικού αυτού πίνακα, η πλήρης εικόνα του οποίου συμπεριλαμβάνεται στο Παράρτημα Α, βλέπουμε ότι απεικονίζεται μια ευρεία γκάμα περιγραφής αντικειμένων, εννοιών και συλλήψεων με τα οποία καλείται ένας αισθητήρας να παρατηρήσει αλλά και να συνεργαστεί. Περιγράφονται έννοιες όπως η σημασία της λέξεως "ημέρα" ή φυσικών αντικειμένων της καθημερινότητας, όπως ένα αυτοκίνητο ή το αυτόματο σύστημα κλειδώματος του, στιγμιότυπα των οποίων μπορεί να είναι εκατομμύρια συνδεδεμένα μοναδικά πράγματα του πραγματικού κόσμου. Συμπεριλαμβάνεται ο ορισμός φυσικών εννοιών και μονάδων μέτρησης, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, ή το ηλεκτρικό πεδίο διαφόρων συχνοτήτων, αλλά και φορμαλιστικών μαθηματικών ορολογιών όπως αυτές του διακριτού χρονολογίου, που αφορούν αυτή καθεαυτή τη λειτουργία ενός αισθητήρα, στο κομμάτι της καταγραφής συμβάντων.

Παρατηρούμε ακόμη, ότι κάποιες κλάσεις συμπεριλαμβάνονται σε μια ή και περισσότερες οντολογίες, καθώς οι τελευταίες δρουν ως επέκταση ή μια της άλλης, βελτιώνοντας ή προσθέτοντας μέσω σημασιολογικών επισημάνσεων, νόημα στις ήδη υπάρχουσες κλάσεις. Βλέπουμε συνεπώς τόσο τον ανοιχτό χαρακτήρα αυτής της οντολογικής λύσης αλλά και την δυνατότητα επεκτασιμότητας της, μέσω της επαναχρησιμοποίησης ήδη υπαρχουσών δομών, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα εγκόλπωσης όλο και περισσότερων ετερογενών συστημάτων και συσκευών διαφορετικών σχημάτων κατασκευής και προέλευσης. Αντίστοιχα στα πλαίσια των οντολογιών αυτών περιγράφονται και οι συνδέσεις μεταξύ των κλάσεων και των στιγμιοτύπων αυτών, μέσα από τα μεταδεδομένα και τις ιδιότητες των αντικειμένων, των δεδομένων αλλά και τα κατηγορήματα που συνδέουν τους κόμβους υποκειμένου-αντικειμένου.

<u>hasURI</u>	X	X	X	X	X	X	X	√	X
<u>has coverage</u>	√	X	X	√	X	X	X	X	X
<u>has deployment</u>	√	X	X	X	√	X	X	X	X
<u>has location</u>	√	X	X	X	√	√	X	√	X
<u>has metadata</u>	√	X	X	√	X	X	X	X	X
<u>has part</u>	√	X	X	√	√	X	X	X	X
<u>hasProduct</u>	X	X	X	X	X	X	X	X	√
<u>hasParticipant</u>	X	X	X	X	√	X	X	X	X
<u>hasProperty</u>	X	X	X	X	√	X	X	X	X
<u>hasSubEvent</u>	X	X	X	X	X	X	X	X	√
<u>has quantity kind</u>	√	X	X	√	X	X	X	X	X
<u>hasQuality</u>	X	X	X	X	√	X	X	X	X
<u>has region</u>	√	X	X	X	√	X	X	X	X

Πίνακας 3: Ιδιότητες αντικειμένων βασικών οντολογιών αισθητήρων

<u>has interval date</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>has region data value</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>id</u>	√	X	X	√	X	X	X	X	X
<u>interface description</u>	√	X	X	√	X	X	X	X	X
<u>interface type</u>	√	X	X	√	X	X	X	X	X
<u>is mobile</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>metadata type</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>metadata value</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>radius</u>	√	X	X	√	X	X	X	X	X
<u>fromM2MApplication</u>	X	X	√	X	X	X	X	X	X
<u>hasSparqlVariableInferTypeUri</u>	X	X	√	X	X	X	X	X	X

Πίνακας 4: Ιδιότητες δεδομένων βασικών οντολογιών αισθητήρων

<u>equivalent class</u>	√	√	X	X	X	X	X	X	X
<u>has image</u>	√	√	X	X	X	X	X	X	X
<u>identifier</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>is defined by</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>issued</u>	√	√	X	X	X	X	X	X	X
<u>label</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>lat</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>license</u>	√	X	X	X	X	X	X	X	X

Πίνακας 5: Ιδιότητες επισημάνσης βασικών οντολογιών αισθητήρων

Δρώντας συνεργατικά, οι οντολογίες αυτές φέρουν μεγάλο κομμάτι των απαραίτητων εκείνων εννοιών και πληροφοριών μέσω των οποίων καθίσταται εφικτή η κατανόηση και η συνεργατική επικοινωνία των αποτελεσμάτων με άλλες, πιο εξειδικευμένες οντολογίες οι οποίες θα αναλάβουν το έργο περεταίρω ερμηνείας της σημασίας τους. Αναλαμβάνουν το κομμάτι της αναγνώρισης και της αποτύπωσης μετρήσεων, διαθέτοντας την απαραίτητη γνώση του τι παρατηρείται και καταγράφεται, ώστε να μεταφερθεί η εργασία αυτή στα ενδιαφερόμενα εκείνα μέρη που διαθέτουν τα κατάλληλα εκείνα εργαλεία για την περεταίρω ερμηνεία τους. Μια πιο χαρακτηριστική περιγραφή της προσφοράς καθεμιάς εκ των υπαρχουσών αυτών οντολογιών, συμπεριλαμβάνεται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ

4.5.1 FIESTA-IoT Ontology

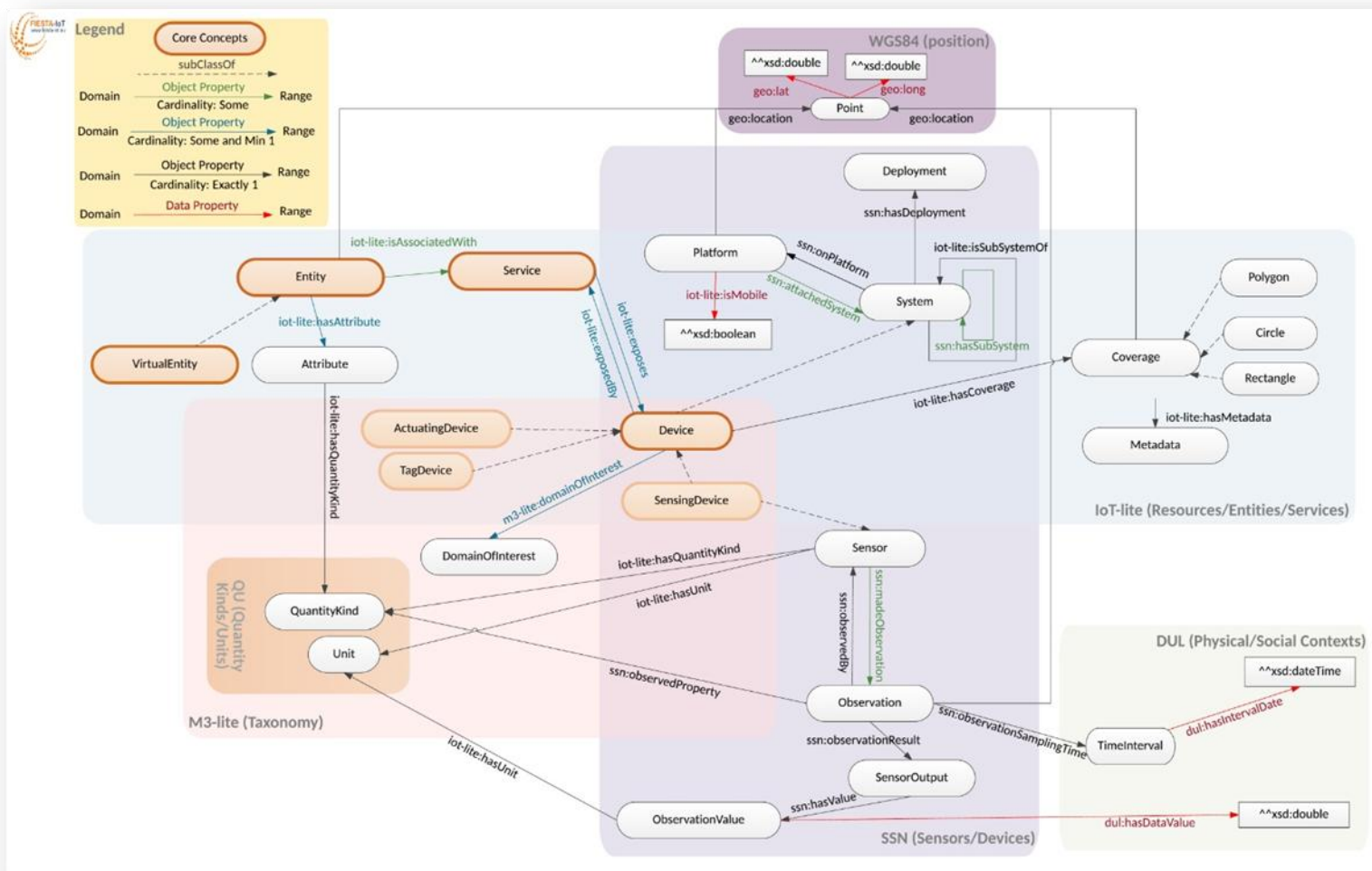
Το Internet of Things διέπεται στα σημερινά του βήματα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, από ετερογένεια. Διάφορες κατακόρυφες δικτυακές πύλες (πχ. υγειονομικά, έξυπνες πόλεις, ενέργεια και μεταφορές) εφαρμόζουν τεχνολογικές λύσεις, στοχευμένες επί συγκεκριμένων τομέων οι οποίες δε δύνανται να λειτουργήσουν διαδραστικά μεταξύ τους. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν να δημιουργηθούν ομάδες τεχνολογιών και αποθήκες δεδομένων, οι οποίες δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ή/και από άλλα domains. Είναι έκδηλη συνεπώς η ανάγκη ανάπτυξης και πειραματισμού με τεχνολογικές λύσεις που σπάνε και γεφυρώνουν αυτά τα στεγανά. Οι τελευταίες έχουν ως προαπαιτούμενο σε μεγάλη κλίμακα, ετερογενείς IoT πόρους προερχόμενους από διάφορους τομείς. [138]

Ο στόχος της FIESTA-IoT (Federated Interoperable Semantic IoT Testbeds and Applications) είναι η παροχή εργαλείων, τεχνικών, διαδικασιών και βέλτιστων πρακτικών, τα οποία θα διευκολύνουν τους χρήστες/χειριστές των διάφορων πλατφόρμων IoT ως προς το κομμάτι της διασύνδεσης των λειτουργιών και υπηρεσιών τους υπό έναν διαλειτουργικό τρόπο, βασισμένο σε λύσεις και τεχνολογίες αιχμής του σημασιολογικού ιστού. Στα πλαίσια όλων των παραπάνω, αναπτύχθηκε η οντολογία που φέρει το ίδιο όνομα. Η FIESTA-IoT Ontology αποτελεί μια ενοποιημένη οντολογία, η οποία συντίθεται από ένα μείγμα/μια συγχώνευση ποικίλων οντολογιών όπως IoT-lite, M3-lite, SSN και DUL.

Οι κυριότεροι τομείς στους οποίους εφαρμόζεται είναι:

- Αναγνώριση/ανίχνευση δραστηριότητας (ενεργοποιητές και αισθητήρες κίνησης)
- Ταυτοποιημένα - επισημασμένα αντικείμενα
- Μεταφορές - μέσα και χαρακτηριστικά μετακίνησης
- Έξυπνα κτήρια - μοντελοποίηση εσωτερικών χώρων (ηλεκτρικές συσκευές, έλεγχος-ρύθμιση ατμόσφαιρας)
- Ενέργεια
- Περιβάλλον (φυσικές καταστροφές, στοιχεία της φύσης, μόλυνση)
- Γεωργία και καλλιέργεια
- Καιρός - πρόγνωση καιρού
- Μονάδες μέτρησης (πχ. πίεσης, χρόνου, διαστάσεις)
- Υγεία - ιατροφαρμακευτική περίθαλψη (περιγραφή λειτουργίας ανθρώπινου σώματος, ιατρικές εξετάσεις)
- Συναισθημα, Διάθεση, Συναισθηματική κατάσταση, Συμπεριφορά

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι βασικές κλάσεις της οντολογίας καθώς και οι συνδέσεις και οι σχέσεις- ιδιότητες που εκμεταλλεύεται συνεργατικά από οντολογίες όπως η *iot-lite* & *M3-lite*:



Σχήμα 26: Βασικός γράφος της Fiesta-IoT οντολογίας

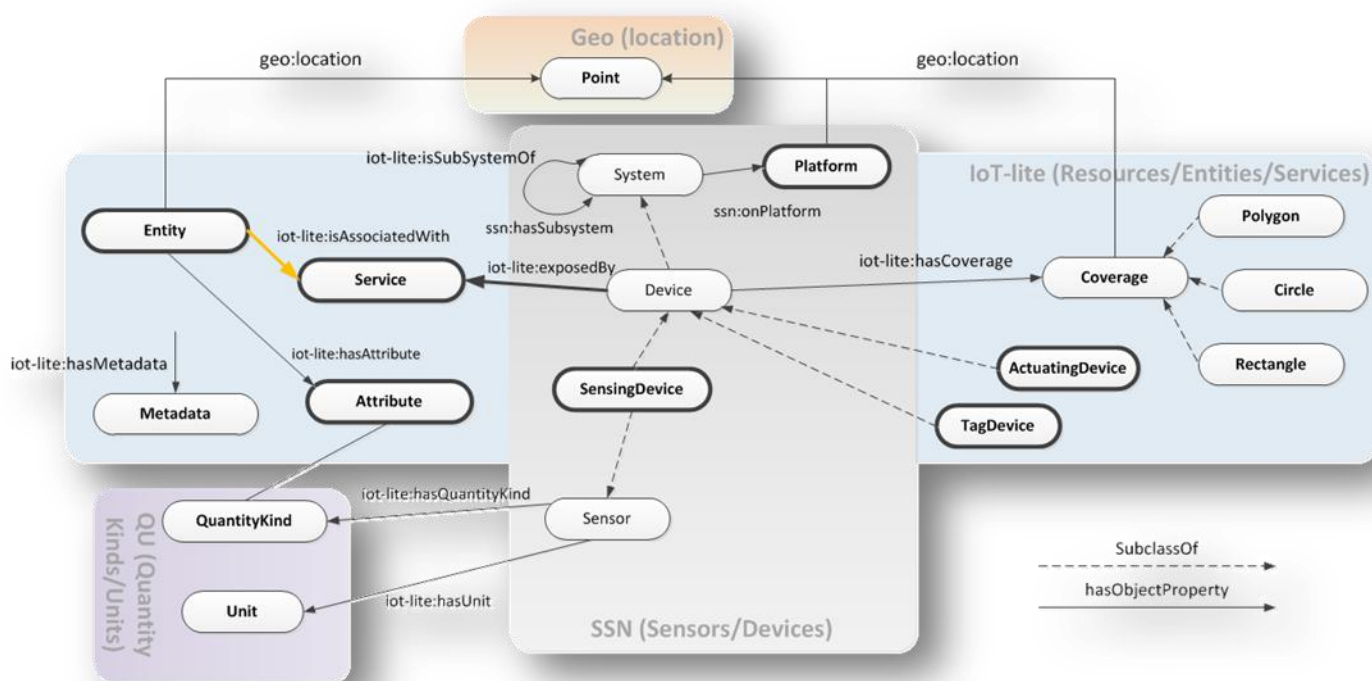
4.5.2 IoT Lite Ontology

Η IoT lite οντολογία [139] είναι μια lightweight έκδοση οντολογίας όπως μαρτυρά και ο περιορισμένος αριθμός κλάσεων και ιδιοτήτων που εμπεριέχει στην περιγραφή της, για την αναπαράσταση IoT πόρων, οντοτήτων και υπηρεσιών. Η χαλαρή αυτή έκδοση επιτρέπει την παρουσίαση και χρήση IoT πλατφορμών αποφεύγοντας την κατανάλωση πλεονάζοντος υπολογιστικού και επεξεργαστικού χρόνου, κατά την φάση της αναζήτησης διατρέχοντας εντός της οντολογίας. Παράλληλα αποτελεί μια μέτα-οντολογία, με την έννοια ότι δύναται να επεκταθεί, προκειμένου να ικανοποιήσει ιδέες και έννοιες διαφόρων τομέων του IoT λεπτομερέστερα. Σκοπός της δημιουργίας της, ήταν για να χρησιμοποιηθεί με μια κοινή ταξινόμια δηλαδή μια ιεραρχία εννοιών προκειμένου να περιγραφεί ποια ποσότητα ακριβώς ενδιαφέρεται να

μετρήσει/καταγράψει ένας αισθητήρας και σε τι μονάδες μέτρησης επιτρέποντας ταυτόχρονα να καθορίσει ομοιότητες μεταξύ των εννοιών. Όπως είναι εμφανές και από το διάγραμμα της Fiesta-iot παραπάνω, τα χαρακτηριστικά της αυτά έχουν ενσωματωθεί στην τελευταία επεκτείνοντας την ουσιαστικά και δρώντας συνεργατικά μαζί με τις SSN & M3-Lite.

Πιο αναλυτικά, συμπεριέλαβε στις τάξεις της κλάσεις και ιδιότητες όπως αυτή της διαθεσιμότητας, της πρόσβασης, της κάλυψης και του βεληνεκούς λειτουργίας που καλύπτει η υπηρεσία ενός σένσορα, των μεταδεδομένων που συμπληρώνει τις αντίστοιχες των μοναδών μέτρησης (units, Quantity kind). Διαχωρίζει τις έννοιες του IoT σε τρεις κατηγορίες: αντικείμενα, συστήματα/πόροι και υπηρεσίες και τις συσκευές σε: αισθητήρες, ενεργοποιητές και ετικέτας/ταντότητας.

Παρακάτω φαίνεται και το διάγραμμα των βασικών αντιλήψεων που περιγράφει η IoT Lite:



Σχήμα 27: Βασικός γράφος της IoT-Lite οντολογίας

4.5.3 The Machine-to-Machine Measurement (M3) Ontology

Η Machine-to-Machine Measurement (M3) οντολογία [140] είναι μια ενοποιημένη γλώσσα - λεξικό, η οποία καθιστά δυνατή την αντιστοίχιση ετερογενών IoT δεδομένων προερχόμενων από ετερογενών μετρήσεων συσκευών (αισθητήρων, RFID tags, κλπ.).

Η M3 εστιάζει στην `ssn:ObservationValue` ιδέα της W3C SSN οντολογίας η οποία περιγράφει τους αισθητήρες, τις παρατηρήσεις και λοιπές σχετικές συλλήψεις. Η W3C SSN οντολογία δεν περιγράφει ιδέες, χρονικά, τοπικά κλπ χαρακτηριστικά ενός domain, αλλά αντίθετα είναι σχεδιασμένη να τα

ενσωματώνει και να τα συμπεριλαμβάνει από άλλες οντολογίες μέσω της OWL. Στην M3 στόχος είναι η σύνδεση των κανόνων και των οντολογιών που περιγράφουν καθένα τομέα.

Το IoT και πιο συγκεκριμένα το Machine-to-Machine (M2M) standard επιτρέπει σε μηχανές και συσκευές όπως οι αισθητήρες να επικοινωνούν η μια με την άλλη χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα. Οι εν λόγω συσκευές παρέχουν ένα αξιοσημείωτα σημαντικό πλήθος δεδομένων χρησιμοποιούμενων κυρίως για συγκεκριμένες M2M εφαρμογές όπως η πρόγνωση του καιρού, η υγειονομική περίθαλψη και οι κτηριακοί αυτοματισμοί. Οι υπάρχουσες εφαρμογές αφορούν/καλύπτουν λοιπόν ως επί το πλείστον, τις ανάγκες συγκεκριμένου domain χρησιμοποιώντας τις δικές τους περιγραφές συσκευών και μετρήσεων. Μια εκ των μεγαλύτερων προκλήσεων είναι ο συνδυασμός των δεδομένων που παρέχονται από αυτούς τους ετερογενείς τομείς και τα projects όπου η ανάκτηση των δεδομένων γίνεται μέσα από ετερογενή πρωτόκολλα στα οποία τα δεδομένα βρίσκονται υπό τη μορφή μετρήσεων. Κάθε μέτρηση φέρει τα εξής στοιχεία: όνομα, τιμή, μονάδα μέτρησης και χρονική σήμανση. Οι υπάρχουσες δράσεις χρησιμοποιούν τις δικές τους σημειογραφίες και συμβολισμούς για να ορίσουν ονόματα και να περιγράψουν μετρήσεις, domains και είδη αισθητήρων. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιείται ο όρος 't', ή πιο ξεκάθαρα 'temp' ή 'temperature'. Για την περιγραφή ενός χώρου μπορεί να χρησιμοποιείται από διαφορετικές οντολογίες ο όρος 'room 414' ή 'office 414', κ αντιστοίχως για την αναπαράσταση ενός βροχόμετρου 'pluviometer' ή 'rainfall sensor'. Στα πλαίσια του IoT είναι έκδηλη λοιπόν η ανάγκη ενοποίησης αυτών των όρων. Ένας άνθρωπος μπορεί να αντιλαμβάνεται ότι τα διαφορετικά αυτά αναγνωριστικά ταυτοποιούν το ίδιο αντικείμενο εν αντιθέσει με τις M2M συσκευές που απαιτούν μια ρητή και ενοποιησίμη περιγραφή των μετρήσεων αυτών.

Η λύση για την υπερπήδηση αυτής της δυσκολίας, βρίσκεται στη σημασιολογική προσέγγιση των δεδομένων αυτών. Αυτή η διαδικασία αυτομάτως *συνδυάζει, εμπλουτίζει, ευνοεί και επιτρέπει το λογικό συμπερασμό*, με άμεσο αποτέλεσμα να ανοίγει το δρόμο για την παροχή M2M cross-domain εφαρμογών, δηλαδή εφαρμογών που άπτονται του αντικειμένου περισσότερων του ενός τομέων.

Για τους λόγους αυτούς σχεδιάστηκε η Machine to Machine Measurement (M3) οντολογία, ώστε να ταξινομεί και να παραπέμπει τα ποικίλα domains, τις μετρήσεις και τα είδη των αισθητήρων σε μια ενοποιημένη περιγραφή M2M δεδομένων. Ο κύριος στόχος όμως είναι να συναχθεί νέα πληροφορία εκ των ήδη υπαρχουσών, εφαρμόζοντας σημασιολογικούς κανόνες. Για παράδειγμα, αν έχει ανιχνευθεί πως η θερμοκρασία σώματος είναι μεγαλύτερη των 38 °C και ένας αισθητήρας μας πληροφορεί ότι το άτομο βρίσκεται στην κρεβατοκάμαρα, τότε πιθανότατα είναι άρρωστο. Άρα έχουμε μια νέα κατάσταση (έστω 'flu') η οποία οδηγεί σε μια άλλη οντολογία που ασχολείται ή διασταυρώνεται με ιατρικούς όρους.

Η προσέγγιση της M3 περιλαμβάνει πέραν της οντολογίας, τον M3 κόμβο όπου συνδυάζεται γνώση από διάφορα domains καθώς και μια νέα σύλληψη, αυτή των Linked Open Rules που στόχο έχει να μοιραστεί

και να επαναχρησιμοποιηθεί η παραπάνω γνώση υπό έναν ομοιόμορφο τρόπο. Μια έννοια που παρακολουθείται από δυο διαφορετικούς σένσορες, όπως πχ η θερμοκρασία, ενδέχεται να λαμβάνει διαφορετικές ερμηνείες αναλόγως του αν αναφέρεται σε ένα σώμα ή στην εξωτερική ατμόσφαιρα. Οι λογικές διεργασίες και συνεπαγωγές, που πρέπει να εφαρμοστούν συνεπώς διαφέρουν.

Οι υπάρχουσες εφαρμογές σε κάθε domain ταξινομούν χειροκίνητα όλους αυτούς τους σημασιολογικούς κανόνες που δεν έχουν δημοσιευθεί online ή που ακόμη κι αν είναι, δεν σέβονται/ακολουθούν τις συμβάσεις της κοινής πρακτικής του σημασιολογικού ιστού, πχ να μπορούν να αναζητηθούν από μηχανή σημασιολογικής αναζήτησης (Watson Sindice, Swoogle, Falcons κλπ) ή να μπορούν να αναφερθούν από σημασιολογικά εργαλεία όπως το Linked Open Vocabulary (LOV). Η M3 πρόταση, συστήνει τους Linked Open Rules για την αναφορά, τον διαμοιρασμό και την επαναχρησιμοποίηση σημασιολογικών κανόνων που εφαρμόζονται ήδη από domain experts.

Αντικείμενα λοιπόν που αναφέρονται σε διαφορετικά μέρη μπορούν να συνδεθούν με τα: owl:equivalentClass ή owl:sameAs. Η αλληλοσυμπλήρωση όμως αυτή δεν είναι πάντα εφικτή καθώς δε χρησιμοποιούνται πάντα με τον ίδιο τρόπο ή η κοινή ιδιότητα rdfs:label λείπει. Ενδέχεται ένα αντικείμενο να αναφέρεται ως μέρος μιας οντολογίας ή ως στιγμιότυπο ενός dataset.

Η M3 οντολογία σχεδιάστηκε ως επέκταση της SSN οντολογίας προκειμένου να περιγράψει M2M δεδομένα σε ομοιόμορφη μορφή. Η εν λόγω οντολογία

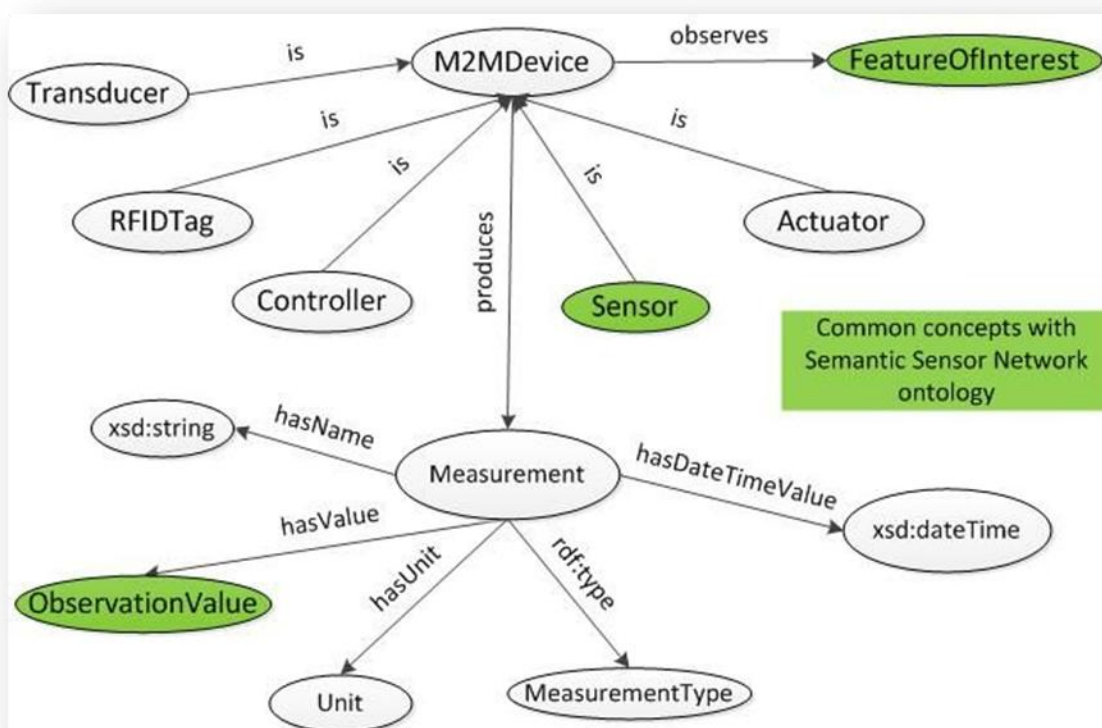
- καθορίζει κύριες συνιστώσες της M2M αρχιτεκτονικής
- αντιστοιχίζει σημασιολογικά M2M δεδομένα
- ταξινομεί M2M συσκευές, τα δεδομένα και τα domains που καλύπτουν
- συνδέει τις M3 έννοιες σε οντολογίες τομέων/κλάδων για την απόκτηση πρόσθετων πληροφοριών

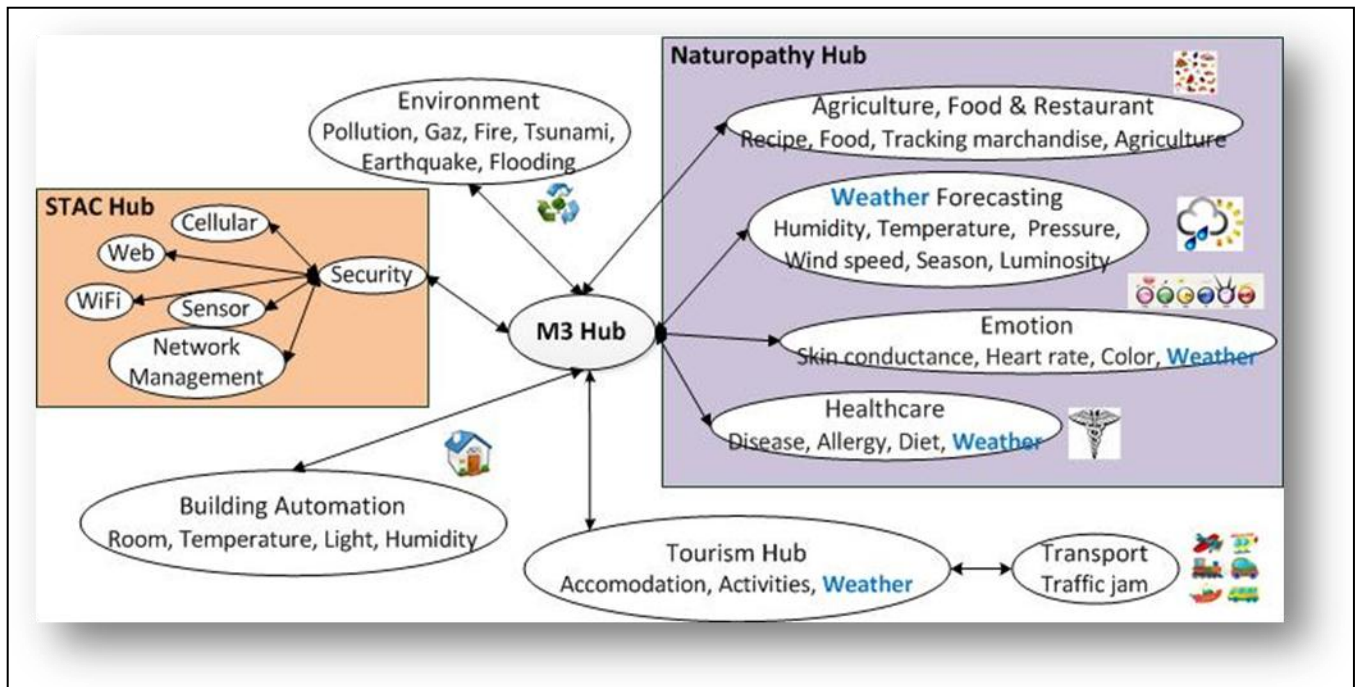
Η SSN οντολογία επαναχρησιμοποιήθηκε μιας και αντιμετωπίζει κοινές συλλήψεις όπως αυτή του αισθητήρα. Μια M2MDevice μπορεί να είναι Actuator, RFIDTag, Controller, Transducer ή Sensor.

Η M2M device παρατηρεί ένα domain και παράγει μετρήσεις, κάθε μία εκ των οποίων όπως ελέγχη ανωτέρω φέρει ένα όνομα, μια τιμή, μια κατάλληλη μονάδα μέτρησης, έναν τύπο και μια χρονοσφραγίδα. Η M3 οντολογία περιγράφει περισσότερους από 30 αισθητήρες όπως θερμοκρασίας, επίπεδα φωτεινότητας, και ποικίλους τομείς όπως αυτούς της υγείας, καιρού, μεταφορών, τουρισμού και κατασκευών. Ταξινομούνται ιεραρχικά, για παράδειγμα ο αισθητήρας πίεσης μπορεί να αναφέρεται σε πίεση αίματος, ατμοσφαιρική πίεση και ο τομέας του περιβάλλοντος μπορεί να είναι ο καιρός, η μόλυνση ή η έξυπνη καλλιέργεια. Επιπροσθέτως, συμπεριλαμβάνονται περιορισμοί μεταξύ των αισθητήρων, των παραγόμενων μετρήσεων και των μονάδων τους. Επί παραδείγματι, το θερμόμετρο είναι ένας αισθητήρας ο οποίος παράγει μετρήσεις θερμοκρασίας και η μονάδα μέτρησης είναι είτε βαθμοί Κελσίου, Φαρενάιτ ή Κέλβιν.

Ένα σημαντικό μέρος μετρήσεων αισθητήρων ταξινομούνται.. πχ θερμοκρασία, υγρασία, επιπεδα σακχάρου, φωτεινότητα κλπ. Οι RFID ετικέτες είναι ενσωματωμένες σε ψηφιακούς δίσκους, είδη ένδυσης κ.α. Στο εγγύς μέλλον θα συναντώνται σε αναρίθμητα προϊόντα όπως βιβλία ή και φαγώσιμα. Συνεπώς στην M3 οντολογία προστέθηκε η έννοια περιγραφής RFIDMeasurementType.

Για την απόκτηση πρόσθετης πληροφορίας, "παντρεύονται" οι έννοιες της M3, με όσες βρίσκονται σε ήδη υπάρχουσες οντολογίες, σχεδιασμένες από ειδήμονες τομέων. Ορισμένες εξ' αυτών αφορούν αισθητήρες, καιρό, σεισμό, υγεία, έξυπνα κτήρια, συναίσθημα, τουρισμό, μεταφορές, καλλιέργειες και τρόφιμα. Οι οντολογίες τομέων, όπως αποκαλύπτει εμφανώς το όνομά τους, σχεδιάστηκαν για συγκεκριμένες εφαρμογές χωρίς όμως να υπάρχει σύνδεσή τους, με προηγούμενες/παλαιότερες. Ακόμα και οντολογίες του ίδιου κλάδου (πχ υγειονομία) δε συνδέονται αναμεταξύ τους. Η συμπληρωματικών αλληλένδετων κλάδων όπως τροφίμων με καλλιέργειας. Η M3 λοιπόν σχεδιάστηκε να επιτελεί ρόλο κόμβου για διασταυρούμενες οντολογίες τομέων αλλά και συλλογές δεδομένων. Παράγεται νέα γνώση διασυνδέοντας τους νέους τύπους που συμπεραίνονται με αυτούς από τις ήδη υπάρχουσες οντολογίες κλάδων. Στο παραπάνω παράδειγμα με τη θερμοκρασία, η έννοια της γρίπης ή/και της θερμοκρασίας σώματος αναμιγνύεται με την αντίστοιχη που προτείνεται από οντολογίες υγειονομίας μέσω της ιδιότητας owl:EquivalentClass. Για την ενημέρωση και την αυτοματοποίηση του κόμβου αυτού, προτείνεται η χρήση της μελέτης Linked Open Vocabularies (LOV) για την εύρεση και την ολοκλήρωση μιας νέας, καλά σχεδιασμένης οντολογίας τομέα. Μια παρεμφερής προσέγγιση χρησιμοποιείται για τον εμπλουτισμό M2M δεδομένων μέσω του Linked Open Data (LOD) όπου χάρη στην ιδιότητα owl:sameAs συνδέονται στιγμιότυπα μεταξύ τους αντί για έννοιες/συλλήψεις.





Σχήμα 28: Βασικοί γράφοι της M3 οντολογίας

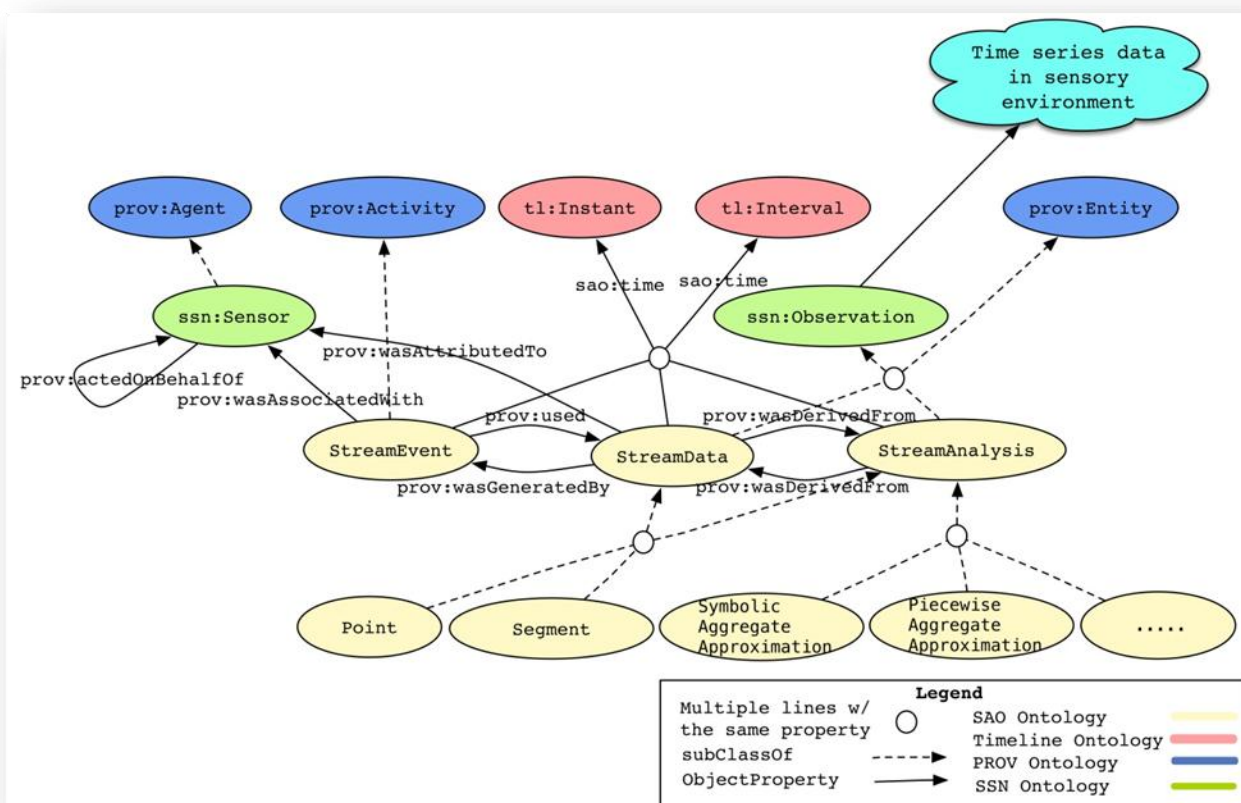
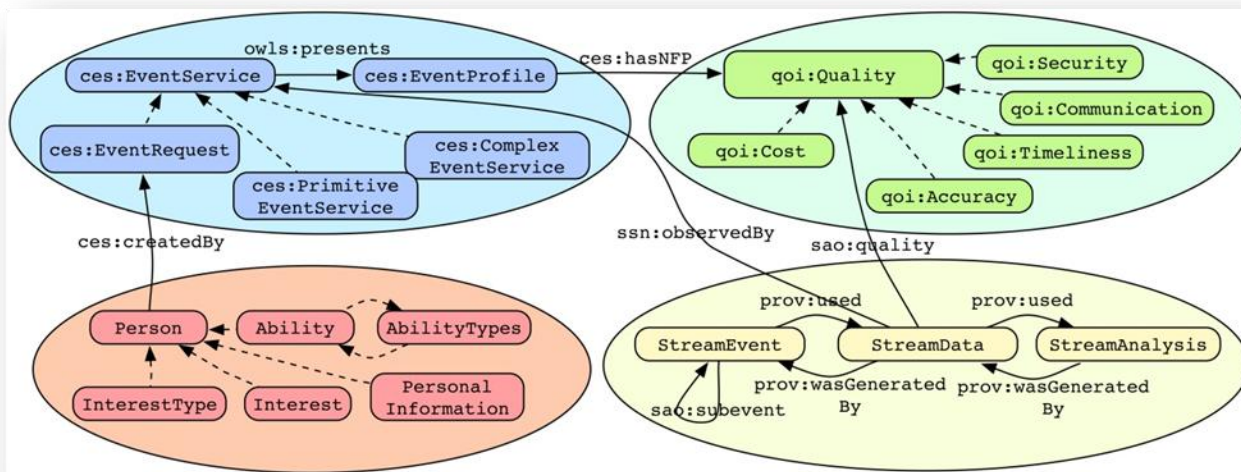
4.5.4 Stream Annotation Ontology

Η αναπαράσταση ροής IoT δεδομένων, είναι ένα σημαντικό προαπαιτούμενο για τις εφαρμογές που τις χρησιμοποιούν, όπως επίσης και σε περιβάλλοντα βάσεων γνώσης για έξυπνες πόλεις. Ο στόχος της SAO [141] δεν είναι άλλος από τη σημασιολογική αναπαράσταση των χαρακτηριστικών μιας ροής δεδομένων, που καθορίζουν τις προδιαγραφές ενός πληροφοριακού μοντέλου βασιζόμενου στις SSN, PROV-O και TimeLine οντολογίες αλλά και στις οντολογίες Quality και Complex Event Processing. Μια ροή δεδομένων αποτελεί μια διατεταγμένη με βάση χρονική μεταβλητή, ακολουθίας περιγραφών αντικειμένων. Μια τέτοια ροή έχει σα στόχο να δηλώσει αδιαλείπτως, χρονικά γεγονότα άφιξης/αναχώρησης ενός πράγματος ή εγγενείς-έμφυτες ιδιότητες του.

Η οντολογία SAO είναι ένα ελαφρύ και όχι πλήρες σημασιολογικό μοντέλο, το οποίο οικοδομήθηκε πάνω σε πολύ γνωστά μοντέλα για την αναπαράσταση ροών IoT δεδομένων. Αναπτύχθηκε στα πλαίσια του [CityPulse project](#).

Η οντολογία παρέχει χρονικές έννοιες όπως τη ροή δεδομένων, το τμήμα και την ανάλυση της πάνω από έννοιες που επεξεργάζονται οι οντολογίες [TimeLine](#), [PROV-O](#), [SSN](#) και [Event](#). Η οντολογία Timeline επεκτείνει την OWL-Time με ποικίλα χρονολόγια, χρονικές έννοιες όπως "στιγμιαίος" ή "διάλειμμα/διακοπή". Οι Stream Annotation έννοιες βρίσκονται σε απευθείας σύνδεση με τις αρχές της οντολογίας PROV-O υιοθετώντας ταυτοτικά τις έννοιες του πράκτορα, της οντότητας και της δραστηριότητας. Σε όρους περιγραφής γεγονότων, υιοθετεί την έννοια του γεγονότος από την Event οντολογία παρέχοντας έναν ευρύ ορισμό της έννοιας του γεγονότος ροής προκειμένου να εκφράσει μια τεχνητή ταξινόμηση ενός χρονικού παραθύρου, το οποίο ανταποκρίνεται σε μια συγκεκριμένη μετάδοση δεδομένων. Επεκτείνει επιπροσθέτως τις παρατηρήσεις των αισθητήρων που περιγράφονται από την

SSN οντολογία ssn:Observation δια μέσου της έννοιας του StreamData, το οποίο επιτρέπει την περιγραφή του σημείου και του χρονικού διαστήματος που αντιστοιχεί σε μία χρονική στιγμή ή μια διακοπή αντίστοιχα.



Σχήμα 29: Βασικοί γράφοι της Stream Annotation οντολογίας

4.5.5 PROV-O: The PROV Ontology

Η οντολογία PROV (PROV-O) [142] εκφράζει το μοντέλο δεδομένων PROV [PROV-DM] χρησιμοποιώντας την OWL2 γλώσσα οντολογιών. Παρέχει ένα σύνολο κλάσεων, ιδιοτήτων και περιορισμών οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση και την αντιμετάθεση πληροφορίας προέλευσης δεδομένων που παρήχθησαν σε διαφορετικά συστήματα υπό διαφορετικά πλαίσια/συμφραζόμενα. Αποτελεί εξειδικευμένο εργαλείο δημιουργίας νέων κλάσεων και ιδιοτήτων για τη μοντελοποίηση πληροφορίας προέλευσης για διαφορετικές εφαρμογές και κλάδους.

Η PROV-O καθορίζει τη γλώσσα OWL2 η οποία κωδικοποιεί το μοντέλο δεδομένων PROV [PROV-DM]. Μαζί με τα PROV Access and Query [PROV-AQ] & PROV Data Model [PROV-DM], η οντολογία αυτή θέτει τα πλαίσια, το σκελετό για την ανταλλαγή πληροφορίας προέλευσης σε συγκεκριμένου τομέα διαδικτυακές εφαρμογές.

Η PROV-O αποτελεί μια μη πλήρη, ελαφρά όπως αποκαλείται, εκδοχή οντολογίας, η οποία μπορεί να υιοθετηθεί από μια ευρεία γκάμα εφαρμογών. Οι κλάσεις και οι ιδιότητες της εν λόγω οντολογίας, ορίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μη χρησιμοποιούνται μόνο απευθείας για την αναπαράσταση πληροφορίας προέλευσης, αλλά αντιθέτως να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προδιαγραφές, για τη μοντελοποίηση λεπτομερειών προέλευσης συγκεκριμένων εφαρμογών που ανήκουν σε μια ποικιλία κλάδων.

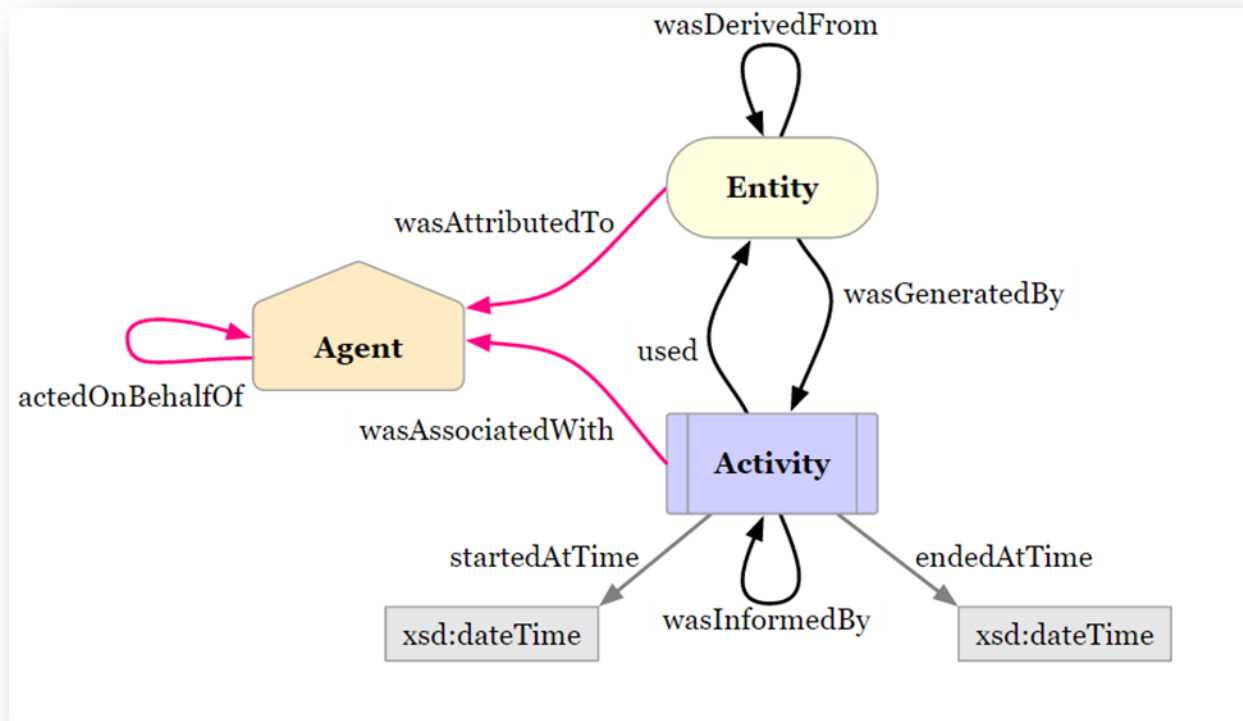
Κατ' αυτό τον τρόπο, η PROV οντολογία προσδοκάται να είναι τόσο άμεσα αξιοποιήσιμη σε εφαρμογές όσο και να αποτελεί μοντέλο αναφοράς για τη δημιουργία συγκεκριμένου τομέα οντολογιών προέλευσης, διευκολύνοντας έτσι τη διαλειτουργικότητα.

Ορισμένοι από τους όρους μοντελοποίησης της OWL2 που χρησιμοποιούνται στην περιγραφή της PROV είναι:

- Το στιγμιότυπο OWL2, ένα αντικείμενο στο εκάστοτε υπό μελέτη domain πχ ένα άτομο με το όνομα Νίκος ή ένα αυτοκίνητο μάρκας BMW. Ένα σύνολο μονάδων που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά συνιστά μια κλάση. "Άτομο" και "Αυτοκίνητο" είναι πιθανά παραδείγματα αναπαράστασης ατόμων και αυτοκινήτων αντιστοίχως.
- Οι ιδιότητες αντικειμένων, που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μονάδων, κλάσεων ή για τη δημιουργία ιεραρχίας ιδιοτήτων. Για παράδειγμα, η ιδιότητα "hasOwner" μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει το αυτοκίνητο με το άτομο-χρήστη του.

Οι χρήστες της PROV-O μπορεί να χρειαστεί να χρησιμοποιήσουν μέρη από το σύνολο της οντολογίας αναλόγως των αναγκών τους και πόσης λεπτομέρειας θέλουν να συμπεριλάβουν στην πληροφορία προέλευσης. Για τους παραπάνω λόγους, οι όροι της PROV-O (κλάσεις και ιδιότητες) ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες, ώστε να παρέχουν μια σταδιακώς κλιμακούμενη εισαγωγή στην οντολογία. Οι τρεις

αυτές κατηγορίες είναι οι όροι εναρκτήριου σημείου, εκτεταμένοι όροι και όροι για την εκτίμηση σχέσεων.



Σχήμα 30: Βασικός γράφος της PROV-O οντολογίας

4.5.6 The Timeline Ontology

Η Timeline οντολογία [143] αναπτύχθηκε στο Centre for Digital Music του πανεπιστημίου Queen Mary του Λονδίνου, με το πρώτο σκαρίφημα της να συντάχθηκε το Νοέμβρη του 2014.

Επικεντρώνεται γύρω από την ιδέα του χρονολογίου, το οποίο χρησιμοποιείται εδώ ως ένας τρόπος αναγνώρισης μιας χρονικής ραχοκοκαλιάς. Ένα χρονολόγιο μπορεί να υποστηρίζει ένα σήμα, ένα βίντεο, μια μουσική δημιουργία, ένα παραδοτέο έργο κλπ. Μαζί με την οντολογία Event, μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνεργατικά για τον εμπλουτισμό με σχόλια, τμημάτων ενός σήματος, ενός βίντεο ή οποιουδήποτε χρονικού αντικειμένου εν γένει.

Επί παραδείγματι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει εκφράσεις όπως οι παρακάτω:

1. Αυτή η φωτογραφία εντοπίζεται μεταξύ αυτού και του άλλου καρέ σε αυτό το αρχείο βίντεο
2. Αυτή η παράσταση δόθηκε σε αυτή τη συγκεκριμένη ημερομηνία
3. Σε αυτό το τραγούδι, το ρεφρέν βρίσκεται πριν από τη δεύτερη στροφή
4. Ένα νέο δομικό απόσπασμα ξεκινά στα 4 λεπτά και 17 δευτερόλεπτα σε αυτό το σήμα
5. Αυτό το σήμα είναι μια δειγματοληπτική έκδοση αυτού του αναλογικού σήματος

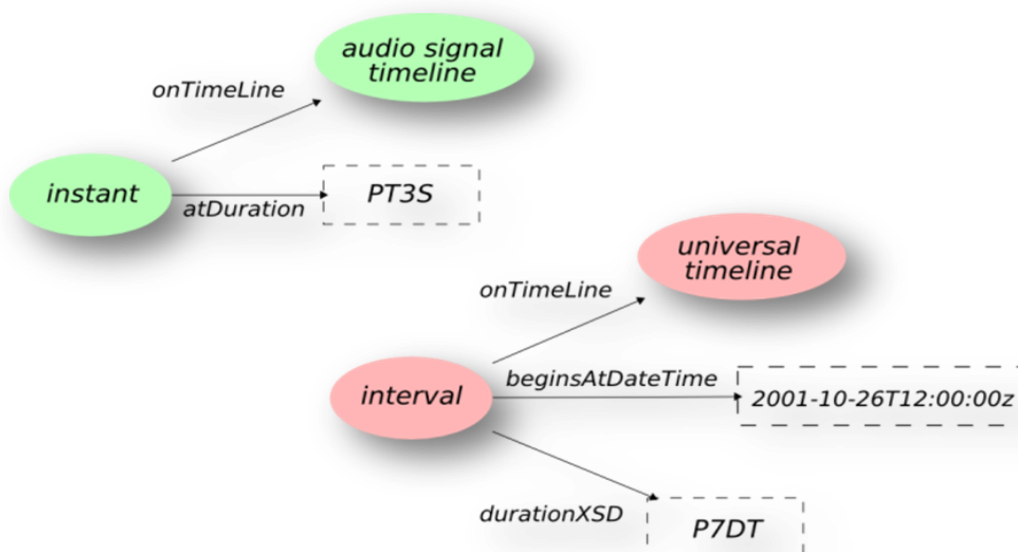
6. Αυτό το μέρος αυτού του ορχηστρικού κομματιού ταυτίζεται με αυτό το κομμάτι της ζωντανής απόδοσης τους σε μια παράσταση εν εξελίξει

Ο οντολογία αυτή ορίζει λοιπόν όπως λέει και το ίδιο το όνομα της, την ιδέα του χρονολογίου (Timeline), αντιπροσωπεύοντας μια συμπαγή ραχοκοκαλιά για την απόδοση χρονικής πληροφορίας. Κάθε χρονικό αντικείμενο (σήμα, βίντεο, παράσταση, έργο κλπ) μπορεί να σχετιστεί με ένα χρονολόγιο. Κατόπιν, ένας αριθμός "διαλείμματος" και "στιγμής" μπορεί να συνδεθεί μέσω μιας σχέσης με ένα τέτοιο χρονολόγιο, μέσω της χρήσης της ιδιότητας `tl:onTimeline`.

Ένα χρονολόγιο συσχετίζεται με ένα ή περισσότερα συστήματα συντονισμού/οργάνωσης, επιτρέποντας την απόδοση ενός σημείου αναφοράς σε αυτά. Στην παρούσα οντολογία χρησιμοποιούνται τύποι XML-Schema για τον ορισμό αυτών των συστημάτων. Συνεπώς, μια στιγμή ορισμένη σε ένα χρονολόγιο μπορεί να συνδεθεί σε μια έκφραση (literal) στο αντίστοιχο XSD datatype. Τέτοιοι περιορισμοί καλύπτονται από την οντολογία, μέσω της χρήσης υπό-ιδιοτήτων (περιορισμένων σε ένα συγκεκριμένο datatype) της ιδιότητας `tl:at`.

Δύο χρονολόγια μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, μέσω της χρήσης της έννοιας του `TimelineMap`. Για παράδειγμα η ιδέα του `UniformSamplingMap` εντάσσεται στην `TimelineMap`, και εκφράζει το γεγονός ότι ένα ψηφιακό χρονολόγιο, είναι η δειγματοληπτημένη εκδοχή ενός αναλογικού και κατ'επέκταση διατηρεί πληροφορία για τη συχνότητα δειγματοληψίας. Ένα επιπλέον παράδειγμα είναι αυτό του `ShiftMap`, το οποίο αποτυπώνει μια απλή μετάφραση μεταξύ των χρονολογίων.

Μια στιγμή σε ένα χρονολόγιο σήματος, εν προκειμένω του τραγουδιού Smells like teen spirit όπως έγινε δημοσίως διαθέσιμο μέσα από το άλμπουμ Nevermind και της διακοπής/διαλείμματος σε ένα φυσικό χρονολόγιο, μπορεί να αποτυπωθεί ως εξής:



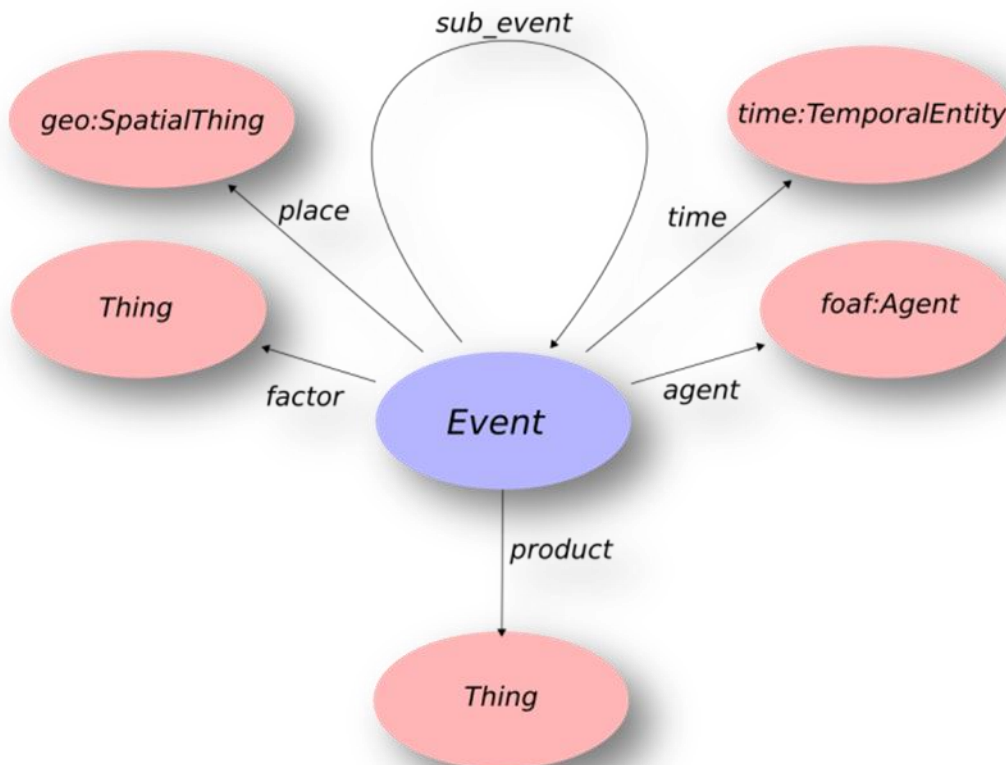
Σχήμα 31: Χρονολόγιο οντολογίας Timeline

4.5.7 The Event Ontology

Αυτή η οντολογία [144] επικεντρώνεται γύρω απ'την έννοια του γεγονότος, όπου ως τέτοιο εδώ θεωρείται ο τρόπος μέσω του οποίου γνωστικοί πράκτορες κατατάσσουν αυθαίρετες περιοχές χώρου/χρόνου.

Τα γεγονότα είναι πρωτίστως γλωσσικά ή νοητικά στη φύση. Με άλλα λόγια, ο κόσμος δεν "περιέχει" γεγονότα. Αντίθετα, τα γεγονότα αποτελούν τον τρόπο με τον οποίο οι πράκτορες κατηγοριοποιούν ορισμένα χρήσιμα και σχετικά μοτίβα αλλαγών/μεταβολών.

Η εν λόγω οντολογία έχει ήδη αποδειχθεί χρήσιμη σε μία ευρεία γκάμα πλαισίων, χάρη στην απλότητα και την ευχρηστία της. Από ομιλίες σε συνέδρια, περιγραφής μιας συναυλίας ή ακόμη και των συγχορδίων που παίζονται σε ένα τζαζ κομμάτι (όταν χρησιμοποιείται σε συνεργασία με την οντολογία Timeline) κλπ.



Σχήμα 32: Βασικός γράφος της Event οντολογίας

4.5.8 Semantic Sensor Network Ontology (SSN)

Οι παρατηρήσεις και οι αισθητήρες που τις αποκτούν, βρίσκονται στον πυρήνα της εμπειρικής επιστήμης. Οι αισθητήρες καλύπτουν με τη χρήση τους, εφαρμογές πλείστων κλάδων/τομέων, όπως η μετεωρολογία, η ιατρική φροντίδα, η επιτήρηση του περιβάλλοντος και η πιο ευρέως γνωστή

παρακολούθηση μέσω κλειστών κυκλωμάτων ασφαλείας. Η χρήση αισθητήριων συσκευών, καθώς και των διασυνδεδεμένων σε δίκτυα συσκευών, ακολουθεί αύξουσα πορεία. Αυτή η αύξηση συνοδεύεται από έναν ανάλογα διευρυνόμενο όγκο δεδομένων, ως επίσης και ετερογένειας συσκευών, μορφοποιήσεων επί αυτών των δεδομένων και των διαδικασιών μέτρησης. [145]

Με την επικράτηση αυτή των αισθητήριων συσκευών και συστημάτων να αποκτά περισσότερο έδαφος, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μεθόδων διαχείρισης αυτών και των συνοδευόμενων παραχθέντων δεδομένων.

Η πρόταση ενεργοποίησης ενός δικτύου αισθητήρων (SWE) του Open Geospatial Consortium (OGC) καθόρισε κωδικοποιήσεις δεδομένων και υπηρεσιών δικτύου για την αποθήκευση και πρόσβαση σε σχετικά με αισθητήρες δεδομένα. Αυτές οι προδιαγραφές παρέχουν συντακτική διαλειτουργικότητα, αλλά για την αντιμετώπιση της σημασιολογικής συμβατότητας, είναι απαραίτητη η προσθήκη ενός επιπρόσθετου επιπέδου, το οποίο καλύπτεται από τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού. Οι σημασιολογικές τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση, την αναζήτηση μέσω ερωτημάτων και τον συνδυασμό αισθητήρων και δεδομένων παρατήρησης. Με αυτό τον τρόπο οι χρήστες δύνανται να λειτουργούν σε επίπεδα αφαίρεσης με έννοιες ενός κλάδου, απαλλαγμένοι από τεχνικές λεπτομέρειες μορφοποίησης και ενσωμάτωσης. Αυτόνομοι ή ημιαυτόνομοι πράκτορες, χάρη σε σημασιολογία εύκολα μεταφράσιμη από μηχανές, μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στη συλλογή, την επεξεργασία και τη λογική συνεπαγωγή επί αισθητήρων και των παρατηρήσεων τους. Τα διασυνδεδεμένα δεδομένα αισθητήρων μπορούν να συνδεθούν και με πολλαπλές εξωτερικές πηγές του διαδικτύου, εμπλουτίζοντας τοιούτοτρόπως με ιστορικές, χρονικές και χωρικές πληροφορίες τα παραπάνω δεδομένα.

Ορισμοί των αισθητήρων και των δυνατοτήτων τους, είναι εξίσου σημαντικοί και χρήσιμοι, ευνοώντας λογικές διεργασίες επί της ποιότητας και της προέλευσης τους. Επί παραδείγματι, εάν η ακρίβεια ενός αισθητήρα εξαρτάται από φαινόμενα άσχετα με αυτά που μετρά, τότε μια προδιαγραφή αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για την αναζήτηση χωρικά και χρονικά σχετικών μετρήσεων επί των φαινομένων αυτών, ανοίγοντας το δρόμο για τον υπολογισμό ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Η ερευνητική ομάδα του W3C Semantic Sensor Network Incubator (SSN-XG) [CBB+12] παρήγαγε μία OWL οντολογία, με σκοπό να περιγράψει αισθητήρες και παρατηρήσεις. Η οντολογία αυτή ονομάστηκε SSN και δύναται να περιγράψει αισθητήρες σε όρους ικανοτήτων, διαδικασιών μέτρησης, παρατηρήσεων αλλά και ανάπτυξης/παράταξης. Δεν περιγράφει έννοιες κλάδων, χρόνο, τόπο κλπ. οι οποίες εισάγονται δια μέσου άλλων οντολογιών μέσω της δυνατότητας εισαγωγών που προσφέρει η γλώσσα OWL.

Η ομάδα είχε δύο κύριους στόχους. Ο πρώτος ήταν η ανάπτυξη μιας οντολογίας για να περιγράψει αισθητήρες και δίκτυα αισθητήρων για χρήση σε εφαρμογές επί αυτών. Ο δεύτερος ήταν η μελέτη και η

πρόταση μεθόδων χρήσης της οντολογίας, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα σημασιολογικής ανάπτυξης εφαρμογών, σύμφωνα με διαθέσιμα στάνταρ όπως τα Open Geospatial Consortium's (OGC™) Sensor Web Enablement (SWE). Η δημιουργία όλης της δραστηριότητας αυτής της κοιτίδας και ο ορισμός αυτών των δυο παραπάνω κύριων στοχεύσεων βασίστηκαν στην πεποίθηση πως η ανάπτυξη της SSN καθώς και των μηχανισμών υποστήριξης σημασιολογικών σχολιασμών, θα μπορούσε να βελτιώσει άρδην τη διαλειτουργικότητα και την ενσωμάτωση/ένταξη των υπηρεσιών χρησιμοποιώντας αυτά τα πρότυπα, όπως επίσης και να διευκολύνει λογικές διεργασίες, ταξινόμηση και άλλες μορφές ασφάλειας και αυτοματισμού, οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνονται στις προδιαγραφές του OGC.

Η οντολογία αισθητήρων και δικτύων αισθητήρων, γνωστή ως SSN, απαντά στην ανάγκη για ένα ανεξάρτητο-τομέων και πλήρους μοντέλου, για εφαρμογές αισθητήρων, συγχωνεύοντας απόψεις επικεντρωμένες σε αισθητήρες, παρατηρήσεις και συστήματα. Καλύπτει τους εξειδικευμένους σε αισθητήρες υπό-κλάδους, όπως τις αρχές και τις δυνατότητες της ανίχνευσης, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ορίσουν τη λειτουργία ενός αισθητήρα σε συγκεκριμένο περιβάλλον, προκειμένου να χαρακτηριστεί η ποιότητα των παρατηρούμενων δεδομένων, ή ακόμη και να προετοιμάσουν τους αισθητήρες σε απρόβλεπτα περιβάλλοντα. Παρόλο που η οντολογία δε διευκρινίζει σαφώς τον τομέα παρατήρησης, η σημασιολογία κάποιου τομέα, οι μονάδες μέτρησης, ο χρόνος και οι χρονοσειρές, ο τόπος και η κινητικότητα μπορούν να ενσωματωθούν δια μέσου άλλων οντολογιών για οποιοδήποτε συγκεκριμένο αισθητήρα κάποιου τομέα. Η ευθυγράμμιση/τυποποίηση της SSN με την ανώτερη οντολογία DOLCE Ultra Lite βοήθησε στην κανονικοποίηση της δομής της οντολογίας ώστε να βοηθήσει τη χρήση της σε συνδυασμό με οντολογίες ή πόρους διασυνδεδεμένων δεδομένων διαφορετικής προελεύσεως.

Κυριότεροι στόχοι της ομάδας της οντολογίας είναι:

- η καθιέρωση της για χρήση στα πλαίσια του περιβάλλοντος διασυνδεδεμένων δεδομένων αισθητήρων
- η τυποποίηση της ώστε να γεφυρώσει το Internet of Things με το Internet of Services

4.5.8.1 Ανάπτυξη της SSN

Η ομάδα ξεκίνησε αξιολογώντας ήδη υπάρχουσες οντολογίες και πρότυπα που επικεντρώνονταν σε αισθητήρες και παρατηρήσεις, αναπτύσσοντας εν παραλλήλω περιπτώσιολογικές μελέτες οι οποίες εστίαζαν στις τέσσερις ακόλουθες κατηγορίες:

- a.** ανακάλυψη δεδομένων και διασύνδεση
- b.** ανακάλυψη συσκευών και επιλογή

c. προέλευση και διάγνωση

d. λειτουργία συσκευών, προγραμματισμός λειτουργίας και έργου αυτών

Στην πρώτη περίπτωση, δοθέντων χρονικών, χωρικών και ποιοτικών αποδεκτών ορίων, στόχος είναι η ανακάλυψη δεδομένων και η διασύνδεση τους, διαδικασίες οι οποίες έχουν ως προαπαιτούμενο τις προδιαγραφές συσκευών που προκύπτουν από την επόμενη μελέτη (β), των δεδομένων παρατήρησης τους και της σύνδεσής τους με άλλες πηγές δεδομένων. Αντίθετα, η τρίτη μελέτη απαιτεί πληροφορία συμφοραζομένων από δεδομένα αισθητήρων, παρατηρήσεων, εφαρμογής στην ενεργό δράση, περιγραφές περιφρούρησης, προγράμματα συντήρησης και διασύνδεσης δεδομένων για την αποκόμιση ενός επιπέδου εμπιστοσύνης ή την περαιτέρω ανάλυση προηγούμενων μετρήσεων. Καλύπτει τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών που επιθυμούν να γνωρίζουν περισσότερα για το πλαίσιο στο οποίο παρήχθησαν τα δεδομένα ή για να διαγιγνώσκουν τα αίτια των σφαλμάτων στα δεδομένα αυτά. Στην τελευταία περίπτωση είναι απαραίτητη μια επαρκής πληροφόρηση για τον επαναπρογραμματισμό μιας συσκευής ή την κατανόηση των επιπτώσεων ενός επαναπρογραμματισμού, σε όρους ενεργειακής κατανάλωσης ή κόστους δικτύου. Οργανισμοί οι οποίοι θέτουν στο ελεγχόμενο πεδίο αισθητήρες, επιθυμούν να παρακολουθούν τον εξοπλισμό τους για να εντοπίσουν πιθανά συμβάντα λαθών και υποβάθμισης της ποιότητας μετρήσεων με το πέρασ του χρόνου, που προκλήθηκαν πιθανώς από αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας. Δεδομένα προέλευσης είναι σημαντικά και απαραίτητα για τους χρήστες δικτύων αισθητήρων, οι οποίοι επιθυμούν να εκτιμούν την καταλληλότητα των δεδομένων για τον εκάστοτε σκοπό. Η προέλευση επιπροσθέτως, καθιστά δυνατές τις παραπομπές στα δεδομένα, γεγονός που αποτελεί κρίσιμο κίνητρο ενθάρρυνσης του ανοιχτού διαμοιρασμού των δεδομένων, ειδικότερα αν παρήχθησαν από επιστημονικούς ή κυβερνητικούς οργανισμούς. Η μελέτη περίπτωσης που αφορά την ανακάλυψη συσκευών και επιλογής τους, απαιτεί μια οντολογία για την αναπαράσταση τύπων, μοντέλων και μεθόδων λειτουργίας των αισθητήρων, όπως επίσης και κοινούς μετρολογικούς ορισμούς λχ. η ακρίβεια, το εύρος της μέτρησης κλπ, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στις δυνατότητες των αισθητήρων να οριστούν αναλόγως με τις επικρατούσες συνθήκες. Τέτοιοι ορισμοί θα έδιναν σε έναν σχεδιαστή δικτύων αισθητήρων τη δυνατότητα αναζήτησης σε μια βάση δεδομένων, αισθητήρων με συγκεκριμένες απαιτούμενες/αποδεκτές παραμέτρους λειτουργίας και ακρίβειας.

Οι αξιολογήσεις της ομάδας περιλαμβάνουν τις ακόλουθες οντολογίες: [CSIRO Sensor Ontology](#), [OntoSensor](#), [Sensor Web for Autonomous Mission Operations \(SWAMO\)](#), [Sensor Data Ontology \(SDO\)](#), [SensorML Processes](#), [Coastal Environmental Sensor Networks \(CESN\) ontology](#), [WiReless Sensor Networks Ontology \(WISNO\)](#), [Agent-based Middleware Approach for Mixed Mode Environments \(A3ME\) ontology](#), [Ontonym - Sensor](#), [SEEK Extensible Observation Ontology \(OBOE\)](#), [Semantic Reference Systems \(SeReS\) O&M](#), [Stimuli-centered ontology](#), [Sensei O&M](#), [O&M-OWL \(SemSOS\)](#), [OOSTethys](#) και [Socio-Ecological Research and Observation oNTology \(SERONTO\)](#)

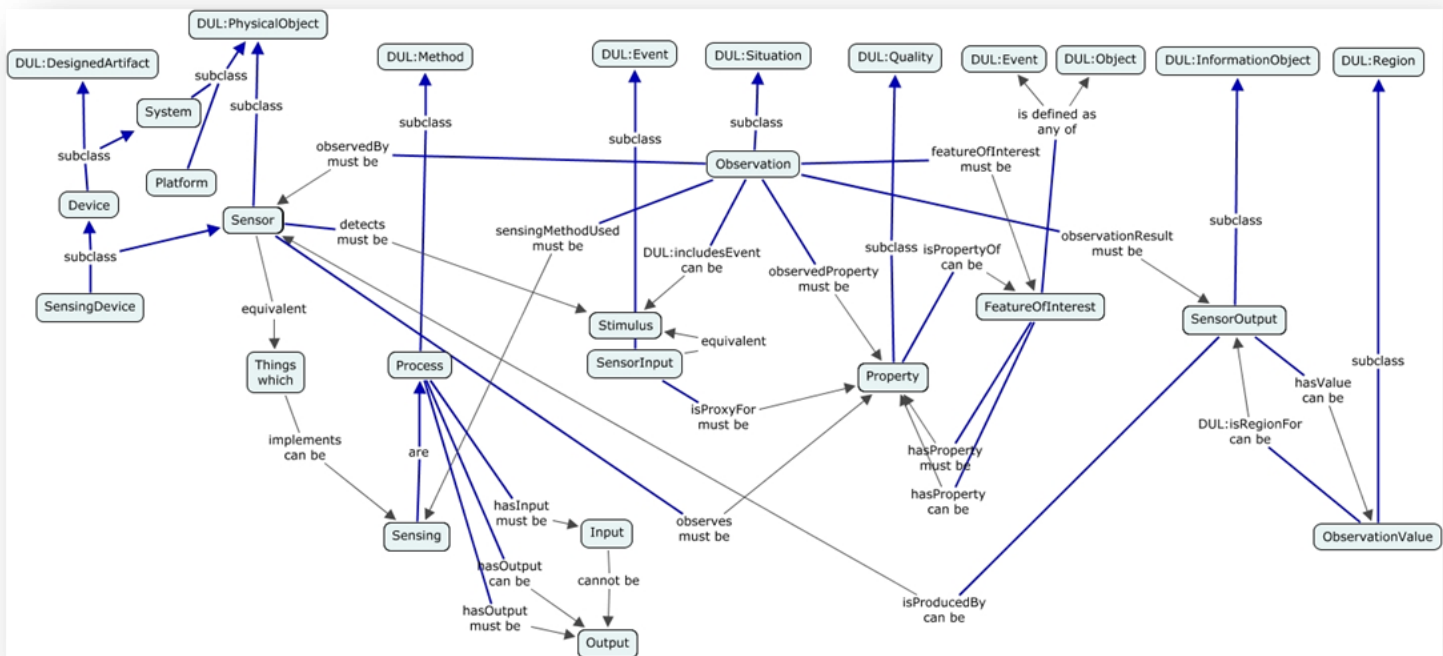
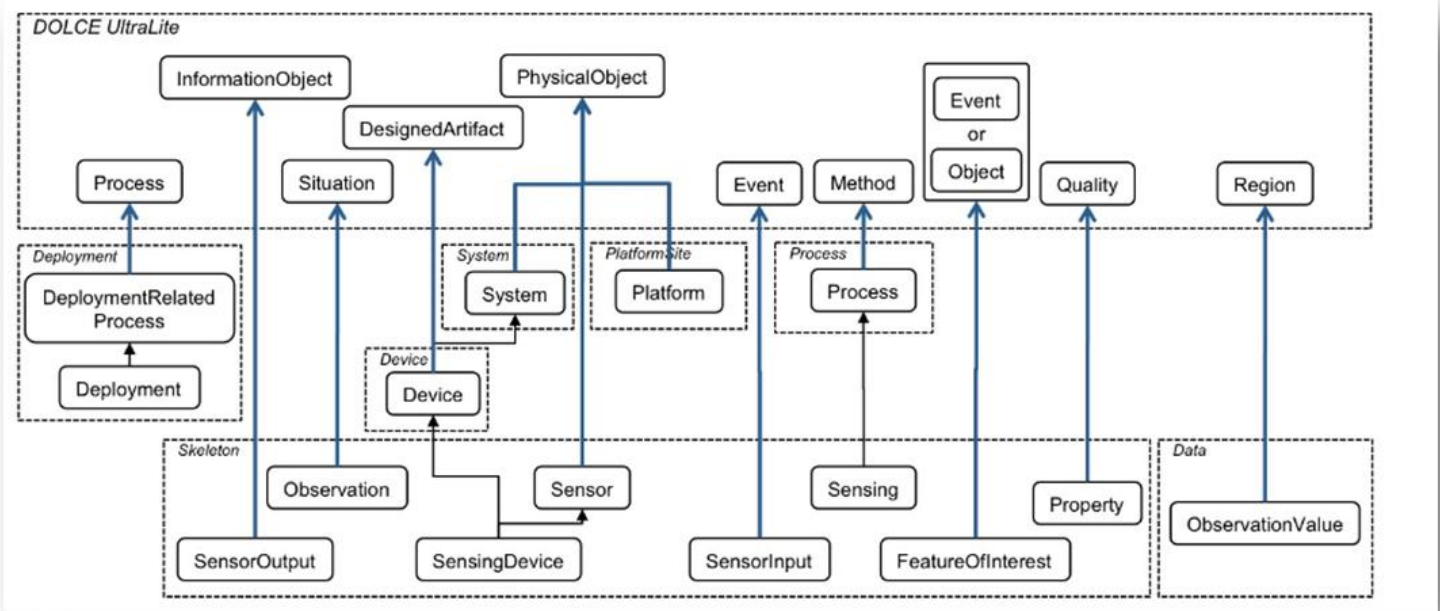
Η ομάδα μην εντοπίζοντας στο τέλος αυτής της δραστηριότητας, μια οντολογία που να ικανοποιεί τα παραπάνω, με άλλα λόγια, ικανή να μοντελοποιεί ταυτόχρονα προγραμματιστικές έννοιες, παρατηρούμενα φαινόμενα και προγράμματα συντήρησης, περιόρισε την αναζήτηση μεταξύ οντολογιών στοχευμένων καθαρά σε έννοιες σχετικές με αισθητήρες, υποστηρίζοντας πως έτσι ευνοείται μια σπονδυλωτή διαμόρφωση καθώς και η επαναχρησιμοποίηση της. Στόχος της ομάδας ήταν να χρησιμοποιηθεί μια εκ των ανωτέρω 17 οντολογιών ως σημείο αναφοράς για την κατασκευή της SSN. Τελική επιλογή ήταν η CSIRO των Michael Compton, Holger Neuhaus & Nguyen Tran. Ορισμένοι εκ των χρηστών της, της προσέδωσαν το όνομα "προσχέδιο W3C SSN" αντί του "CSIRO Sensor Ontology 2009" που σήμερα προτιμάται.

Η επικρατούσα άποψη λοιπόν, ήταν να οικοδομηθεί μια οντολογία που θα περιγράφει τους αισθητήρες:

- όσο το δυνατόν λεπτομερέστερη και ακριβής για έναν αισθητήρα
- συμβατή με τα πρότυπα του OGC χωρίς να περιορίζεται από αυτά
- με τις ευρύτερους ορισμούς των εννοιών, έτσι ώστε οι επιμέρους έννοιες που τις αποτελούν, να μπορούν σε άλλο χρόνο να οριστούν μέσα από πιο συγκεκριμένες ερμηνείες.

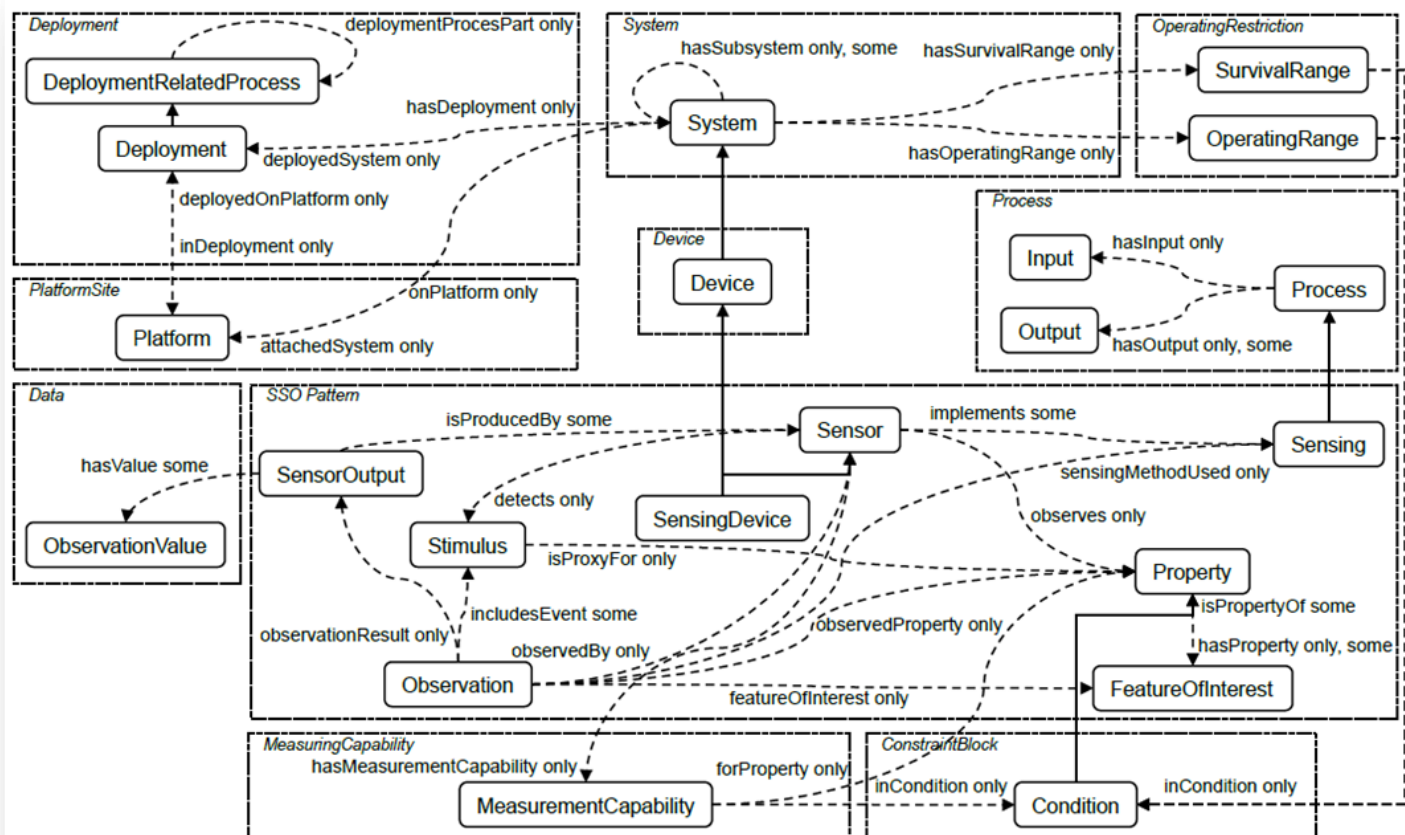
Για παράδειγμα, η περιγραφή του αντικειμένου "αισθητήρας", ήταν μια οντότητα ικανή να ακολουθεί και να υποστηρίζει μια μέθοδο παρακολούθησης, αφήνοντας χώρο για τον ορισμό αισθητηρίων συσκευών σαν υπο-έννοια.

Εντός περιόδου ενός έτους, οικοδομήθηκε με τη σύμφωνη γνώμη όλων από την ομάδα, η οντολογία SSN. Αρχικά αναπτύχθηκαν οι κεντρικές έννοιες του πυρήνα της καθώς και οι σχέσεις (αισθητήρες, χαρακτηριστικά και ιδιότητες, παρατηρήσεις και συστήματα) και κατόπιν ακολούθησαν οι δυνατότητες μέτρησης, λειτουργίας και οι περιορισμοί. Η οικοδόμηση της SSN ολοκληρώνεται με την ευθυγράμμιση με την DOLCE-UltraLite (DUL) και την εφαρμογή του σχεδιαστικού μοτίβου οντολογιών "Ερέθισμα-Αισθητήρας- Παρατήρηση". Η ευθυγράμμιση με μια θεμελιώδη οντολογία καθιστά κατηγορηματικές τις όποιες οντολογικές δεσμεύσεις, προχωρά περεταίρω την ερμηνεία των διαφόρων συλλήψεων και σχέσεων ενώ ταυτόχρονα δεσμεύει πιθανές ερμηνείες προς την κατεύθυνση της κατοχυρωμένης σημασίας τους. Η DUL επιλέχθηκε ως ανώτερη οντολογία ούσα πιο ουσιαστική, στοχευμένη και λιγότερο πολύπλοκη από άλλες επιλογές, ενώ διατηρεί μια βάση και ένα σκελετό συναφή με τη μοντελοποίηση που ήθελε να ακολουθήσει η ομάδα (πχ ποιοτικά, ή με περιοχές και κατηγορίες κλάδων).



Σχήματα 33 & 34: Ενθυγράμμιση DUL - SSN

Η SSN είναι οργανωμένη εννοιολογικά αλλά όχι φυσικά, σε δέκα μονάδες/ενότητες. Βασίζεται σε έννοιες συστημάτων, διαδικασιών και παρατηρήσεων. Υποστηρίζει την περιγραφή της φυσικής αλλά και επεξεργαστικής δομής των αισθητήρων. Ως τέτοιοι δεν ορίζονται περιοριστικά, μόνο οι αισθητήριες συσκευές, αλλά αντιθέτως αισθητήρας μπορεί να είναι οτιδήποτε μπορεί να εκτελεί υπολογισμούς και εκτιμήσεις για την τιμή ενός φαινομένου.



Σχήμα 35: Βασικές κλάσεις και ιδιότητες της SSN

Η πλήρης οντολογία αποτελείται από 41 έννοιες, 39 ιδιότητες αντικειμένων, κληρονομώντας απευθείας 11 συλλήψεις και 14 ιδιότητες αντικειμένων από την DUL.

Η οντολογία μπορεί να περιγράψει αισθητήρες, την ακρίβεια και τις δυνατότητές τους, παρατηρήσεις και μεθόδους υπό χρήση για τη σύλληψή τους. Η αναπαράσταση ενός αισθητήρα στην οντολογία συνδέει αυτό που παρατηρεί (τα φαινόμενα τομέα/κλάδου), τη φυσική οντότητα του αισθητήρα (συσκευή) και τις ονομαστικές λειτουργίες και διαδικασίες του (μοντέλα). Επιπροσθέτως, στην οντολογία συμπεριλαμβάνονται έννοιες σχετικές με τον τρόπο και την έκταση της λειτουργίας τους, καθώς αποτελούν συνήθως μέρος μιας δοθείσας προδιαγραφής ενός αισθητήρα μαζί με τις επιδόσεις τους εντός του παραπάνω εύρους λειτουργίας. Τέλος, συμπεριλαμβάνεται μια δομή για την ανάπτυξη και την

εξάπλωση των οργάνων μέτρησης στο πεδίο δράσης, επί του πρακτέου, προκειμένου να περιγραφεί ο σκοπός και η διάρκεια της παρατήρησης. Άμεσα σχετιζόμενες έννοιες, αλλά όχι λεπτομερώς εξειδικευμένες με αισθητήρες, όπως λχ. μονάδες μέτρησης, τοποθεσίες, ιεραρχίες τύπων αισθητήρων, χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων παραλείπονται. Όπου κρίθηκε απαραίτητο, συμπεριλήφθηκαν κατάλληλες έννοιες, έτσι ώστε να εγκαθιδρυθεί μια σύνδεση με άλλες, εξωτερικές οντολογίες που καλύπτουν τα παραπάνω απαιτούμενα στοιχεία. Ο σκοπός αυτής της απόφασης να κατευθυνθεί τοιούτοτρόπως η SSN, ήταν να μπορεί μελλοντικά, να μπορεί να οικοδομηθεί από μηχανικούς γνώσης, μια άλλη οντολογία βασισμένη στην SSN, η οποία θα περιλαμβάνει κατάλληλες μονάδες, τοπικά στοιχεία κλπ και να είναι δυνατή η δημιουργία υποκλάσεων ή η σύνδεση εννοιών μέσω σχέσεων ισοδυναμίας.

Η SSN οικοδομήθηκε γύρω από ένα κεντρικό μοτίβο σχεδίασης οντολογιών (ODP) περιγράφοντας σχέσεις μεταξύ αισθητήρων, ερεθισμάτων και παρατηρήσεων, το Stimulus-Sensor-Observation (SSO).

Υπό το πρίσμα τεσσάρων διαφορετικών οπτικών, η μελέτη της οντολογίας δύναται να λάβει τέσσερις διαφορετικές εκδοχές:

- i) τη διάσταση του αισθητήρα, εστιάζοντας στο ποιος παρατηρεί, πώς παρατηρεί και τι είναι αυτό που παρατηρεί
- ii) τη διάσταση της παρατήρησης, εστιάζοντας στα προς συλλογή μετρούμενα δεδομένα και σχετικά μεταδεδομένα
- iii) τη διάσταση του συστήματος, εστιάζοντας σε συστήματα αισθητήρων και της διάταξης τους στο πεδίο λειτουργίας
- iv) τη διάσταση χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων, εστιάζοντας στο τι προσφέρει μια ιδιότητα στην μετρούμενη παρατήρηση ή τι παρατηρήσεις έγιναν για μια ιδιότητα

Η οντολογία αφήνει χαλαρά πλαίσια στην υιοθέτηση του ρόλου ενός αισθητήρα ορίζοντας τον απλώς ως οτιδήποτε που έχει την ικανότητα να παρατηρεί. Επιτρέπει έτσι μια ελευθερία περιγραφής τέτοιων αισθητήρων αφήνοντας στη διακριτική ευχέρεια του χρήστη το βαθμό λεπτομέρειας που θα εμβαθύνει. Αισθητήρες μπορεί να είναι λοιπόν από απλά αντικείμενα με την ικανότητα να παρατηρούν έως έναν άνθρωπο.

4.5.8.2 Το μοτίβο Ερέθισμα-Αισθητήρας-Παρατήρηση (SSO)

Σκοπός αυτού του μοτίβου είναι η σύνδεση αισθητήρων, αυτών που παρατηρεί και των καταγραφών/αποτελεσμάτων της δράσης του, ικανοποιώντας τις παραπάνω περιγραφές που ακολουθεί η οντολογία. Αναπτύχθηκε με το σκεπτικό να διατελεί κοινό τόπο για πλήρεις οντολογίες του Σημασιολογικού δικτύου αισθητήρων (Semantic Sensor Web), ως επίσης και για να δηλώσει σαφώς την ανάγκη ανάπτυξης σημασιολογίας για συνδεδεμένα δεδομένα.

Ερέθισμα

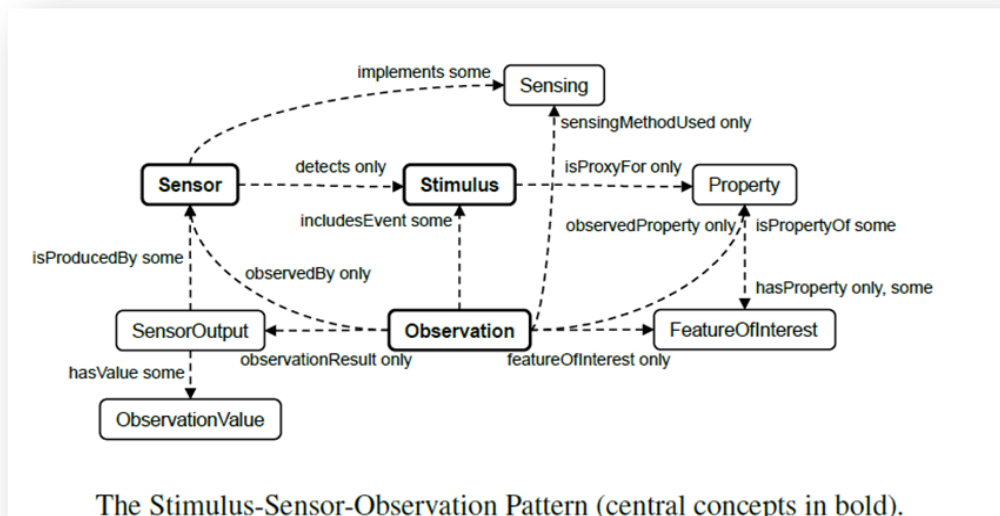
Αλλαγές ή καταστάσεις / γεγονότα σε ένα περιβάλλον όπου ο αισθητήρας μπορεί να εντοπίσει και χρησιμοποιήσει για τον υπολογισμό μιας ιδιότητας. Λειτουργεί με άλλα λόγια ως ενδιάμεσο για μια παρατηρήσιμη ιδιότητα ή έναν αριθμό ιδιοτήτων. Για παράδειγμα, μεταβολές σε μια ηλεκτρική αντίσταση θα μεταφράζονταν σε μεταβολές θερμοκρασίας σε έναν θερμοστάτη · ρεύμα που προκλήθηκε από κίνηση ανεμουρίου μεταφράζεται σε ταχύτητα ανέμου. Οι ιδιότητες οι ίδιες είναι οι ίδιες παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά (ssn:isPropertyOf) οντοτήτων του πραγματικού κόσμου (ssn:FeatureOfInterest).

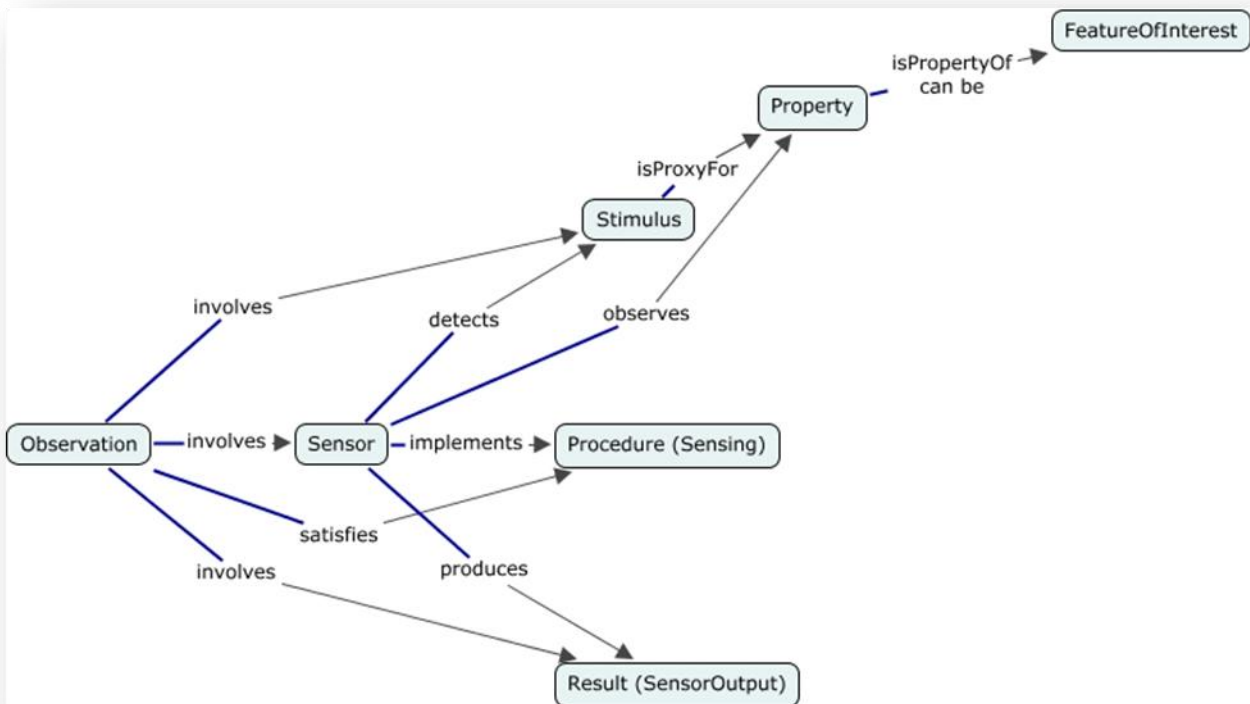
Αισθητήρας

Στην SSO οντολογία οι αισθητήρες (ssn:Sensor) είναι φυσικά αντικείμενα (dul:PhysicalObject) τα οποία παρατηρούν, μετασχηματίζουν εισρέοντα ερεθίσματα (ssn:detecteds) σε άλλες ψηφιακές αναπαραστάσεις. Ενδέχεται να είναι συσκευές, αισθητήρια συστήματα, επιστημονικά υπολογιστικά μοντέλα, hardware, εγκαταστημένος εργαστηριακός εξοπλισμός που τρέχει από ανθρώπινο παράγοντα κλπ. Ένας αισθητήρας εφαρμόζει μια μέθοδο περιγραφής του τρόπου παρατήρησης, πχ μια επιστημονική μέθοδο. Μια μέθοδος εντούτοις, απέχει αρκετά από μια διαδικασία ή μια ροή εργασιών που απαρτίζουν τη λειτουργία ενός αισθητήρα (και που δεν υφίστανται ως συλλήψεις εντός της SSN). Μια μέθοδος συμπερασματικά είναι μια αφηρημένη περιγραφή, με πολλές χειροπιαστές υλοποιήσεις.

Παρατήρηση

Αποτελεί τον πυρήνα του εν λόγω μοτίβου. Για ένα παρατηρηθέν γεγονός, μια παρατήρηση (ssn:Observation) είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ της δράσης ενός αισθητήρα (ssn:observedBy), του γεγονότος/ερεθίσματος (dul:includesEvent), της προς εφαρμογή μεθόδου ssn:sensingMethodUsed), του αποτελέσματος (ssn:observation-Result), ενός παρατηρούμενου χαρακτηριστικού (ssn:featureOfInterest) και μιας ιδιότητας (ssn:observedProperty), θέτοντας τα όλα σε ένα ερμηνευτικό πλαίσιο. Οι ερευνητές που ενδιαφέρονται με τις εσωτερικές διαδικασίες με τις οποίες οι αισθητήρες μεταφράζουν τα ερεθίσματα σε άλλες αναπαραστάσεις, συνήθως τείνουν να μοντελοποιούν τις παρατηρήσεις ως γεγονότα.





Σχήματα 36 & 37: Το μοτίβο Ερέθισμα-Αισθητήρας-Παρατήρηση (SSO)

Το γεγονός ότι η ακρίβεια ενός αισθητήρα επηρεάζεται από τις επικρατούσες συνθήκες, αποτελεί μια παρατηρήσιμη ιδιότητα του αισθητήρα. Οι αισθητήριες συσκευές περιγράφονται συνήθως από φύλλα δεδομένων όπου καταγράφονται ιδιότητες που παρατηρήθηκαν από τον αισθητήρα σε ποικίλες καταστάσεις. Με άλλα λόγια, η ακρίβεια, το εύρος μέτρησης, η ανάλυση και συναφείς ποιοτικές μονάδες είναι όλες ιδιότητες που κάποιος θα μπορούσε να αποκομίσει από έναν αισθητήρα. Με άλλα λόγια, οι δυνατότητες ενός αισθητήρα μπορούν να καθοριστούν κάνοντας χρήση παρατηρήσεων καταγεγραμμένων στην SSN οντολογία. Μια αισθητήρια μέθοδος μπορεί να περιγράφει τις αρχές που υποκρύπτονται σε έναν αισθητήρα και παράλληλα τον τρόπο που προέκυψαν οι παρατηρήσεις πχ πως τοποθετήθηκε και χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτή η διαδικασία επιτρέπει μια επιλογή μοντελοποίησης, όπου για παράδειγμα αισθητήριες συσκευές που χρησιμοποιούνται με συγκεκριμένο τρόπο μπορούν να μοντελοποιηθούν βέλτιστα.

Η οντολογία είναι σχεδιασμένη συνεπώς για να υποστηρίξει μεταξύ άλλων, σύνθετες & πολύπλοκες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, η ίδια αισθητήρια συσκευή, όπως ένα εξειδικευμένο θερμόμετρο, μπορεί να χρησιμοποιείται για να μετρά θερμοκρασία χώματος αλλά και εδάφους. Μετρήσεις για αυτές τις διαφορετικές ιδιότητες φτάνουν με διαφορετικές τιμές και αναφέρονται σε διαφορετικά σημεία ενδιαφέροντος και κατά συνέπεια δε μπορούν να συνδυαστούν. Οι μέθοδοι μέτρησης είναι η ειδοποιός διαφορά στις δύο παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία αέρα μετριέται συνήθως 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, από έναν αισθητήρα καλά προστατευμένο από την ηλιακή ακτινοβολία.

Επομένως, η SSN μπορεί να χρησιμοποιηθεί υποστηρικτικά για τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα, αναχαιτίζοντας τον συνδυασμό τέτοιων μετρήσεων από πράκτορες ή υπηρεσίες διαδικτύου.

4.6 ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι προκλήσεις με τις οποίες έρχεται αντιμέτωπο το Διαδίκτυο των πραγμάτων, προέρχονται κυρίως, όπως είδαμε από το σύγχρονο Internet, μεγεθυμένες ωστόσο λόγω του αριθμού των στρατευμένων συσκευών, της αυξημένης ροής της πληροφορίας και των εμπλεκόμενων χρηστών. Μια λύση αναζητείται στην αξιοποίηση των σημασιολογικών τεχνολογιών για την παροχή διαλειτουργικότητας αλλά και ευελιξίας στην υψηλής δυναμικότητας αλλά άγνωστης φύσεως τοπολογία του IoT δικτύου. Ένας αριθμός IoT πρωτοβουλιών μεγάλης κλίμακας είναι ενεργός επί του παρόντος ανά τον κόσμο, όπως επίσης και δραστηριότητες προτυποποίησης αλλά και εργασίες που βρίσκονται όμως ακόμη σε ερευνητικό και πειραματικό στάδιο.

Η ευρωπαϊκή επιτροπή προωθεί τέτοιες πρωτοβουλίες σχετικά με το ΔτΠ από το 2005, ενώ προσφάτως τοποθετείται η εκκίνηση του πλαισίου εργασίας του 7ου Framework προγράμματος, μιας πρωτοβουλίας πάνω στα διαδικτυακά συνδεδεμένα αντικείμενα. Ο στόχος εντοπίζεται στην υιοθέτηση των IoT τεχνολογιών και υπηρεσιών σε εταιρικά περιβάλλοντα με τον στόχο της αύξησης της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας, μέσα από την ενσωμάτωση λύσεων που ενδυναμώνουν το IoT σενάριο.

4.6.1 HYDRA project

Αναμεταξύ αυτών των ευρωπαϊκών πρωτοβουλιών, αξίζει να σημειωθεί το HYDRA project [124], στα πλαίσια του οποίου αναπτύχθηκε ένα λογισμικό βασισμένο σε αρχιτεκτονική προσανατολισμένη σε υπηρεσίες, υποστηρίζοντας τόσο διαδικασίες διαφάνειας ως προς τις όποιες επικοινωνίες, καταναεμμένες αλλά και συγκεντρωμένες αρχιτεκτονικές, ασφάλεια και μοντέλα εμπιστοσύνης. Αυτή η εργασία, είχε σκοπό να παρέχει μια λύση προγράμματος λογισμικού που θα επέτρεπε στους προγραμματιστές να ενσωματώνουν ετερογενείς φυσικές συσκευές στις εφαρμογές τους, προσφέροντας εύκολες στη χρήση διεπαφές υπηρεσιών ιστού για τον έλεγχο των εν λόγω συσκευών. Παρείχετο υποστήριξη πολλών τεχνολογιών επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των Bluetooth, RF, ZigBee, RFID, WiFi κλπ. Το λογισμικό Hydra, συμπεριελάμβανε μεθόδους αποτελεσματικής ανακάλυψης συσκευών και υπηρεσιών, προς υποστήριξη peer-to-peer διαδραστικών μοντέλων και αποτελεσματικών διαγνωστικών εργαλείων. Τέλος, στα πλαίσια του προγράμματος κατασκευάστηκαν και πρωτυποποιήθηκαν λύσεις καταναεμμένης ασφάλειας.

4.6.2 The RUNES project

Η εργασία αυτή είχε ως στόχο τη δημιουργία μεγάλης κλίμακας ευρέως κατανομημένων και ετερογενών, ενσωματωμένων συστημάτων δικτύου που παρείχαν ένα ευέλικτο και προσαρμοζόμενο εργαλείο για την αξιοποίηση περιβαλλοντολογικών δεδομένων. [125] Κύριος στόχος ήταν ένα πλήρως λειτουργικό λογισμικό που θα καθιστούσε εφικτή την προοπτική για την εισαγωγή μιας νέας κλάσης δικτυακών ενσωματωμένων συστημάτων. Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις ήταν η επίτευξη του απαιτούμενου επιπέδου αυτο-οργάνωσης σε ένα δυναμικό περιβάλλον, διασφαλίζοντας εν παραλλήλω ότι οι κατάλληλες διεπαφές θα παρείχοντο στους προγραμματιστές για την διευκόλυνση ανάπτυξης εφαρμογών και υπηρεσιών. Τέλος, η εργασία αυτή αποτελούσε επιδίωξη περιορισμού του κόστους ανάπτυξης μιας νέας εφαρμογής, και μιας ταχύτερης διαρροής της στην αγορά.

4.6.3 IoT-A project

Η εργασία αυτή στοχεύει στην εισαγωγή ενός αρχιτεκτονικού μοντέλου αναφοράς για την διαλειτουργικότητα του ΔτΠ, μαζί με ένα σύνολο μηχανισμών για την αποτελεσματική ενσωμάτωσή του στο στρώμα των υπηρεσιών του μελλοντικού Internet. [126] Το project αυτό είναι κι αυτό ευρείας κλίμακας, εκτείνοντας το ενδιαφέρον του για ένα μεγάλο αριθμό πεδίων εφαρμογής. Σημαντική προσοχή δίδεται ιδιαιτέρως σε σχήματα ανάλυσης, ενώ προτείνονται καινοτόμες προσεγγίσεις για τη διασφάλιση του κομματιού της αναζήτησης και της ανακάλυψης έξυπνων αντικειμένων και συναφών πόρων.

4.6.4 iCore project

Το έργο αυτό στοχεύει στην ενδυνάμωση του ΔτΠ [127] μέσω τεχνολογιών διανόησης, ενώ εστιάζει, όπως είδαμε και προηγούμενα, γύρω από την ιδέα των εικονικών αντικειμένων (VO). Έχοντας ως κεντρική σύλληψη, τον σημασιολογικό εμπλουτισμό της εικονικής αναπαράστασης, κάθε δυνατότητας καθενός πόρου που προσφέρεται από τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου, στόχος του προγράμματος ήταν να κατασταθεί εφικτό ένα πλαίσιο επαναχρησιμοποίησης των πόρων αλλά και υποστήριξης της ένταξής τους σε πιο σύνθετες υπηρεσίες (CVO). Τα εικονικά αντικείμενα παρέχουν μια ενοποιημένη αναπαράσταση, υποκρύπτοντας οποιαδήποτε τεχνολογική ετερογένεια και προσφέροντας έναν πρότυπο τρόπο πρόσβασης στις δυνατότητες των αντικειμένων και των πόρων. Στοιχείο κλειδί της εργασίας είναι η χρήση προηγμένων τεχνικών διανόησης για τη διαχείριση και τη σύνθεση των εικονικών αντικειμένων προς βελτίωση των IoT εφαρμογών και την καλύτερη ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών. Για λόγους εγκυρότητας εστιάζει στην εφαρμογή στα πλαίσια τεσσάρων περιπτώσιακών σεναρίων χρήσης: το έξυπνο γραφείο, έξυπνη μεταφορά και διαχείριση αλυσίδας προϊόντος.

4.6.5 SENSEI project

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο τη δημιουργία μιας ανοικτής αρχιτεκτονικής προσανατολισμένης προς τις επιχειρήσεις που αντιμετωπίζει θεμελιωδώς τα προβλήματα κλίμακας που προκαλεί ο μεγάλος αριθμός παγκοσμίως κατανεμημένων συσκευών ασύρματων αισθητήρων και ενεργοποιητών. [129] Παρέχει ένα απαραίτητο σύνολο υπηρεσιών διαχείρισης δικτύου και πληροφορίας, με στόχο να κατασταθεί δυνατή μια αξιόπιστη και ακριβής διαδικασία ανάκτησης πληροφορίας συμφραζομένου και αλληλεπίδρασης με το φυσικό περιβάλλον. Προσθέτοντας μηχανισμούς για λογιστική, ασφάλεια, και ιδιωτικότητα, καθίσταται δυνατός ένας ελεύθερος αλλά συνάμα ασφαλής εμπορικός χώρος για context-awareness και αλληλεπίδραση με τον πραγματικό κόσμο.

Τέσσερα χειροπιαστά αποτελέσματα του προγράμματος ήταν α) ένα υψηλά κλιμακούμενο αρχιτεκτονικό πλαίσιο εργασίας με ανάλογες λύσεις πρωτοκόλλου για την εύκολη/άμεση σύνδεση και λειτουργία ενός μεγάλου αριθμού κατανεμημένων συσκευών σε ένα παγκόσμιο σύστημα. β) μια ανοιχτής πρόσβασης διεπαφή για υπηρεσίες με αντίστοιχες σημασιολογικές προδιαγραφές για την ενοποίηση της πρόσβασης σε πληροφορία συμφραζομένων αλλά και υπηρεσίες ενεργοποίησης συσκευών από το σύστημα, γ) ένα σύνολο πρωτοκόλλων βέλτιστης ενεργειακής ενημερότητας και τέλος δ) μια πανευρωπαϊκή πλατφόρμα δοκιμών που επιτρέπει μεγάλης κλίμακας πειραματική εξακρίβωση των αποτελεσμάτων και εκτέλεση των δοκιμών πεδίου, παρέχοντας ένα εργαλείο διαρκούς εκτίμησης της ενσωμάτωσης συστημάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών στο μελλοντικό Internet.

4.6.6 CHOReOS project

Έχοντας ως εικόνα την ενορχήστρωση μιας χορογραφίας μεγάλης κλίμακας, όπως μαρτυρά και το όνομα της εργασίας, το CHOReOS [128] εφαρμόζει ένα πλαίσιο εργασίας που θα καταστήσει δυνατό για τις αυθεντίες κάθε κλάδου, να αναπτύξουν κλιμακούμενες αποκεντρωμένες τεράστιας κλίμακας λύσεις αποτελούμενες από πολλές ετερογενείς αλλά προσαρμόσιμες υπηρεσίες που φέρουν γνώση QoS ποιότητας υπηρεσίας. Προγενέστερα, λύσεις όπως αυτές ήταν εφικτές μόνο με την υποστήριξη αφοσιωμένων IT επαγγελματιών που είχαν ως έργο, την παροχή των απαιτούμενων ικανοτήτων αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και μηχανικής λογισμικού. Το CHOReOS θα παρέχει φορμαλιστικά δομημένες αφαιρετικές λύσεις και μοντέλα που θα επιτρέπουν το λογικό συμπερασμό σχετικά με τις ιδιότητες, δυναμικά συντονισμένες - χορογραφημένες διαδικασίες ανάπτυξης και διαχείρισης, πρωτόκολλα αλληλεπίδρασης και ένα λογισμικό προσανατολισμένο προς υπηρεσίες.

4.6.7 Building as a Service project – BaaS

Στόχος του προγράμματος είναι η κατασκευή ενός πλαισίου εργασίας ως αναφορά αρχιτεκτονικής και υπηρεσιών για μελλοντικά συστήματα κτηριακού αυτοματισμού, με εκτενείς ικανότητες ενσωμάτωσης. [GJM15] Βασιζόμενο σε ανοικτά IT πρότυπα και τεχνολογίας ελεύθερης πρόσβασης, το πλαίσιο εργασίας BaaS, διευκολύνει τη δημιουργία νέων cross-domain υπηρεσιών κτηριακού αυτοματισμού, αλλά και την εκτενή αυτοματοποιημένη ενσωμάτωση συνιστωσών με έναν ευέλικτο και οικονομικό τρόπο. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός ήταν απαραίτητη μια συνεργασία νέων συνιστωσών και συστημάτων με ήδη υπάρχουσες συσκευές και δομές, οι οποίες αναπαρίστανται μέσω τρισδιάστατων έξυπνων αντικειμένων αλλά και εικονικών σημείων δεδομένων, τα οποία ορίζονται χάρη σε μετα-πληροφορία από οντολογίες περιοχής που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ κτηριακών στοιχείων όπως Κτήριο, Πάτωμα και Δωμάτιο. Η έρευνα αυτή είναι μέρος μιας οριζόντιας συγχρονισμένης προσπάθειας άλλων εργασιών, όπως το FIWARE και πιο συγκεκριμένα το FI-CONTENT 2, το οποίο ασχολείται με την κατασκευή νέων καινοτόμων εφαρμογών και υπηρεσιών για καθημερινά εργασιακά και οικιακά περιβάλλοντα, καθιστώντας την πληροφορία του φυσικού κόσμου, εύκολα διαθέσιμη σε έξυπνες υπηρεσίες.

4.6.8 CHISTERA project

Το project αυτό ερευνά το κομμάτι της διαλειτουργικότητας μεταξύ των δικτύων αλλά και του IoT περιβάλλοντος το οποίο περιλαμβάνει ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αλλά και δομές σύννεφου. [CMT15] Στόχος του είναι η δημιουργία ενός προγραμματιστικού μοντέλου κατασκευής ενός συστήματος συστημάτων μέσω της προγραμματιστικής αφαίρεσης ενός συστήματος το οποίο αναφέρεται με το χαρακτηριστικό όνομα τέκτον. Συνοπτικά, το σύστημα αυτό είναι μια γενική σύλληψη πάνω από εξειδικευμένα χαρακτηριστικά (ενσύρματο/ασύρματο, σταθερό/κινητό, εκτενές/περιορισμένο κλπ) μέσω του οποίου θα γίνεται κατανοητό πότε και πώς θα επισημβαίνει η διαχείριση μια ευκαιριακής αλληλεπίδρασης ή σύνθεσης. Μέσω οντολογικών εργαλείων, περιγράφονται άμεσα σχετιζόμενες έννοιες στο εκάστοτε πεδίο εφαρμογής και υποστηρίζεται η τεκτονική αυτή αφαίρεση, επιτρέποντας την επαφή και την επακόλουθη συντονισμένη δράση όπως τη σύνθεση ή την αλληλεπίδραση υπηρεσιών.

4.6.9 CityPulse

Παρέχει κανοτόμες εφαρμογές έξυπνης πόλης υιοθετώντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στο Διαδίκτυο των ανθρώπων και το διαδίκτυο των Ανθρώπων. [132] Η εργασία αυτή έχει στόχο να διευκολύνει τη δημιουργία και την επικράτηση αξιόπιστων εφαρμογών έξυπνης πόλης, συνδυάζοντας το διπλό κανόνα του γνωστικού υπολογισμού και της αξιόπιστης δοκιμής.

4.6.10 *IoT.est*

Το πρόγραμμα αυτό αναπτύσσει ένα περιβάλλον ανάπτυξης υπηρεσιών για το ΔτΠ, το οποίο βασίζεται στη δοκιμή. Το περιβάλλον αυτό θα διευκολύνει την απόκτηση δεδομένων και του ελέγχου/ενεργοποίησης αισθητήρων, αντικειμένων και ενεργοποιητών. [133] Παρέχει τεχνικές και εργαλεία για την περιγραφή, δημοσίευση και δημιουργία στιγμιotypών IoT υπηρεσιών που εκμεταλλεύονται δεδομένα δια μέσου των ορίων των domains και διευκολύνουν την παρακολούθηση της εκτέλεσης τους, την αυτόνομη προσαρμογή τους σε περιβάλλον/συμφραζόμενα και αλλαγές δικτυακών ποιοτικών παραμέτρων.

4.6.11 *OpenIoT*

Το πρόγραμμα αυτό ερευνά αποτελεσματικούς τρόπους σχηματισμού και διαχείρισης περιβαλλόντων υπολογιστικών σύννεφων, περιβάλλοντα που συμπεριλαμβάνουν IoT οντότητες και πόρους και δυνατότητες, προσφέροντας πρακτικές IoT εφαρμογές (πχ pay-as-you-go). [134] Η εργασία αυτή είναι συναφής με ένα πλατύ εύρος συνδεδεμένων επιστημονικών και τεχνολογικών περιοχών που εκτείνονται από λογισμικά για αισθητήρες και δίκτυα αισθητήρων, οντολογίες, σημασιολογικά μοντέλα και επισημάνσεις και τεχνικές ανοικτών συνδεδεμένων δεδομένων έως υπολογιστικά σύννεφα που περιλαμβάνουν σχήματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Αποτελεί μια κοινή προσπάθεια εξεχουσών συνεισφορών ανοικτού κώδικα με κατεύθυνση τη δημιουργία ενός νέου εύρους IoT εφαρμογών μεγάλης κλίμακας, σύμφωνα με ένα υπολογιστικού σύννεφου μοντέλο διανομής. [135]

5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Η βελτίωση της απόδοσης αλλά και του μεγέθους των ηλεκτρονικών μερών, μέσα από την ιδέα της ενσωμάτωσης τους, οδήγησε στην ευρεία εξάπλωση των αισθητήρων και των ενεργοποιητών σε ένα υπερμεγέθες σύνολο συσκευών αλλά και πραγμάτων του καθημερινού πραγματικού/φυσικού κόσμου. Μέσα από προκλήσεις ασφάλειας, ιδιωτικότητας, η διαχείριση των δεδομένων, είναι αυτό το κομμάτι που παίζει το σημαντικότερο ρόλο στις νέες σπουδαίες ευκαιρίες που ανοίγονται για πολλά πεδία εφαρμογής. Όπως είδαμε, χάρη στις τεχνολογίες των ραδιοσυχνοτήτων, η ιδέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων, έγινε ευρέως εφικτή, με προοπτικές εξάπλωσης από το περιορισμένο σημείο σε ευρεία παγκόσμια κάλυψη. Ακριβώς όπως το Internet, ξεκινώντας από ένα μικρό κύκλο, έμελε να επεκταθεί κατακτώντας τον κόσμο.

Έως σήμερα, η γνώση παρήγετο και παρέμενε στα πλαίσια κλειστών σιλό, αλλά η ιδέα της εξάπλωσης του ΔτΠ και της δημιουργίας των οικοσυστημάτων που ευαγγελίζεται, βασίζεται κυρίως στα ανοιχτά πρότυπα και τις πλατφόρμες ελεύθερης πρόσβασης. Μέσα από την τεχνολογική εξέλιξη, και συγκεκριμένα από την υιοθέτηση των IPv6 διευθύνσεων, η μοναδικότητα κάθε πράγματος είναι εξασφαλισμένη. Καθετί μπορεί πλέον να αναπαρίσταται στο διαδίκτυο, και να φέρει μια εικονική ταυτότητα.

Μέσα από τη ικανότητα συνδυασμού δεδομένων από διάφορες πηγές, καθίσταται αναγκαίο να σημειώνεται η προέλευση του καθενός, και η περιγραφή λεπτομερειών καθενός (μέσω των

μεταδεδομένων), έτσι ώστε και η γνώση να μεταφέρεται να διαδίδεται και να εξελίσσεται αλλά και να χρησιμοποιείται βάσει των πολιτικών ασφαλείας που ορίζει ο δημιουργός τους. Αυτό, με τη σειρά του κινητοποιεί εργασία σε τεχνικές στατικής ανάλυσης για τη λογική των υπηρεσιών και δυναμικής εφαρμογής των πολιτικών. Τα ακατέργαστης μορφής δεδομένα με άλλα λόγια, έχουν συνήθως περιορισμένη αξία, και καθίστανται πολύτιμα μόνο μέσα από επεξεργασία πολλαπλών επιπέδων ερμηνείας και συνδυασμού πληροφορίας πολλαπλών πηγών, παρέχοντας αποτελέσματα που ταιριάζουν σε ένα συγκεκριμένο δοθέν πλαίσιο συμφραζομένων κάθε φορά. Αυτό είναι και η διαδικασία που η φύση διδάσκει τον άνθρωπο, πως μέσα από την παρατήρηση και τον μιμητισμό, οι εξελικτικές διαδικασίες της σκέψης και της αναγνώρισης οδηγούν στην πρόοδο. Το ίδιο εφαρμόζεται και μέσα από την παρατήρηση και την ενεργοποίηση των συσκευών, όπου υψηλού επιπέδου κίνητρα μπορούν προοδευτικά να μετεξελιχθούν σε κατώτερου επιπέδου έλεγχο επί διαφορετικών υποσυστημάτων. Αυτό που είναι αναγκαίο για τον συντονισμό αλλά και την καθοδήγηση των κατανεμημένων αυτών συστημάτων είναι, ακριβώς όπως πράττει και ο ανθρώπινος εγκέφαλος, μια ενορχήστρωση των απαραίτητων κινήσεων των διαφόρων συνιστωσών. Για να κατασταθεί εφικτή λοιπόν μια ανοικτή αγορά υπηρεσιών, είναι απαραίτητη μια προτυποποιημένη μορφή πρόσβασης στις περιγραφές των υπηρεσιών, ώστε οι μηχανές αναζήτησης να μπορούν να καλύψουν υπηρεσίες που φιλοξενούνται σε διαφορετικά υπολογιστικά σύννεφα, διαφορετικών κατασκευαστών και ιδιοκτητών. Κατόπιν, είναι απαραίτητο, ένα στάνταρντ πλαίσιο εργασίας, για την αναπαράσταση αυτών των περιγραφών μαζί με ένα πρότυπο σύνολο σημασιολογικών λεξικών, των οντολογιών. Κάτι τέτοιο πρέπει να καλύπτει το σκοπό μιας υπηρεσίας, τις διεπαφές που εμπλέκει ή στις οποίες βασίζεται, τις σχετικές ιδιότητες ασφάλειας και πολιτικής απορρήτου κλπ. Η διαλειτουργικότητα συμπεραίνουμε πως έχει ως απαιτούμενο ένα συμβατό κοινό πλαίσιο σημασιολογίας και αναπαράστασεων δεδομένων. Αυτό που είναι αναγκαίο είναι να αποτελέσει κανόνα η επαναχρησιμοποίηση αυτών των λεξιλογίων και η υποστήριξη της εγγραφής νέων μαζί με τις υποθέσεις που παρακινούν την ανάγκη δημιουργίας τους. Όπου οι υπηρεσίες διαθέτουν ασύμβατες σημασιολογίες ή μορφότυπα δεδομένων, ανοίγει η ευκαιρία για ενδιάμεσους να γεφυρώσουν τα κενά. Οι υπηρεσίες αναζήτησης μπορούν έτσι, να σχηματίσουν κανόνες για την συγκέντρωση υπηρεσιών για την ικανοποίηση των εκάστοτε απαιτήσεων. Αυτές οι συγκεντρώσεις μπορεί να είναι τόσο στατικές όσο και δυναμικές. Οι κανόνες αυτοί, οι οποίοι θα αφορούν σε συσκευές, μπορούν να εφαρμοστούν για τη διαχείριση σειριακών, συναπτών, ή/και ιεραρχικής κατανομής εργασιών, που φέρουν προαπαιτούμενα ή την ανάγκη επανελέγχου και ανατροφοδότησης. Στον κόσμο του IoT, αυτό ανταποκρίνεται στην εξεύρεση υπηρεσιών που μπορούν να εκτελέσουν αυτές τις εργασίες μέσα από διαδικασίες μετασχηματισμού δεδομένων, αναγνώρισης σειρά γεγονότων ή την εκτέλεση σειράς δράσεων μέσα από τον συνδυασμό ενεργοποιητών. Τα έξυπνα αντικείμενα του σύμπαντος αυτού, που αναλαμβάνουν να κάνουν αυτές τις εργασίες, είναι εικονικά και δύνανται να περιγραφούν μέσα από τα εργαλεία του

σημασιολογικού ιστού, πρόσβαση στον οποίο αποκτούν μέσα από την εξάπλωση του υπολογιστικού σύννεφου και των τεχνολογιών κοντινού πεδίου.

Οι λύσεις για το ΔτΠ, προς το παρόν όπως είδαμε, βασίζονται ισχυρά σε υπηρεσίες τρίτων και δομές όπως το υπολογιστικό σύννεφο, όπου κάθε συσκευή αποστέλλει τις όποιες καταγραφές και μετρήσεις, σε ένα συγκεντρωμένο υπολογιστικό σημείο συλλογής και υπολογισμού. Μέσα από αυτή τη διαδικασία ανακύπτουν πολλά προβλήματα κυρίως ενεργειακής κατανάλωσης (λόγω της έντονης ασύρματης επικοινωνίας), υπερφόρτωσης των δικτύων, περιορισμού της διάρκειας ζωής των συσκευών αλλά και της διατήρησης της ιδιωτικότητας. Η πρόκληση που αντιμετωπίζει σε ικανοποιητικό βαθμό λοιπόν μια σημασιολογική προσέγγιση, είναι να καταστήσει τα αντικείμενα του ΔτΠ αυτόνομα, περιορίζοντας τη χρήση υπηρεσιών τρίτων, μόνο όταν είναι πραγματικά απαραίτητο όπως σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αλλά σε μια πολύ ευρύτερη κλίμακα.

Με αυτόν τον τρόπο, τα αντικείμενα μπορούν να διαχειρίζονται τον μεγάλο όγκο των δεδομένων που συνεχώς παράγεται (μετρήσεις, καταγραφές, γεγονότα κλπ), υπό έναν συνεργατικό τρόπο. Σε αυτά τα πλαίσια, οι ροές δεδομένων και η συνεχής επεξεργασία λαμβάνουν το ρόλο δεδομένων αναφοράς και υπολογιστικών μοντέλων για την ανάπτυξη IoT εφαρμογών. Μέσα από τη θεώρηση αρχιτεκτονικών προσανατολισμένων προς υπηρεσίες, εισάγεται η ιδέα των ροών υπηρεσιών, οι οποίες παράγουν και καταναλώνουν διαρκώς ροές δεδομένων, σε αντίθεση με κοινές υπηρεσίες που περιορίζονται σε πεπερασμένες συλλογές.

Εν κατακλείδι, η σύνθεση συστημάτων σήμερα εκτελείται μέσα από έναν ad-hoc τρόπο, ξεχωριστό για κάθε σύστημα. Είναι εμφανές ότι ένα γενικευμένο προγραμματιστικό μοντέλο προσανατολισμένο σε ένα σύστημα συστημάτων είναι αναγκαίο να αποτελέσει το επίκεντρο, το οποίο θα επιτρέπει τα συστήματα να συνθέτονται από ειδικούς τομέων και όχι απλούς προγραμματιστές συστημάτων. Επιπροσθέτως, η σύνθεση αυτή θα πρέπει να γίνεται με έναν πειθαρχημένο τρόπο, ακολουθώντας κανόνες, παράγοντας κατανοητή σημασιολογική σύνθεση και συμπεριφορά. Συγκεντρωτικά, εφαρμόζοντας την σημασιολογία και τα εργαλεία των ΣΔ στο Διαδίκτυο των πραγμάτων 1) δύνανται να κατασκευαστούν διαλειτουργικές IoT εφαρμογές συγκεκριμένου domain ή cross-domain, 2) να συναχθεί εύκολα υψηλού επιπέδου αφαιρετικής σκέψης γνώση από μετρήσεις αισθητήρων χάρη στους κανόνες αυτούς, 3) να επαναχρησιμοποιηθεί όσο γίνεται περισσότερο συχνά η ήδη σχεδιασμένη γνώση, μειώνοντας το χρόνο δημιουργίας εφαρμογών, τα όποια προβλήματα συμβατότητας και εύρυθμης λειτουργίας αυτών. Μια πρόκληση που ανοίγει ο σημασιολογικός αυτός δρόμος, είναι αυτός του εμπλουτισμού της γνώσης τομέων με νέα πιο σύνθετα πρότυπα που συμπεριλαμβάνουν περισσότερους αισθητήρες και domains για τη δημιουργία πιο εκπλεπυσμένων εφαρμογών.

6

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κατά τη διάρκεια της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και της γενικότερης εκπόνησης της παρούσας διατριβής, ανοίχθηκε ένας νέος ορίζοντας γνώσης, σε μέχρι πρότινος άγνωστες αλλά άκρως ενδιαφέρουσες σύγχρονες τεχνολογίες, οι οποίες σκιαγραφούν μια καθοριστική αιχμή στο ρου της συνεχούς τεχνολογικής προόδου, διαμορφώνοντας και εξελίσσοντας κατά τρόπο ουσιαστικό και ριζικό, τα ήδη κεκτημένα χαρακτηριστικά της.

Μέσα από την εργασία αυτή, επιχειρήθηκε μια εις βάθος γνωριμία με τους τομείς του Σημασιολογικού ιστού αλλά και του Διαδικτύου των πραγμάτων, υπό το πρίσμα -όπως προηγουμένως ελέχθη- ενός άπειρου βλέμματος. Παρουσιάζοντας εκτενώς τόσο την κεντρική στόχευσή τους, αλλά και τα εργαλεία που τις συνθέτουν, συστήνεται στον αναγνώστη μια εναλλακτική λύση σε ένα αντικείμενο που ομολογουμένως έχει κατακτήσει κατά κράτος, την καθημερινότητα του, και έχει αναχθεί σε βασική του ανάγκη. Το διαδίκτυο αποκτά μια νέα μορφή, κοντινότερη στις ανάγκες και τις απαιτήσεις του ανθρώπου, μέσα από την σημασιολογική επέκταση των συστατικών μερών του. Ξεγυμνώνοντας τα τελευταία, μεταβαίνουμε σε ένα κατώτερο επίπεδο αφαίρεσης, από την πληροφορία στα δεδομένα που τη συνθέτουν, μεταβαίνοντας όμως με αυτόν τον τρόπο, και σε μια αυστηρότερη και πιο συμπαγή κατανεμημένη ευφυΐα. Κάνοντας ένα βήμα πίσω, θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί μια αποσύνθεση και επανασύνδεση του διαδικτύου, στις πρωταρχικές θεμελιώδεις ιδέες, με τις οποίες κατασκευάστηκε.

Εν παραλλήλω, το διαδίκτυο αλλάζει μορφή όχι μόνο μέσω της παραπάνω αναδιαμόρφωσης, αλλά ταυτοχρόνως, έχοντας και πάλι τον άνθρωπο στο επίκεντρο, συγκαταλέγοντας τις μηχανές στο σύνολο των χρηστών του. Αποδίδοντας σε κάθε ένα αντικείμενο του πραγματικού κόσμου, ένα μοναδικό αναγνωριστικό, δίνεται η δυνατότητα συμμετοχής του στον κύκλο κατανάλωσης και παραγωγής δεδομένων στο διαδίκτυο.

Το αξιόλογο ερώτημα που θα ολοκλήρωνε αυτή τη νέα εποχή για το διαδίκτυο, και οι ερευνητικές μελέτες προς αυτή την κατεύθυνση, αποτέλεσαν τον κύριο κορμό αυτής της εργασίας. Επιχειρήθηκε μια παρουσίαση της σημασιολογικής συμπεριφοράς στο διαδίκτυο των πραγμάτων, όπου η δράση και η λειτουργία των πραγμάτων διέπεται από τους κανόνες ευφυΐας που χαρακτηρίζει τον Σημασιολογικό ιστό. Ο χώρος και οι δυνατότητες συνέχισης και επέκτασης αυτού του οράματος σκιαγραφούν ένα πλούσιο σε μελέτες και εργασίες, μέλλον. Αν αναλογιστούμε την αξιοποίηση αυτών των πληροφοριών από τους ποικίλους και διαφορετικούς τομείς του επιστητού, οι εφαρμογές που δύνανται να προκύψουν είναι αμέτρητες ενώ τα αποτελέσματα στη ζωή του ανθρώπου θα είναι απεριόριστα.

Η παρούσα εργασία ευελπιστούμε θα μπορούσε να αποτελέσει ένα αξιόλογο βοήθημα γνωριμίας και μύησης όλων των εν δυνάμει ερευνητών, δίνοντας το κίνητρο και την ώθηση εξέλιξης του μελλοντικού Παγκόσμιου Ιστού.

7

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [ABH+98] Abecker, A., Bernardi, A., Hinkelmann, K., Kuhn, O., Sintek, M., Towards a technology for organizational memories, *IEEE Intelligent Systems*, 13(3), 1998.
- [AH08] Antoniou, Grigoris, van Harmelen, Frank, *A Semantic Web Primer*, MIT Press, 2008.
- [AIM10] Atzori, Luigi, Iera, Antonio, Morabito, Giacomo, The Internet of Things: A survey, *Computer Networks* 54 (15), June 2010.
- [APK04] Abdelzaher, T., Prabh, S., Kiran, R., On Real-Time Capacity Limits of ad hoc Wireless Sensor Networks, *RTSS*, December 2004.
- [ASS+02] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., Wireless sensor networks: a survey, *Computer Networks*, 38, (4), March 2002.
- [Bat12] Bates, J., This is what modern deregulation looks like: Co-optation and contestation in the shaping of the UK's Open Government Data Initiative, *The Journal of Community Informatics*, 8(2), 2012.
- [BCC+06] Berners-Lee, Tim, Chen, Yuhsin, Chilton, Lydia, Connolly, Dan, Dhanaraj, Ruth, Hollenbach, James, Lerer, Adam, Sheets, David, *Tabulator: Exploring and Analyzing linked data on the Semantic Web*, *Proceedings of the 3rd International Semantic Web User Interaction*, 2006.

- [Ber09] Bernstein, Jay H., The Data-Information-Knowledge-Wisdom Hierarchy and its Antithesis, Jacob, E. K. and Kwasnik, B. (Eds.), Proceedings North American Symposium on Knowledge Organization Vol. 2, June 2009.
- [BG04] Brickley, D., Guha, R., RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema, W3C, February 2004.
- [BHL01] Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O., The Semantic Web, Scientific American, May 2001.
- [BKM01] Bertolazzi, P., Krusich, C., Missikoff, M., An Approach to the Definition of a Core Enterprise Ontology: CEO, OESSEO 2001, International Workshop on Open Enterprise Solutions: Systems, Experiences, and Organizations, September 2001.
- [Bor97] Borst, W. N., Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse, PhD thesis, University of Twente, Enschede, 1997.
- [BR07] Botts, M., Robin, A., Bringing the sensor web together, Geosciences, 6, 2007.
- [Bra06] Bradshaw, V., The Building Environment: Active and Passive Control Systems, John Wiley & Sons, 2006.
- [Bro01] Brock, David L., The Electronic Product Code (EPC) A Naming Scheme for Physical Objects, 2001.
- [BSB74] Burnham, G., Seo, J., Bekey, G. A., Identification of Human Driver Models in Car Following. IEEE Transactions on Automatic Control, 19 (6), 1974.
- [BWD+13] Barnaghi, P., Wang, W., Dong, L., Wang, C., A linked-data model for semantic sensor streams, Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE and Internet of Things (iThings/CPSCom), IEEE International Conference on and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, IEEE, August 2013.
- [BWH+12] Barnaghi, P., Wang, W., Henson, C., Taylor, K., Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future, International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS), 8(1), 2012.
- [Car13] Cardullo, M., Genesis of the Versatile RFID Tag, April 2013.
- [CBB+12] Compton, M., Barnaghi, P., Bermudez, L., García-Castro, R., Corcho, O., Cox, S., Graybeal, J., Hauswirth, M., Henson, C., Herzog, A., Huang, V., The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group, Web semantics: science, services and agents on the World Wide Web, 2012.

- [CBB+12] Compton, M., Barnaghi, P., Bermudez, L., García-Castro, R., Corcho, O., Cox, S., Graybeal, J., Hauswirth, M., Henson, C., Herzog, A., Huang, V., The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group, Web semantics: science, services and agents on the World Wide Web, 17, 2012.
- [CFG03] Corcho, O., Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?, Data & Knowledge Engineering, 46(1), 2003.
- [Che76] Chen, P. P.-S., The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data, ACM Transactions on Database Systems (TODS), 1(1), 1976.
- [Chi13] Chignard, S., A brief history of open data, Paris Tech Review, 2013.
- [CJB99] Chandrasekaran, B., Josephson, J. R., Benjamins, V. Richard, What Are Ontologies, and Why Do We Need Them?, IEEE Intelligent Systems, 1999.
- [CJO01] Cui, Z., Jones, D., O'Brien, D., Issues in Ontology-based Information Integration, E-Business & the Intelligent Web, IJCAI , 2001.
- [CMT15] Coulson, G., Mauthe, A., Tauber, M., Tectons: Towards a Generalised Approach to Programming Systems of Systems, ERCIM NEWS, 34, 2015.
- [CXL+14] Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., Wang, H., A vision of iot applications challenges and opportunities with china perspective, IEEE Internet Of Things Journal, 1 (4), August 2014.
- [DBB+11] De, Suparna, Barnaghi, P., Bauer, M., Meissner, S., Service modelling for the Internet of Things, Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2011 Federated Conference, IEEE, September, 2011.
- [DEB+12] De, S., Elsaleh, T., Barnaghi, P., Meissner, S., An internet of things platform for real-world and digital objects, Scalable Computing: Practice and Experience, 13(1), 2012.
- [DEB+12] De, S., Elsaleh, T., Barnaghi, P., Meissner, S., An internet of things platform for real-world and digital objects, Scalable Computing: Practice and Experience, 13(1), 2012.
- [DGS+11] Dickerson, R., Gorlin, E., Stankovic, J., Empath: a Continuous Remote Emotional Health Monitoring System for Depressive Illness, Wireless Health, 2011.
- [DHM06] Deng, J., Han, R., Mishra, S., Secure Code Distribution in Dynamically Programmable Wireless Sensor Networks, Proc. of ACM/IEEE IPSN, 2006.
- [DMA+12] Dixon, C., Mahajan, R., Agarwal, S., Brush, A., Lee, B., Saroiu, S., Bahl, P., An Operating System for the Home, NSDI, 2012.

- [Duc13] DuCharme, Bob, Learning SPARQL, O'Reilly Media, July 2013.
- [EN10] Elmasri, R., Navathe, S. B., Fundamentals of Database Systems, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 2010.
- [FDE+98] Fensel, D., Decker, S., Erdmann, M.I, Studer, R., Ontobroker: The Very High Idea, Proceedings of the 11th International Flairs Conference (FLAIRS-98), May 1998.
- [FMS93] Steven Feiner, Blair MacIntyre, Dorée Seligmann, KARMA - Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance, July 1993.
- [GAB+00] Grimm, R., Anderson, T., Bershad, B., Wetherall, D., A system architecture for pervasive computing, Proceedings of the 9th ACM SIGOPS European Workshop, Kolding, 2000.
- [Gan14] Ganz, F., Intelligent communication and information processing for cyber-physical data, Doctoral dissertation, University of Surrey, 2014.
- [GBB14] Gyrard, Amelie, Bonnet, Christian, Boudaoud, Karima, Enrich machine-to-machine data with semantic web technologies for cross-domain applications, Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum, IEEE, 2014.
- [GBB14] Gyrard, Amelie, Bonnet, Christian, Boudaoud, Karima, Domain knowledge Interoperability to build the semantic web of things, W3C Workshop on the Web of Things, 2014.
- [GBM+13] Jayavardhana Gubbia, Rajkumar Buyyab, Slaven Marusica, Marimuthu Palaniswamia, Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements and future directions, Future Generation Computer Systems (29), February 2013.
- [GCF03] Gomez-Perez, A., Corcho-Garcia, O., Fernandez-Lopez, M., Ontological Engineering, Springer-Verlag, 2003.
- [GDB+14] Gyrard, Amelie, Datta, Soumya Kanti, Bonnet, Christian, Antipolis, Sophia, Standardizing Generic Cross-Domain Applications in Internet of Things, Globecom Workshops (GC Wkshps), 2014.
- [GDB+15] Gyrard, Amelie, Datta, Soumya Kanti, Bonnet, Christian, Boudaoud, Karima, Cross-Domain Internet of Things Application Development: M3 Framework and Evaluation, 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud 2015), August 2015.
- [Ger00] Neil A. Gershenfeld, When Things Start to Think, Henry Holt and Company, 2000
- [GGK+11] Gray, A.J., García-Castro, R., Kyzirakos, K., Karpathiotakis, M., Calbimonte, J.P., Page, K., Sadler, J., Frazer, A., Galpin, I., Fernandes, A.A., Paton, N.W., A semantically

- enabled service architecture for mashups over streaming and stored data, Extended Semantic Web Conference, Springer Berlin Heidelberg, May 2011.
- [GIM+10] Giusto, D., Iera, A., Morabito, G., Atzori, L., The Internet of Things, Springer Science & Business Media, 2010.
- [GJM15] Gaston, D., Joubert, C., Montesinos, M3d Web Visualization for Real-Time Maintenance of Smart Buildings, ERCIM NEWS, 2015.
- [GJS96] Gosling, J., Joy, B., Steele, G., The Java Language Specification, Addison-Wesley, 1996.
- [GKC04] Gershenfeld, Neil, Krikorian, Raffi, Cohen, Danny, The principles that gave rise to the Internet are now leading to a new kind of network of everyday devices, an “Internet-0”, Scientific American (291), October 2004
- [GN87] Genesereth, M. R., Nilsson, N. J., Logical Foundations of Artificial Intelligence, Kaufmann, 1987.
- [Gor13] Gordon-McKeon, S., Hacking the hackathon, Shaunagm.net, 2013.
- [GOS09] Guarino, Nicola , Oberle, Daniel, Staab, Steffen, What Is an Ontology?, Handbook on Ontologies, Springer, 2009.
- [Gru95] Gruber, Thomas R., Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing, Presented at the Padua workshop on Formal Ontology, March 1993, later published in International Journal of Human-Computer Studies, 43 (4-5), November 1995
- [Gua98] Guarino, N., Formal Ontology and Information Systems, Formal Ontologies in Information Systems: Proceedings of the 1st International Conference (FOIS’98), IOS Press, 1998.
- [Gur13] Gurstein, M., Should “Open Government Data” be a product or a service (and why does it matter?, Gurstein’s Community Informatics, February 2013.
- [Hac14] Hachem, Sara, Service-Oriented middleware for the large-scale mobile Internet of Things, Doctoral dissertation, Université de Versailles-Saint Quentin en Yvelines, 2014.
- [HB11] Heath, T., Bizer, C., Linked Data: Evolving the Web into a Global Data Space, Morgan & Claypool Publishers, 2011.
- [HCB+12] Helbig, N., Cresswell, A.M., Burke, G.B., Luna-Reyes, L., The Dynamics of Opening Government Data: A White Paper, Centre for Technology in Government, State University of New York, Albany, 2012.
- [Hei60] Heilig, M. L., Stereoscopic-television apparatus for individual use , October 1960.

- [Hen13] Henson, C. A., A semantics-based approach to machine perception, PhD thesis, Wright State University, 2013.
- [HFB+00] Horrocks, I., Fense, D., Broekstra, J., Decker, S., Erdmann, M., Goble, C., van Harmelen, F., Klein, M., Staab, S., Studer, R., Motta, E., The Ontology Inference Layer OIL, technical report, Vrije Universiteit Amsterdam, August 2000.
- [HH00] Heflin, J., Hendler, J., Dynamic Ontologies on the Web, Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2000), 2000.
- [How04] Howarth, F., Multi-agent technology: removing the 'artificial' from AI, IT-Director, March 2004.
- [HPI14] Hachem, S., Pathak, A., & Issarny, V., Service-oriented middleware for large-scale mobile participatory sensing, *Pervasive and Mobile Computing*, 10, 2014.
- [HPS+09] Henson, C.A., Pschorr, J.K., Sheth, A.P., Thirunarayan, K., SemSOS: Semantic sensor observation service, Collaborative Technologies and Systems, 2009, CTS'09, International Symposium, IEEE, May 2009.
- [HS05] Harris, S., Shadbolt, N., SPARQL Query Processing with Conventional Relational Database Systems, *Web Information Systems Engineering, Proceedings of WISE 2005 International Workshops*, Springer, 2005.
- [HSL+05] He, T., Stankovic, J., Lu, C., Abdelzaher, T., A Spatiotemporal Communication Protocol for Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 16(10), Oct. 2005.
- [HSW96] van Heijst, G., Schreiber, Th., Weilinga, B. J., Using Explicit Ontologies in KBS Development, *International Journal of Human and Computer Studies*, 46(2-3), 1996.
- [HTI11] Hachem, S., Teixeira, T., Issarny, V., Ontologies for the internet of things, *Proceedings of the 8th Middleware Doctoral Symposium*, ACM, 2011.
- [HTI11] Hachem, Sara, Teixeira, Thiago, Issarny, Valérie, Ontologies for the internet of things, *Proceedings of the 8th Middleware Doctoral Symposium*, ACM, 2011.
- [Ken26] Kennedy, John B. WHEN WOMAN IS BOSS An interview with Nikola Tesla, January 30, 1926.
- [KF01] Klein, M., Fensel, D., Ontology versioning on the Semantic Web, *Proceedings of the First International Semantic Web Working Symposium*, 2001.
- [KK12] Kotis, K., Katasonov, A., An ontology for the automated deployment of applications in heterogeneous IoT environments, *Semantic Web Journal*, 2012.

- [KK13] Kotis, K., Katasonov, A., Semantic interoperability on the internet of things: The semantic smart gateway framework, *International Journal of Distributed Systems and Technologies (IJDST)*, 4(3), 2013.
- [KS03] Kalfoglou, Y., Schorlemmer, M., Ontology Mapping: the State of the Art, *The Knowledge Engineering Review*, 18(1), 2003.
- [Law04] Lawton, George, Machine-to-machine technology gears up for growth, *Computer*, (37), September 2004.
- [LC00] Lin, Y.-B., Chlamtac, I., *Wireless and Mobile Network Architectures*, John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [LF94] Lamming, M., Flynn, M., Forget-me-not: Intimate computing in support of human memory, *Proc FRIEND21*, 1994.
- [LLP+10] Lee, Meeyeon, Lee, Jung-Won, Park, Seung Soo, Cho, We-Duke, SOA-based Service Layering for Facilitating Dynamic Service Composition and Alternative Service Discovery, *Journal of Information Science and Engineering* 26(3), 2010.
- [Lop99] López, Fernández M., Overview Of Methodologies For Building Ontologies, *CEUR Publications, Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Ontologies*, 1999.
- [LQN+14] Le-Phuoc, D., Quoc, H. N. M., Ngo, Q. H., Nhat, T. T., Hauswirth, M., Enabling live exploration on the graph of things, *Proceedings of the Semantic Web Challenge*, 2014.
- [LSS+10] Lu, J., Sookoor, T., Srinivasan, V., Gao, G., Holben, B., Stankovic J., Field, E., Whitehouse, K., The Smart Thermostat: Using Occupancy Sensors to Save Energy in Homes, *ACM SenSys*, 2010.
- [Mae03] Maedche, A., *Ontology Learning for the Semantic Web*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, 2003.
- [Man96] Mann, Steve, An experiment in connectivity Look out through my glasses right now (or when last transmitted), 1996.
- [Man97] Mann, Steve, Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging, *Cybersquare Computer*, (30), February 1997.
- [Mcc11] McClean, T., Not with a bang but a whimper: The politics of accountability and open data in the UK, Paper prepared for the American Political Science Association Annual Meeting, September 2011.

- [MF10] Mattern, Friedemann, Floerkemeier, Christian, From the Internet of Computers to the Internet of Things, From active data management to event-based systems and more, Springer, 2010.
- [Miz04] Mizoguchi, R., Tutorial on ontological engineering - Part 2: Ontology development, tools and languages, New Generation Computing, 22 (1), March 2004.
- [Miz04] Mizoguchi, R., Tutorial on ontological engineering - Part 2: Ontology development, tools and languages, New Generation Computing, Springer-Verlag, March 2004.
- [MKS+00] Mizoguchi, R., Kozaki, K., Sano, T., Kitamura, Y., Construction and Deployment of a Plant Ontology, 12th European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management, 2000.
- [ML64] McLuhan, Marshall, Lapham, Lewis H. , Understanding Media: The Extensions of Man, McGraw-Hill, 1964.
- [MMF14] Manate, B., Munteanu, V. I., Fortis, T. F., Towards a smarter internet of things: Semantic visions, 2014 Eighth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS), July 2014.
- [MMS+03] Maedche, A, Motik, B, Stojanovic, L, Studer, R, Volz, R., Ontologies for Enterprise Knowledge Management, IEEE Intelligent Systems, 2003.
- [MS01] Maedche, A., Staab, S., Ontology Learning for the Semantic Web, IEEE Intelligent Systems, 16(2), 2001.
- [MS14] Munir, S., Stankovic, J., DepSys: Dependency Aware Integration of Systems for Smart Homes, ICCPS '14 ICCPS '14: ACM/IEEE 5th International Conference on Cyber-Physical Systems, April 2014.
- [MSP+12] Miorandi, Daniele, Sicari, Sabrina, De Pellegrini, Francesco, Chlamtac, Imrich, Internet of things: Vision, applications and research challenges, Ad Hoc Networks (10), September 2012.
- [MSP+12] Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., Chlamtac, I., Internet of things: Vision, applications and research challenges, Ad Hoc Networks, 10(7), 2012.
- [Mun14] Munir, Jawad, State-of-the-art of Internet of Things ontologies, March 2014.
- [Nas32] Nash, J. B., Spectatoritis, 1932.
- [NK04] Noy, Natalya F., Klein, Michel, Ontology Evolution: Not the Same as Schema Evolution, Knowledge and Information Systems, 2004.

- [NM01] Noy, N. F., McGuinness, D. L., Ontology development 101: A guide to creating your first ontology, Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [NSP+14] Nambi, S. N., Akshay, Uttama, Sarkar, Chayan, Prasad, R., Venkatesha, Rahim, Abdur, A Unified Semantic Knowledge Base for IoT, 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT) Paper, IEEE, 2014.
- [Obi01] Obitko, Marek, Ontologies - Description and Applications. Technical report, Gerstner Laboratory for Intelligent Decision Making and Control, Czech Technical University in Prague, 2001.
- [Ohg04] Öhgren, Annika, Ontology Development and Evolution: Selected Approaches for Small-Scale Application Contexts, University, School of Engineering, 2004.
- [PG09] Presser, M., Gluhak, A., The Internet of Things: Connecting the Real World with the Digital World, The Magazine for Telecom Insiders, (2), 2009.
- [PHS10] Patni, H., Henson, C., Sheth, A., Linked sensor data, Collaborative Technologies and Systems (CTS), 2010 International Symposium, IEEE, May 2010.
- [Pol06] Pollock, R., The value of the public domain, Institute for Public Policy Research (IPPR), July 2006.
- [Pol09] Pollock, R., The economics of public information, Cambridge Working Papers in Economics 0920, Faculty of Economics, University of Cambridge, 2009.
- [Por13] Porway, J., You can't just hack your way to social change, Harvard Business Review Blog, 2013.
- [PPC+13] Patel, P., Pathak, A., Cassou, D., Issarny, V., Enabling highlevel application development in the internet of things, M. Zuniga and G. Dini, editors, Sensor Systems and Software, volume 122 of Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, Springer International Publishing, 2013.
- [PRB+11] Pfisterer, D., Römer, K., Bimschas, D., Kleine, O., Mietz, R., Truong, C., Hasemann, H., Kröller, A., Pagel, M., Hauswirth, M., Karnstedt, M., Leggieri, M., Passant, A., Richardson, R., SPITFIRE: toward a semantic web of things, IEEE Communications Magazine, 49(11), 2011.
- [PRB+11] Pfisterer, D., Romer, K., Bimschas, D., Kleine, O., Mietz, R., Truong, C., Hasemann, H., Kröller, A., Pagel, M., Hauswirth, M. and Karnstedt, M., SPITFIRE: toward a semantic web of things, IEEE Communications Magazine, 49(11), 2011.

- [PTG16] Paganelli, F., Turchi, S., Giuli, D., A web of things framework for restful applications and its experimentation in a smart city, *IEEE Systems Journal*, 10(4), 2016.
- [Rob93] Roberts, G. G., *Dick Tracy and American Culture*. McFarland, 1993.
- [Row07] Rowley, J. E., The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy, *Journal of Information Science*, 33(2), February 2007.
- [RRC04] Ravi, S., Raghunathan, A., Chakradhar, S.. Tamper Resistance Mechanisms for Secure, Embedded Systems, *Proc. of 17th International Conference on VLSI Design*, 2004.
- [Saf97] Saffo, Paul, *Sensors: The Next Wave of Infotech Innovation*, *Communications of the ACM* (40), February 1997.
- [SBA00] S. Sarma, D. L. Brock, and K. Ashton, *The Networked Physical World*, October 2000
- [Sei93] Seideman, Tony, *Wonders of Modern Technology: Barcodes Sweep the World*, *AmericanHeritage.com* (8), Spring 1993.
- [SHS08] Sheth, A., Henson, C., Sahoo, S., *Semantic sensor web*, *IEEE Internet Computing*, 12(4), 2008
- [SMZ08] El-Sayed, H., Mellouk, A., George, L., Zeadally, S., *Quality of service models for heterogeneous networks: overview and challenges*, *Ann Telecommun*, 63 (11-12), 2008.
- [SS13] Staab, Steffen, Studer, Rudi, *Handbook on ontologies*, Springer Science & Business Media, 2013.
- [ST94] Schilit, B. N., Theimer, M. M., *Disseminating active map information to mobile hosts*, *Network, IEEE*, (8), pp. 22–32, 1994.
- [Sta14] Stankovic, John A., *Research Directions for the Internet of Things*, Life Fellow, *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), September 2014.
- [Sta95] Stafford, Quentin - Fraser *The Trojan Room Coffee Pot*, May 1995.
- [TAD+02] Traversat, B., Abdelaziz, M., Doolin, D., Duigou, M., Hugly, J.-C., Pouyoul, E., *Project JXTA-C: enabling a Web of things*, *Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03)*, IEEE Computer Society, 2002.
- [Tho98] Thorp, Edward O., *The Invention of the First Wearable Computer*, October 1998.
- [TSH09] Toma, I., Simperl, E., Hench, G., *A joint roadmap for semantic technologies and the internet of things*, *Proceedings of the Third STI Roadmapping Workshop*, 2009.
- [Tur50] Turing, A. M., *Computing Machinery and Intelligence*, *Mind* 49, 1950.

- [UG96] Uschold, M., Gruninger, M., Ontologies: Principles, Methods, and Applications, Knowledge Engineering Review, 11(2), 1996.
- [VD08] Vasseur, J. P., Dunkels, A., IP for smart objects, IPSO Alliance, 2008.
- [VF14] Vermesan, Ovidiu, Friess, Peter, "Internet of Things –From Research and Innovation to Market Deployment", European Research Cluster on the Internet of Things, 2014.
- [VGM+14] Voutyras, O., Gogouvitis, S. V., Marinakis, A., Varvarigou, T., Achieving Autonomicity in IoT systems via Situational-Aware, Cognitive and Social Things, Proceedings of the 18th Panhellenic Conference on Informatics, 1-2, 2014.
- [VHX+10] Vicaire, P. A., Hoque, E., Xie, Z., Stankovic, J. A., Bundles: a Group Based Programming Abstraction for Cyber Physical Systems, ICCPS, 2010.
- [VKN+11] de Vries, M., Kapff, L., Negreiro Achiaga, M., Wauters, P., Osimo, D., Foley, P., Szkuta, K., O'Connor, J., Whitehouse, D., Pricing of Public Sector Information Study (POPSIS), Summary Report, Brussels:Deloitte Consulting CVBA, 2011.
- [VMB+09] Vera, E., Mancera, L., Babacan, S. D., Molina, R., & Katsaggelos, A. K., Bayesian compressive sensing of wavelet coefficients using multiscale Laplacian priors, IEEE Workshop on Statistical Signal Processing Proceedings, 2009.
- [Vog02] Vogt, H., Efficient Object Identification with Passive RFID Tags, Pervasive Computing, (2414), Springer, 2002.
- [VXH+10] Vicaire, P. A., Xie, Z., Hoque, E., Stankovic, J. A., Physicalnet: A Generic Framework for Managing and Programming across Pervasive Computing Networks, RTAS, 2010.
- [Wal02] Waldo, Jim, Virtual Organizations, Pervasive Computing, and an Infrastructure for Networking at the Edge, Journal Information Systems, Frontiers archive (4), April 2002.
- [WDC+12] Wang, W., De, S., Cassar, G., Moessner, K., Knowledge representation in the internet of things: Semantic modelling and its applications special issue on knowledge acquisition and management in the internet of things, Automatika-Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications, 2012.
- [WDT+12] Wang, W., De, S., Toenjes, R., Reetz, E., Moessner, K., A comprehensive ontology for knowledge representation in the internet of things, Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2012 IEEE 11th International Conference, IEEE, June 2012.
- [Wei91] Weiser, M., The Computer for the 21st Century, Scientific American, (265), 1991.

- [WFS+06] Wood, A., Fang, L., Stankovic, J., He, T., SIGF: A Family of Configurable, Secure Routing Protocols for Wireless Sensor Networks, ACM Security of Ad Hoc and Sensor Networks, Best Paper Award, October 31, 2006.
- [WSV+08] Wood, A., Stankovic, J., Virone, G., Selavo, L., He, T., Cao, Q., Doan, T., Wu, Y., FANG, L., Stoleru, R., Context-Aware Wireless Sensor Networks for Assisted Living and Residential Monitoring. IEEE Network 22 (4), Jul./Aug. 2008.
- [WZR+13] Wood, David, Zaidman, Marsha, Ruth, Luke, Hausenblas, Michael, Linked Data Structured Data on the Web, Manning Publications, December 2013.
- [XTZ+05] Xu, W., Trappe, W., Zhang, Y., Wood, T., The Feasibility of Launching and Detecting Jamming Attacks in Wireless Networks, Proc. of MobiHoc, 2005.
- [YRB+06] Yu, Y., Rittle, L. J., Bhandari, V., LeBrun, J. B., Supporting Concurrent Applications in Wireless Sensor Networks, ACM SenSys, 2006.
- [YY10] Yun, M., Yuxin, B., Research on the architecture and key technology of Internet of Things (IoT) applied on smart grid, Advances in Energy Engineering (ICAEE), 2010.
- [YYQ11] Yang, Siming, Yang, Xu, Qingyi, He, Ontology based service discovery method for internet of things, Internet of Things (iThings/CPSCoM), 2011 International Conference on and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing, IEEE, 2011.

URLs

- [1] Hougland, Benson, "What Is The Internet Of Things? And Why Should You Care? | Benson Hougland | Tedxtemecula", YouTube, December 2014, from <https://www.youtube.com/watch?v=AlcRoqS65E>.
- [2] "Internet of Things (IoT) History", Postscapes, Retrieved 6 December 2016, from <http://www.postscapes.com/internet-of-things-history/>.
- [3] "Universal Product Code", Wikipedia, Retrieved 6 December 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Product_Code.
- [4] Kleinrock, Leonard, "The day the infant Internet uttered its first words", Retrieved 6 December 2016, from https://www.lk.cs.ucla.edu/internet_first_words.html.
- [5] "CMU SCS Coke Machine", Retrieved 6 December 2016, from <http://www.cs.cmu.edu/~coke/>.

- [6] "Wearable computer", Wikipedia, Retrieved 6 December 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Wearable_computer.
- [7] "Machine to machine", Wikipedia, Retrieved 6 December 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_to_machine.
- [8] "Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers" , IEEEExplore Digital Library, Retrieved 6 December 2016, from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=4968>.
- [9] Weiser, Mark, "Ubiquitous Computing", March 1996, from <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>.
- [10] Schoenberger, Chana R., "The internet of things", Forbes, March 2002, from <http://www.forbes.com/global/2002/0318/092.html>.
- [11] Glover, T. Ferguson, "Have Your Objects Call My Objects", Harvard Business Review, June 2002, from <http://hbr.org/2002/06/have-your-objects-call-my-objects/ar/1>.
- [12] Ashton, Kevin, "That 'Internet of Things' Thing In the real world, things matter more than ideas", RFID Journal, June 2009 from <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.
- [13] Dodson, Sean, "The internet of things", TheGuardian, October 2003, from <https://www.theguardian.com/technology/2003/oct/09/shopping.newmedia>
- [14] Weisman, Robert, Globe Staff, The Internet of things Start-ups jump into next big thing: tiny networked chips, Globe Newspaper Company, October 2004 from http://archive.boston.com/business/technology/articles/the_internet_of_things/.
- [15] "Arduino", Retrieved 6 December 2016 from <https://www.arduino.cc/>
- [16] "Center for Bits and Atoms", Massachusetts Institute of Technology, Retrieved 6 December 2016 from <http://cba.mit.edu/>.
- [17] Sivadasan, Vijith, "Internet Of Things – What it means to us?", Codelattice, June 2015 from <http://blog.codelattice.com/internet-of-things-what-it-means-to-us/>.
- [18] Kindberg, Tim, "Cooltown & ubicomp" , Retrieved 6 December 2016 from <http://champignon.net/cooltown.php>.
- [19] "Internet 0", Wikipedia, , Retrieved 6 December 2016 from https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_0.
- [20] Streitz, Norbert A., The Disappearing Computer Initiative, Retrieved 6 December 2016 from http://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw46/streitz2.html.
- [21] "Savi", Retrieved 6 December 2016 from <http://www.savi.com/>.

- [22] "ITU Internet Reports 2005:The Internet of Things Executive Summary", International Telecommunication Union, November 2005 from http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf.
- [23] "Nabaztag", Wikipedia, Retrieved 6 December 2016 from <https://en.wikipedia.org/wiki/Nabaztag>.
- [24] "Internet of Things 2008 International Conference for Industry and Academia March 26-28, 2008 / Zurich", Retrieved 6 December 2016 from <http://www.the-internet-of-things.org/iot2008/>.
- [25] "Ipsos Alliance", Retrieved 6 December 2016 from <http://www.ipsos-alliance.org/>.
- [26] Kelly, Kevin, "Dimensions of the One Machine", The Technium, November 2007 from <http://kk.org/thetechnium/dimensions-of-t/>.
- [27] Greengard, Samuel, "A Brief History of the Internet of Things", Baseline, September 2014 from <http://www.baselinemag.com/networking/a-brief-history-of-the-iot.html>.
- [28] "A brief history and future of the Internet of Things" , StartupSmart, May 2014 from <http://www.startupsmart.com.au//business-planning/a-brief-history-and-future-of-iot/>.
- [29] Press, Gil, "A Very Short History Of The Internet Of Things", Forbes, June 2014 from <http://www.forbes.com/gilpress/a-very-short-history-of-the-internet-of-things/>.
- [30] Foote, Keith D., "A Brief History of the Internet of Things", DATAVERSITY Education, LLC, August 2016 from <http://www.dataversity.net/brief-history-internet-things/>.
- [31] Barrett, John, "The Internet of Things: Dr. John Barrett at TEDxCIT", Youtube, October 2012 from <https://www.youtube.com/watch?v=QaTIt1C5R-M>
- [32] "Culture series", Wikipedia, Retrieved 6 December 2016 from https://en.wikipedia.org/wiki/Culture_series.
- [33] "Ubiquitous computing", Wikipedia, Retrieved 6 December 2016 from https://en.wikipedia.org/wiki/Ubiquitous_computing.
- [34] "How Many Jobs Will IoT Create by 2020?", NetAcad Advantage, Cisco, Retrieved 6 December 2016 from <https://www.netacadadvantage.com/how-many-jobs-will-iot-create>.
- [35] Welch, William M., "Amazon says it can ship items before customers order", USA TODAY, January 2014 from <http://www.usatoday.com/amazon-anticipates-orders/>.

- [36] Opam, Kwame, "Amazon plans to ship your packages before you even buy them", The Verge, Vox Media, January 2014 from <http://www.theverge.com/2014/1/18/5320636/>.
- [37] Reese, Hope, "Wi-Fi-enabled 'Hello Barbie' records conversations with kids and uses AI to talk back", TechRepublic, CBS Interactive, November 2015 from <http://www.techrepublic.com/article/wi-fi-enabled-hello-barbie-records-conversations>.
- [38] Gibbs, Samuel, "Hackers can hijack Wi-Fi Hello Barbie to spy on your children", The guardian, November 2015 from <https://www.theguardian.com/technology/2015/nov/26/>.
- [39] "Google Contact Lens", Wikipedia, Retrieved 7 December 2016 from https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Contact_Lens.
- [40] "A guide to the Internet of Things infographic - A guide to the Internet of Things", Intel, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.intel.com/content/www/us//infographics/guide-to-iot.html>.
- [41] Simonite, Tom, "Prepare to be Underwhelmed by 2021's Autonomous Cars", MIT Technology Review, August 2016 from <https://www.technologyreview.com/2021s-autonomous-cars/>.
- [42] Ramsey, Mike, Nagesh, Gautham, "GM, Lyft to Test Self-Driving Electric Taxis", The Wall Street Journal, Dow Jones & Company May 2016 from <http://www.wsj.com/articles/gm-lyft-to-test-self-driving-electric-taxis-1462460094>.
- [43] "Gartner Says By 2020, a Quarter Billion Connected Vehicles Will Enable New In-Vehicle Services and Automated Driving Capabilities ", Gartner, March 2014 from <http://www.gartner.com/newsroom/id/2970017>.
- [44] "Understanding the Internet of Things: Towards a Smart Planet", Best Computer Science Degrees, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.bestcomputersciencedegrees.com/internet-of-things/>.
- [45] Lueth, Knud Lasse, "Why the Internet of Things is called Internet of Things: Definition, history, disambiguation", IOT Analytics, December 2014 from <https://iot-analytics.com/internet-of-things-definition/>.
- [46] Rouse, Margaret, "Internet of Things (IoT)", TechTarget, Retrieved 7 December 2016 from <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>.

- [47] Gibson, Eloise, "The benefits and downsides of mind-controlled machines", BBC, November 2016 from <http://www.bbc.com/future/story/20161111/>.
- [48] Lufkin, Bryan, "Scientists Found a Way to Control Machines With Your Mind, No Brain Surgery Required", Gizmodo Media Group, February 2016 from <http://gizmodo.com/scientists-found-a-way-to-control-machines>.
- [49] Estes, Adam Clark, "The US Military Wants a Chip to Translate Your Brain Activity Into Binary Code", Gizmodo Media Group, January 2016 from <http://gizmodo.com/the-us-military-wants-a-chip-to-translate-your-brain-ac>.
- [50] Prabhu, Vijay, "DARPA's HAPTIX Starts Work to Provide Sense of Touch in Prosthetic Hands", TechWorm, February 2015 from <https://www.techworm.net/darpas-sense-touch-prosthetic-hands.html>.
- [51] Stroud, Forrest, "IoT - Internet of Things", Webopedia, QuinStreet, Retrieved 7 December 2016 from http://www.webopedia.com/TERM/I/internet_of_things.html.
- [52] "Internet of Things (IoT)", Technopedia, Retrieved 7 December 2016 from <https://www.techopedia.com/definition/28247/internet-of-things-iot>.
- [53] Meola, Andrew, "What is the Internet of Things (IoT)?", Business Insider, December 2016 from <http://www.businessinsider.com/what-is-the-internet-of-things>.
- [54] "Libelium Smart World Infographic – Sensors for Smart Cities, Internet of Things and beyond", Libelium April 2013 from <http://www.libelium.com/smart-world-infographic/>.
- [55] "What is the Internet of Things? Internet of Things definitions and segments", i-Scoop, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.i-scoop.eu/iot/what-is-the-iot/>.
- [56] "Internet of Everything", The Network, Cisco, Retrieved 7 December 2016 from <https://newsroom.cisco.com/ioe>.
- [57] "Internet of Things", Gartner, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things/>.
- [58] "IoT is Strategic to Organizations", IDC, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.idc.com/promo/thirdplatform/innovationaccelerators/iot>.
- [59] "What is the Internet of Things?", Bosch Software Innovations, Retrieved 7 December 2016 from <https://www.bosch-si.com/internet-of-things/iot/iot.html>.
- [60] "The Internet of Things refers to the growing range of connected devices that send data across the Internet", IBM, Retrieved 7 December 2016 from <https://www.ibm.com/internet-of-things/learn/library/what-is-iot/>.

- [61] Violino, Bob, "Top IT vendors reveal their IoT strategies", Network World, IDG, September 2014 from <http://www.networkworld.com/vendors-iot-strategies.html>.
- [62] "An Introduction to the Internet of Things (IoT)", Lopez Research, November 2013 from http://www.cisco.com/solutions/trends/iot/introduction_to_IoT_november.pdf.
- [63] Duncan, Geoff, "You can't avoid the 'Internet of things' hype, so you might as well understand it", Digital Trends, January 2014 from <http://www.digitaltrends.com/home/heck-internet-things-dont-yet/>.
- [64] "Internet of Things Global Standards Initiative", International Telecommunication Union, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>.
- [65] Morgan, Jacob, "A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things'", Forbes, May 2014 from <http://www.forbes.com/sites/2014/05/13/>.
- [66] "RFID and the Inclusive Model for the Internet of Things", CASAGRAS, October 2009 from <https://docbox.etsi.org/zArchive/TISPAN/Open/IoT/resolution.pdf>.
- [67] "Internet of Things (IoT) and Machine to Machine Communications (M2M) Challenges and opportunities: Final paper", Technology Strategy Board - IoT Special Interest Group, May 2013 from <https://connect.innovateuk.org/documents/3/IoT+Challenges, April+2013.pdf/>.
- [68] "Internet of Things: Strategic Research Roadmap", CERP-IoT, September 2009 from http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_2009.pdf.
- [69] "Disruptive Technologies Global Trends 2025", National Intelligence Council NIC, April 2008 from <https://fas.org/irp/nic/disruptive.pdf>.
- [70] "Future Internet", Society for brain integrity in Sweden, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.svegritet.se/emergin-technologies/future-internet/>.
- [71] "Best Internet of Things Definition", Postscapes, Retrieved 7 December 2016 from <http://www.postscapes.com/internet-of-things-definition/>.
- [72] "The Internet Toaster", Living Internet, Retrieved 7 December 2016 from http://www.livinginternet.com/i/ia_myths_toast.htm.
- [73] Lueth, Knud Lasse, "The 10 most popular Internet of Things applications right now", IOT Analytics, February 2015 from <https://iot-analytics.com/10-internet-of-things-applications/>.
- [74] Karandikar, Deepa, "Pros and Cons of Internet of Things (IoT) - What You Need to Know", Buzzle, August 2016 from <http://www.buzzle.com/pros-and-cons-of-iot.html>.

- [75] Gaille, Brandon, "16 Pros and Cons of the Internet of Things", BrandonGaille, August 2016 from <http://brandongaille.com/16-pros-and-cons-of-the-internet-of-things/>.
- [76] Macdonald, Fiona, "Engineers Have Achieved Wi-Fi Using 10,000 Times Less Power", Science Alert, December 2016 from <http://www.sciencealert.com/wi-fi-using-10-000-times-less-power>.
- [77] Langston, Jennifer, "Popular Science names 'Power Over Wi-Fi' one of the year's game-changing technologies", University of Washington, November 2015 from <http://www.washington.edu/news/2015/11/18/>.
- [78] "Li-Fi", Wikipedia, Retrieved 7 December 2017 from <https://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi>.
- [79] "Top 5 Facts about the Internet of Things", Youtube, May 2016 from <https://www.youtube.com/watch?v=c-Ekz2kK7J4>.
- [80] Hongo, Jun, "Univ. of Tokyo Researchers Develop Electricity-Conducting Ink", The Wall Street Journal, Dow Jones & Company, June 2015 from <http://blogs.wsj.com/japanrealtime/2015/06/26/>.
- [81] Rawlinson, Kristi, "HP Study Reveals 70 Percent of Internet of Things Devices Vulnerable to Attack", HP, July 2014 from <http://www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html>.
- [82] "Gartner's Hype Cycle Special Report for 2011", Gartner Inc., August 2011 from <http://www.gartner.com/technology/research/hype-cycles/>.
- [83] "Advanced Agent-Robotics Technology Lab", Carnegie Mellon University The robotics Institute, Retrieved 8 December 2016 from <http://www.cs.cmu.edu/~softagents/>.
- [84] Boulton, C., "W3C Wraps Up Semantic Web Standards", IT Business Edge, QuinStreet Inc., February 2004 from <http://www.internetnews.com/infra/article.php/3310831>.
- [85] Berners-Lee, Tim, "The next web TED2009", TED, February 2009 from https://www.ted.com/talks/tim_berners_lee_on_the_next_web.
- [86] "Ontology (information science)", Wikipedia, Retrieved 8 December 2016 from [https://en.wikipedia.org/wiki/Ontology_\(information_science\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ontology_(information_science)).
- [87] Smith, Michael K., Welty, Chris, McGuinness, Deborah L., "OWL Web Ontology Language Guide", W3C Recommendation, February 2004 from <https://www.w3.org/TR/owl-guide/>.
- [88] Stevens, Robert, "The Development Lifecycle", University of Manchester, July 2001 from <http://www.cs.man.ac.uk/~stevensr/onto/node13.html>.

- [89] TopQuadrant Technology Briefing, "Semantic Technology", TopQuadrant, Inc, September 2003 from <https://lists.oasis-open.org/archives/pdf000.pdf>.
- [90] Parallel Understanding Systems Group, "SHOE Simple HTML Ontology Extensions", Department of Computer Science, University of Maryland at College Park, 1996 from <http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/>.
- [91] "XOL Ontology Exchange Language", Artificial Intelligence Center, SRI International, Retrieved 8 December 2016 from <http://www.ai.sri.com/pkarp/xol/>.
- [92] "The DARPA Agent Markup Language Homepage", DARPA, August 2000 from <http://www.daml.org/>.
- [93] "OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)", W3C Recommendation, December 2014 from <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>.
- [94] OWL Working Group, "Web Ontology Language (OWL)", W3C, December 2012 from <https://www.w3.org/OWL/>.
- [95] Gruber, Thomas R., "What is an Ontology?", Knowledge Systems, AI Laboratory, Stanford University, Retrieved 8 December 2016 from <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>.
- [96] Harris, S., Seaborne, A., "SPARQL 1.1 Query Language", W3C Recommendation, March 2013 from <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>.
- [97] Jacobs, Ian, Forgue, Marie-Claire, Hirakawa, Yasuyuki, "W3C Opens Data on the Web with SPARQL", Retrieved 25 November 2016 from <https://www.w3.org/2007/12/sparql-pressrelease>.
- [98] "SPARQL 1.1 Overview", W3C Recommendation, March 2013 from <https://www.w3.org/TR/sparql11-overview/>.
- [99] Berners-Lee, T., "Linked Data", W3C, June 2009 from <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>.
- [100] "DBpedia", Retrieved 20 October 2016 from <http://el.dbpedia.org/>.
- [101] "MusicBrainz", Retrieved 20 October 2016 from <https://musicbrainz.org/>.
- [102] "FOAF (2000-2015+)", Retrieved 20 October 2016 from <http://www.foaf-project.org/>.
- [103] "Linked Data", W3C, Retrieved 20 October 2016 from <https://www.w3.org/standards/semanticweb/data>.
- [104] "EUCLID Educational curriculum for the usage of Linked Data", Retrieved 20 October 2016 from <http://euclid-project.eu/>

- [105] Rosling, Hans, "New insights on poverty", TED, March 2007 from https://www.ted.com/talks/hans_rosling_reveals_new_insights_on_poverty.
- [106] Motik, B., Patel-Schneider, P. F., Parsia, B., "OWL 2 Web Ontology Language Structural Specification and Functional-Style Syntax", W3C Recommendation, December 2012 from <https://www.w3.org/TR/owl2-syntax/>.
- [107] Berners-Lee, Tim, "Realising the Full Potential of the Web", W3C Document, December 1997 from <http://www.w3.org/1998/02/Potential.html>.
- [108] Raggett, D., Le Hors, A., I. Jacobs. "HTML 4.0 Specification", W3C Recommendation, December 1999 from <https://www.w3.org/TR/html4/>.
- [109] Klyne, Graham , Carroll, Jeremy J., "Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax", W3C Recommendation, February 2004 from <https://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>.
- [110] Manola, Frank, Miller, Eric, McBride, Brian, "RDF 1.1 Primer", W3C Working Group Note, February 2014 from <https://www.w3.org/TR/rdf-primer/>.
- [111] Joint W3C/IETF URI Planning Interest Group, "URIs, URLs, and URNs: Clarifications and Recommendations 1.0", W3C Note, September 2001 from <https://www.w3.org/TR/uri-clarification/>.
- [112] Beckett, David, Berners-Lee, Tim, Prud'hommeaux, Eric, Carothers, Gavin, "RDF 1.1 Turtle Terse RDF Triple Language", W3C Recommendation, February 2014 from <http://www.w3.org/TR/turtle/>.
- [113] "Latest "RDF Test Cases" versions", W3C, 2014 from <http://www.w3.org/TR/rdf-testcases/#ntriples>.
- [114] "Notation3 (N3): A readable RDF syntax", W3C Team Submission, March 2011 from <http://www.w3.org/TeamSubmission/n3/>.
- [115] Dublin Core Metadata Initiative, "Dublin Core Metadata Element Set, Version 1.1: Reference Description", DCMI Recommendation, June 2012 from <http://dublincore.org/documents/dces>.
- [116] Dürst, M., Suignard, M., "Internationalized Resource Identifiers (IRIs)", The Internet Society, January 2005 from <http://www.ietf.org/rfc/rfc3987.txt>.
- [117] Herman, Ivan , Adida, Ben , Sporny, Manu , Bazaar, Digital , Birbeck, Mark, "RDFa 1.1 Primer - Third Edition Rich Structured Data Markup for Web Documents", W3C Working Group Note, March 2015 from <https://www.w3.org/TR/rdfa-primer/>.

- [118] Cyganiak, Richard , Wood, David, Lanthaler, Markus, "RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax", W3C Recommendation, February 2014 from <https://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf11-concepts-20140225/>.
- [119] Connolly, Dan "Naming and Addressing: URIs, URLs, ...", W3C Architecture domain, 1997 from <https://www.w3.org/Addressing/>.
- [120] "Extensible Markup Language (XML)", W3C Information and Knowledge domain, 2016 from www.w3.org/XML/.
- [121] Barnaghi, Payam, "Semantic technologies for the Internet of Things", International “IoT 360” Summer School October 29th – November 1st, 2014 from <https://www.slideshare.net/PayamBarnaghi/intelligent-data-processing-for-iot>.
- [122] Barnaghi, Payam, Semantic Technologies for the Internet of Things, SenZations Summer School, Biograd na Moru, Croatia, Institute for Communication Systems (ICS), September 2014 from <http://senzations.net/wp-content/uploads/2014/08/>.
- [123] "Software as a service", Wikipedia, Retrieved 20 October 2016 from https://en.wikipedia.org/wiki/Software_as_a_service.
- [124] "HYDRA Networked Embedded System middleware for Heterogeneous physical devices in a distributed architecture", CORDIS, European Commision, 2006 from http://cordis.europa.eu/pub/ist/docs/dir_c/ems/hydra-v1_en.pdf.
- [125] Mascolo, Cecilia, "An overview of the RUNES project", CORDIS, European Commision, 2004 from https://cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka4/au_conf670306_mascolo_en.pdf
- [126] "Internet of Things Architecture", 2012 from <http://www.iot-a.eu/public>.
- [127] "iCore Empowering IOT through cognitive technologies", 2001 from <http://www.iot-icore.eu/>.
- [128] "The CHOReOS Solution", Retrieved 20 December 2016 from <http://www.choreos.eu/bin/view/Discover/TheCHOReOSSolution>.
- [129] "SENSEI - Integrating the Physical with the Digital World of the Network of the Future", CORDIS, March 2008 from <http://cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/future-networks/>.
- [130] Serrano, M., Semantic interoperability, what is missing to desilo the use cases, Digital Enterprise Research Institute, 2013 from https://docbox.etsi.org/workshop/2014/IOTWORKSHOP/DERI_SERRANO.pdf.

- [131] Janani, "Every true IoT application or solution needs cross-domain expertise...", electronics of things, EFY Group, September 2013 from <http://electronicsofthings.com//m2m-iot-embedded-narang-kishor/>.
- [132] "CityPulse: Real-Time IoT Stream Processing and Large-scale Data Analytics for Smart City Applications", 2013 from <http://www.ict-citypulse.eu/page/>.
- [133] "Internet of Things Environment for Service Creation and Testing (IoT.est)", Institute for Communication Systems (ICS) - Internet of Things Research Activity, 2011 from <http://ics-iot.weebly.com/iotest.html>.
- [134] "EU ICT Open IoT Project", Fraunhofer Institute of Optronics, System Technologies and Image Exploitation, 2013 from <https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/29600/>.
- [135] Serrano, Martín, "EU OpenIoT Project FP7 ICT-2011 1.3: Internet-connected Objects", PROBEIoT Workshop: Challenges for Semantic Interoperability, March 2012 from <http://www.probe-it.eu/wp-content/uploads/2012/04/7>.
- [136] "Sensor Web Enablement (SWE)", Open Geospatial Consortium (OGC), Retrieved 20 December 2016 from <http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe>.
- [137] "Sensor Web Enablement", Wikipedia, Retrieved 20 December 2016 from https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_Web_Enablement.
- [138] Gyrard, Amelie, Gomez, David, Lanza, Jorge, Sanchez, Luis, Agarwal, Rachit, Elsaleh, Tarek, "FIESTA-IoT Ontology", 2015 from <http://ontology.fiesta-iot.eu/ontologyDocs>.
- [139] Bermudez-Edo, Maria, Elsaleh, Tarek, Barnaghi, Payam, Taylor, Kerry, "IoT-Lite Ontology", W3C Member Submission, November 2015 from <https://www.w3.org/Submission/2015/SUBM-iot-lite-20151126/>.
- [140] "News regarding M3 and this web site", , Retrieved 20 December 2016 from http://sensormeasurement.appspot.com/?p=news_updates.
- [141] Kolozali, Sefki, Bermudez, Maria, Barnaghi, Payam, "Stream Annotation Ontology", 2016 from <http://iot.ee.surrey.ac.uk/citypulse/ontologies/sao/sao>.
- [142] "PROV-O: The PROV Ontology", W3C Recommendation, April 2013 from <https://www.w3.org/TR/2013/REC-prov-o-20130430/>.
- [143] Raimond, Yves, Abdallah, Samer, "The Timeline Ontology", October 2007 from <http://motools.sourceforge.net/timeline/timeline.html>.
- [144] Raimond, Yves, Abdallah, Samer, "The Event Ontology", October 2007 from <http://motools.sourceforge.net/event/event.html>.

- [145] W3C Semantic Sensor Network Incubator Group, "Semantic Sensor Network Ontology", 2009 from <https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/ssnx/ssn>.
- [146] Berners-Lee, Tim, "Semantic Web Roadmap", W3C, 1998 from <https://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>.
- [147] Berners-Lee, Tim, "Weaving the Web", Harper San Francisco, 1999 from <https://www.w3.org/People/Berners-Lee/Weaving/Overview.html>.

8

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

*βάσει των documentations των οντολογιών

	FIESTA- iot	M3 Lite	M3	IoT Lite	SSN	PROV-O	Timeline	Stream Annotation	Event
Classes									
ABS (Anti-lock braking system)	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
AbstractInstant	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
AbstractInterval	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
AbstractTimeLine	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
acceleration	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Acceleration Instantaneous	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Accelerometer	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Acoustic Sensor	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
active power	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Activity	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
Activity recognition	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗
ActivityInfluence	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Actuating Device	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Accuracy	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Agriculture	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Agriculture M2M Devices	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Agent	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
AgentInfluence	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗

Air	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Air conditioner	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Air Pollutant Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Air Pollution	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Air Quality	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Air Temperature, Weather Temperature, Ambient Temperature	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Air Thermometer	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Alarm Systemr	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Alcohol Level	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Alcohol Level Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Alert	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Altitude	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Ampere (A)	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Angular	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Animal	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Atmospheric Pressure	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Atmospheric Pressure Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
attribute	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
Attribution	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Association	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Bar	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Barcode	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Battery level	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
BatteryLifetime	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Beat Per Minute (bpm)	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Bed	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
bed occupancy	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Blind	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Blood Glucose	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Blood pressure	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Blood Pressure Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Blood Oxygen Saturation Sensor	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Board Temperature	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Board Thermometer	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Body Temperature	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Body Thermometer	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Boiler	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Book	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Building/Room Temperature	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Bundle	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Calcium	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Camera	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Candela	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Capacitance	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Car Speed Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Carbon Dioxide (CO2) Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Carbon Monoxide (CO) Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
CD	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Centibar	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Centimetre, Centimeter	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Chemical Agent Atmospheric Concentration	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Chemical Agent Atmospheric Concentration Air Particles	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Chemical Agent Atmospheric Concentration CO	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Chemical Agent Atmospheric Concentration NO2	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Chemical Agent Atmospheric Concentration O3	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Cholesterol	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Cholesterol Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
circle	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Clock	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Close	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Clothes	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Cloud Cover	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Cloud Cover Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
CO2 measurements	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Coffee Machine, Coffee maker	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Collection	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Computer, PC	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Communication	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Condition	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Conductivity	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Conductivity Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Controller	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
ContinuousTimeLine	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
Coulomb	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
coverage	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
Cup	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Cupboard	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Curtain	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Day	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Decibel (db)	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
degree	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Degree angle	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Degree celsius	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Degree fahrenheit	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Degree Kelvin	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Delegation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Delta Dew Point	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Delta Dew Point Sensor	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Deployment	√	X	X	X	√	X	X	X	X
Deployment-related Process	√	X	X	X	√	X	X	X	X
Derivation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
DesignedArtifact	X	X	X	X	√	X	X	X	X
DetectionLimit	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Device	√	X	X	√	X	X	X	X	X
Dew Point	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Dew Point Sensor	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Dew Point Temperature	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Diastolic Blood pressure	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Dimension less	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Direction	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Direction Azimuth	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Direction Heading	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Dish Washer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Distance	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Distance Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
DiscreteCosineTransform	X	X	X	X	X	X	X	√	X

DiscreteFourierTransform	X	X	X	X	X	X	X	√	X
DiscreteInstant	X	X	X	X	X	X	√	X	X
DiscreteInterval	X	X	X	X	X	X	√	X	X
DiscreteTimeLine	X	X	X	X	X	X	√	X	X
Safety Distance	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Domain M2M Devices	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Door	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Drawer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Drift	X	X	X	X	√	X	X	X	X
DVD	√	√	√	X	X	X	X	X	X
ECG or EKG (Electrocardiogram)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electric Charge	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electric Current	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electric Field	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 1800 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 2100 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 2400 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Field 900 MHz	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Electric Potential	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electrical Resistance	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Electrical Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X

Electromagnetic Sensor	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Emotion	√	√	√	X	X	X	X	X	X
EmptyCollection	X	X	X	X	X	√	X	X	X
End	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Energy	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Energy (M2M devices)	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Energy or smart grid	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Energy Meter	√	X	√	X	X	X	X	X	X
entity	√	√	X	X	X	√	X	√	X
EntityInfluence	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Environment	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Environment M2M Devices	√	√	√	X	X	X	X	X	X
ESP (Electronic Stability Program)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Estuary	X	X	√	X	X	X	X	X	X
European Air Quality Index (EAQI)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Event	√	√	√	X	√	X	X	X	X
Fall Detector	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Farad	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Factor	X	X	X	X	X	X	X	X	√
FeatureOfInterest	X	X	√	X	√	X	X	√	X
Fill Level	√	√	X	X	X	X	X	X	X

Fill Level Gas Tank	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fill Level Waste Container	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fire	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fog lamp Actuator	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Food	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Food Temperature	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Freezer, chiller	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Frequency	√	√	√	✗	√	✗	✗	✗	✗
Frequency Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fridge, refrigerator	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fuel Consumption	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fuel Consumption Instantaneous	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fuel Consumption Total	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fuel Level Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Garment, Clothes	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Gas Detector	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Gaseous Pollutant Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Gauss	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Generation	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Glucometer	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
GPS Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Gram (g)	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
gram per cubic metre	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
GramPerLiter (g/L)	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Gyrometer Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
H2S Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Healthcare	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Healthcare M2M Devices	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Heart Beat Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
breath rate	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Heart rate	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Heartbeat	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Heating	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Hertz	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Hill	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Home	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Hotel	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Hour	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Household Appliance Temperature	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Humidity	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Humidity Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Hygrometer	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Hydrophone	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Illuminance	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Internet of Things (IoT)	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Inch	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Index	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Information object	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Influence	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Invalidation	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Input	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Instant	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	√	✗
InstantaneousEvent	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Interval	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	√	✗
Irrigation	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Kelvin, Degree Kelvin	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Kilo	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Kilo Watt Hour	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Kilogram (kg)	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
KilogramPerCubicMetre, KilogramPerCubicMeter	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Kilometer Per Hour	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Kilometre, Kilometer	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
KMeans	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗

Lake	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
Lamp Actuator	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Latitude	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Latency	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
Lavatory	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Leaf Wetness	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Leaf Wetness Sensor	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Leisure	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
Light Sensor	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Liter, Litre	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
LitrePer100Kilometres, LiterPer100Kilometers	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X
Location	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	X
Longitude	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Luggage	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Lumen (lm)	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Luminous Intensity	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
LuminousFlux	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Lux (lx)	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
M2MAggregationGateway	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
M2MApplication	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
M2MArchitecture	X	X	✓	X	X	X	X	X	X

M2MDevice	X	X	√	X	X	X	X	X	X
M2MGateway	X	X	√	X	X	X	X	X	X
M2MSensorGateway	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Magnetic Field	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Magnetic Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
magnetometer sensor	X	X	√	X	X	X	X	X	X
MagneticFluxDensity	√	√	√	X	X	X	X	X	X
MaintenanceSchedule	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Measurement	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Measurement Type	X	X	√	X	X	X	X	X	X
MeasurementCapability	X	X	X	X	√	X	X	X	X
MeasurementProperty	X	X	X	X	√	X	X	X	X
MeasurementRange	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Mechanical Sensor	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Mass	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Mean	X	X	X	X	X	X	X	√	X
Median	X	X	X	X	X	X	X	√	X
metadata	√	X	X	√	X	X	X	X	X
Meter	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Meter Per Second (m/s)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
MeterPerSecondSquare)	√	√	√	X	X	X	X	X	X

Methane (CH4) Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Method	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Microampere (uA)	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Microgram (ug)	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
MicrogramPerCubicMetre, MicrogramPerCubicMeter	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Microvolt (uV)	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Microwatt (uW)	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Microwave	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Microphone	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Mileage	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Mileage Distance To Service	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Mileage Total	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Miles	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Milliampere (mA)	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Millibar	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Milligram (mg)	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Milligram Per Square Metre	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
MilligramPerCubicMetre, MilligramPerCubicMeter	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Millilitre	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
MillimeterPerHour, MillimetrePerHour	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Millimetre, millimeter	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Millivolt (mV)	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
MillivoltPerMeter, MillivoltPerMetre	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Milliwatt (mW)	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Minute_angle	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Minute_time	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
mmHg	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
MmolPerLiter	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Monument	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Mop	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Mobile phone	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Motion	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
motion sensor	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Motion State	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Motion State Vehicle	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Mountain	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
MovingAverage	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗
NFC	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
NH3_Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Nitrogen Dioxide (NO2) Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Nitrogen Oxide (NO) Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

NothingAnormal	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Nuclear Sensor	X	X	√	X	X	X	X	X	X
NumberStep	√	√	√	X	X	X	X	X	X
object	√	X	X	√	√	X	X	X	X
Observation	√	X	√	X	√	X	X	√	X
Observation Value	√	X	√	X	√	X	X	X	X
Ocean	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Odometer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
off	X	X	√	X	X	X	X	X	X
office	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Ohm	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Okta	√	√	√	X	X	X	X	X	X
On	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Organization	X	X	X	X	X	√	X	X	X
OriginMap	X	X	X	X	X	X	√	X	X
Oxygen Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Ozone (O3) Level Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Output	X	X	X	X	√	X	X	X	X
OperatingProperty	X	X	X	X	√	X	X	X	X
OperatingRange	X	X	X	X	√	X	X	X	X
OperatingPowerRange	X	X	X	X	√	X	X	X	X

Pacemaker	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
Pan	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
ParkingSpace	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Pascal	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Passport	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Payment Card	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
PDA	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
Pedometer	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Percent	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Person	X	X	✓	X	X	✓	X	X	X
PiecewiseAggregateApproximation	X	X	X	X	X	X	X	✓	X
PH	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
PH Sensor	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Physical object	✓	X	X	X	✓	X	X	X	X
Physical sensor	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
PhysicalTimeLine	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
Place, Location, GPS coordinates	X	X	✓	X	X	X	X	X	✓
Platform	✓	X	X	X	✓	X	X	X	X
point	✓	X	X	X	X	X	X	✓	X
Plant	X	X	✓	X	X	X	X	X	X
Pollution	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X

polygon	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
Position	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Position Altitude	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Position Latitude	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Position Longitude	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Potassium	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Pound	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Power	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
PPM (parts per million)	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Precipitation	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Precipitation Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Precision	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
PrimarySource	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Plan	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗
Pluviometer	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Rainfall sensor	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Presence	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Presence Detector	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Presence State	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Presence State Driver Card	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Presence State Emergency Vehicle	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Presence State Parking	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Presence State People	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Pressure	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Pressure Sensor (e.g., bed)	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Pyroelectric IR Occupancy Detector	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Intrusion Detector/ Trespassing	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Infrared Sensor	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Proximity sensor	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Process	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Product	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√
Property	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Pulse Oxymeter	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
QRCode	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Radian	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Radian Per Second	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Rainfall	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Reactive Power	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
rectangle	√	√	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
Region	√	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Relative Humidity	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
RelativeInstant	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗

RelativeTimeLine	X	X	X	X	X	X	√	X	X
Reservoir	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Restaurant	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Resolution	X	X	X	X	√	X	X	X	X
ResponseTime	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Revolutions Per Minute	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Revision	X	X	X	X	X	√	X	X	X
River	X	X	√	X	X	X	X	X	X
RFID	√	√	√	X	X	X	X	X	X
RFID Measurement Type	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Road Occupancy	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Road Surface Thermometer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Road Temperature	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Role	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Room Temperature	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Rotational Speed	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Rotational Speed Engine	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Rule	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Salinity	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Salt Meter	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Scale	√	√	X	X	X	X	X	X	X

Sea	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Seat belt tension actuator (on/off)	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Second angle	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Second time	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Security (sensor, cellular, application, network management, web)	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Segment	X	X	X	X	X	X	X	√	X
Seismometer	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Selectivity	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Sensing	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Sensing Device	√	X	X	X	√	X	X	X	X
Sensor	√	X	X	X	√	X	X	√	X
SensorInput	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Sensor Output	√	X	X	X	√	X	X	X	X
SensorSAX	X	X	X	X	X	X	√	X	X
SensorDataSheet	X	X	X	X	√	X	X	X	X
service	√	X	X	√	X	X	X	X	X
Sensor Networks	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Sensitivity	X	X	X	X	√	X	X	X	X
Shake Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Shower	√	√	√	X	X	X	X	X	X
ShiftMap	X	X	X	X	X	X	√	X	X

Sink	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Situation	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Skin Conductance Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Skin conductance/ GSR	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Smart Building	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Smart City	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Smoke Detector	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Snow Chains	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Sodium	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
SoftwareAgent	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Soil Humidity	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Soil Humidity Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Soil Moisture Tension	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Soil Temperature	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Solar Radiation Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
SolarRadiationMeasurement, PAR Measurement (Photosynthetically Active Radiation),	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Sound Pressure Level	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Sound Pressure Level Ambient	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Sound Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Sound, noise level	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗

SpatialThing	X	X	X	X	X	X	X	√	X
Speed	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Speed Average	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Speed Instantaneous	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Speed Median	√	√	X	X	X	X	X	X	X
SPO2	√	√	√	X	X	X	X	X	X
State	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Start	X	X	X	X	X	√	√	X	X
Stimulus	X	X	X	X	√	X	X	X	X
StreamAnalysis	X	X	X	X	X	X	√	X	X
StreamData	X	X	X	X	X	X	√	X	X
StreamEvent	X	X	X	X	X	X	√	X	X
SymbolicAggregateApproximation	X	X	X	X	X	X	√	X	X
Sulfur Dioxide (SO2) Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Sun Light	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Sun Position Direction	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Sun Position Direction Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Sun Position Elevation	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Sun Position Elevation Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
SurvivalProperty	X	X	X	X	√	X	X	X	X
_SurvivalRange	X	X	X	X	√	X	X	X	X

System	√	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
SystemLifetime	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
Systolic Blood pressure	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tagging Device	√	√	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
Teabag	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Telephone	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Temperature	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Temperature Engine	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tesla	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Thermometer	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
ThermalSensor	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Throttle Position Sensor	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Time	√	√	√	✗	✗	✗	✗	√	✗
TimeLine	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
TimeLineMap	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
Time interval	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Time Related State	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Time Related State Driver	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Timestamp	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Toll	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tonne	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Tourism	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Animal	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Book	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking CD	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Clothing	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking DVD	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Food	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Luggage	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking ParkingSpace	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Passport	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Payment Card	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking RFID Goods	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking Toll	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tracking TransitPass	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Traffic Congestion	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Traffic Intensity	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
TrafficJam	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
TransitPass	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Transportation	√	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Transducer	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Transport M2M Devices (sensors or actuators)	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Smart Car/Vehicle	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Intelligent Transport System (ITS)	X	X	√	X	X	X	X	X	X
tsunami	X	X	√	X	X	X	X	X	X
TV	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Ultrasonic Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
unit	X	X	√	X	X	X	X	√	X
Unit domain/feature of interest	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Usage	X	X	X	X	X	√	X	X	X
UTInstant	X	X	X	X	X	X	√	X	X
UTInterval	X	X	X	X	X	X	√	X	X
UniformSamplingMap	X	X	X	X	X	X	√	X	X
UniformSamplingWindowingMap	X	X	X	X	X	X	√	X	X
UniformWindowingMap	X	X	X	X	X	X	√	X	X
Var	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Vehicle Count Sensor	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Vehicle Overspeed State	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Vehicles Per Minute	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Ventilation	√	√	√	X	X	X	X	X	X
virtual entity	√	√	X	X	X	X	X	X	X

Visibility	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Visibility Sensor	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Volt	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Volt-ampere reactive, var	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Voltage Sensor	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
volume sensor	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
W/out	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Washing Machine	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Waste Container	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
water	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Water Flow	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Water level	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Water Temperature	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Watt (W)	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Watt Per Meter Square	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Wave	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Weather Forecasting	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Weather Luminosity	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Weather Precipitation	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Weather M2M Devices (sensors or actuators)	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Weight	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Wetland	X	X	√	X	X	X	X	X	X
Weight Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Wind	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Wind chill	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Wind Chill Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Wind Direction	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Wind Direction Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Wind Speed Sensor	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Wind Velocity/ Wind Speed	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Window	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Working State	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Working State Driver	√	√	X	X	X	X	X	X	X
Year	√	√	√	X	X	X	X	X	X
Quotation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
Quality	X	X	X	X	√	X	X	X	X

	FIESTA- iot	M3 Lite	M3	IoT Lite	SSN	PROV-O	Timeline	Stream Annotation	Event
Object Properties									
attached system	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
agent	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√
agent in	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√
after	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
at	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
atDate	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
atDateTime	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
atDuration	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
atInt	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
atReal	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
atYear	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
atYearMonth	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
alphabetsize	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗
before	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
beginsAtDateTime	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
beginsAtDuration	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
beginsAtInt	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗
contains	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗

domainOfInterest	√	√	X	X	X	X	X	X	X
delay	X	X	X	X	X	X	√	X	X
describes	X	X	X	X	√	X	X	X	X
detects	X	X	X	X	√	X	X	X	X
deployedOnPlatform	X	X	X	X	√	X	X	X	X
deployedSystem	X	X	X	X	√	X	X	X	X
deploymentProcessPart	X	X	X	X	√	X	X	X	X
domainTimeLine	X	X	X	X	X	X	√	X	X
duration	X	X	X	X	X	X	√	X	X
durationInt	X	X	X	X	X	X	√	X	X
durationXSD	X	X	X	X	X	X	√	X	X
during	X	X	X	X	X	X	√	X	X
exposed by	√	X	X	√	X	X	X	X	X
exposes	√	X	X	X	X	X	X	X	X
entity	X	X	X	X	X	√	X	X	X
end	X	X	X	X	X	√	X	X	X
endsAtDateTime	X	X	X	X	X	√	X	X	X
endsAtDuration	X	X	X	X	X	√	X	X	X
endTime	X	X	X	X	√	X	X	X	X
endsAtInt	X	X	X	X	X	√	X	X	X
equals	X	X	X	X	X	√	X	X	X

factor	X	X	X	X	X	X	X	X	√
factor of	X	X	X	X	X	X	X	X	√
finishedBy	X	X	X	X	X	√	X	X	X
finishes	X	X	X	X	X	√	X	X	X
featureOfInterest	X	X	X	X	√	X	X	X	X
forProperty	X	X	X	X	√	X	X	X	X
hasAgent	X	X	X	X	X	X	X	X	√
hasFactor	X	X	X	X	X	X	X	X	√
hasLiteralFactor	X	X	X	X	X	X	X	X	X
has attribute	√	X	X	√	X	X	X	X	X
hasDatatype	X	X	X	X	X	X	X	√	X
hasID	X	X	X	X	X	X	X	√	X
hasURI	X	X	X	X	X	X	X	√	X
has coverage	√	X	X	√	X	X	X	X	X
has deployment	√	X	X	X	√	X	X	X	X
has location	√	X	X	X	√	√	X	√	X
has metadata	√	X	X	√	X	X	X	X	X
has part	√	X	X	√	√	X	X	X	X
hasProduct	X	X	X	X	X	X	X	X	√
hasParticipant	X	X	X	X	√	X	X	X	X
hasProperty	X	X	X	X	√	X	X	X	X

hasSubEvent	X	X	X	X	X	X	X	X	√
has quantity kind	√	X	X	√	X	X	X	X	X
hasQuality	X	X	X	X	√	X	X	X	X
has region	√	X	X	X	√	X	X	X	X
has setting	√	X	X	X	X	X	X	X	X
has subsystem	√	X	X	X	√	X	X	X	X
has unit	√	X	√	√	X	X	X	√	X
has value	√	X	√	X	√	√	X	√	X
hasInput	X	X	X	X	√	X	X	X	X
hasOutput	X	X	X	X	√	X	X	X	X
hasMeasurementCapability	X	X	X	X	√	X	X	X	X
hasMeasurementProperty	X	X	X	X	√	X	X	X	X
hopSize	X	X	X	X	√	X	√	X	X
implements	X	X	X	X	√	X	X	X	X
implementedBy	X	X	X	X	√	X	X	X	X
inCondition	X	X	X	X	√	X	X	X	X
inDeployment	X	X	X	X	√	X	X	X	X
includes object	√	X	X	X	√	X	X	X	X
includesEvent	X	X	X	X	√	X	X	X	X
isAgentIn	X	X	X	X	X	X	X	X	√
isFactorOf	X	X	X	X	X	X	X	X	√

is associated with	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
is location of	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
isDescribedBy	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
is object included in	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
isParticipantIn	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
is setting for	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
isQualityOf	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
isPropertyOf	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
is sub system of	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
isRegionFor	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
isProxyFor	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
isProducedBy	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
license	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
location	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
literal factor	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	√
made observation	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
observation result	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
observationResultTime	✗	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
observation sampling time	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
observed by	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗
observed property	√	✗	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗

on platform	√	X	X	X	√	X	X	X	X
ofFeature	X	X	X	X	√	X	X	X	X
hasDateTimeValue	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasContext	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasM2MDevice	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasName	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasOntologyStatus	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasRecommendation	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasSecurityMechanism	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasState	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasTechnology	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasUnit	X	X	√	X	X	X	X	X	X
isRecommendedFor	X	X	√	X	X	X	X	X	X
observes	X	X	√	X	√	X	X	X	X
produces	X	X	√	X	X	X	X	X	X
wears	X	X	√	X	X	X	X	X	X
generated	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasGeneratedBy	X	X	X	X	X	√	X	√	X
wasDerivedFrom	X	X	X	X	X	√	X	√	X
wasAttributedTo	X	X	X	X	X	√	X	√	X
startedAtTime	X	X	X	X	X	√	X	X	X

used	X	X	X	X	X	√	X	√	X
wasInformedBy	X	X	X	X	X	√	X	X	X
endedAtTime	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasAssociatedWith	X	X	X	X	X	√	X	√	X
actedOnBehalfOf	X	X	X	X	X	√	X	X	X
alternateOf	X	X	X	X	X	√	X	X	X
specializationOf	X	X	X	X	X	√	X	X	X
generatedAtTime	X	X	X	X	X	√	X	X	X
hadPrimarySource	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasQuotedFrom	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasRevisionOf	X	X	X	X	X	√	X	X	X
invalidated	X	X	X	X	X	√	X	X	X
invalidatedAtTime	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasInvalidatedBy	X	X	X	X	X	√	X	X	X
influenced	X	X	X	X	X	√	X	X	X
hadMember	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasStartedBy	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasEndedBy	X	X	X	X	X	√	X	X	X
wasInfluencedBy	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualityOfObservation	X	X	X	X	√	X	X	X	X
qualifiedInfluence	X	X	X	X	X	√	X	X	X

qualifiedGeneration	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedDerivation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedPrimarySource	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedQuotation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedRevision	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedAttribution	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedInvalidation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedStart	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedUsage	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedCommunication	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedAssociation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedEnd	X	X	X	X	X	√	X	X	X
qualifiedDelegation	X	X	X	X	X	√	X	X	X
influencer	X	X	X	X	X	√	X	X	X
hadUsage	X	X	X	X	X	√	X	X	X
hadGeneration	X	X	X	X	X	√	X	X	X
activity	X	X	X	X	X	√	X	X	X
agent	X	X	X	X	X	√	X	X	X
hadPlan	X	X	X	X	X	√	X	X	X
hadActivity	X	X	X	X	X	√	X	X	X
atTime	X	X	X	X	X	√	X	X	X

hadRole	X	X	X	X	X	√	X	X	X
quality	X	X	X	X	X	X	X	√	X
satisfies	X	X	X	X	√	X	X	X	X
samplesize	X	X	X	X	X	X	X	√	X
samplingrate	X	X	X	X	X	X	X	√	X
segmentsize	X	X	X	X	X	X	X	√	X
startTime	X	X	X	X	√	X	X	X	X
stepsize	X	X	X	X	X	X	X	√	X
time	X	X	X	X	X	X	X	X	√
observationSamplingTime	X	X	X	X	X	X	X	√	X
observationResultTime	X	X	X	X	X	X	X	√	X
hasSegment	X	X	X	X	X	X	X	√	X
hasPoint	X	X	X	X	X	X	X	√	X
beginsAtLocation	X	X	X	X	X	X	X	√	X
endsAtLocation	X	X	X	X	X	X	X	√	X
severity	X	X	X	X	X	X	X	√	X
status	X	X	X	X	X	X	X	√	X
sensitivity	X	X	X	X	X	X	X	√	X
causeArea	X	X	X	X	X	X	X	√	X
levelOfInterest	X	X	X	X	X	X	X	√	X
comments	X	X	X	X	X	X	X	√	X

minwindowSize	X	X	X	X	X	X	X	✓	X
maxwindowSize	X	X	X	X	X	X	X	✓	X
meets	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
metBy	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
origin	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
overlappedBy	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
overlaps	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
rangeTimeLine	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
sampleRate	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
startedBy	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
starts	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
windowLength	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
producedIn	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
produced in	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
product	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
sub_event	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
sensingMethodUsed	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
hasOperatingProperty	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
hasOperatingRange	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
hasSurvivalProperty	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
hasSurvivalRange	X	X	X	X	✓	X	X	X	X

	FIESTA- iot	M3 Lite	M3	IoT Lite	SSN	PROV-O	Timeline	Stream Annotation	Event
Data Properties									
endpoint	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
has data value	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
has interval date	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
has region data value	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
id	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
interface description	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
interface type	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
is mobile	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
metadata type	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
metadata value	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
radius	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
fromM2MApplication	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
hasSparqlVariableinferTypeUri	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
hasSparqlVariabletypeDeducedUri	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
hasSparqlVariabletypeRecommendedUri	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
hasUrlDataset	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗
hasUrlOntology	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗

hasUrlRule	X	X	√	X	X	X	X	X	X
hasUrlSpargl	X	X	√	X	X	X	X	X	X
ruleUsingM2MDevice	X	X	√	X	X	X	X	X	X

	FIESTA- iot	M3 Lite	M3	IoT Lite	SSN	PROV-O	Timeline	Stream Annotation	Event
Annotation Properties									
alt	√	X	X	X	X	X	X	X	X
alt relative	√	X	X	√	X	X	X	X	X
comment	√	X	X	X	X	X	X	X	X
created	√	X	X	X	X	X	X	X	X
creator	√	X	X	X	X	X	X	X	X
date	√	X	X	X	X	X	X	X	X
description	√	√	X	X	X	X	X	X	X
equivalent class	√	√	X	X	X	X	X	X	X
has image	√	√	X	X	X	X	X	X	X
identifier	√	X	X	X	X	X	X	X	X
is defined by	√	X	X	X	X	X	X	X	X
issued	√	√	X	X	X	X	X	X	X
label	√	X	X	X	X	X	X	X	X
lat	√	X	X	X	X	X	X	X	X

license	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
long	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
mappable to	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
modified	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
name	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	√	✗
preferred namespace prefix	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
preferred namespace uri	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
relative location	√	✗	✗	√	✗	✗	✗	✗	✗
rights	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
see also	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
source	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
term status	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
title	√	√	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

