



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διερεύνηση και Ανάλυση του Διαδικτύου των Πραγμάτων με εφαρμογή κανόνων στο Σύννεφο Πληροφορίας και ανάπτυξη προτύπου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργία Ευαγγελία Γ. Τσούμπα

Επιβλέπων: Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διερεύνηση και ανάλυση του διαδικτύου των πραγμάτων με εφαρμογή κανόνων στο σύννεφο πληροφορίας και ανάπτυξη προτύπου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τσούμπα Γεωργία Ευαγγελία

Επιβλέπων: Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12^η Οκτωβρίου 2016.

.....

Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Χάρης Δούκας
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Τσούμπα Γεωργία Ευαγγελία

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

Copyright © Τσούμπα Γεωργία Ευαγγελία, 2016

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

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας κ. Ιωάννη Ψαρρά για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση ενός ιδιαίτερα ενδιαφέροντος και απαιτητικού θέματος.

Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Μιχάλη Πετυχάκη, υποψήφιο διδάκτορα του Ε.Μ.Π., για τις σωστές και συνεχείς κατευθύνσεις, συμβουλές και παρατηρήσεις του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα κυρίως να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξή της σε κάθε βήμα και επιλογή μου και για όσα μου έχει προσφέρει και διδάξει σε όλη την πορεία μου μέχρι τώρα. Καθώς επίσης και τους φίλους και συγγενείς, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου στην παρούσα φάση της ζωής μου, με την αμέριστη βοήθεια και συμπαράστασή τους.

Οκτώβριος, 2016

Γεωργία Ευαγγελία Γ. Τσούμπα

Στην οικογένεια μου

Περίληψη

Το Internet of Things αναφέρεται στο διασυνδεδεμένο δίκτυο απλών αντικειμένων που συχνά φέρουν κάποια μορφή τεχνητής νοημοσύνης. Αυτά τα αντικείμενα επικοινωνούν μεταξύ τους και με το εξωτερικό περιβάλλον αποστέλλοντας και λαμβάνοντας δεδομένα. Τα αντικείμενα αυτά υπάρχουν εμφανώς ή μη εμφανώς σε κάθε πτυχή της καθημερινότητας. Για την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής πρέπει να υπάρξει μια κατανόηση της κατάστασης των χρηστών και των συσκευών τους, αρχιτεκτονικές και δίκτυα επικοινωνίας που θα επεξεργάζονται τις πληροφορίες καθώς και διάφορα εργαλεία ανάλυσης που θα βοηθήσουν στην αυτόνομη λειτουργία των αντικειμένων. Μια τεχνολογία που βοηθάει σε αυτή την κατεύθυνση είναι το σύννεφο πληροφορίας (cloud computing).

Για να μπορέσουν αυτά τα αντικείμενα να επικοινωνήσουν μεταξύ τους απαιτείται η δημιουργία ενός συνόλου κανόνων που θα διέπουν τη λειτουργία τους. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί πολλές γλώσσες και τεχνολογίες που στηρίζουν την ανάπτυξη αυτών. Οι κανόνες αυτοί είναι χρήσιμοι και σε άλλους τομείς, όπως αυτός των επιχειρήσεων και οργανισμών.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής αναπτύξαμε μια πλήρως λειτουργική και εύχρηστη βιβλιοθήκη σε Python, που σκοπό έχει την εύκολη δημιουργία ενός συνόλου λειτουργικών αντικειμένων αλλά και των κανόνων που θα ορίζουν τις λειτουργίες τους. Η βιβλιοθήκη αυτή αναπτύχθηκε στην πλατφόρμα της Amazon Web Services για το Internet of Things, και η επικοινωνία με τα αντικείμενα πραγματοποιήθηκε μέσω σύνδεσης MQTT.

Λέξεις Κλειδιά: Διαδίκτυο των πραγμάτων, IoT, Συστήματα κανόνων, Μηχανές παραγωγής κανόνων, Επιχειρησιακά Συστήματα Κανόνων, BRMS, AWS IoT, σύνδεση MQTT

Abstract

The Internet of Things refers to an interconnected network of simple objects that often carry some form of artificial intelligence. These objects communicate with each other and the external environment by sharing and receiving data. These objects are an important feature of every aspect of daily life. In order to develop this technology there must be an understanding of the situation of users and devices, architecture and communication networks that will process the information and various analysis tools that will help in the autonomous function of the objects. A technology that helps in this direction is cloud computing.

For these objects to communicate with each other, the creation of a set of rules that determine their operation is required. For this reason, many languages and technologies have been developed in order to support the aforementioned development. These rules are useful many areas, such as business and organizations.

On this Thesis we developed a fully functional and easy to use library in Python, designed to easily create a set of functional objects and the rules that define their operations. The library was developed for the Amazon Web Services platform for the Internet of Things, and the connection with the objects was established through MQTT connection.

Keywords: Internet of Things, Rule Based Systems, Rule Engines, Business Rule Management Systems, BRMS, AWS IoT, MQTT connection

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract	7
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	10
1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.....	11
1.2 Φάσεις Υλοποίησης.....	12
1.3 Δομή Εργασίας	13
Κεφάλαιο 2. Internet of Things	16
2.1 Ιστορική Αναδρομή	17
2.2 Το IoT σήμερα.....	19
2.3 Αναμενόμενη εξέλιξη την επόμενη δεκαετία	21
2.4 Σχετικές Έννοιες.....	22
2.4.1. Ορισμοί	22
2.4.2 Εξελίξεις	23
2.4.3 Στοιχεία και τεχνολογίες.....	25
2.4.4 Εφαρμογές	29
2.5 Σύννεφο Πληροφορίας.....	36
2.6 Μελλοντικές Προβλέψεις.....	39
Κεφάλαιο 3. Ανάλυση της έννοιας και χρήσης των κανόνων	40
3.1 Έννοια των Rules.....	41
3.1.1 Εισαγωγή στην έννοια των Rules.....	41
3.1.2 Θεωρία των RBS.....	44
3.1.3 Στρατηγικές Σχετικές με τα RBS	45
3.2 Σύγκριση Γλωσσών και Εργαλείων υλοποίησης	51
3.2.1 Γλώσσες και Πρότυπα	51
3.2.2 Σύγκριση εύρους χρήσης των γλωσσών.....	66
3.2.3 Εργαλεία υλοποίησης ενός RBS.....	68

3.3 Σύστημα Επιχειρησιακής Διαχείρισης μέσω Κανόνων	72
3.3.1 Εισαγωγή.....	72
3.3.2 Διαφοροποίηση ανάμεσα στα BRMS και Rules Engine.....	73
3.3.3 Λόγοι που απαιτούν τη χρήση των BRMS	74
3.3.4 Βασικές εφαρμογές των BRMS.....	75
3.3.5 Οφέλη από τη χρήση των BRMS.....	77
4. Μεθοδολογία και εφαρμογές.....	78
Εισαγωγή	79
4.1 Amazon IoT	80
4.2 Σύνομη περιγραφή της διαδικασίας δημιουργίας αντικειμένου	87
4.3 Μεθοδολογία δημιουργίας συστήματος και κώδικα	89
4.3.1 Περιγραφή κώδικα για τη δημιουργία του προς έλεγχο συστήματος.....	90
4.3.2 Διάγραμμα ροής κώδικα	98
4.4 Έλεγχος λειτουργίας συστήματος με μεταβολή δεδομένων MQTT σύνδεσης.	99
4.4.1 Γενική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του κώδικα για σύνδεση μέσω MQTT client	99
4.4.2 Προαπαιτούμενα για την αποφυγή σφαλμάτων κατά την εκτέλεση των δοκιμών	100
4.4.3 Υλοποίηση παραδειγματικού κανόνα	101
5. Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα	104
5.1 Παρατηρήσεις.....	105
5.2 Συμπεράσματα	106
Βιβλιογραφία.....	110

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Απόφασης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον κ. Ι. Ψαρρά, Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ του ΕΜΠ.

Από τη δεκαετία του 1980 και έπειτα ξεκίνησε η ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας, αυτής του Internet of Things (IoT). Ως IoT ορίζουμε ένα σύνολο διασυνδεδεμένων αντικειμένων που μπορούν να επικοινωνούν τόσο μεταξύ τους όσο και με το εξωτερικό περιβάλλον τους, αποστέλλοντας και λαμβάνοντας δεδομένα. Ταυτόχρονα ενεργούν με τρόπο που επιτρέπει την μεταβολή της κατάστασης των ίδιων αλλά και άλλων αντικειμένων του δικτύου.

Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογές στους περισσότερους τομείς της καθημερινότητας κάτι που την καθιστά ένα πολύ σπουδαίο εργαλείο για τη δημιουργία αυτοματοποιημένων δράσεων και αποφάσεων. Στη λογική αυτή εισάγεται και η έννοια του Ubiquitous Computing (Ubicomp), η οποία μιλά για την πανταχού παρούσα υπολογιστική δύναμη, η οποία για να είναι λειτουργική πρέπει να υπάρχει παρασκηνιακά και όχι εμφανώς στην καθημερινότητα των ανθρώπων.

Το πως επικοινωνούν και αλληλεπιδρούν οι συσκευές- αντικείμενα που απαρτίζουν το IoT είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής κανόνων στο σύνολο αυτό. Οι κανόνες είναι λειτουργίες που αποτελούνται από μια συνθήκη και μια δράση, η οποία πραγματοποιείται εφόσον η συνθήκη αληθεύει. Το επιστημονικό πεδίο των κανόνων και οι τρόποι σύνταξης αλλά και υλοποίησης τους έχει υπάρξει σημαντικό αντικείμενο έρευνας από διάφορα πανεπιστημιακά ιδρύματα αλλά και εταιρείες, κάτι που έχει συμβάλει στην ανάπτυξη πολλών γλωσσών αλλά και εργαλείων, που βοηθούν στη δημιουργία συστημάτων που στηρίζονται σε κανόνες (Rule Based Systems, RBS).

Οι κανόνες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας, όπως το διαδίκτυο και οι επιχειρήσεις. Στην παρούσα διπλωματική γίνεται λεπτομερής ανάλυση των επιχειρησιακών συστημάτων που βασίζονται σε κανόνες (Business Rule Management Systems, BRMS) και των εργαλείων και γλωσσών που βοηθούν στη δημιουργία και λειτουργία τους.

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν πολλές πλατφόρμες που υποστηρίζουν τη δημιουργία και συντήρηση ενός συστήματος IoT. Μία από τις ισχυρότερες είναι η πλατφόρμα της Amazon Web Services για το Internet of Things. Βασικός στόχος αυτής της διπλωματικής λοιπόν είναι η ανάπτυξη μιας πλήρως λειτουργικής και εύχρηστης βιβλιοθήκης σε Python, με τη χρήση της βιβλιοθήκης Boto3, η οποία έχει αναπτυχθεί από την Amazon για χρήση στα Web Services που προσφέρει. Ταυτόχρονα θα δημιουργηθούν κανόνες που θα διέπουν τη λειτουργία του συστήματος που δημιουργείται με σαφήνεια και ακρίβεια.

Ο έλεγχος και η επικοινωνία των συσκευών που θα απαρτίζουν το σύστημα θα γίνεται μέσω MQTT σύνδεσης η οποία θα έχει πρόσβαση στα δεδομένα των αντικειμένων ενώ παράλληλα θα μπορεί και να τα μεταβάλλει.

Στόχος είναι η μελλοντική αξιοποίηση της εργασίας αυτής, για την εύκολη και γρήγορη ανάπτυξη αλλά και κατανόηση των συστημάτων IoT. Απευθύνεται κυρίως σε μελλοντικούς χρήστες του εργαστηρίου που θα ασχοληθούν με την ανάπτυξη μιας πλατφόρμας στα πλαίσια αυτού.

1.2 Φάσεις Υλοποίησης

1ο Στάδιο: Ανάθεση Διπλωματικής Εργασίας

Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε συζήτηση επί του θέματος, των στόχων της διπλωματικής εργασίας καθώς και του καθορισμού των πιθανών προβλημάτων που θα χρειαζόταν να αντιμετωπισθούν.

2ο Στάδιο: Εξοικείωση με την πλατφόρμα AWS IoT

Στο δεύτερο στάδιο ξεκίνησε η μελέτη και κατανόηση της δομής κι του τρόπου λειτουργίας της πλατφόρμας της Amazon IoT, γεγονός που βοήθησε στην κατανόηση σε βάθος των λειτουργιών που πρέπει να εκτελεστούν ώστε να δημιουργηθεί ένα πλήρες αντικείμενο. Αυτό το στάδιο περιελάμβανε την επεξεργασία των αντικειμένων αλλά και των πιστοποιητικών μέσω του γραφικού περιβάλλοντος που παρέχει η Amazon.

3ο Στάδιο: Σύνταξη κώδικα Python

Αυτό ήταν το κρίσιμότερο στάδιο της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής καθώς έπρεπε να υπάρξει πλήρης κατανόηση του τρόπου σύνταξης αλλά και εκτέλεσης των εντολών που παρέχονται από τη βιβλιοθήκη Boto3 της Python. Κατά τη διαδικασία αυτή απαιτήθηκε η πλήρης κατανόηση του τρόπου διασύνδεσης των αντικειμένων αλλά και η σωστή σειρά εκτέλεσης των βημάτων για τη σωστή και ολοκληρωμένη δημιουργία ενός συστήματος αντικειμένων.

4ο Στάδιο: Εξοικείωση με τους Κανόνες

Σε αυτό το σημείο υπάρχει ένα σύνολο αντικειμένων το οποίο όμως για να μπορέσει να πραγματοποιήσει διάφορες λειτουργίες απαιτεί τη σύνταξη κανόνων οι οποίοι θα καθορίζουν τις συνθήκες αλλά και τις δράσεις που αυτές πυροδοτούν. Οπότε χρειάστηκε η διεξοδική μελέτη τόσο των εργαλείων όσο και του τρόπου σύνταξης και ελέγχου της αποτελεσματικότητας αυτών των κανόνων.

1.3 Δομή Εργασίας

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια:

- Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στην έννοια του IoT και στην σπουδαιότητά της. Επιπλέον αναλύονται τα στάδια, η δομή αλλά και ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.
- Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής και αναλυτική περιγραφή της τεχνολογίας του IoT. Αναφέρονται οι τεχνολογίες στις οποίες στηρίζεται η ανάπτυξη και λειτουργία των συστημάτων αυτών, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους εμφανίζεται σε διάφορα τμήματα της καθημερινής ζωής. Παράλληλα αναλύονται και οι αναμενόμενες εξελίξεις στον τομέα.
- Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η έννοια των κανόνων και της σύνταξης αυτών. Γίνεται λεπτομερής ανάλυση τόσο των γλωσσών όσο και των εργαλείων που βοηθούν στη δημιουργία συστημάτων κανόνων η οποία καταλήγει στη σύγκρισή τους, η οποία στηρίχθηκε σε δεδομένα που συλλέχθηκαν από το διαδίκτυο.

- Στο 4^ο Κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των λειτουργιών του τελικού κώδικα που συντάχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά αναλύονται λεπτομερώς οι λειτουργίες της πλατφόρμας της Amazon και οι διαδικασίες που πρέπει να εκτελεστούν για τη δημιουργία των αντικειμένων. Στη συνέχεια γίνονται διευκρινήσεις που διευκολύνουν τον αναγνώστη να κατανοήσει κάποια κομβικά σημεία της βιβλιοθήκης, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται οι προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν ώστε ο κώδικας να είναι αποτελεσματικός. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον έλεγχο της ορθότητας και αποδοτικότητας του κώδικα.
- Στο 5^ο Κεφάλαιο αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας, οι παρατηρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης μαζί με προτάσεις για βελτίωση των προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν. Ενώ παράλληλα γίνεται μια αναφορά και στη μελλοντική εξέλιξη και χρήση αυτής της εργασίας.

Κεφάλαιο 2. Internet of Things

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η κοινωνία μας σήμερα γίνεται μάρτυρας της έναρξης μιας νέας εποχής στον κόσμο της τεχνολογίας, αυτής του Internet of Things (γνωστό και ως IoT). Το IoT αναφέρεται στο διασυνδεδεμένο δίκτυο απλών αντικειμένων, που συχνά φέρουν κάποια μορφή τεχνητής νοημοσύνης. Αυτή η εξέλιξη της τεχνολογίας θα διευρύνει τις δυνατότητες του Internet, καθώς θα προσφέρει τη δυνατότητα σε αντικείμενα να επικοινωνούν μέσω ενσωματωμένων συστημάτων με άλλα αντικείμενα ή ακόμα και με ανθρώπους.

Χάρη στην γρήγορη τεχνολογική εξέλιξη ανοίγεται, με τη βοήθεια της χρήσης του IoT, ο δρόμος για την ανάπτυξη νέων, πρωτοπόρων εφαρμογών, που υπόσχονται να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των χρηστών. Για αυτό το λόγο λοιπόν, τα τελευταία χρόνια το IoT έχει έρθει στο προσκήνιο κερδίζοντας την προσοχή πολλών ερευνητών και ανθρώπων της τεχνολογίας ανά τον κόσμο. [1]

Το IoT αποτελεί ένα τεχνολογικό επίτευγμα που προδιαγράφει το μέλλον των υπολογιστών και της επικοινωνίας. Η ανάπτυξη του βασίζεται στην δυναμική τεχνολογική εξέλιξη διαφόρων σημαντικών πεδίων, από τους ασύρματους αισθητήρες μέχρι τη νανοτεχνολογία.

Από το 2013 το όραμα της εξέλιξης του IoT έχει προχωρήσει εξαιτίας της σύγκλισης της ανάπτυξης διαφόρων τεχνολογιών, από τις ασύρματες επικοινωνίες και το Internet μέχρι τα ενσωματωμένα συστήματα και τα μικρο-ηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS). Συνεπώς, οι παραδοσιακοί τομείς των ενσωματωμένων συστημάτων, του ασύρματου δικτύου αισθητήρων, των συστημάτων ελέγχου, του αυτοματισμού καθώς και άλλοι τομείς συνεισφέρουν ενεργά στην δημιουργία και ανάπτυξη του IoT.

Η ιδέα για τη δημιουργία ενός δικτύου έξυπνων συσκευών άρχισε να συζητείται από το 1982 στο Carnegie Mellon University, όπου δημιουργήθηκε η πρώτη συνδεδεμένη με το διαδίκτυο συσκευή, ένας αυτόματος πωλητής αναψυκτικών, που ανέφερε αν τα αναψυκτικά που είχαν προστεθεί ήταν κρύα.

Περί το 1991 (Mark Weiser) έγινε μια σειρά από δημοσιεύσεις σχετικά με την εξέλιξη των υπολογιστών τον 21^ο αιώνα, η οποία έθεσε τη βάση για την ανάπτυξη του IoT.

Το 1994 (Reza Raji) έγινε η πρώτη περιγραφή της ιδέας του IoT η οποία ήταν η εξής: «η μεταφορά μικρών πακέτων δεδομένων σε ένα μεγάλο σύνολο κόμβων, προκειμένου να

ενοποιηθούν και να αυτοματοποιηθούν τα πάντα, από μικρές οικιακές συσκευές μέχρι ολόκληρα εργοστάσια».

Μεταξύ του 1993 και του 1996 αρκετές εταιρείες πρότειναν κάποιες λύσεις, όμως τελικά το 1999 άρχισε η πραγματική εξέλιξη του κλάδου, όταν προτάθηκε η επικοινωνία συσκευής με συσκευή στο Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ.

Η ιδέα του Internet of Things έγινε πρώτη φορά γνωστή το 1999 μέσω του Auto-ID Center του Πανεπιστημίου της Μασαχουσέτης (MIT), μέσα από δημοσιεύσεις σχετικές με την ανάλυση της αγοράς. Η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητων (Radio Frequency Identification, RFID) θεωρήθηκε από τους ιδρυτές του Auto-ID ως προαπαιτούμενο για την ανάπτυξη του IoT. Η λογική ήταν ότι εάν όλα τα αντικείμενα είχαν κάποια διακριτικά (identifiers), τότε οι υπολογιστές θα μπορούσαν να τα διαχειριστούν και να τα καταγράψουν ευκολότερα. Εκτός από τη χρήση του RFID για τον χαρακτηρισμό των αντικειμένων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλες τεχνολογίες, όπως η επικοινωνία κοντινού πεδίου (Near Field Communication, NFC), τα barcodes, τα QR codes καθώς και το ψηφιακό υδατογράφημα.

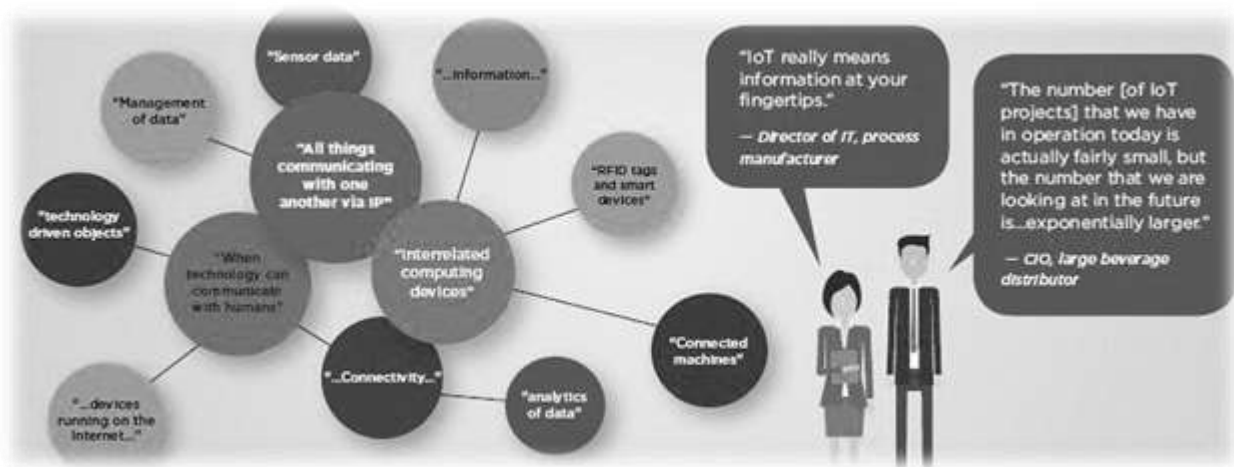
Ως αρχική σκέψη, στόχος ήταν η υλοποίηση του IoT μέσω του εξοπλισμού όλων των αντικειμένων παγκοσμίως με μικρές συσκευές αναγνώρισης ή διακριτικά που μπορούν να αναγνωστούν από μηχανές, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα μια πλήρη αλλαγή στην καθημερινότητα.

Ο όρος Internet of Things εισήχθη αρχικά από τον Kevin Ashton το 1999. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας ο ορισμός αυτός ξεκίνησε να προσδιορίζει ένα μεγαλύτερο φάσμα εφαρμογών στους τομείς της υγείας, των δημοσίων υπηρεσιών, των μεταφορών κλπ. Παρόλο που η έννοια του όρου 'Thing' έχει μεταβληθεί με την εξέλιξη της τεχνολογίας, ο στόχος της χρήσης πληροφοριών από υπολογιστικά συστήματα χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση παραμένει ο ίδιος.

Παρατηρείται πλέον μία ραγδαία μετατροπή του ήδη υπάρχοντος διαδικτύου σε ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων, που όχι μόνο συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον του και αλληλεπιδρά με τον φυσικό κόσμο, αλλά επιπλέον χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα πρότυπα του διαδικτύου προκειμένου να παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς και ανάλυσης πληροφορίας, επικοινωνίας και διαφόρων άλλων εφαρμογών.

Οδηγούμενο λοιπόν από την επικράτηση των συσκευών με δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης, όπως τα Bluetooth, το RFID, το Wi-Fi, τα δεδομένα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας αλλά και τα ενσωματωμένα συστήματα αισθητήρων και ενεργών κόμβων, το IoT έχει ξεφύγει από το πρώιμο στάδιο της δημιουργίας του και έχει ξεκινήσει να μετατρέπει το στατικό διαδίκτυο σε ένα πλήρως διασυνδεδεμένο, μελλοντικό και δυναμικό διαδίκτυο.

2.2 Το IoT σήμερα



Εικόνα[1]. Περιγραφή IoT από διάφορες έρευνες

Η νέα μεγάλη αλλαγή στον κόσμο των υπολογιστών θα είναι εκτός της πεπατημένης ενός απλού Desktop. Στην εποχή του IoT πολλά από τα αντικείμενα γύρω μας θα είναι μέρος ενός δικτύου με κάποιον τρόπο. Για αυτό το σκοπό θα υπάρξει ανάπτυξη των τεχνολογιών RFID και WSN προκειμένου να καταφέρουμε να ενσωματώσουμε την πληροφορία και την επικοινωνία αόρατα στον κόσμο γύρω μας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας νέας γενιάς ενός μεγάλου πλήθους δεδομένων που θα πρέπει να αποθηκευτούν, να επεξεργαστούν και στη συνέχεια να παρουσιαστούν με έναν ενιαίο, επαρκή και εύκολα ερμηνεύσιμο τρόπο.

Οι υπηρεσίες του Cloud Computing θα μπορούν να παρέχουν ένα εικονικό περιβάλλον που θα προσομοιώνει συσκευές παρακολούθησης και αποθήκευσης, αναλυτικά εργαλεία και εικονικές πλατφόρμες. Το μοντέλο βασισμένο στο κόστος που προσφέρει το Cloud

Computing θα επιτρέψει σε επιχειρήσεις και άλλους χρήστες την πρόσβαση σε εφαρμογές από οποιοδήποτε μέρος και οποιαδήποτε στιγμή.

Η συνδεσιμότητα σε ήδη υπάρχοντα δίκτυα είναι αναπόσπαστο κομμάτι του IoT. Με την αναπτυσσόμενη παρουσία ασύρματων δικτύων Wi-Fi και 4G-LTE η εξέλιξη στην πρόσβαση σε απεριόριστη πληροφορία θεωρείται δεδομένη.

Ωστόσο για να μπορέσει το όραμα του IoT να αναπτυχθεί επιτυχώς θα πρέπει να ο τομέας του Computing να εξελιχθεί παραπάνω από την παραδοσιακή τεχνολογία του Mobile Computing που χρησιμοποιεί smartphones και άλλες φορητές συσκευές και να καταφέρει να προχωρήσει στη διασύνδεση ήδη υπαρχόντων καθημερινών αντικειμένων και ενσωματωμένων συστημάτων του περιβάλλοντος μας.

Προκειμένου να περάσει ομαλά στην καθημερινότητα του χρήστη το Internet of Things απαιτούνται:

- Μια ενιαία κατανόηση της κατάστασης των χρηστών και των συσκευών τους.
- Αρχιτεκτονικές λογισμικού και διεισδυτικά δίκτυα επικοινωνίας, που θα μπορούν να επεξεργάζονται συναφείς πληροφορίες όπου κρίνεται αναγκαίο.
- Εργαλεία ανάλυσης, που θα έχουν ως σκοπό την έξυπνη και αυτόνομη συμπεριφορά των αντικειμένων.

Με αυτά τα τρία θεμελιώδη χαρακτηριστικά μπορεί εύκολα να επιτευχθεί η «έξυπνη» συνδεσιμότητα.

Η επανάσταση του διαδικτύου οδήγησε στην διασύνδεση μεταξύ των ανθρώπων με πρωτοφανείς ρυθμούς και σε πολύ μεγάλη κλίμακα. Η επόμενη μεγάλη επανάσταση θα έρθει όταν επιτευχθεί η διασύνδεση μεταξύ αντικειμένων για την δημιουργία ενός έξυπνου περιβάλλοντος. Μόνο κατά τη διάρκεια του 2011 ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών στον πλανήτη υπερέβη τον αριθμό τον πληθυσμό του. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν περισσότερα από 10 δις διασυνδεδεμένων συσκευών και το νούμερο αυτό αναμένεται να φτάσει τα 24 δις συσκευών μέχρι το 2020. Σύμφωνα με έρευνες αυτή η ανάπτυξη του IoT μεταφράζεται σε δυνατότητα κέρδους μέχρι και \$1.3 τρις για τους διαχειριστές των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, ενώ επεκτείνεται και σε άλλους τομείς όπως η υγεία, η αυτοκινητοβιομηχανία, ο δημόσιος τομέας και τα ηλεκτρονικά αγαθά.

2.3 Αναμενόμενη εξέλιξη την επόμενη δεκαετία

Η προσπάθεια ερευνητών να δημιουργήσουν μία διεπαφή ανθρώπου με άνθρωπο με τη βοήθεια της τεχνολογίας στο τέλος της δεκαετίας του 1980 οδήγησε στην δημιουργία της «πανταχού παρούσας» ηλεκτρονικής τεχνολογίας, της οποίας σκοπός είναι η ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην καθημερινή ζωή. Αυτή τη στιγμή βρισκόμαστε στην μετα-PC εποχή όπου τα smartphones και άλλες φορητές συσκευές αλλάζουν το περιβάλλον κάνοντας το πιο διαδραστικό και γεμάτο πληροφορία.

Ο Mark Weiser, ο πατέρας της «πανταχού παρούσας» ηλεκτρονικής τεχνολογίας (ubicomp), προσδιόρισε το έξυπνο περιβάλλον ως «τον φυσικό κόσμο, που είναι έντονα αλλά αόρατα εμπλουτισμένος με αισθητήρες, κινητήρες, οθόνες και άλλα υπολογιστικά στοιχεία, ομαλά ενσωματωμένα στα αντικείμενα τις καθημερινότητας και διασυνδεδεμένα σε ένα συνεχές διαδίκτυο».

Εδώ θα πρέπει ίσως να επεξηγηθεί η έννοια της «πανταχού παρούσας» ηλεκτρονικής τεχνολογίας (Ubiquitous Computing, UbiComp):

Πρόκειται για μια έννοια στο πλαίσιο του λογισμικού και της επιστήμης των υπολογιστών, η οποία θεωρεί ότι η ηλεκτρονική τεχνολογία είναι πανταχού παρούσα. Σε αντίθεση με την τεχνολογία των σταθερών υπολογιστών η ubicomp μπορεί να εμφανιστεί με τη χρήση οποιασδήποτε συσκευής και σε οποιοδήποτε μέρος και με οποιονδήποτε τρόπο. Ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με υπολογιστικούς πόρους, που παρέχονται σε οποιαδήποτε μορφή όπως τα laptop, τα tablets και άλλες τερματικές συσκευές σε αντικείμενα της καθημερινότητας. Οι τεχνολογία πίσω από το ubicomp περιλαμβάνει το Internet, λειτουργικά συστήματα, αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές, συσκευές εισόδου εξόδου και διεπαφές χρήστη, δίκτυα, πρωτόκολλα επικοινωνίας και άλλα νέα αναπτυσσόμενα υλικά.

Η δημιουργία του Internet υπήρξε ορόσημο για την επίτευξη του οράματος της ubicomp που θα επιτρέπει σε μεμονωμένες συσκευές να επικοινωνούν με οποιαδήποτε άλλη συσκευή ανά τον κόσμο. Η διασύνδεση μέσω διαδικτύου φανερώνει την δυνατότητα απεριόριστης ύπαρξης διαμοιρασμένων υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων που θα ανήκουν σε διαφορετικούς και ποικίλους ιδιοκτήτες.

Σε αντίθεση με την προσέγγιση του Weiser, ο Rogers προτείνει ένα ανθρωποκεντρικό μοντέλο που θα χρησιμοποιεί την εφευρετικότητα του ανθρώπου στην εκμετάλλευση του περιβάλλοντος και την επέκταση των δυνατοτήτων του. Προτείνει λοιπόν την λύση της ubicomp για συγκεκριμένους τομείς λέγοντας:

«Όσον αφορά το ποιος θα πρέπει να ωφεληθεί, θα πρέπει να σκεφτούμε πώς αυτή η τεχνολογία θα επηρεάσει συγκεκριμένους κλάδους που θα μπορέσουν να την εφαρμόσουν και να την προσαρμόσουν, όπως είναι η αγροτική παραγωγή, η περιβαλλοντική αποκατάσταση και το λιανικό εμπόριο».

Ο Caseres και ο Friday, με αφορμή την επέτειο 20 ετών της ubicomp αναλύουν την πρόοδο, τις δυνατότητες και τις προκλήσεις που ανέκυψαν ή θα ανακύψουν. Δίνουν όμως ιδιαίτερη σημασία στις δύο τεχνολογίες που θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη του ubicomp, του Cloud Computing και του IoT. [2]

2.4 Σχετικές Έννοιες

2.4.1. Ορισμοί

Το IoT μπορεί να περιγραφεί με τρεις έννοιες:

- τον προσανατολισμό στο Internet
- τον προσανατολισμό στα αντικείμενα
- τον προσανατολισμό στη σημασιολογία

Παρόλο που αυτοί οι ορισμοί είναι απαραίτητοι για την περιγραφή ενός διεπιστημονικού αντικειμένου όπως το IoT, για να μπορέσει να επέλθει πλήρης κατανόηση της χρησιμότητάς του θα πρέπει να υπάρξει πρακτική εφαρμογή προκειμένου να φανεί η συνύπαρξη αυτών των τριών προσανατολισμών.

Το RFID ορίζει το IoT ως:

«Ένα παγκόσμιο δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων, με μοναδική διευθυνσιοδότηση βασισμένη σε συγκεκριμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας»

Με βάση Ευρωπαϊκές έρευνες, στο IoT τα αντικείμενα είναι ενεργά κομμάτια των επιχειρήσεων, της πληροφορίας και των κοινωνικών διεργασιών καθώς τους δίνεται η δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον μέσω ανταλλαγής δεδομένων και πληροφοριών. Ενώ παράλληλα ενεργούν αυτόνομα σε γεγονότα του φυσικού κόσμου και έχουν επιρροή μέσω διεργασιών, οι οποίες πυροδοτούν δράσεις και δημιουργούν υπηρεσίες, χωρίς να είναι πάντα απαραίτητη η ανθρώπινη παρέμβαση.

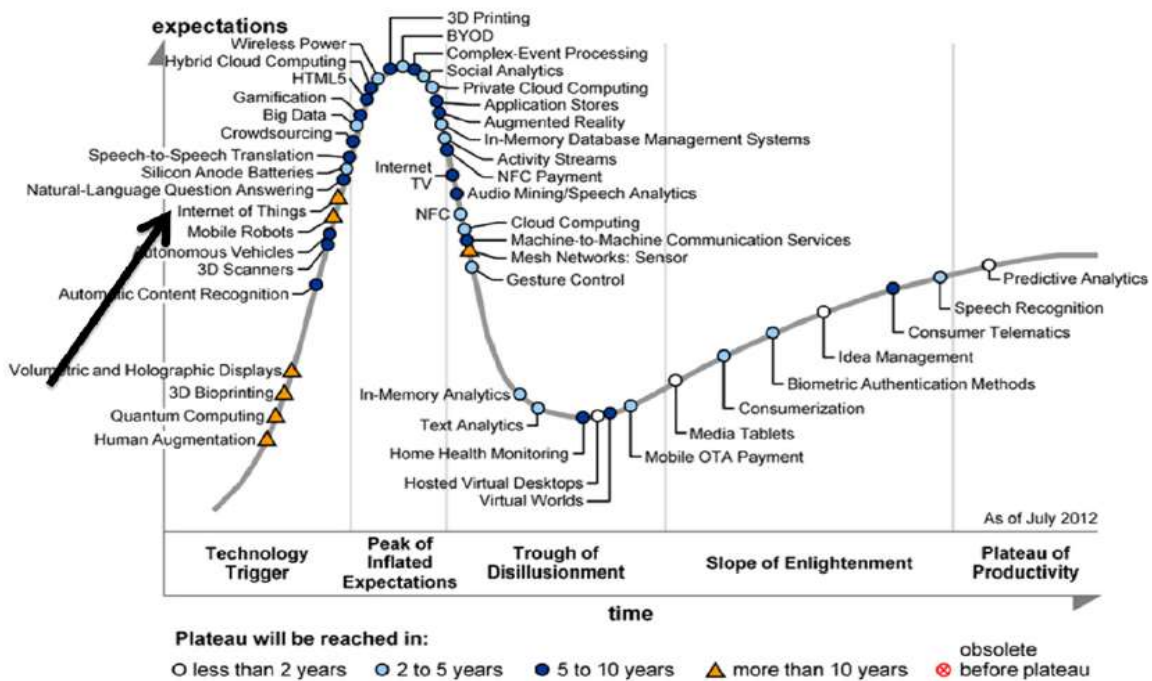
Σύμφωνα με τον Forrester ένα έξυπνο περιβάλλον χρησιμοποιεί πληροφορίες και τεχνολογίες επικοινωνίας προκειμένου να δομήσει τα βασικά συστατικά και τις υπηρεσίες της οργάνωσης μιας πόλης, της εκπαίδευσης, των υπηρεσιών υγείας, της δημόσιας ασφάλειας, των μεταφορών και των δημοσίων υπηρεσιών, καθώς και να τα καταστήσει πιο διαδραστικά και αποτελεσματικά.

Ένας ακόμα ορισμός μπορεί να δοθεί για τη χρήση του IoT σε ένα έξυπνο περιβάλλον, ο οποίος θα είναι πιο ανθρωποκεντρικός και δεν θα περιορίζεται από κανένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία εφαρμογών μεγάλης διάρκειας, που θα εκμεταλλεύονται κάθε φορά την παρούσα τεχνολογία για να αναπτυχθούν.

Το IoT ορίζεται λοιπόν και ως η διασύνδεση συσκευών παρακολούθησης και ενεργοποίησης, που παρέχει τη δυνατότητα διαμοιρασμού πληροφορίας και δημιουργίας ενός κοινού τρόπου ανάπτυξης πρωτοπόρων εφαρμογών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τη συνεχή λήψη και ανάλυση δεδομένων καθώς και την παρουσίαση πληροφοριών μέσω του Cloud.

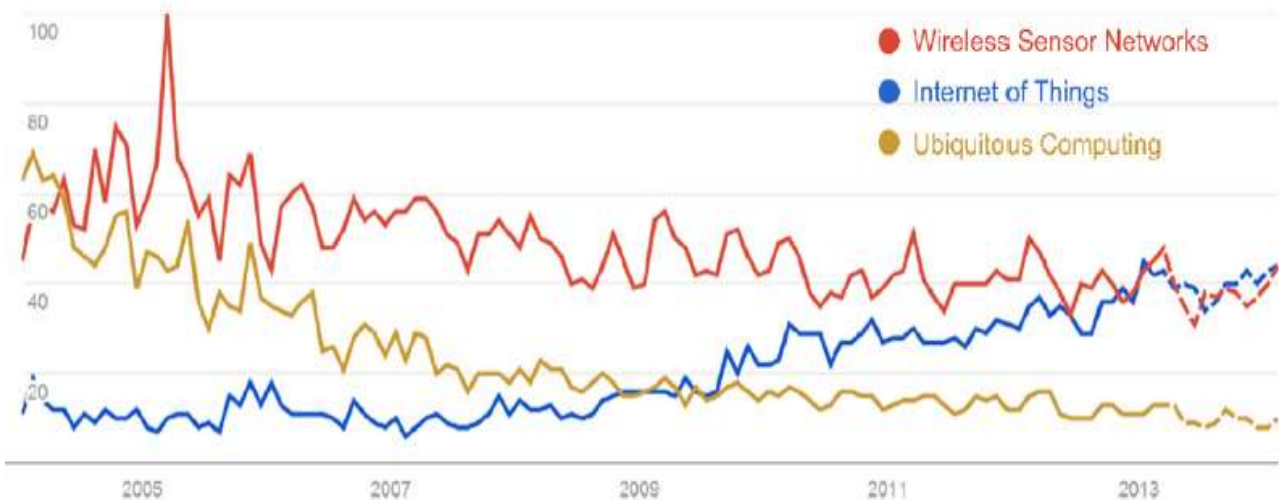
2.4.2 Εξελίξεις

Το IoT έχει οριστεί ως μία από τις πλέον αναπτυσσόμενες τεχνολογίες του IT όπως παρουσιάζεται στον Gartner's IT Hype Cycle (Γράφημα [1]). Ο Hype Cycle ορίζεται ως ένας τρόπος παρουσίασης της ανάδειξης, της αποδοχής, της ωριμότητας και της επίδρασης διαφόρων τεχνολογιών σε εφαρμογές. Βάσει προβλέψεων η τεχνολογία του IoT θα μπορέσει να γίνει πλήρως αποδεκτή από την αγορά μέσα σε 5-10 χρόνια, όπως φαίνεται στο αναλυτικό γράφημα που ακολουθεί.



Γράφημα [1]. Gartner's IT Hype Cycle

Η δημοτικότητα των εφαρμογών διαφέρει με το πέρασμα του χρόνου. Η δημοτικότητα των αναζητήσεων στο διαδίκτυο, όπως μετρήθηκε από τη Google κατά την τελευταία 10ετία, σχετικά με τους όρο Internet of Things, Wireless Sensor Network και Ubiquitous Computing φαίνεται στο Γράφημα [2] που ακολουθεί.



Γράφημα [2]. Δημοτικότητα αναζητήσεων όρων σχετικών με το IoT

Όπως φαίνεται λοιπόν, από τότε που εμφανίστηκε η τεχνολογία του IoT οι αναζητήσεις αυξάνονται συνεχώς, ενώ αυτές για τα Wireless Sensor Networks καθώς και για το Ubiquitous Computing ολοένα και μειώνονται.

2.4.3 Στοιχεία και τεχνολογίες

Εδώ θα παρουσιάσουμε, από μία οπτική υψηλού επιπέδου, μια ταξινόμηση των στοιχείων που θεωρούνται απαραίτητα για την ανάπτυξη του IoT. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες 'συστατικών' που επιτρέπουν το αδιάκοπο UbiComp:

- **Hardware** που αποτελείται από αισθητήρες, ενσωματωμένα συστήματα επικοινωνίας καθώς και άλλες συσκευές.
- **Middleware** που αποτελείται από εργαλεία αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων.
- **Presentation**, που αποτελείται ουσιαστικά από καινοτόμα και ευνόητα εργαλεία οπτικοποίησης και ερμηνείας του IoT, στα οποία θα παρέχεται πρόσβαση από διάφορες πλατφόρμες και τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διαφορετικές εφαρμογές.

Θα παρουσιαστούν στην συνέχεια διάφορες τεχνολογίες των παραπάνω κατηγοριών που έχουν αναφερθεί ονομαστικά σε προηγούμενα κεφάλαια.

- **Radio Frequency Identification (ταυτοποίηση ραδιοσυχνοτήτων, RFID):** Πρόκειται για μία τεράστια ανακάλυψη στον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων επικοινωνίας, που επιτρέπει τον σχεδιασμό microchip για την ασύρματη επικοινωνία δεδομένων. Είναι ζωτικό κομμάτι της αυτόματης αναγνώρισης των συσκευών στις οποίες είναι συνδεδεμένα, καθώς λειτουργούν ως ηλεκτρονικό barcode.

Οι ταμπέλες αναγνώρισης του RFID δεν έχουν ηλεκτρική τροφοδοσία και για την ταυτοποίηση τους χρησιμοποιείται η ενέργεια του σήματος αναγνώρισης της συσκευής που επιχειρεί την ταυτοποίηση (αποστολή του ID της 'προς αναγνώρισης συσκευής' στην συσκευή 'RFID Reader').

Η χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι εφικτή στους κλάδους της λιανικής πώλησης και των προμηθειών, στις δημόσιες μεταφορές (αντικατάσταση εισιτηρίων) και στις εφαρμογές ελέγχου πρόσβασης. Επιπλέον ευρεία εφαρμογή έχει βρει στον τομέα

αναγνώρισης τραπεζικών καρτών αλλά και στις κάρτες των διοδίων (e-pass), ενώ ένας από τους βασικότερους τομείς χρήσης της τεχνολογίας του RFID είναι το θαλάσσιο εμπόριο καθώς χρησιμοποιείται στα containers για την εύκολη παρακολούθηση των φορτίων και εμπορευμάτων.

- **Wireless Sensor Networks (Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, WSN):** Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στους τομείς των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και των ασύρματων επικοινωνιών, έχουν επιτρέψει τη δημιουργία αποτελεσματικών συσκευών χαμηλής κατανάλωσης και κόστους, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές απομακρυσμένου ελέγχου.

Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων βελτίωσε την δυνατότητα αξιοποίησης ενός δικτύου αισθητήρων, αποτελούμενο από ένα μεγάλο αριθμό 'έξυπνων αισθητήρων' που επιτρέπουν την συλλογή, την επεξεργασία, την ανάλυση και τη διάδοση χρήσιμων πληροφοριών που συλλέχθηκαν σε διάφορα περιβάλλοντα. Οι πληροφορίες αυτές έπειτα μοιράζονται σε ένα διανεμημένο ή κεντρικό σύστημα για ανάλυση.

Οι επιστημονικές προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν προκειμένου να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τις πολύ μεγάλες δυνατότητες του WSN είναι ουσιαστικές και πολυδιάστατες. Επιγραμματικά παρουσιάζονται οι συνιστώσες που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του WSN:

- **WSN Hardware.** Ουσιαστικά πρόκειται για έναν κόμβο του δικτύου που αποτελείται από αισθητήρες, μονάδες επεξεργασίας δεδομένων, πομποδέκτες και την τροφοδοσία.
- **WSN communication stack.** Ο σχεδιασμός μιας τοπολογίας και διασύνδεσης ενός ανεπτυγμένου δικτύου είναι βασικός για την επεκτασιμότητα και την μακροζωία του. Οι κόμβοι σε ένα WSN πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους για την μετάδοση δεδομένων σε μια βάση. Το WSN communication stack είναι το στοιχείο που αλληλεπιδρά με τον εξωτερικό κόσμο (εκτός δικτύου) μέσω Internet, δρα δηλαδή ως μια πύλη διέλευσης πληροφορίας μεταξύ του WSN και του Internet.
- **WSN Middleware.** Αποτελεί έναν μηχανισμό, που συνδυάζει υποδομές του κυβερνοχώρου με αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες στις υπηρεσίες (Service Oriented Architecture, SOA) και δίκτυα αισθητήρων, προκειμένου

να παρέχει διάφορες υπηρεσίες σε διαφορετικές κατηγορίες αισθητήρων, ανεξάρτητα από την χρήση τους. Βασίζεται στην ιδέα της απομόνωσης των πόρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ποικίλλες εφαρμογές.

- **Secure Data Aggregation.** Μία επαρκής και ασφαλής μέθοδος συγκέντρωσης δεδομένων είναι απαραίτητη για την επέκταση του χρόνου ζωής ενός δικτύου καθώς και για την διαβεβαίωση ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες είναι αξιόπιστα. Πολλές φορές εμφανίζονται σφάλματα στους κόμβους του δικτύου οπότε θα πρέπει το δίκτυο να μπορεί να επανέρχεται σε λειτουργία με αυτόματο τρόπο. Η διασφάλιση της ασφάλειας του συστήματος και η προστασία του από εισβολείς είναι ζωτικής σημασίας.
- **Σχήματα διευθυνσιοδότησης:** Η δυνατότητα μοναδικής ταυτοποίησης των 'Πραγμάτων – Αντικειμένων' είναι εξαιρετικά σημαντική για την επιτυχία του IoT. Αυτό σημαίνει ότι δεν παρέχεται μόνο η δυνατότητα αναγνώρισης δισεκατομμυρίων συσκευών αλλά και η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου μέσω του Internet. Τα βασικά χαρακτηριστικά για τη δημιουργία μίας μοναδικής διεύθυνσης είναι: η μοναδικότητα, η αξιοπιστία και η επεκτασιμότητα.

Κάθε αντικείμενο που έχει συνδεθεί ή που πρόκειται να συνδεθεί πρέπει να μπορεί να αναγνωριστεί από τη μοναδική ταυτότητά, τοποθεσία και λειτουργία του.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες όπως η IPv4 που διευκολύνει την αναγνώριση των συσκευών ανά περιοχή αλλά δεν μπορεί να τις ταυτοποιήσει χωριστά. Λόγω της ετερογενούς φύσης των ασύρματων κόμβων, της διαφορετικότητας των δεδομένων, των ταυτόχρονων λειτουργιών και της μεγάλης ροής δεδομένων από τις συσκευές το πρόβλημα αναγνώρισης οξύνεται περαιτέρω.

Η συνεχής λειτουργία του δικτύου για τον συνεχή και αδιάλειπτο έλεγχο της ροής δεδομένων είναι άλλη μια όψη του IoT. Το TCP/IP λύνει επαρκώς αυτό το πρόβλημα με την αποτελεσματική δρομολόγηση των δεδομένων.

Όμως θα πρέπει να καθίσταται εφικτή η επέκταση της διεύθυνσης των αντικειμένων σε ένα δίκτυο. Αυτό συμβαίνει γιατί προστίθενται συνεχώς νέες συσκευές στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα και θα πρέπει να υπάρξει μέριμνα ώστε να μην παρεμποδίζεται η επίδοση του δικτύου, η λειτουργία των συσκευών και η αξιοπιστία των δεδομένων καθώς και η αποτελεσματική χρήση των συσκευών από την διεπαφή του χρήστη.

Η συνεισφορά του Uniform Resource Name (URN) είναι καθοριστική στην επίλυση αυτού του προβλήματος και στην ανάπτυξη του IoT. Αυτή η τεχνολογία δημιουργεί αντίγραφα των πόρων στα οποία δίνεται πρόσβαση μέσω URL. Εξαιτίας της συγκέντρωσης μεγάλου όγκου των δεδομένων η εκμετάλλευση των μέτα-δεδομένων (metadata) για την μεταφορά πληροφορίας μέσω Internet καθίσταται απαραίτητη.

- **Αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων:** Ένα από τα σημαντικότερα αποτελέσματα αυτού του νέου τεχνολογικού πεδίου είναι η δημιουργία ενός πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων. Επομένως η αποθήκευση, η κτίση και η λήξη αυτών αποτελεί ένα σοβαρό θέμα.

Το Internet καταναλώνει περίπου το 5% της παραγόμενης ενέργειας αυτή τη στιγμή, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί λόγω της μεγάλης αύξησης των απαιτήσεων. Επομένως μεγάλα κέντρα δεδομένων που λειτουργούν από την παραγόμενη αυτή ενέργεια θα πρέπει να εξασφαλίσουν την ενεργειακή τους επάρκεια καθώς και την αξιοπιστία τους. Τα δεδομένα θα πρέπει να αποθηκεύονται και να χρησιμοποιούνται με έξυπνο τρόπο για την καλύτερη δυνατή επίβλεψη.

Επίσης απαραίτητη θεωρείται η ανάπτυξη αλγόριθμων τεχνητής νοημοσύνης που θα μπορούν να είναι είτε συγκεντρωμένοι είτε κατανεμημένοι ανάλογα με τις προκύπτουσες ανάγκες. Θα πρέπει να αναπτυχθούν νέοι αλγόριθμοι 'σύμπτυξης' για την επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων. Διάφορες μέθοδοι machine learning που στηρίζονται σε εξελικτικούς και γενετικούς αλγόριθμους, νευρωνικά δίκτυα και σε άλλες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης είναι απαραίτητα για να επιτευχθεί η αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων. Αυτά τα συστήματα διαθέτουν διαρθρωμένη αρχιτεκτονική τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και λογισμικού και είναι ιδανικά για την ανάπτυξη IoT εφαρμογών.

Όμως μία κεντρική υποδομή απαιτείται για την υποστήριξη της αποθήκευσης και της ανάλυσης των δεδομένων. Οι λύσεις που στηρίζονται στις τεχνολογίες Cloud (σύννεφο πληροφορίας) έχουν αρχίσει να γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλείς ενώ περαιτέρω ανάπτυξη αναμένεται για τις πλατφόρμες ανάλυσης και οπτικοποίησης πληροφορίας που στηρίζονται στην τεχνολογία του Cloud (AWS IoT service).

- **Οπτικοποίηση:** Είναι απαραίτητη για μια εφαρμογή IoT καθώς επιτρέπει την αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον.

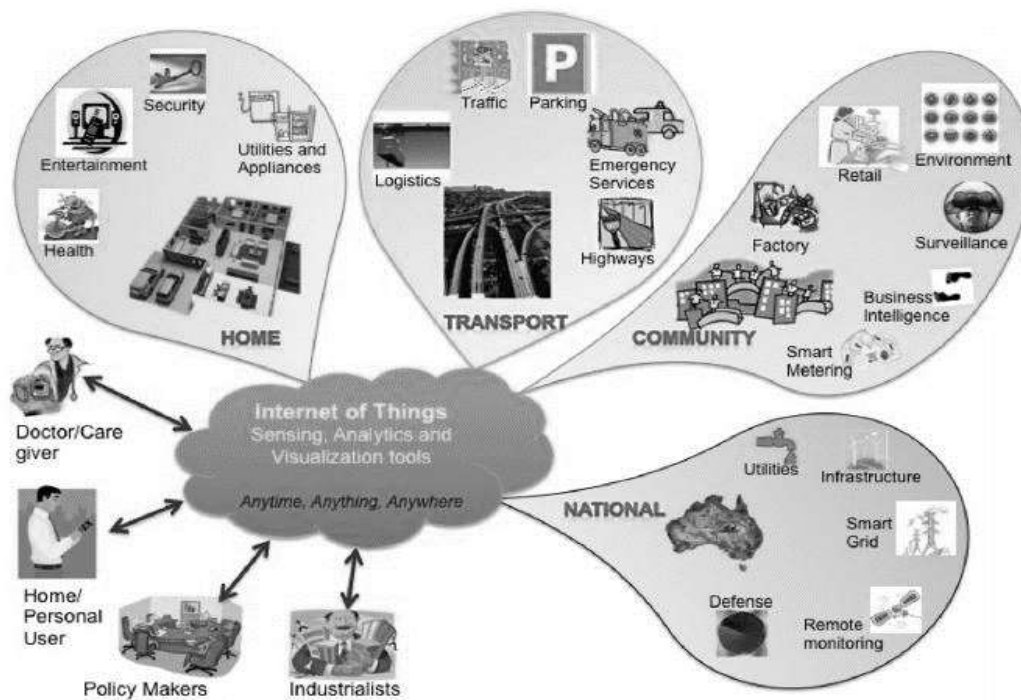
Με την ανάπτυξη των συσκευών με τεχνολογία αφής η χρήση των tablets και smartphones έχει γίνει πλέον κομμάτι της καθημερινότητας. Προκειμένου να μπορέσουν οι απλοί καταναλωτές να επωφεληθούν από τη χρήση της τεχνολογίας του IoT θα πρέπει να δημιουργηθούν προσιτές και εύκολες στην κατανόηση απεικονίσεις, οι οποίες θα μπορούν να παρέχονται με πιο ουσιαστικό τρόπο με τη βοήθεια της ανάπτυξης των 3D οθονών. Αυτό θα επιτρέψει την μετατροπή των απλών δεδομένων σε γνώση, κάτι που είναι απαραίτητο για την γρήγορη λήψη αποφάσεων. Η εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών από πακέτα δεδομένων δεν είναι κάτι απλό. Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει τόσο τον εντοπισμό κάποιου συμβάντος όσο και την οπτικοποίηση των δεδομένων που λαμβάνονται για την ευκολότερη και επιθυμητή χρήση από τον εκάστοτε χρήστη.

2.4.4 Εφαρμογές

Οι τομείς που επηρεάζονται από την ανάπτυξη της τεχνολογίας του IoT είναι πολλοί. Οι εφαρμογές μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του είδους διαθεσιμότητας του δικτύου, την κάλυψη, την κλίμακα, την ετερογένεια, την επαναληψιμότητα καθώς και την συμμετοχή και την επιρροή του χρήστη. Διαχωρίζουμε τις κατηγορίες σε τέσσερις μεγάλους τομείς εφαρμογής:

1. Προσωπική και Οικιακή
2. Επιχειρησιακή
3. Δημόσιο Τομέα

4. Μεταφορές



Εικόνα [2]. Τομείς εφαρμογής των IoT Applications

Η κατηγοριοποίηση φαίνεται στην Εικόνα [2], η οποία παρουσιάζει την Προσωπική και Οικιακή Χρήση στα πλαίσια ενός σπιτιού, την Επιχειρησιακή στα πλαίσια μιας κοινότητας, τον Δημόσιο Τομέα στα πλαίσια ενός κράτους ενώ ο τομέας των Μεταφορών επεκτείνεται συνήθως σε άλλους τομείς λόγω της φύσης του.

Υπάρχει μεγάλη επικάλυψη των εφαρμογών και της χρήσης δεδομένων ανάμεσα στους διάφορους τομείς. Για παράδειγμα η προσωπική και οικιακή χρήση παράγει δεδομένα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στην οικία και στη συνέχεια τα διαθέτει σε επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού προκειμένου να βελτιστοποιήσουν την προσφορά και τη ζήτηση (Επιχειρησιακό IoT).

Το Internet παρέχει τη δυνατότητα διαμοιρασμού των δεδομένων μεταξύ διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών, δημιουργώντας έτσι πολλές επαγγελματικές ευκαιρίες.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν παραδειγματικά κάποιες βασικές εφαρμογές για κάθε τομέα.

Προσωπική και Οικιακή χρήση

Οι συλλεγόμενες πληροφορίες είναι διαθέσιμες προς χρήση μόνο από τους διαχειριστές και ιδιοκτήτες του δικτύου. Συνήθως για την μεταφορά των ζητούμενων από αυτόν τον τομέα δεδομένων χρησιμοποιούνται δίκτυα Wi-Fi.

Ένα μεγάλο κομμάτι αυτού του τομέα αποτελεί η χρήση του IoT στον τομέα της υγείας. Η «πανταχού παρούσα» υγειονομική περίθαλψη (κατά το πανταχού παρούσα υπολογιστική τεχνολογία) είναι ένα όραμα της τελευταίας εικοσαετίας, που έχει ξεκινήσει να παίρνει μορφή μέσω IoT εφαρμογών και περιβαλλόντων, που υλοποιούν αυτή την ιδέα με τη χρήση αισθητήρων στο σώμα και την αποστολή των δεδομένων που λαμβάνονται σε servers.

Για παράδειγμα ως μέσο επικοινωνίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα smartphone, το οποίο με τη συνδρομή άλλων συναφών τεχνολογιών, όπως παραδείγματος χάρη τα Bluetooth που δημιουργούν τη διεπαφή των αισθητήρων και μετρούν τις φυσιολογικές τιμές. Μέχρι στιγμής είναι διαθέσιμες πολλές εφαρμογές μέτρησης και παρακολούθησης ζωτικών παραμέτρων, κυρίως για τα λειτουργικά iOS, Google Android και Windows Phone.

Όμως αυτό που μένει είναι η συγκέντρωση δεδομένων στο Cloud για την εύκολη παρακολούθηση από ειδικούς.

Μια προέκταση της παραπάνω λειτουργίας είναι η δημιουργία ενός συστήματος «οικιακής παρακολούθησης» για άτομα που χρήζουν βοήθειας, που θα επιτρέπει στους γιατρούς να παρακολουθούν ασθενείς και άτομα μεγαλύτερης ηλικίας εντός της οικίας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των νοσηλείων και του κόστους αυτών, καθώς σκοπός του συστήματος είναι η πρόληψη αλλά και η θεραπεία.

Ο έλεγχος των οικιακών συσκευών, όπως κλιματιστικά, ψυγεία, πλυντήρια κ.α. θα επιτρέπει την καλύτερη οικιακή και ενεργειακή διαχείριση και θα φέρει τους οικιακούς καταναλωτές πιο κοντά στην τεχνολογία του IoT.

Επιπλέον η κοινωνική δικτύωση θα περάσει σε νέο στάδιο μέσα από τις δισεκατομμύρια πλέον διασυνδεδεμένες συσκευές. Ανοίγονται πολλές νέες προοπτικές στην οικιακή διαχείριση, οι οποίες με την κατάλληλη ασφάλεια στην μεταφορά πληροφορίας, μπορούν να αλλάξουν ριζικά την καθημερινότητα εκατομμυρίων νοικοκυριών.

Επιχειρησιακή Χρήση

Όταν αναφερόμαστε σε ένα Δίκτυο Πραγμάτων μέσα στα πλαίσια του εργασιακού τομέα ουσιαστικά μιλάμε για εφαρμογές βασισμένες σε ξεχωριστές επιχειρήσεις. Οι συλλεγόμενες από αυτά τα δίκτυα πληροφορίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο από τους διαχειριστές- ιδιοκτήτες του δικτύου ενώ οι πληροφορίες μπορούν να αποστέλλονται τμηματικά και ελεγχόμενα. Η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών ενός εργασιακού χώρου είναι η πλέον συνηθισμένη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας.

Οι αισθητήρες αποτελούσαν ανέκαθεν πολύ βασικό κομμάτι του στησίματος ενός εργοστασίου, για τον έλεγχο της ασφάλειας, των αυτοματισμών, των περιβαλλοντικών συνθηκών κ.α. Με την ανάπτυξη όμως της τεχνολογίας, αυτός ο έλεγχος θα γίνεται ασύρματα, παρέχοντας τη δυνατότητα ευελιξίας στην αλλαγή των ρυθμίσεων ανά πάσα στιγμή. Αυτό όλο αποτελεί ένα μικρό τμήμα IoT που σκοπό έχει την συντήρηση ενός εργοστασίου.

Μία πολύ μεγάλη και αναμενόμενη εφαρμογή του IoT είναι αυτή του έξυπνου περιβάλλοντος. Πολλές λειτουργίες υλοποιούνται προς αυτή την κατεύθυνση και αναμένεται να αυξηθούν στα επόμενα χρόνια. Ο όρος έξυπνο περιβάλλον περιλαμβάνει διάφορα υποσυστήματα που φαίνονται στον Πίνακα [1] που ακολουθεί και περιέχει περιληπτικά τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του κάθε υποσυστήματος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι καθένας από τους παραπάνω ύπο-τομείς καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα δεδομένων τα οποία θα πρέπει να διαμοιραστούν. Ακολουθεί ο Πίνακας [2] στον οποίο παρουσιάζονται οι πιθανές εφαρμογές και κατ' επέκταση τα οφέλη που θα αποκομίσουν διαφορετικές ομάδες από αυτές.

Οι εφαρμογές ομαδοποιούνται ανάλογα με τις περιοχές επιρροής τους. Αυτό περιλαμβάνει την επιρροή στους πολίτες, σε ζητήματα υγείας, ευεξίας και ευημερίας, τις μεταφορές υπό το πρίσμα των επιπτώσεων στην παραγωγικότητα και την μόλυνση καθώς και τις υπηρεσίες στο κομμάτι των κοινωνικών παροχών, που προσφέρονται στους πολίτες και καθορίζονται από κάποια κεντρική διοίκηση.

Smart environment application domains.	Smart home/office	Smart retail	Smart city	Smart agriculture/forest	Smart water	Smart transportation
Network size	Small	Small	Medium	Medium/large	Large	Large
Users	Very few, family members	Few, community level	Many, policy makers, general public	Few, landowners, policy makers	Few, government	Large, general public
Energy	Rechargeable battery	Rechargeable battery	Rechargeable battery, energy harvesting	Energy harvesting	Energy harvesting	Rechargeable battery, Energy harvesting
Internet connectivity	Wifi, 3G, 4G LTE backbone	Wifi, 3G, 4G LTE backbone	Wifi, 3G, 4G LTE backbone	Wifi, satellite communication	Satellite communication, microwave links	Wifi, satellite communication
Data management	Local server	Local server	Shared server	Local server, shared server	Shared server	Shared server
IoT devices	RFID, WSN	RFID, WSN	RFID, WSN	WSN	Single sensors	RFID, WSN, single sensors
Bandwidth requirement	Small	Small	Large	Medium	Medium	Medium/large
Example testbeds	Aware home [29]	SAP future retail center [30]	Smart Santander [31], citySense [32]	SISViA [33]	GBROOS [34], SEMAT [35]	A few trial implementations [36,37]

Πίνακας [1]. Υποσυστήματα «Εξυπνου Περιβάλλοντος

Citizens	
Healthcare	Triage, patient monitoring, personnel monitoring, disease spread modeling and containment—real-time health status and predictive information to assist practitioners in the field, or policy decisions in pandemic scenarios
Emergency services, defense	Remote personnel monitoring (health, location); resource management and distribution, response planning; sensors built into building infrastructure to guide first responders in emergencies or disaster scenarios
Crowd monitoring	Crowd flow monitoring for emergency management; efficient use of public and retail spaces; workflow in commercial environments
Transport	
Traffic management	Intelligent transportation through real-time traffic information and path optimization
Infrastructure monitoring	Sensors built into infrastructure to monitor structural fatigue and other maintenance; accident monitoring for incident management and emergency response coordination
Services	
Water	Water quality, leakage, usage, distribution, waste management
Building management	Temperature, humidity control, activity monitoring for energy usage management, D heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC)
Environment	Air pollution, noise monitoring, waterways, industry monitoring

Πίνακας [2]. Οφέλη από πιθανές εφαρμογές IoT Applications στους διάφορους τομείς

Δημόσιος Τομέας

Η χρήση των πληροφοριών που παρέχονται από αυτά τα δίκτυα αξιοποιείται κυρίως για την βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών και όχι για καταναλωτική χρήση. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ήδη από διάφορες υπηρεσίες για την καλύτερη διαχείριση πόρων προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η σχέση κέρδους- κόστους.

Τα δίκτυα που προορίζονται για αυτή τη χρήση επεκτείνονται σε μεγάλη κλίμακα (περιφερειακής ή ακόμα και εθνικής εμβέλειας) για τον έλεγχο και την παρακολούθηση σημαντικών υπηρεσιών και πόρων. Τα δίκτυα που υποστηρίζουν εφαρμογές τέτοιου μεγέθους ποικίλουν από δίκτυα Wi-Fi μέχρι δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και δορυφορικών επικοινωνιών.

Μια εφαρμογή του IoT που βρίσκει μεγάλο έδαφος και αναγνώριση παγκοσμίως είναι και τα ευφυή δίκτυα. Μπορεί λοιπόν να επιτευχθεί η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, μέσα από τη συνεχή παρακολούθηση κάθε σημείου καταναλώσεως και χρήση της πληροφορίας αυτής για την αλλαγή του τρόπου κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στα πλαίσια μιας πόλης οι πληροφορίες που παρέχονται από τα μικρότερα οικιακά δίκτυα χρησιμοποιούνται στην συντήρηση και στην εξισορρόπηση του φορτίου του δικτύου, εξασφαλίζοντας έτσι υψηλής ποιότητας παρεχόμενες υπηρεσίες.

Αναπτύσσονται παράλληλα εφαρμογές παρακολούθησης της ύδρευσης και της ποιότητας του πόσιμου νερού με τη βοήθεια του IoT. Τοποθετούνται αισθητήρες σε διάφορα σημεία του δικτύου προκειμένου να εξασφαλιστεί η υψηλή ποιότητα της παροχής, κάτι που βοηθά στην αποφυγή μολύνσεων από πιθανές προσμίξεις του συστήματος ύδρευσης με αυτά της αποχέτευσης και της διάθεσης λυμάτων. Το ίδιο σύστημα μπορεί να επεκταθεί και στον τομέα της άρδευσης για την αγροτική παραγωγή μέσω της λήψης πληροφοριών για τις παραμέτρους του εδάφους, που θα επιτρέψει την αυτόματη λήψη αποφάσεων στον τομέα της αγροτικής παραγωγής.

Μεταφορές

Οι μεταφορές αποτελούν ξεχωριστό τομέα εφαρμογής της IoT τεχνολογίας εξαιτίας της φύσης των δεδομένων που συλλέγονται και της ιδιαίτερης επεξεργασίας που χρειάζονται αυτά. Η κίνηση στα μεγάλα αστικά κέντρα συμβάλλει σε πολύ μεγάλο βαθμό στην

ατμοσφαιρική ρύπανση, στον υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον αυξάνει άμεσα το κόστος των οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων σε μία πόλη καθώς οι αλυσίδες εφοδιασμού, η παραγωγικότητα και διάφορες επείγουσες διαδικασίες καθυστερούν δραματικά ή ακόμα και αποτυγχάνουν να υλοποιηθούν.

Η δυναμική επεξεργασία πληροφοριών που αφορούν στην κίνηση θα διευκολύνει τη μεταφορά φορτίων και εμπορευμάτων και θα επιτρέψει τον καλύτερο προγραμματισμό σχετικών διαδικασιών.

Η χρήση του IoT στον τομέα των εφαρμογών θα οδηγήσει στην χρήση δικτύων WSN μεγάλης κλίμακας για την παρακολούθηση των χρόνων αναχώρησης και τη διάρκεια των ταξιδιών, την λήψη αποφάσεων για τη βέλτιστη διαδρομή μέσω αφετηρίας και προορισμού καθώς και την πρόβλεψη των εκπομπών ρύπων και θορύβου.

Δίνεται παράλληλα η δυνατότητα δημιουργίας ενός νέου συστήματος παρακολούθησης της κυκλοφορίας που σε συνδυασμό με άλλους καινοτόμους αλγορίθμους θα παρέχει έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση στο επιβατικό κοινό.

2.5 Σύννεφο Πληροφορίας

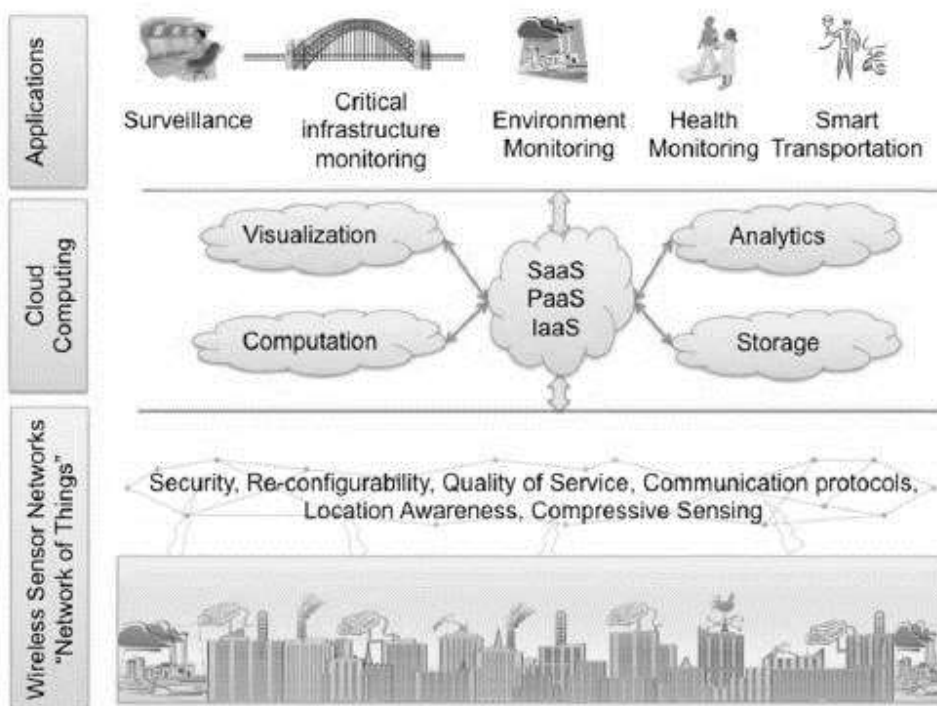
Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να χωριστεί σε δύο μεγάλες υποκατηγορίες, την Διαδίκτυο-κεντρική (Internet Centric) και την Πραγματο-κεντρική (Thing Centric) υποκατηγορία. Η πρώτη αρχιτεκτονική δίνει μεγαλύτερη σημασία στις διαδικτυακές υπηρεσίες συγκεντρώνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες μέσω των αντικειμένων, ενώ η δεύτερη έχει ως κέντρο τα αντικείμενα.

Προκειμένου να γίνουν αντιληπτές όλες οι δυνατότητες του σύννεφου πληροφορίας καθώς και της συλλογής δεδομένων από έξυπνα συστήματα αισθητήρων θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας σκελετός εργασίας που θα έχει στο κέντρο του το σύννεφο. Έτσι θα δοθεί μεγάλη ευελιξία στη διαχείριση κόστους αλλά και η δυνατότητα για περαιτέρω ανάπτυξη του εκάστοτε συστήματος.

Με η χρήση του σύννεφου πληροφορίας γίνεται πολύ πιο εύκολη η συλλογή και επεξεργασία των απαιτούμενων δεδομένων καθώς πλέον οι εργασίες για τη παραγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος θα είναι ανεξάρτητες. Αυτό σημαίνει ότι ο πάροχος των δεδομένων μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο και να αποθηκεύσει τα ζητούμενα δεδομένα ενώ τα εργαλεία επεξεργασίας και διαχείρισης πληροφορίας είναι ανεξάρτητα και μπορούν να προέρχονται από διαφορετικούς developers. Τέλος η οπτικοποίηση της διαδικασίας μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τα γραφικά που θα χρησιμοποιηθούν.

Όλα αυτά έχουν σαν τελικό σκοπό την μετατροπή της απλής μαζικής πληροφορίας σε γνώση και προσφέρονται με τον βέλτιστο τρόπο μέσω του σύννεφου πληροφορίας, το οποίο τα παρέχει ή ως έτοιμη πλατφόρμα είτε ως λογισμικό, επιτρέποντας έτσι την αξιοποίηση της ανθρώπινης δημιουργικότητας και παρέχοντας πληθώρα διαφορετικών υπηρεσιών. Τα δεδομένα που δημιουργούνται, τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται αλλά και ο τρόπος οπτικοποίησης της διαδικασίας είναι απλώς κάποια μέσα που βοηθούν στο να αξιοποιηθούν στο μέγιστο βαθμό οι δυνατότητες του IoT σε διάφορους τομείς.

Στην Εικόνα [3] που ακολουθεί φαίνεται ότι οι υπηρεσίες Cloud μπορούν να συνενώσουν όλες τις πτυχές του Ubicomp καθώς παρέχουν δυνατότητες μαζικής αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων μεγάλης κλίμακας σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας.



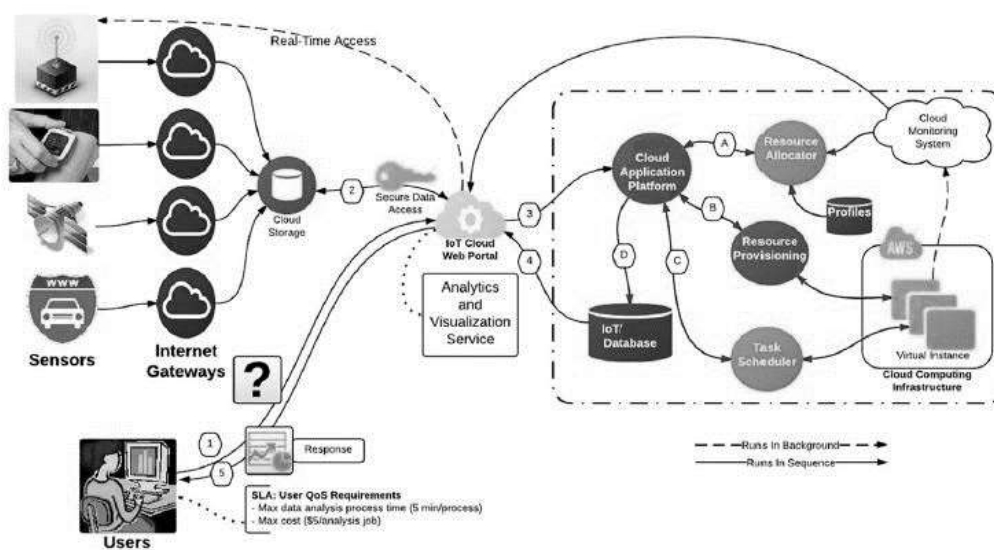
Εικόνα [3]. Υπηρεσίες και εφαρμογές που συνενώνονται στο Cloud

Η εξ αρχής δημιουργία εφαρμογών που θα στηρίζονται στην λειτουργία του σύννεφου πληροφορίας είναι αρκετά περίπλοκη. Για αυτό το λόγο χρειάζεται η ύπαρξη εργαλείων αναπτυγμένων στη λογική του IoT που θα επιτρέπουν την εύκολη ανάπτυξη εφαρμογών σε υποδομές σύννεφου. Για αυτό το λόγο υπάρχουν πλατφόρμες, όπως η Amazon (πληρέστερη ανάλυση θα ακολουθήσει σε επόμενο κεφάλαιο), που προσφέρουν διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (API's) βασισμένες στην λειτουργία του σύννεφου. Έτσι λοιπόν μπορούν πλέον να υποστηριχθούν οι ακόλουθες λειτουργίες :

- Το διάβασμα των ζητούμενων δεδομένων ή απευθείας από τους αισθητήρες είτε από μία βάση δεδομένων.
- Η εύκολη έκφραση των τρόπων ανάλυσης των δεδομένων, μέσω της δημιουργίας απλών συναρτήσεων επεξεργασίας που θα στηρίζονται στις υποδομές του σύννεφου.
- Η γρήγορη ενημέρωση των διαχειριστών, μέσω κάποιου γραφικού περιβάλλοντος, για τις αλλαγές που ανιχνεύονται στο υπό παρακολούθηση σύστημα.

Μέσω αυτών των δυνατοτήτων επιτρέπεται στους προγραμματιστές η πλήρης αξιοποίηση των παρεχόμενων από το Cloud δυνατοτήτων , χωρίς να απαιτείται από αυτούς βαθύτερη και αναλυτικότερη γνώση πληροφοριών χαμηλότερου επιπέδου σχετικών με τη δημιουργία των εφαρμογών αυτών.

Στην Εικόνα[4] που ακολουθεί δίνεται μια γραφική αναπαράσταση του συνολικού τρόπου λειτουργίας του Cloud στα πλαίσια του IoT.



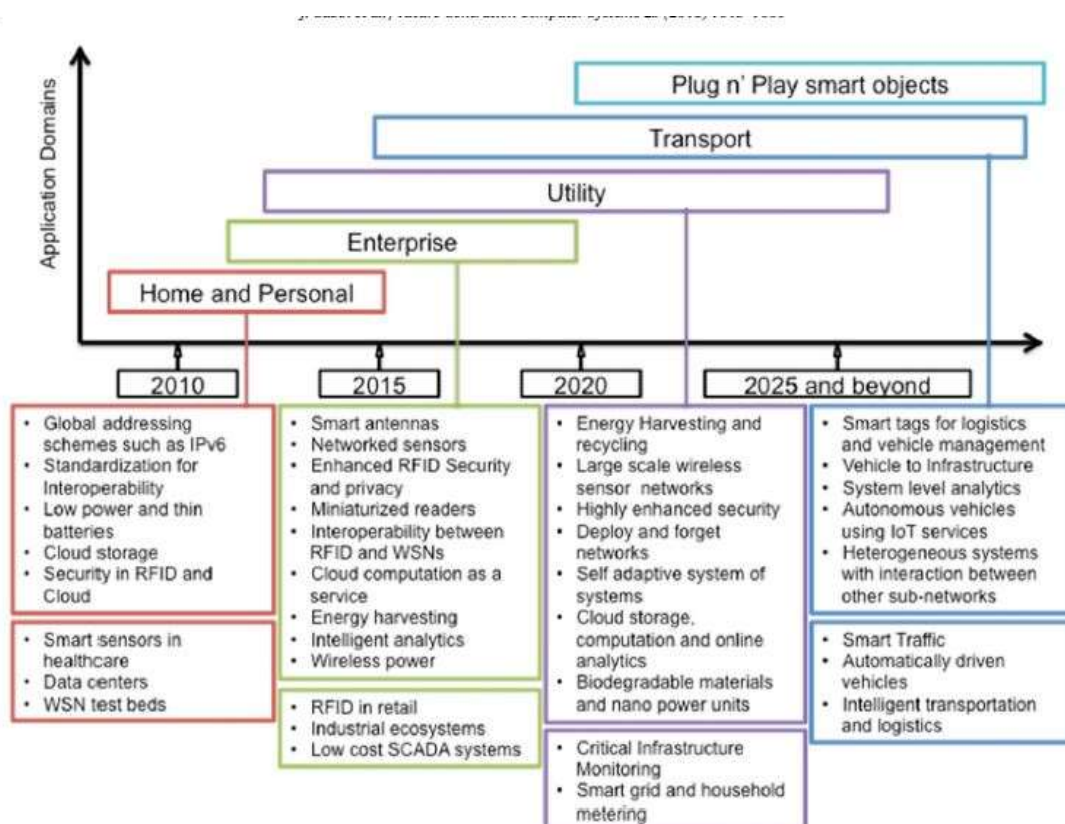
Εικόνα [4]. Λειτουργία του IoT σε συνδυασμό με την τεχνολογία του Cloud

2.6 Μελλοντικές Προβλέψεις

Η χρήση του IoT που βασίζεται στην λογική του σύννεφου περιλαμβάνει αρχιτεκτονικές που βάζουν στο κέντρο τους τον χρήστη και έχουν την ευελιξία να χρησιμοποιούνται διαφορετικά ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες καθώς και να προσαρμόζονται αυτές πάνω σε κάθε διαφορετική εφαρμογή (χρήση δεδομένων, ασφάλεια, ιδιωτικότητα και διαμοιρασμός πληροφοριών).

Ο τομέας αυτός είναι πολλά υποσχόμενος με πολλά πεδία τα οποία έχουν περιθώριο για περαιτέρω ανάπτυξη, τόσο στον τομέα του υλικού όσο και στον τομέα του λογισμικού. Τελικός στόχος είναι η δημιουργία έξυπνων 'Plug n Play' αντικειμένων που θα μπορούν να αναπτυχθούν σε οποιοδήποτε περιβάλλον καθώς και να λειτουργήσουν ομαλά και παράλληλα με άλλα έξυπνα αντικείμενα.

Στην ακόλουθη Εικόνα [5] φαίνεται η αναμενόμενη ανάπτυξη των ήδη υπάρχοντων, αλλά και η δημιουργία νέων, καινοτόμων εφαρμογών του IoT μέσα στα πλαίσια της επόμενης δεκαετίας για τους διαφορετικούς τομείς εφαρμογής .



Εικόνα [5]. Αναμενόμενη ανάπτυξη IoT

Κεφάλαιο 3. Ανάλυση της έννοιας και χρήσης των κανόνων

3.1 Έννοια των Rules

3.1.1 Εισαγωγή στην έννοια των Rules

Οι κανόνες περιγράφουν τη γενική σύνδεση των αιτιών με το αποτέλεσμα («νόμοι»), των καταστάσεων με τις δράσεις («ωθήσεις») και των υποθέσεων με τα συμπεράσματα («επιπτώσεις»). Χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύουν: φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες· ιατρικές οδηγίες· νομικές και επιχειρησιακές πολιτικές· εξαρτημένες εξισώσεις και πιθανότητες· στατιστικούς συσχετισμούς· γραμματικές· λογικές· βάσεις δεδομένων· καθώς και λειτουργικά και λογικά προγράμματα.

Στην επιστήμη των υπολογιστών ορίζουμε τα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες (Rule Based Systems) ως ένα σύνολο από “if-then” εντολές, που δημιουργείται με τη βοήθεια ισχυρισμών, και πάνω στο οποίο στηρίζεται η δημιουργία του συνόλου των κανόνων. Τα συστήματα αυτά είναι αρκετά απλά στην λογική τους καθώς αποτελούνται από απλές συνήθως εντολές, αλλά παράλληλα θέτουν την βάση για την ύπαρξη των “expert systems”, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε αρκετούς τομείς. Η λογική των “expert systems” είναι η αποτύπωση των γνώσεων ενός ειδικού στην διαμόρφωση ενός συστήματος κανόνων. Αυτό σημαίνει ότι στην λήψη ίδιων δεδομένων το σύστημα θα δράσει με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του ειδικού

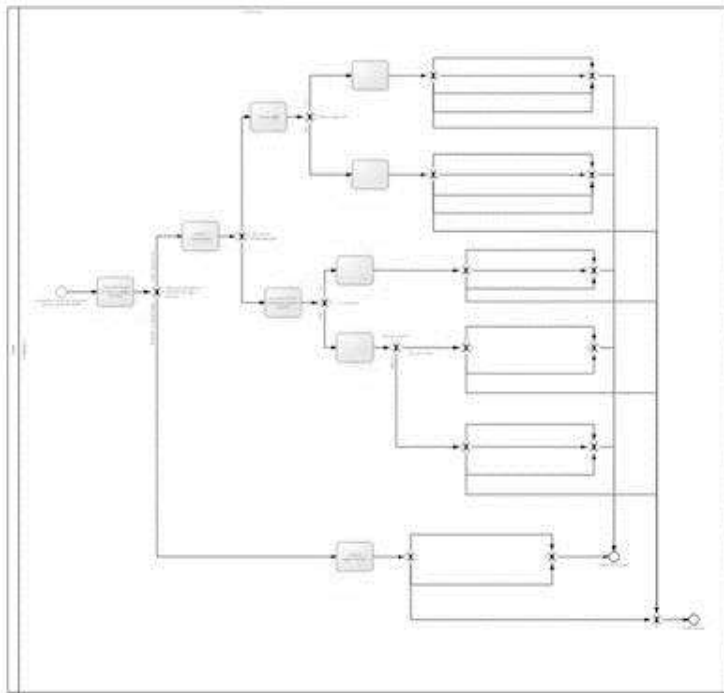
Ενώ η λογική σχέση των εντολών if-then, στο πλαίσιο προγραμμάτων, έχει κωδικοποιηθεί (hard-coded) σε μια ροή ελέγχου, αυτές των συστημάτων κανόνων είναι «soft-coded» σε ένα rulebase (π.χ., ένα σύνολο κανόνων), έτσι ώστε μια rule engine να μπορεί να επιλέξει την κατάλληλη ρύθμιση για τις κλήσεις σε κάθε υπολογιστικό κύκλο. Λόγω των εναλλαγών στην επιλογή και εκτέλεση επαναλαμβανόμενων κανόνων υπάρχει ο κίνδυνος να εκτελεστούν αυθαίρετοι υπολογισμοί. Οι κανόνες λοιπόν αποτελούν τις μικρότερες μονάδες υπολογισμού, οι οποίες μπορούν να συγκεντρώνονται σε μονάδες βάσεων κανόνων.

Πολύ σημαντικές είναι οι (μόνιμα αληθείς) υποθέσεις, της μορφής “if true then conclusion”, γιατί αποτελούν γεγονότα σε μορφή συμπεράσματος που ορίζουν δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των σχεσιακών και αντικειμενοκεντρικών (object centered) δεδομένων (PSOA RuleML) αλλά και παραδειγμάτων/περιπτώσεων στο CBR machine learning.

Οι κανόνες χρησιμοποιούνται για πολλούς διασυνδεδεμένους σκοπούς, καθώς έχουν τη δυνατότητα να αντιλαμβάνονται κανονικότητες σε επικαλυπτόμενες περιοχές εφαρμογής, όπως οι ακόλουθες:

- Μηχανική: Κανόνες σχεδιασμού, διαμόρφωσης και διάγνωσης (επίσης και προσεγγίσεις που στηρίζονται σε μοντέλα που συμμορφώνονται και συνδυάζονται με κανόνες. [3])
- Υπηρεσίες Υγείας: Κανόνες διάγνωσης, κλινικές οδηγίες, προφίλ αυτοβοήθειας (συμπεριλαμβανομένων των MYCIN, SemanticCT, and PatientSupporter).
- Οικονομικά: Κανόνες συμμόρφωσης και εμπορίου, πολιτικές δανείων και επενδύσεων και άλλα (η OMG και η EDM αναπτύσσουν τη FIBO (Financial Industry Business Ontology), για τη λειτουργία της οποίας απαιτούνται κανόνες δεδομένων, δομών και λειτουργικοί).
- Εμπορίου: Επιχειρησιακοί κανόνες (εκδόσεις της XML όπως η Business Rules Markup Language (BRML) της IBM).
- Λήψη Αποφάσεων: Η πρόοδος έχει γίνει από τους πίνακες λήψης αποφάσεων, στα δέντρα λήψης αποφάσεων και εν τέλει στους κανόνες.
- Νομοθεσία: Νομική Λογική (ξεκίνησε από τον Imperial College για την επισημοποίηση του βρετανικού νόμου περί ιθαγένειας καθώς και από άλλες προσπάθειες όπως η WUENIC και η LegalRuleML).
- Ασφάλεια: Ταυτοποίηση Πρόσβασης
- Παιχνίδια (Σοβαρού χαρακτήρα): Στο πεδίο δράσης των (σοβαρών) παιχνιδιών, οι κανόνες συχνά χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των επιτρεπτών κινήσεων καθώς και για τον ευρετικό σχεδιασμό των κινήσεων υψηλής χρησιμότητας.
- Γνωσιακή Αρχιτεκτονικές: Μερικές γνωσιακές αρχιτεκτονικές όπως η Soar στηρίζονται στους κανόνες παραγωγής.

[4]



Εικόνα [6]. Τα συστήματα λήψης αποφάσεων μπορεί να γίνουν πολύ περίπλοκα

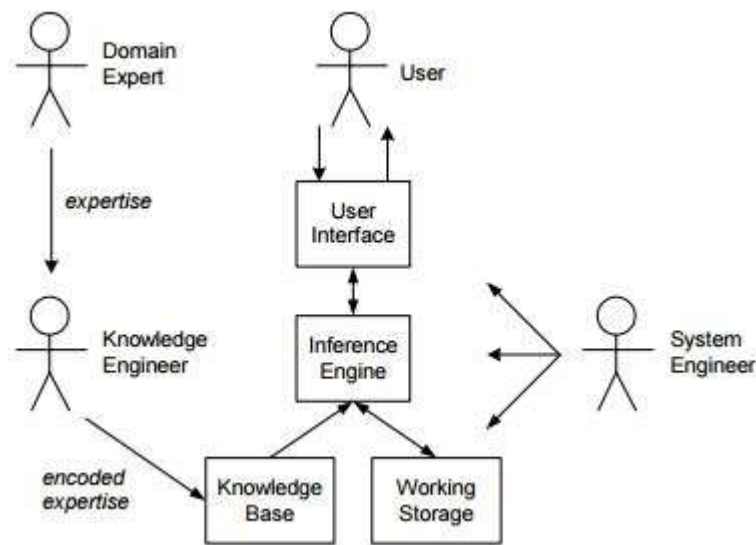
Τα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες είναι σχετικά απλά μοντελοποιημένα και μπορούν να προσαρμοστούν σε πολλά προβλήματα. Όπως σε όλα τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης έτσι και εδώ υπάρχουν περιορισμοί που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πριν αποφασιστεί η χρήση τους για την επίλυση ενός δεδομένου προβλήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί η επίλυση προβλημάτων με αυτόν τον τρόπο πρέπει να ναι της μορφής “if-then” κάτι που περιορίζει τον τρόπο γραφής αλλά και το εύρος του προβλήματος. Εάν υπάρχουν πολλοί κανόνες που διέπουν ένα σύστημα τότε αυτό μπορεί να καταστεί μη αποδοτικό και δύσκολο στην συντήρηση.

Για τη δημιουργία ενός συστήματος επίλυσης ενός ζητήματος βασισμένου σε κανόνες, θα πρέπει να υπάρχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ένα σύνολο δεδομένων για το προς επίλυση πρόβλημα, που θα μπορεί να οριστεί ως αρχική κατάσταση για το σύστημα.
- Ένα σύνολο κανόνων που θα είναι δομημένο αποκλειστικά πάνω στο ζητούμενο πρόβλημα και θα μπορεί να ανταπεξέλθει σε όλα τα πιθανά σενάρια που ίσως

προκύψουν. Το μεγάλο πλήθος των κανόνων επιβαρύνει ένα σύστημα οπότε στόχος είναι η αποφυγή σύνταξης επιπλέον κανόνων που δεν είναι απαραίτητη.

- Μια συνθήκη που θα καθορίζει ότι μία λύση υπάρχει και έχει βρεθεί ή ότι η επίλυση είναι αδύνατη. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο για την αποφυγή ενός ατέρμονα βρόχου που θα προσπαθεί να επιλύσει ένα αδύνατο πρόβλημα.



Εικόνα[7]. Τμήματα ενός συστήματος και ανθρώπινος παράγοντας

3.1.2 Θεωρία των RBS

Τα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες χρησιμοποιούν μια απλή τεχνική έχοντας ως βάση έναν κανόνα ο οποίος περιέχει όλη την απαραίτητη γνώση με δομές «if-then», την μνήμη από αντίστοιχα συστήματα (χωρίς να είναι αναγκαία η ύπαρξη αρχικών δεδομένων που θα διαμορφώνουν μια αρχική κατάσταση).

Το σύστημα εξετάζει όλες τις συνθήκες και βλέπει ποιες ικανοποιούνται, στη συνέχεια καθορίζει τις δυνατές δράσεις, τις οποίες ορίζει σε ένα σύνολο. Οι πιθανές αυτές δράσεις προέρχονται από τους κανόνες των οποίων οι συνθήκες ικανοποιούνται από τα ληφθέντα δεδομένα. Από αυτό των σύνολο των δράσεων πρέπει να πυροδοτηθεί ένας κανόνας, η

επιλογή του οποίου καθορίζεται από την επιλεγμένη από το σύστημα στρατηγική για την εκτέλεση κανόνων.

Όταν η συνθήκη για την ενεργοποίηση ενός κανόνα ικανοποιείται, εκτελούνται όλες οι διαδικασίες που προσδιορίζονται από αυτόν. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να μεταβάλλουν δεδομένα, τμήματα του ίδιου του συστήματος και γενικά οτιδήποτε επιθυμεί και αποφασίζει ο διαχειριστής και δημιουργός αυτού.

Η διαδικασία πυροδότησης κανόνων και των αντίστοιχων δράσεων συνεχίζεται μέχρις ότου ικανοποιηθεί μια από τις ακόλουθες συνθήκες:

- Δεν υπάρχουν άλλοι κανόνες των οποίων οι συνθήκες ενεργοποίησης να ικανοποιούνται.
- Η πυροδότηση κάποιου κανόνα που έχει ως συνέπεια την παύση του προγράμματος.

3.1.3 Στρατηγικές Σχετικές με τα RBS

Ο κανόνας που θα επιλεγεί να εκτελεστεί είναι συνάρτηση της επιλεγμένης στρατηγικής. Μπορεί δηλαδή να είναι συγκεκριμένος για κάθε πρόβλημα ή να αφήνεται στην επιλογή του κάθε χρήστη. Αποτελεί όμως ζωτικής σημασίας επιλογή καθώς προσδιορίζει την προτεραιότητα εκτέλεσης των κανόνων και κατ' επέκταση τη συνολική λειτουργία του συστήματος. Υπάρχουν πολλές στρατηγικές που δίνουν λύση στο παραπάνω πρόβλημα, παρακάτω ακολουθούν οι πιο συνήθεις:

- **Ο πρώτος εφαρμόσιμος (First Applicable):** Εάν οι κανόνες είναι δομημένοι με συγκεκριμένη σειρά τότε ο πρώτος κανόνας που ικανοποιείται είναι και αυτός που θα εφαρμοστεί και θα επηρεάσει τη σειρά εκτέλεσης. Είναι η πλέον απλή στρατηγική. Όμως κρύβει έναν πολύ μεγάλο κίνδυνο, την πιθανότητα του να πέσει το σύστημα σε ατέρμονα βρόχο εκτέλεσης του ίδιου κανόνα. Εάν τα δεδομένα, οι κανόνες και η στρατηγική εκτέλεσης τους μένουν ίδια μετά την εκτέλεση του κανόνα τότε ο κανόνας θα πυροδοτείται επ' άπειρο. Μία απλή τεχνική επίλυσης αυτού το κινδύνου είναι η προσωρινή παύση της ισχύος του κανόνα που εκτελέστηκε μέχρι να αλλάξει κάποιο από τα δεδομένα που τον ικανοποιούν.
- **Τυχαία (Random):** Η τυχαία επιλογή εκτέλεσης από το σύνολο των κανόνων που πυροδοτήθηκαν. Παρόλο που δεν προσφέρει την επιθυμητή προβλεψιμότητα στο

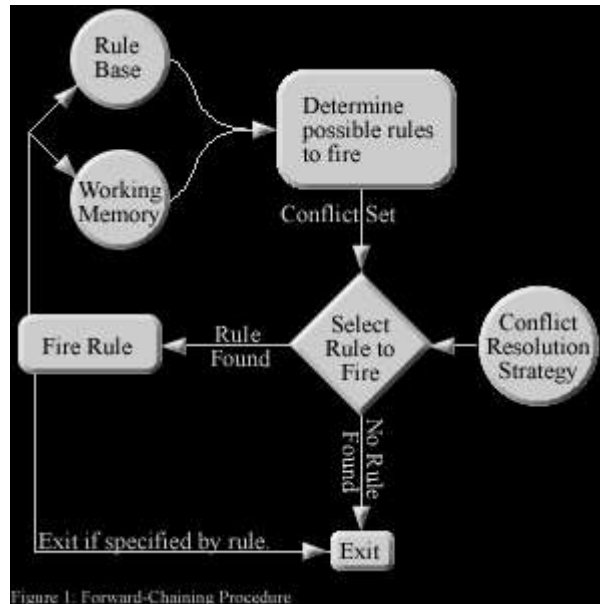
σύστημα, όπως κάνει η πρώτη στρατηγική, η μέθοδος αυτή έχει κάποια πλεονεκτήματα. Αρχικά η μη ύπαρξη προβλεψιμότητας αποτελεί αρκετές φορές όχι μόνο πλεονέκτημα αλλά και απαίτηση για τη δημιουργία ενός συστήματος (π.χ. παιχνίδια).

- **Πιο εξειδικευμένος (Most Specific):** Αυτή η στρατηγική βασίζεται στο πλήθος των συνθηκών που διέπουν κάθε κανόνα. Επιλέγεται μέσω αυτής ο κανόνας, οι περισσότερες συνθήκες του οποίου ικανοποιούνται από τα υπάρχοντα δεδομένα. Βασίζεται στη λογική θεώρηση πως «όσο περισσότερες συνθήκες ικανοποιούνται, τόσο περισσότερη συνάφεια έχει ο κανόνας αυτός με το γεγονός».
- **Ελάχιστα Χρησιμοποιούμενος (Least Recently Used, LRU):** Στηρίζεται στη λογική της κυκλικής εκτέλεσης των κανόνων. Κάθε κανόνας έχει ένα διακριτικό που καθορίζει την χρονική τελευταία εκτέλεση του. Βάσει αυτής της στρατηγικής εκτελείται ο κανόνας που δεν έχει εκτελεστεί πρόσφατα. Αυτή η λογική αυξάνει το πλήθος των κανόνων που εκτελούνται έστω μια φορά στο σύστημα. Είναι ιδανική σε συστήματα που απαιτούν την εκτέλεση όλων των κανόνων για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.
- **Βέλτιστος Κανόνας (Best Rule) :** Για την υλοποίηση αυτής της στρατηγικής απαιτείται η προσθήκη ενός χαρακτηριστικού βάρους σε κάθε κανόνα, το οποίο θα προσδιορίζει την πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί αυτός ο κανόνας έναντι των άλλων εναλλακτικών. Η επιλογή λοιπόν του κανόνα που θα πυροδοτηθεί βασίζεται αποκλειστικά στο βάρος που τον χαρακτηρίζει.

Στη συνέχεια θα περιγραφούν δύο είδη των Συστημάτων Βασισμένων σε Κανόνες (RBS).

- **Forward Chaining:** Όπως έχει οριστεί και παραπάνω τα RBS είναι εξαιρετικά προσαρμόσιμα σε διάφορες κατηγορίες προβλημάτων. Σε ορισμένα από τα προβλήματα που καλούνται να επιλύσουν, οι πληροφορίες δίνονται μέσω των κανόνων και τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης τους ακολουθούν πιστά περιμένοντας το αποτέλεσμα που θα δώσουν. Ένα παράδειγμα από την καθημερινή ζωή είναι η ιατρική διάγνωση στην οποία το πρόβλημα είναι ότι θα πρέπει ο ασθενής να διαγνωστεί η υπάρχουσα ασθένεια λαμβάνοντας πληροφορίες από ένα σύνολο συμπτωμάτων.

Προβλήματα αυτής της φύσεως λύνονται με forward chaining συστήματα που στηρίζουν την πορεία της δράσης τους στα δεδομένα, τα οποία τα συγκρίνουν (IF) με την υπάρχουσα γνώση και καθορίζουν τον κανόνα που θα πυροδοτηθεί.

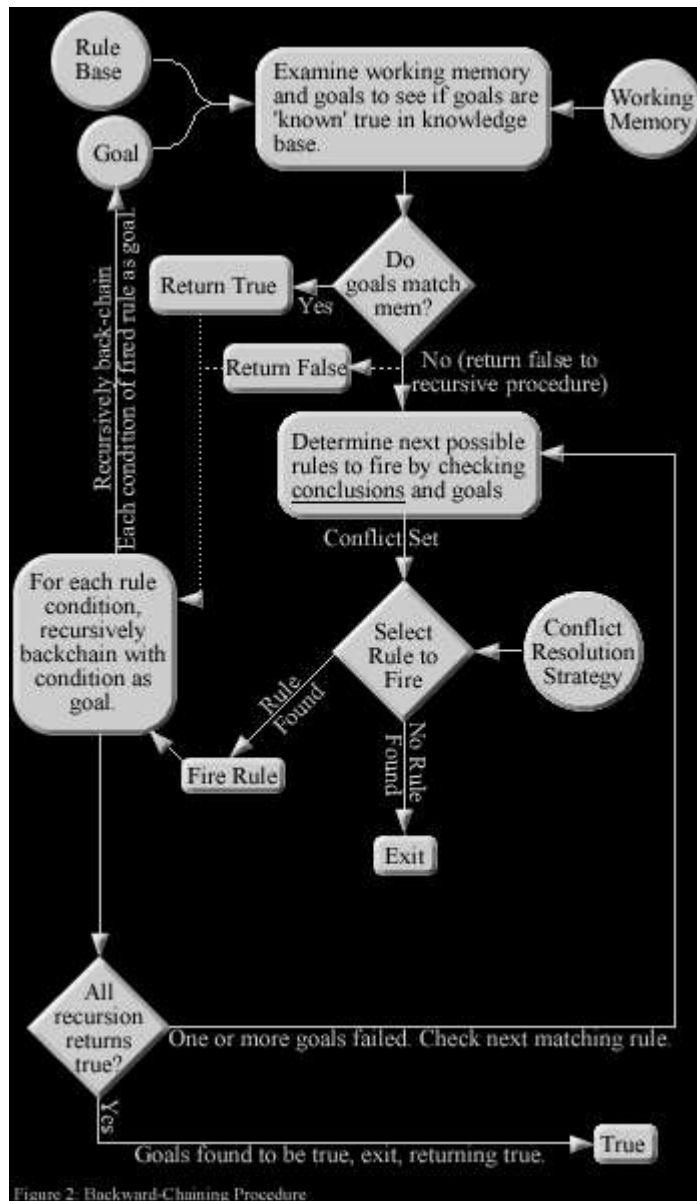


Εικόνα [8]. Διαγραμματική Αναπαράσταση ενός Forward Chaining συστήματος.

- **Backward Chaining:** Σε άλλα προβλήματα ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή προσδιορίζεται ο επιθυμητός στόχος και το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης πρέπει να βρει τον βέλτιστο τρόπο για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Ένα παράδειγμα χρήσης από την καθημερινή ζωή για την καλύτερη κατανόηση αυτής της μεθόδου είναι το ακόλουθο. Εάν μία ασθένεια έχει πάρει μορφή επιδημίας, το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης θα υποθέσει ότι ο ασθενής έχει αυτή τη νόσο και θα προσπαθήσει να επαληθεύσει αυτή τη διάγνωση κοιτώντας τα συμπτώματα. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με τη χρήση της μεθόδου backward chaining.

Με άλλα λόγια ένα σύστημα αυτής της μορφής αναζητά τους κανόνες που πυροδότησαν το αποτέλεσμα – στόχο. Εάν βρεθεί ένας κανόνας που έχει το ζητούμενο αποτέλεσμα τότε το σύστημα θέτει ως νέους στόχους τις συνθήκες αυτού του κανόνα συνεχίζοντας την ίδια διαδικασία μέχρις ότου τα διαθέσιμα δεδομένα να ικανοποιούν όλους τους στόχους ή να τερματίσει χωρίς να μπορεί να βρει κάποιον κανόνα που να ταιριάζει.



Εικόνα [9]. Διαγραμματική αναπαράσταση ενός Backward Chaining συστήματος

Η επιλογή ανάμεσα στις δύο προαναφερθείσες μεθόδους γίνεται ουσιαστικά από το ίδιο το πρόβλημα και τη φύση αυτού. Με μια απλή σύγκριση ανάμεσα στις συνθήκες και τις δράσεις των κανόνων επιτρέπει τον καθορισμό της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί.

- Αν ο μέσος κανόνας έχει περισσότερες συνθήκες από ότι συμπεράσματα τότε ορίζεται ένα σύστημα υποθέσεων που οδηγεί σε περισσότερες ερωτήσεις και η προτεινόμενη μέθοδος είναι αυτή του Forward Chaining.

- Εάν όμως ισχύει το αντίθετο, δηλαδή ο μέσος κανόνας έχει περισσότερα συμπεράσματα από ότι υποθέσεις, κάτι που σημαίνει ότι ένα δεδομένο μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλο αριθμό νέων δεδομένων ή δράσεων, τότε η ιδανική μέθοδος είναι αυτή του Backward Chaining.

Στην περίπτωση που δεν είναι σαφές ποια από τις δύο περιπτώσεις ισχύει, όσον αφορά την επιλογή με τη βοήθεια του μέσου κανόνα, τότε το πλήθος των δεδομένων στην οργάνωση του συστήματος μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή της βέλτιστης μεθόδου.

- Εάν όλα τα δεδομένα είναι ήδη γνωστά και ο στόχος του συστήματος είναι να βρεθεί το αποτέλεσμα όλων αυτών των πληροφοριών τότε η μέθοδος που θα πρέπει να επιλεγεί είναι αυτή του forward chaining.
- Εάν από την άλλη μεριά τα δεδομένα που έχει στη διάθεση του το σύστημα δεν είναι πολλά και σκοπός είναι να βρεθεί εάν ένα από τα πολλά πιθανά συμπεράσματα αληθεύει, τότε συνίσταται η χρήση της backward chaining μεθόδου.

Επειδή η μέθοδος του Forward Chaining είναι πιο συνήθης κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω αναφορά σε αυτήν.

Τα συστήματα που στηρίζονται στην μέθοδο forward chaining, όσο ισχυρά και να είναι αν δομηθούν σωστά έχουν μεγάλο κίνδυνο να γίνουν αρκετά περίπλοκα και δυσκίνητα για προβλήματα μεγάλης κλίμακας. Όσο μεγαλώνει το πλήθος των κανόνων και η πληροφορία σχετικά με αυτούς, η εύρεση λύσης μέσω ελέγχου των συνθηκών όλων των κανόνων μπορεί να γίνει αρκετά περίπλοκη και κοστοβόρα υπολογιστικά. Η πολυπλοκότητα το συστήματος είναι μια εκθετική συνάρτηση του πλήθους των κανόνων και των συνθηκών τους καθώς και των ισχυρισμών πάνω στους οποίους στηρίχθηκε η δομή του συστήματος.

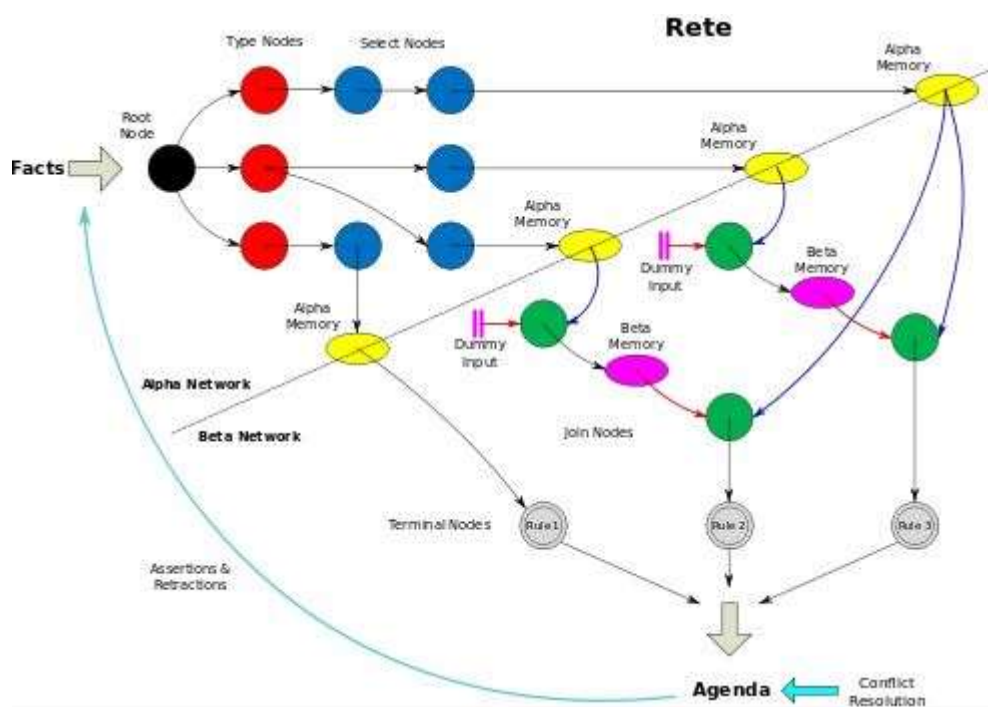
$$\text{Complexity} = R * A^C$$

Όπου

- R το πλήθος των κανόνων (rules)
- A το πλήθος των ισχυρισμών (assertions)
- C το πλήθος των συνθηκών των κανόνων (conditions)

Μέσω αυτής της εκθετικής συνάρτησης λοιπόν καθίσταται σαφές ότι για ένα σύστημα βασισμένο σε πραγματικούς κανόνες η απόδοση θα είναι αρκετά αργή.

Υπάρχουν τρόποι να ελαττωθεί η πολυπλοκότητα αυτής της μορφής κάνοντας έτσι ένα σύστημα αυτής της φύσης πολύ πιο αποδοτικό για χρήση σε πραγματικά προβλήματα. Η πιο αποτελεσματική λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση του αλγόριθμου του Rete (Εικόνα[10]). Η λογική αυτού του αλγορίθμου στηρίζεται την μείωση της πολυπλοκότητας στη μείωση του πλήθους των συγκρίσεων μεταξύ κανόνων, συνθηκών και ισχυρισμών. Προκειμένου να πετύχει κάτι τέτοιο ο αλγόριθμος αποθηκεύει μια λίστα από συναληθεύοντες (ολικά ή μερικά) κανόνες και την αποθηκεύει ως τμήμα του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγει αχρείαστους υπολογισμούς σε ήδη αληθείς (ήδη ενεργοποιημένοι) ή ψευδείς(δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν βάσει των δεδομένων που υπάρχουν) κανόνες. Μόνο όταν υπάρξει αλλαγή στα δεδομένα το σύστημα θα κάνει άλλον έλεγχο για την ύπαρξη άλλων κανόνων προς εκτέλεση. Αυτή η αλλαγή βελτιώνει σημαντικά την πολυπλοκότητα από εκθετική σε γραμμική της μορφής **O(RAC)**.



Εικόνα [10]. Διαγραμματική απεικόνιση του αλγόριθμου του Rete

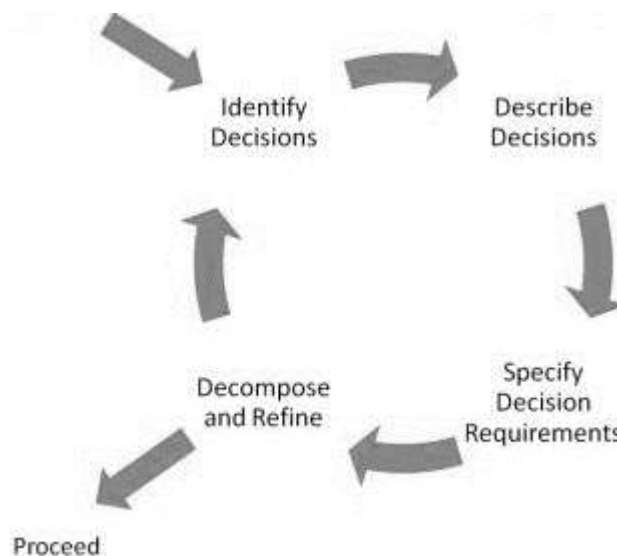
Ο αλγόριθμος αυτός όμως απαιτεί χρήση παραπάνω χώρου μνήμης για την αποθήκευση της κατάστασης του συστήματος μετά από κάθε εκτέλεση κύκλου εργασιών. Η χρήση της

παραπάνω μνήμης είναι αρκετά υπολογίσιμη αλλά φαίνεται ότι είναι ένα αξιοπρεπές τίμημα για την τόσο σημαντική βελτίωση της πολυπλοκότητας.

Αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση του αλγόριθμου του Rete είναι αποδεκτή για μεγάλα συστήματα που ζητείται μεγάλη ταχύτητα και στα οποία η μνήμη δεν διαδραματίζει τόσο σημαντικό ρόλο. Όμως για προβλήματα μικρής κλίμακας στα οποία δεν είναι κρίσιμη η μεγάλη ταχύτητα αλλά η έλλειψη μνήμης, δε συνίσταται η χρήση του. Άλλο ένα μειονέκτημα του αλγόριθμου είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε συστήματα που στηρίζονται στη μέθοδο Forward chaining.

3.2 Σύγκριση Γλωσσών και Εργαλείων υλοποίησης

Παρακάτω θα παρουσιαστούν και θα συγκριθούν διάφορες γλώσσες πρότυπα και εργαλεία υλοποίησης.



Εικόνα[11]. Διαδικασία λήψης αποφάσεων και έναρξη δράσεων

3.2.1 Γλώσσες και Πρότυπα

Οι γλώσσες δημιουργίας κανόνων είναι το όχημα για τη χρήση κανόνων στο διαδίκτυο και άλλα διαμοιρασμένα συστήματα. Επιτρέπουν τη δημιουργία, την ανάπτυξη, την εκτέλεση αλλά και την επικοινωνία των κανόνων σε ένα δίκτυο. Αποτελούν την κοινή γλώσσα που

καθιστά εφικτή την ανταλλαγή κανόνων μεταξύ διαφορετικών δικτύων και εργαλείων. Μία τέτοια γλώσσα ουσιαστικά αποτελεί τον τρόπο σύνταξης των κανόνων του διαδικτύου, συνήθως έχοντας ως βάση τον τρόπο σύνταξης της XML.

Η ουσία όμως είναι ότι τέτοιες γλώσσες θα πρέπει να έχουν ευρεία σύνταξη ώστε να αποτελούν την κοινή βάση για τον ορισμό άλλων γλωσσών που θα βρίσκουν εφαρμογή σε διαφορετικά πεδία. Βασικός στόχος αυτών των γλωσσών είναι η επίτρεψη της δημοσίευσης, ανταλλαγής και επαναχρησιμοποίησης κανόνων.

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η γνωριμία με τις απαραίτητες απαιτήσεις και τα ζητήματα σχεδιασμού για την υλοποίηση των παραπάνω στόχων με τη χρήση αυτών των γλωσσών. Επιπλέον παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά διάφορων σημαντικών γλωσσών αυτής της κατηγορίας, ενώ στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός πίνακα αποτελεσμάτων θα γίνει μια σύγκριση μεταξύ της δημοφιλίας των γλωσσών αυτών που θα βασίζεται σε αναζητήσεις στο διαδίκτυο.

RuleML

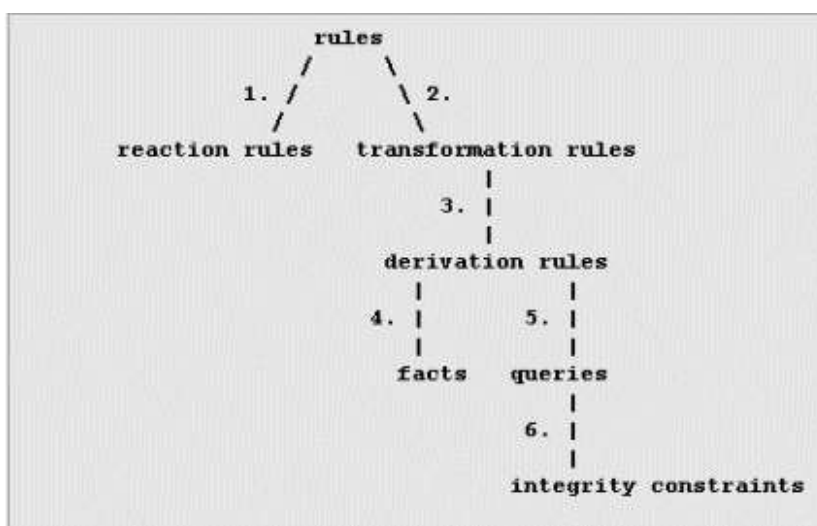
Η Rule Markup Language (RuleML) είναι μια γλώσσα επισήμανσης που αναπτύχθηκε με σκοπό την έκφραση τόσο forward chaining όσο και backward chaining κανόνων που γράφονται σε XML, καθώς και άλλων επαγωγικών μετασχηματιστικών και συμπεριφορικών εργασιών. [5]

Δημιουργήθηκε από την Rule Markup Initiative, ένα δίκτυο που αποτελείται από άτομα και ομάδες τόσο από το χώρο της βιομηχανίας όσο και της ακαδημαϊκής κοινότητας που συνεργάστηκαν για την ανάπτυξη μιας κανονικής γλώσσας διαδικτύου για διαμόρφωση κανόνων (Web language for rules) που χρησιμοποιεί XML πρότυπα και μετατροπές από ή σε άλλα πρότυπα ή συστήματα κανόνων. Διαμορφώνει ένα δομημένο και ιεραρχικό σύνολο προδιαγραφών για διαφορετικούς τύπους κανόνων λαμβάνοντας παράλληλα υπ' όψιν δεδομένα, ερωτήματα, κανόνες παραγωγής και συμπεριφορικούς. [6]

Η RuleML επιτρέπει στους κανόνες να εκφραστούν ως συστατικά αποτελούμενα από υπομονάδες (modular components) με ένα δηλωτικό τρόπο, και κάνει χρήση διακριτών, τυποποιημένων ετικετών XML για να ορίσει μια βάση κανόνων, που αποτελείται από γεγονότα και κανόνες. [7]

Η RuleML περιλαμβάνει μία ιεραρχία κανόνων, που περιλαμβάνει τους αντιδραστικούς κανόνες (reaction rules) (γεγονός-συνθήκη-ενέργεια), τους κανόνες μετασχηματισμού (transformation rules) (λειτουργικοί-εξισωτικοί κανόνες), τους κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων (derivation rules) (επαγωγικοί-συμπερασματικοί κανόνες), κανόνες που εξειδικεύονται σε γεγονότα (κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων χωρίς προϋποθέσεις) και ερωτήματα (queries) (κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων χωρίς συμπεράσματα), όπως επίσης και περιορισμούς ακεραιότητας (integrity-constraints) (κανόνες διατήρησης-συνέπειας).

Η ιεραρχία των γενικών κανόνων της RuleML διακλαδώνεται σε δύο βασικές κατηγορίες, στους αντιδραστικούς κανόνες (reaction rules) και στους κανόνες μετασχηματισμού (transformation rules). Στο επόμενο επίπεδο, οι κανόνες μετασχηματισμού εξειδικεύονται στην υποκατηγορία των κανόνων εξαγωγής συμπερασμάτων. Τότε, οι κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων έχουν και άλλες υποκατηγορίες, δηλαδή, τα γεγονότα και τα ερωτήματα. Τελικά, τα ερωτήματα εξειδικεύονται σε περιορισμούς ακεραιότητας (integrity constraints). Περισσότερες υποδιαίρεσεις είναι υπό μελέτη, ιδίως στους αντιδραστικούς κανόνες (reaction rules). Η ιεραρχία των κανόνων στη RuleML φαίνεται γραφικά στην Εικόνα[12] που ακολουθεί.



Εικόνα[12]. Ιεραρχία κανόνων στη RuleML

Όσον αφορά την κατεύθυνση εφαρμογής των κανόνων κάθε κατηγορίας ισχύουν τα εξής:

- Οι αντιδραστικοί κανόνες μπορούν να εφαρμοστούν με φυσικό τρόπο μόνο με προς τα εμπρός κατεύθυνση, παρατηρώντας ή ελέγχοντας γεγονότα ή συνθήκες αντίστοιχα

και εκτελώντας μία ενέργεια, αν και όταν όλα τα γεγονότα ή οι συνθήκες ικανοποιούνται.

- Στους κανόνες μετασχηματισμού, από την άλλη, η προς τα πίσω κατεύθυνση προτιμάται.
- Οι κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων μπορούν να εφαρμοστούν εξίσου και στην προς τα εμπρός κατεύθυνση, όπως επίσης και στην προς τα πίσω κατεύθυνση, στη δεύτερη περίπτωση απλοποιώντας την απόδειξη ενός στόχου (συμπεράσματος) σε απόδειξη όλων των υποστόχων του (προϋποθέσεις). Εφόσον σε διαφορετικές καταστάσεις, ίσως εφαρμοστεί και διαφορετική κατεύθυνση των κανόνων εξαγωγής συμπερασμάτων (προς τα εμπρός, προς τα πίσω ή συνδυασμός τους), η RuleML δεν καθορίζει κανέναν από αυτούς.
- Για τα γεγονότα ή τις «προτάσεις-μονάδες», δεν είναι καθορισμένη η κατεύθυνση της εφαρμογής.
- Στην περίπτωση των ερωτημάτων ισχύουν τα εξής: όπως και οι στόχοι με κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω, αποδεικνύονται με κατεύθυνση προς τα πίσω, αλλά μπορούν επίσης να αποδειχθούν και με κατεύθυνση προς τα μπρος μέσω επεξεργασίας από κάτω προς τα πάνω.
- Οι περιορισμοί ακεραιότητας έχουν συνήθως προς τα μπρος κατεύθυνση, δηλαδή ενεργοποιούνται από γεγονότα ενημέρωσης, κυρίως για λόγους απόδοσης. Αλλά μπορούν να έχουν και προς τα πίσω κατεύθυνση, όταν προσπαθούν να δείξουν (α)συνέπεια ικανοποιώντας συγκεκριμένες συνθήκες (χωρίς την ανάγκη για αναγνώριση κάποιου γεγονότος).

Πολλές γλώσσες κανόνων που έχουν αναπτυχθεί για χρήση στο διαδίκτυο, σχεδιάστηκαν ώστε να ενσωματώσουν τη RuleML.

SWRL

Η SWRL (Semantic Web Rule Language) δημιουργήθηκε από τον συνδυασμό των γλωσσικών υποκατηγοριών της OWL (OWL DL και Lite) και της RuleML (Unary/Binary Datalog).

Η γλώσσα κατατέθηκε στο W3C (World Wide Web Consortium), το οποίο αποτελεί την Κοινοπραξία του Παγκοσμίου Ιστού και είναι η κύρια οργάνωση διεθνών προτύπων για το

Παγκόσμιο Ιστό, τον Μάιο του 2004 και αποτέλεσε μία συνεργασία του Εθνικού Ερευνητικού Συμβουλίου του Καναδά, του Πανεπιστήμιο του Στανφορντ καθώς και άλλων επιτροπών .

Σε σύγκριση με προγράμματα περιγραφικής λογικής (Description Logic Programs, DLP), που αποτελούν μια αρχική πρόταση για υλοποίηση περιγραφών και κανόνων του Horn από μια ομάδα συγγραφέων, η SWRL ακολουθεί μια αντίθετη λογική υλοποίησης. Ενώ τα DLP μπορούν να οριστούν ως η διασταύρωση μεταξύ της περιγραφικής λογικής και των κανόνων του Horn, η SWRL θεωρείται ουσιαστικά ένας τρόπος συνένωσης τους. Το αποτέλεσμα που προκύπτει μέσω του DLP είναι μία γλώσσα η οποία δεν είναι πολύ χρηστική καθώς η μορφή των εξαγόμενων της είναι σχετικά περίπλοκη, χωρίς να μπορεί κανείς να διακρίνει εύκολα τους περιορισμούς της που προέρχονται από τον μετασχηματισμό Lloyd-Toror [8]. Από την άλλη μεριά έχει τη δυναμικότητα της OWL DL, όμως έχει το μειονέκτημα της προσθήκης κανόνων που πολλές φορές δεν οδηγούν σε κάποιο αποτέλεσμα ή έχουν ελλιπή υλοποίηση. Παρόλα αυτά η πλατφόρμα υλοποίησης της SWRL (SWRL Tab of Protégé) έχει γίνει αρκετά δημοφιλής. [9]

Οι κανόνες που δημιουργούνται με τη βοήθεια της SWRL έχουν μια μορφή σύνδεσης μεταξύ μιας προϋπάρχουσας συνθήκης(κυρίως σώμα- body) και ενός αποτελέσματος-συνέπειας(κεφαλή- head), η λογική έκφραση που ορίζει έναν κανόνα μπορεί να υπάρχει και στις δύο πλευρές. Ακολουθείται δηλαδή η κλασσική λογική πρώτης τάξεως, η οποία εκφράζεται ως: 'όταν ισχύουν οι συνθήκες που ορίζονται από το κυρίως σώμα τότε πρέπει να ισχύουν και οι συνθήκες που προσδιορίζονται από την κεφαλή. [6]

R2ML

Η δημιουργία της R2ML είναι αποτέλεσμα μίας εργασίας του EU Network of Excellence REVERSE. Αφορά το σχεδιασμό κανόνων ολοκλήρωσης και παραγωγίσης χρησιμοποιώντας ως βάση τη RuleML και την SWRL. Παρέχει ένα πλαίσιο για κανόνες παραγωγίσης, ολοκλήρωσης, παραγωγής, και αντίδρασης. Οι κανόνες ορίζονται με τη βοήθεια του MOFF/UML, ένα υποσύνολο της κλάσης γλωσσών UML για υλοποίηση κανόνων που έχει αναπτυχθεί από την OMG (Object Management Group) για το 'meta-modeling'. Για αυτό το σύνολο των γλωσσών η σύνταξη κανόνων γίνεται με την εφαρμογή μιας διαδικασίας

χαρτογράφησης για τη δημιουργία των αντίστοιχων γλωσσών από τα ανάλογα σχήματα υλοποίησης. [10]

Schematron

Η Schematron αποτελεί μία γλώσσα 'επικύρωσης' που στηρίζεται σε κανόνες, χρησιμοποιείται για την δημιουργία ισχυρισμών σχετικά με την ύπαρξη ή όχι προτύπων σε δέντρα της XML. Είναι μια γλώσσα δόμησης σχημάτων που εκφράζονται σε XML και η οποία χρησιμοποιεί περιορισμένο πλήθος στοιχείων και το λεγόμενο XPath.

Για συνηθισμένες υλοποιήσεις η Schematron schema XML παίρνει τη μορφή κανονικού κώδικα XSLT (EXtensible Stylesheet Language Transformations) για την ανάπτυξη εφαρμογών σε όλα τα πεδία χρήσης της XSLT.

Η Schematron έχει τη δυνατότητα να εκφράζει περιορισμούς με τέτοιο τρόπο, που άλλες γλώσσες, όπως η XML Schema και η DTD, αδυνατούν. Για παράδειγμα μπορεί να απαιτήσει το περιεχόμενο ενός στοιχείου του δέντρου να ορίζεται και να ελέγχεται από αυτό ενός 'αδερφού' στοιχείου. Επίσης μπορεί να απαιτήσει την ύπαρξη διαφόρων χαρακτηριστικών στη ρίζα του δέντρου αυτού. Ενώ παράλληλα μπορεί να προσδιορίσει τις απαραίτητες σχέσεις ανάμεσα σε διάφορα αρχεία XML.

Οι περιορισμοί και το περιεχόμενο των κανόνων μπορεί να διορθωθεί με μηνύματα λάθους που είναι όμως γραμμένα, σε αντίθεση με άλλες γλώσσες σε απλή και κατανοητή από το χρήστη γλώσσα ('plain- English'), επιτρέποντας έτσι την εύκολη διόρθωση σφαλμάτων. [11]
[12]

PRR

Η Production Rule Representation (PRR) είναι ένα πρότυπο που έχει αναπτυχθεί από την OMG, πλέον τμήμα της BMI (Business Modeling and Integration), για την ανάπτυξη κανόνων σε UML για χρήση σε συστήματα κανόνων που βασίζονται σε μεθόδους forward chaining.

Παρόλο που τα πρότυπα της OMG παραδοσιακά χρησιμοποιούνται για μοντελοποίηση εργασιών λογισμικού (software modeling) η χρήση του PRR προσανατολίστηκε στο κομμάτι των επιχειρησιακών συστημάτων και διεργασιών αυτοματισμού. Συμμορφώνεται πλήρως με

τις αρχιτεκτονικές που έχουν αναπτυχθεί από την OMG, παρέχοντας μια εναλλακτική πρόταση που προσφέρει μια εύχρηστη απεικόνιση επιχειρησιακών κανόνων που θα καθορίζουν τη συμπεριφορά (δράσεις) στα μοντέλα και συστήματα που αναπτύσσονται. Οι περισσότεροι πάροχοι που συμμετέχουν στην υλοποίηση αυτού του προτύπου παρέχουν δικές τους απεικονίσεις κανόνων, κάτι που έχει χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάπτυξη αυτού του προτύπου. [13]

Η δομή και η λειτουργία του PRR καθορίστηκε από πρωτοπόρες, στον τομέα της αγοράς, rule engines όπως η Computer Associates, η Fair Isaac και η ILOG και προσφέρει προτάσεις για:

- Ένα μετα-μοντέλο συμμορφωμένο με το πρότυπο MOF2 (Meta Object Family), με ακριβή δυναμική σημασιολογία για την αναπαράσταση κανόνων παραγωγής, όπου ως κανόνες παραγωγής ορίζονται οι κανόνες που εκτελούνται από μια μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων (κομμάτι των expert systems δομημένο με κανόνες τεχνητής νοημοσύνης). Αυτό το μετα-μοντέλο έχει ως σκοπό την υποστήριξη μιας γλώσσας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε UML μοντέλα για την λεπτομερή αναπαράσταση των κανόνων παραγωγής, ως ορατά, ξεχωριστά και πρωτεύοντα στοιχεία της δομής ενός τέτοιου μοντέλου.
- Ένα XMI WeC XML Schema Description (xsd) για κανόνες παραγωγής, το οποίο βασίζεται στο προαναφερθέν μετα-μοντέλο και έχει ως σκοπό την ανταλλαγή κανόνων παραγωγής ανάμεσα σε διαφορετικά εργαλεία υλοποίησης και μηχανές εξαγωγής συμπερασμάτων.
- Ένα παραδειγματικό συντακτικό που συμμορφώνεται με το προαναφερθέν μοντέλο, για την έκφραση κανόνων παραγωγής σε μοντέλα UML. Το οποίο δεν πρέπει να θεωρείται κανονικό.

Το PRR το οποίο υποστηρίζεται από μια ευρεία κοινοπραξία κανόνων παραγωγής, προτάθηκε από την OMG ως ένα νέο πρότυπο και έχει τους εξής στόχους :

- Την επιτάχυνση της υιοθέτησης των συστατικών των κανόνων παραγωγής από καθημερινά συστήματα λογισμικού.
- Τη βελτίωση της μοντελοποίησης των κανόνων παραγωγής, σεβόμενο τους κανόνες της UML.

- Την ύπαρξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών μηχανών παραγωγής κανόνων. [14]

SBVR

Η SBVR (Semantics of Business Vocabulary and Business Rules) αποτελεί ένα πρότυπο της Object Management Group (OMG), που ως σκοπό έχει να αποτελέσει τη βάση για μια επίσημη και λεπτομερή φυσική γλώσσα, που θα περιγράφει πολύπλοκες οντότητες όπως αυτή μιας επιχείρησης. Δημιουργήθηκε για να κανονικοποιεί περίπλοκους κανόνες, όπως είναι οι λειτουργικοί κανόνες μιας εταιρείας, η πολιτική ασφαλείας και η συμμόρφωση προτύπων. Τέτοια συντακτικά και οι κανόνες που δημιουργούνται μέσα από αυτά, μπορούν να ερμηνευτούν και να χρησιμοποιηθούν από διάφορα υπολογιστικά συστήματα. Το SBVR είναι σημαντικό τμήμα της οδηγούμενης από μοντέλα αρχιτεκτονικής (model-driven architecture, MDA) της OMG.

Το SBVR βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στον κλάδο των επιχειρήσεων και των κανόνων που διέπουν όλων των ειδών τις επιχειρησιακές δραστηριότητες πολλών κλάδων. Προσφέρει τη δυνατότητα ξεκάθਾਰου, νοηματο-κεντρικού (meaning-centric), πολύγλωσσού και σημασιολογικά πλούσιου ορισμού εννοιών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στον κλάδο των επιχειρήσεων, της βιομηχανίας και διάφορων άλλων οργανισμών.

Αυτό το πρότυπο έχει τη βέλτιστη εφαρμογή του στον κλάδο των εταιρειών και όχι σε αυτόν των αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Έχει σχεδιαστεί προκειμένου να χρησιμοποιείται για επιχειρησιακούς σκοπούς, χωρίς να εξαρτάται από άλλα πληροφοριακά συστήματα, προκειμένου να εξυπηρετεί τους ακόλουθους στόχους :

- Να προσφέρει έναν σαφή ορισμό της έννοιας των επιχειρηματικών ιδεών και κανόνων, που θα ναι συνεπής σε όλους τους όρους τα ονόματα και τις λοιπές περιγραφές και αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται για να τους εκφράσουν. Λαμβάνει επίσης υπ' όψιν και τις φυσικές γλώσσες στις οποίες εκφράζονται αυτοί οι ορισμοί, προκειμένου να αποφευχθεί πιθανή σύγχυση από μη ειδικούς στον τομέα των επιχειρήσεων.
- Την αποφυγή της σύγχυσης μεταξύ εννοιών. Αυτό καθίσταται εφικτό μέσω της έκφρασης των νοημάτων, των εννοιών και των επιχειρηματικών κανόνων με τρόπο

παρεμφερή με αυτόν που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, ανεξάρτητα από το κοινωνικό πλαίσιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μία έκφραση να συνδέεται αποκλειστικά με μία έννοια ορισμένη σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο.

- Την μετατροπή των νοημάτων και των επιχειρηματικών κανόνων, όπως εκφράζονται στη φυσική γλώσσα, σε μορφές που θα είναι κατάλληλες για επεξεργασία από διάφορα εργαλεία, αλλά και το αντίστροφο.
- Την ερμηνεία των εννοιών και των επιχειρηματικών κανόνων, προκειμένου να ανακαλυφθούν πιθανές ασυνέπειες και κενά σε ένα Μοντέλο Περιεχοχόμενου SBVR (SBVR Content Model), η οποία πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τεχνικές που στηρίζονται στη λογική (logic-based).
- Την εφαρμογή των εννοιών αυτών και των επιχειρηματικών κανόνων σε υπαρκτές επιχειρήσεις του πραγματικού κόσμου, προκειμένου να γίνουν διακριτές οι αποδοτικές αποφάσεις και να εντοπιστεί η συμμορφούμενη και μη επιχειρηματική συμπεριφορά.
- Την ανταλλαγή των εννοιών και των επιχειρηματικών κανόνων μεταξύ ανθρώπων και εργαλείων ή ανάμεσα σε διαφορετικά εργαλεία , χωρίς να υπάρχει κίνδυνος για απώλεια πληροφοριών που αφορούν την ουσία αυτών των εννοιών.

[15] [16]

Prolog

Υπάρχει μια μικρή σημασιολογική διαφορά μεταξύ του κώδικα που έχει συνταχθεί σε Prolog και των λογικών προδιαγραφών ενός πρόγραμμα. Αυτό σημαίνει ότι η περιγραφή ενός τμήματος του κώδικα, και ο κώδικας είναι σχετικά παρόμοιες. Λόγω του μικρού αυτού σημασιολογικού χάσματος , τα παραδείγματα κώδικα είναι μικρότερα και πιο συνοπτικά από ό, τι θα μπορούσαν να είναι σε μια άλλη γλώσσα.

Η εκφραστικότητα της Prolog οφείλεται σε τρία κύρια χαρακτηριστικά της γλώσσας:

- το γεγονός ότι βασίζεται σε κανόνες,
- το ότι περιλαμβάνει ενσωματωμένη αντιστοίχιση μοτίβων (pattern matching),
- και ότι έχει τη δυνατότητα για αντίστροφη εκτέλεση (backtracking execution).

Ο προγραμματισμός που βασίζεται σε κανόνες επιτρέπει στον κώδικας του προγράμματος να γράφεται σε μια μορφή που είναι περισσότερο δηλωτική παρά διαδικαστική. Αυτό γίνεται εφικτό μέσω του pattern matching και του backtracking τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα κομψής υλοποίησης διαφορετικών expert systems. [17]

Datalog

Η Datalog είναι μια γλώσσα ερωτήσεων και κανόνων για λογικές βάσεις δεδομένων (deductive databases), η οποία συντακτικά είναι υποσύνολο της Prolog. Υπάρχει από τα πρώτα χρόνια του λογικού προγραμματισμού αλλά έγινε γνωστή σαν ξεχωριστό πεδίο το 1977 όταν ο Hervé Gallaire και ο Jack Minker οργάνωσαν ένα workshop σχετικά με τη λογική και τις βάσεις δεδομένων. Ο David Maier συνέλαβε την ονομασία Datalog.

Η αποτίμηση των ερωτήσεων στη Datalog βασίζεται στη λογική πρώτου βαθμού και επομένως είναι συνεπής και πλήρης. Μπορεί να εκτελεστεί αποδοτικά ακόμα και για μεγάλες βάσεις δεδομένων και ακολουθεί στρατηγικές προς τα επάνω (bottom-up).

Σε αντίθεση με την Prolog:

- δεν επιτρέπει πολύπλοκους όρους σαν ορίσματα σε κατηγορήματα.
- επιβάλλει κάποιους περιορισμούς διαστρωμάτωσης (stratification) στη χρήση της άρνησης και της αναδρομής.
- επιτρέπει μόνο μεταβλητές περιορισμένου εύρους, δηλαδή κάθε μεταβλητή στο συμπέρασμα ενός κανόνα πρέπει επίσης να εμφανίζεται σε μια πρόταση χωρίς άρνηση στις προϋποθέσεις του κανόνα.

Λόγω αυτών των κανόνων το σύνολο όλων των πιθανών αποδείξεων είναι πεπερασμένο και όλα τα προγράμματα σε Datalog τερματίζουν (σε αντίθεση με τα προγράμματα σε Prolog). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι εντολές και τα κατηγορήματα ενός προγράμματος μπορούν να δοθούν με οποιαδήποτε σειρά (πάλι σε αντίθεση με την Prolog). Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για την αποδοτική εκτέλεση ερωτήσεων, π.χ. ο αλγόριθμος Magic Sets, ή ο λογικός προγραμματισμός με πίνακες.

Συστήματα Datalog βρίσκονται πίσω από εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων όπως η βάση δεδομένων της Intellidimension για το σημασιολογικό ιστό. Επιπλέον, κάποια δημοφιλή

συστήματα βάσεων δεδομένων περιλαμβάνουν ιδέες και αλγόριθμους που αναπτύχθηκαν για τη Datalog. Για παράδειγμα το πρότυπο SQL:1999 περιλαμβάνει αναδρομικές ερωτήσεις και ο αλγόριθμος Magic Sets (που αρχικά αναπτύχθηκε για τη γρηγορότερη αποτίμηση των ερωτήσεων της Datalog) έχει υλοποιηθεί στην DB2 της IBM.

Δύο επεκτάσεις της Datalog επιτρέπουν τη χρήση αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού και την πράξη 'or' (σύζευξη, disjunction) σαν κεφαλή των προτάσεων. Και οι δύο επεκτάσεις αυτές έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον ορισμό της σημασιολογίας της Datalog και στην υλοποίηση ενός διερμηνέα Datalog για αυτήν. [18]

SQL

Η SQL (Structured Query Language) είναι μία γλώσσα υπολογιστών στις βάσεις δεδομένων, που σχεδιάστηκε για τη διαχείριση δεδομένων, σε ένα σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων (Relational Database Management System, RDBMS) και η οποία, αρχικά, βασίστηκε στη σχεσιακή άλγεβρα. Η γλώσσα περιλαμβάνει δυνατότητες ανάκτησης και ενημέρωσης δεδομένων, δημιουργίας και τροποποίησης σχημάτων και σχεσιακών πινάκων, αλλά και ελέγχου πρόσβασης στα δεδομένα. Η SQL ήταν μία από τις πρώτες γλώσσες για το σχεσιακό μοντέλο του Edgar F. Codd, στο σημαντικό άρθρο του το 1970, και έγινε η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη γλώσσα για τις σχεσιακές βάσεις δεδομένων.

Η SQL αναπτύχθηκε στην IBM από τους Andrew Richardson, Donald C. Messerly και Raymond F. Boyce, στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Αυτή η έκδοση, αποκαλούμενη αρχικά SEQUEL, είχε ως σκοπό να χειριστεί και να ανακτήσει τα στοιχεία που αποθηκεύτηκαν στο πρώτο RDBMS της IBM, το System R.

Το πρώτο σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων (RDBMS) ήταν το RDMBS που αναπτύχθηκε στο MIT, στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και η Ingres, που αναπτύχθηκε το 1974 στο Πανεπιστήμιο Μπέρκλεϋ. Η Ingres εφάρμοσε μία γλώσσα διατύπωσης ερωτήσεων γνωστή ως QUEL, το οποίο αντικαταστάθηκε αργότερα στην αγορά από την SQL.

Προς το τέλος της δεκαετίας του 70 η Relational Software (τώρα Oracle Corporation) είδε τη δυνατότητα αυτών που περιγράφηκαν από Codd, Chamberlin, και Boyce και αναπτύξε την SQL βασισμένο στο RDBMS, με τις φιλοδοξίες πώλησης του στο Αμερικανικό ναυτικό, την Κεντρική Υπηρεσία Πληροφοριών και άλλες Αμερικανικές Υπηρεσίες.

Το καλοκαίρι του 1979, η Relational Software εισήγαγε την πρώτη διαθέσιμη στο εμπόριο εφαρμογή του SQL και νίκησε την IBM με τη διάθεση του πρώτου εμπορικού RDBMS για μερικές εβδομάδες.

Η γλώσσα SQL υποδιαιρείται σε διάφορα γλωσσικά στοιχεία, που περιλαμβάνουν

- **Clauses**, οι οποίες είναι σε μερικές περιπτώσεις προαιρετικές, αλλά απαραίτητα συστατικά των δηλώσεων και ερωτήσεων.
- **Expressions** που μπορούν να παραγάγουν είτε τις κλιμακωτές τιμές είτε πίνακες που αποτελούνται από στήλες και σειρές στοιχείων.
- **Predicates** που διευκρινίζουν τους όρους που μπορούν να αξιολογηθούν σαν σωστό ή λάθος.
- **Queries** που ανακτούν τα στοιχεία βασισμένες σε ειδικά κριτήρια.
- **Statements** που μπορούν να έχουν μια επίδραση στα σχήματα και τα στοιχεία, ή που μπορούν να ελέγξουν τη ροή του προγράμματος και τις συνδέσεις από άλλα προγράμματα.
- Το κενό αγνοείται γενικά στις Statements και τις Queries SQL. Ένα κενό είναι όμως απαραίτητο για να ξεχωρίζει Statements όπως και στην κανονική γραφή κειμένων.

[19]

W3C RIF

Το W3C πρότυπο ανταλλαγής κανόνων (Rule Interchange Format Working Group, RIF) αποτελεί μία προσπάθεια, με έντονες επιρροές από τη RuleML, προσδιορισμού ενός συγκεκριμένου RIF για την υλοποίηση της ανταλλαγής συνόλων κανόνων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων καθώς και για την ανάπτυξη έξυπνων εφαρμογών διαδικτύου που θα στηρίζονται σε κανόνες. Για αυτό το λόγο το RIF έχει αναπτύξει σενάρια χρήσης και απαιτήσεις (RIF Use Cases and Requirements). Η αρχιτεκτονική τους αποτελείται από ένα σύνολο γλωσσών που αποκαλούνται διάλεκτοι (dialects). Μία διάλεκτος RIF είναι μία γλώσσα στηριγμένη σε κανόνες με σύνταξη της μορφής της XML και καλή ορισμένη σημασιολογία.

[20]

Μέχρι στιγμής έχει δημιουργηθεί από την ομάδα ανάπτυξης η Basic Logic Dialect (RIF-BLD), η οποία σημασιολογικά αποτελεί μία γλώσσα που αναπαριστά τον κανόνα του Horn [21]. Η

RIF-BLD συντίθεται από ένα πλήθος συντακτικών επεκτάσεων που υπακούουν στην κανονική μορφή των κανόνων του Horn και περιλαμβάνουν F-logic πλαίσια καθώς και ένα δεδομένο σύστημα ενσωματωμένων χαρακτηριστικών που προέρχονται από Datatypes and Built-Ins (RIF-DTB). Η σύνδεση με άλλες W3C Semantic Web Languages κατοχυρώνεται μέσω του αποκαλούμενου RDF και OWL Compatibility (RIF-SWC). Επιπλέον η RIF-BLD είναι μία Web γλώσσα που υποστηρίζει τη χρήση των IRIs (Internationalized Resource Identifiers) καθώς και τύπους δεδομένων της XML. Επίσης έχει αναπτυχθεί ένα πλαίσιο για Logic Dialects (RIF-FLD), για το οποίο η RIF-BLD αποτελεί την πρώτη υλοποίηση.

Οι τωρινές προσπάθειες της RIF Working Group έχουν αφοσιωθεί στη δημιουργία ενός πυρήνα (RIF-Core) που θα στηρίζεται στην συνένωση του RIF-BLD και μιας νέας Production Rule Dialect (RIF-PRD), που θα είναι επηρεασμένη από το PRR της OMG. Ο πυρήνας αυτός θα μπορεί στη συνέχεια να επεκταθεί και να συμπληρωθεί από κανόνες.

Πρότυπο ECA

Το Event Condition Action (ECA) αναφέρεται στη δομή ενεργών κανόνων σε αρχιτεκτονικές οδηγούμενες από γεγονότα και σε ενεργά συστήματα βάσεων δεδομένων.

Ένας τέτοιος κανόνας αποτελείται από τρία μέρη:

- Το **γεγονός** το οποίο καθορίζει το σήμα που θα ενεργοποιήσει κάποιον κανόνα.
- Τη **συνθήκη**, η οποία αποτελεί έναν λογικό έλεγχο που αν ικανοποιείται οδηγεί στην εκτέλεση της πράξης.
- Τη **δράση** η οποία αποτελείται από ενημερώσεις ή κλήσεις των τοπικών δεδομένων.

Αυτή η δομή χρησιμοποιήθηκε πολύ νωρίς στην έρευνα για τις ενεργές βάσεις δεδομένων και τότε άρχισε να χρησιμοποιείται ο όρος ECA. Οι σημερινές rule engines που στηρίζονται στο πρότυπο ECA χρησιμοποιούν πολλές παραλλαγές στη δομή των κανόνων. Επίσης, εισάγονται και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία δεν λαμβάνονται υπόψη στις αρχικές έρευνες, όπως οι στρατηγικές για την επιλογή των γεγονότων στο πρώτο μέρος.

Σε μια rule engine που βασίζεται στη μνήμη (memory-based), η συνθήκη θα μπορούσε να είναι ο έλεγχος κάποιων δεδομένων και οι αντίστοιχες δράσεις να είναι οι ενημερώσεις αντικειμένων ή και των ίδιων δεδομένων. Σε ένα σύστημα βάσης δεδομένων, η συνθήκη θα

μπορούσε να είναι απλώς ένα ερώτημα σε αυτήν και το σύνολο των αποτελεσμάτων που προκύπτουν (αν δεν είναι κενό) να αποστέλλεται στο τμήμα των δράσεων και να γίνεται έλεγχος για πιθανές αλλαγές στις βάσεις δεδομένων. Σε κάθε περίπτωση, οι δράσεις θα μπορούσαν επίσης να είναι κλήσεις σε εξωτερικά προγράμματα ή απομακρυσμένες διαδικασίες.

Για τη χρήση της βάσης δεδομένων, οι ενημερώσεις της θεωρούνται ως εσωτερικά γεγονότα. Κατά συνέπεια, η εκτέλεση του τμήματος δράσης ενός ενεργού κανόνα μπορεί να ταιριάζει με το γεγονός του ίδιου ή άλλου ενεργού κανόνα, προκαλώντας έτσι την πυροδότηση του. Το ισοδύναμο σε μια memory based rule engine θα ήταν να επικαλεστεί μια εξωτερική μέθοδος που προκάλεσε την πυροδότηση ενός εξωτερικού γεγονότος το οποίο στη συνέχεια πυροδότησε έναν άλλο κανόνα του ECA.

Το ECA πρότυπο κανόνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε rule engines που χρησιμοποιούν παραλλαγές του αλγόριθμου του Rete για την επεξεργασία κανόνων. [22]

DMN

Το Decision Model and Notation (DMN) είναι ένα πρότυπο που έχει κυκλοφορήσει από την OMG (Object Management Group). Πρόκειται για μια τυποποιημένη προσέγγιση για την περιγραφή και μοντελοποίηση επαναλαμβανόμενων αποφάσεων στο πλαίσιο διαφόρων οργανισμών, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι τα μοντέλα αποφάσεων είναι αποτελεσματικά σε διάφορους οργανισμούς.

Το πρότυπο DMN παρέχει στη βιομηχανία ένα πλήθος μοντέλων για τη λήψη αποφάσεων που θα υποστηρίζουν τη διαχείριση αποφάσεων αλλά και των επιχειρηματικών κανόνων. Ο συμβολισμός με τον οποίο περιγράφονται τα μοντέλα έχει σχεδιαστεί για να είναι αναγνώσιμος από τις επιχειρήσεις και τους μελλοντικούς IT χρήστες. Αυτό επιτρέπει σε διάφορες ομάδες να συνεργάζονται αποτελεσματικά για τον καθορισμό ενός μοντέλου απόφασης, αυτές οι ομάδες είναι οι ακόλουθες: [23]

- Οι άνθρωποι των επιχειρήσεων που διαχειρίζονται και να επιβλέπουν τις αποφάσεις που λαμβάνονται.

- Οι αναλυτές των επιχειρήσεων ή λειτουργικοί αναλυτές που τεκμηριώνουν τις αρχικές απαιτήσεις των αποφάσεων και καθορίζουν τα λεπτομερή μοντέλα και τη λογική της λήψης αποφάσεων.
- Οι τεχνικοί-προγραμματιστές που είναι υπεύθυνοι για την αυτοματοποίηση των συστημάτων που λαμβάνουν τις αποφάσεις

Το πρότυπο DMN κωδικοποιεί μια προσέγγιση μοντελοποίησης, η οποία χρησιμοποιείται σε αρκετές δημοσιευμένες εργασίες [24] [25] . Το πρότυπο DMN είναι συμπληρωματικό του BPMN πρότυπου. Το BPMN ορίζει ένα νέο είδος δραστηριότητας, το Business Rule Task, το οποίο παρέχει ένα μηχανισμό για την παροχή, μέσω μιας διαδικασίας, εισόδου σε μια rule engine και την παραλαβή της εξόδου των υπολογισμών που πραγματοποιεί η ίδια rule engine.

Το DMN είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για τη μοντελοποίηση και την εκτέλεση αποφάσεων που καθορίζονται από τους κανόνες των επιχειρήσεων. Δημοσιεύθηκε το 2015 και παρατηρείται μεγάλη αποδοχή του από τον τομέα. Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτό είναι οι ακόλουθοι:

- Η DMN δεν ανήκει σε μια συγκεκριμένη επιχείρηση, αλλά σε ένα ίδρυμα (OMG), το οποία έχει ήδη καθιερωθεί μέσω άλλων παγκόσμιων προτύπων, π.χ. το BPMN και το UML. Το πρότυπο DMN υποστηρίζεται από διάφορα προϊόντα λογισμικού, κάτι που το κάνει ανεξάρτητο των υπολοίπων συστημάτων.
- Στην DMN, οι αποφάσεις μπορούν να διαμορφωθούν και να εκτελεστούν χρησιμοποιώντας την ίδια γλώσσα. Επιχειρησιακοί αναλυτές μπορούν να μοντελοποιήσουν σε μορφή πινάκων ,τους κανόνες που οδηγούν σε μια απόφαση, οι οποίοι πίνακες μπορούν να εκτελεστούν απευθείας από μια μηχανή λήψης αποφάσεων. Αυτό ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο παρανοήσεων μεταξύ των αναλυτών και των προγραμματιστών, και επιτρέπει ραγδαίες αλλαγές στην παραγωγή.
- DMN ως πρότυπο είναι νέο, αναπτύχθηκε όμως από ανθρώπους που έχουν εμπειρία δεκαετιών στη διαχείριση των επιχειρησιακών κανόνων. Παρόλο που το πρότυπο δεν υπαγορεύει ειδικές μορφές υλοποίησης, επιτρέπει μια πιο σύγχρονη και ελαφριά υλοποίηση από αυτή των παραδοσιακών business rule engines.

3.2.2 Σύγκριση εύρους χρήσης των γλωσσών

Προκειμένου να γίνει αντιληπτό το εύρος της χρήσης της κάθε γλώσσας, που βοηθά στη δημιουργία συστημάτων κανόνων θεωρήθηκε απαραίτητη η σύνταξη ενός πίνακα που θα περιέχει αριθμητικά στοιχεία, τα οποία θα αντικατοπτρίζουν την δημοτικότητα των γλωσσών αυτών, βάσει αναζητήσεων στο διαδίκτυο. Με αυτό τον τρόπο θα γίνει και μια σύγκριση μεταξύ των γλωσσών και θα φανούν οι διαφορές στη δημοτικότητα τους. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν στον Πίνακα[3].

Η αναζήτηση και σύγκριση έγινε με τρεις τρόπους:

- Αναζήτηση στην Google από την οποία θα λάβουμε το πλήθος των γενικότερων και σχετικών με την κάθε γλώσσα αναφορών του ιστού. Αυτές οι αναφορές περιλαμβάνουν σελίδες και κείμενα που επεξηγούν λειτουργίες, περιγράφουν την εξέλιξη και αναλύουν τη δομή και τις εφαρμογές της κάθε γλώσσας. Ωστόσο περιέχουν και μεγάλο πλήθος λοιπών, ίσως αχρείαστων, αναφορών και πληροφοριών.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το πλήθος των αποτελεσμάτων που προκύπτει από αυτή την αναζήτηση περιλαμβάνει και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τις αναζητήσεις με τους άλλους δύο τρόπους.

- Αναζήτηση στη σελίδα github. Το github είναι μια πλατφόρμα που περιέχει κώδικες για διάφορες εφαρμογές, που έχουν συνταχθεί από διάφορους χρήστες στην κάθε μία γλώσσα που αναζητούμε. Μέσω αυτών των αποτελεσμάτων φαίνεται το εύρος χρήσης της εκάστοτε γλώσσας καθώς το πλήθος των αποτελεσμάτων που εμφανίζονται εδώ είναι ανάλογο του πόσο διαδεδομένη είναι η χρήση της κάθε γλώσσας.
- Αναζήτηση στη σελίδα stackoverflow. Η σελίδα αυτή αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα φόρουμ ερωτήσεων-απαντήσεων στην προγραμματιστική κοινότητα. Για αυτή την αναζήτηση θεωρήθηκε δεδομένο ότι όσο περισσότερο διαδεδομένη είναι μια γλώσσα τόσο περισσότερες εφαρμογές θα έχει και κατ' επέκταση τόσο μεγαλύτερο θα είναι το πλήθος των ερωτήσεων και αναφορών στο συγκεκριμένο site.

<i>Language</i>	<i>Google References</i>	<i>Github References</i>	<i>Stackoverflow References</i>
<i>RuleML</i>	79.9M	287	75
<i>SWRL</i>	259k	684	646
<i>RIF</i>	444k	1410	555
<i>Schematron</i>	104k	4440	1610
<i>Prolog</i>	12.7M	3000	4940
<i>Problog</i>	1.08M	379	202
<i>Datalog</i>	2.1M	10.4k	6250
<i>R2ML</i>	321k	239	2
<i>SQL</i>	19.3M	849k	15.1k

Πίνακας[3]. Αποτελέσματα διαδικτυακών αναζητήσεων σχετικών με τις γλώσσες υλοποίησης κανόνων

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα που αποκομίσαμε κάνοντας την αντίστοιχη αναζήτηση. Ωστόσο θα πρέπει να διευκρινιστούν κάποιοι παράγοντες που αφορούν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών.

Αρχικά η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της αναζήτησης των όρων στο Google είναι σχετική. Αυτό πρακτικά συμβαίνει γιατί η Google θα δώσει όλα τα αποτελέσματα που περιέχουν τον όρο που αναζητήθηκε, κάτι που σημαίνει ότι πολλά από αυτά είναι ίσως να μην είναι πολύ σχετικά με αυτό που ζητείται.

Επιπλέον πολλές από τις γλώσσες που αναζητήσαμε βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε τομείς εκτός των συστημάτων κανόνων κάτι που αυξάνει κατά πολύ το πλήθος των αποτελεσμάτων. Αυτό περιορίστηκε συμπληρώνοντας τους όρους με λέξεις σχετικούς με κανόνες και συστήματα κανόνων κατά τη διάρκεια της αναζήτησης, προκειμένου να περιοριστούν τα αποτελέσματα σε αυτά που αφορούν μόνο αυτόν τον κλάδο. Μετά την εφαρμογή αυτών των περιορισμών παρατηρήθηκε ότι το επιθυμητό πλήθος των αποτελεσμάτων ήταν πολλές φορές υπο-δεκαπλάσιο του αρχικού (χωρίς τους περιορισμούς).

3.2.3 Εργαλεία υλοποίησης ενός RBS

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα εργαλεία που παρέχουν τη δυνατότητα υλοποίησης συστημάτων RBS:

CLIPS

Το CLIPS (C Language Integrated Production System) είναι ένα περιβάλλον που αναπτύχθηκε από τη NASA και αποτελεί μια χαμηλού κόστους πλατφόρμα ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων, αντικαθιστώντας τα ήδη υπάρχοντα συστήματα τα οποία βασίζονταν στη γλώσσα LISP και προσφέρει δυνατότητες για προγραμματισμό με κανόνες, συναρτήσεις και αντικείμενα. Με το CLIPS επομένως είναι δυνατόν να υλοποιηθούν εφαρμογές που βασίζονται σε τεχνικές ευρετικού, διαδικαστικού αλλά και αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού. Το CLIPS διαθέτει μια αντικειμενοστρεφή γλώσσα προγραμματισμού, που ονομάζεται COOL (CLIPS Object-Oriented Language). Η τελευταία έκδοση του CLIPS είναι η 6.3. Είναι σημαντικό να σημειωθεί επιπρόσθετα ότι οι διάφορες εκδόσεις του είναι διαθέσιμες στο διαδίκτυο με τη μορφή ανοικτού κώδικα γραμμένες σε γλώσσα C.

Αρχικά, η βασική μεθοδολογία αναπαράστασης της CLIPS αποτελούσε μία γλώσσα κανόνων προς-τα-μπρος αλυσίδας (forward chaining), η οποία βασιζόταν στον αλγόριθμο Rete (για αυτό και το Σύστημα Παραγωγής αποτελεί μέρος του ακρωνυμίου CLIPS). Η έκδοση 5.0 της CLIPS, που κυκλοφόρησε την άνοιξη του 1991, εισήγαγε δύο νέα παραδείγματα προγραμματισμού:

- Διαδικαστικός προγραμματισμός, όπως συναντάται σε γλώσσες όπως η C και η Ada, και
- Αντικειμενοστραφής προγραμματισμός, όπως σε γλώσσες σαν την Common Lisp Object System και την Smaltalk.

Η αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού που παρέχονταν με την CLIPS ονομαζόταν CLIPS Object-Oriented Language (COOL). Η έκδοση 6.2, που κυκλοφόρησε την άνοιξη του 2002, πρόσθεσε υποστήριξη για πολλαπλά περιβάλλοντα. Η CLIPS πλέον είναι ένα λογισμικό που διατίθεται και χρησιμοποιείται ανεξάρτητα από τη NASA.

Λόγω της φορητότητας, της επεκτασιμότητας, των δυνατοτήτων και του χαμηλού κόστους της, το σύστημα CLIPS τυγχάνει ευρείας αποδοχής από κυβερνήσεις, βιομηχανίες και ακαδημίες. Η ανάπτυξη του CLIPS συντέλεσε στη βελτίωση της ικανότητας διανομής της

τεχνολογίας έμπειρων συστημάτων, σε δημόσιους και ιδιωτικούς τομείς για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και διάφορα υπολογιστικά περιβάλλοντα. [26] [27]

Drools

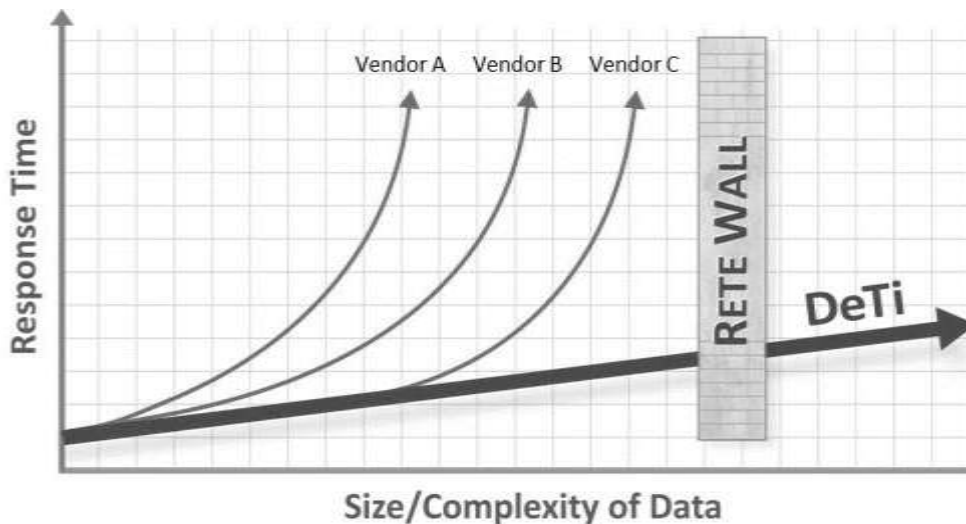
Το Drools αποτελεί ένα εργαλείο υλοποίησης Επιχειρησιακών Συστημάτων Βασισμένων σε Κανόνες (BRMS), το οποίο περιέχει μηχανές κανόνων που μπορούν να υποστηρίξουν τόσο Forward όσο και Backward chaining και το οποίο χρησιμοποιεί μια εμπλουτισμένη υλοποίηση του αλγόριθμου Rete.

Corticon

Το Corticon αποτελεί ένα λογισμικό για την δημιουργία επιχειρησιακών συστημάτων βασισμένων σε κανόνες. Χρησιμοποιεί προϋπάρχουσες μηχανές κανόνων για την αυτοματοποίηση της λήψης αποφάσεων, κάτι που σημαίνει ότι δεν απαιτείται σύνταξη νέου κώδικα. Αντί να απαιτείται από τους χρήστες να προγραμματίσουν, ή να κωδικοποιήσουν την επιχειρησιακή λογική σε εφαρμογές πληροφορικής, η μηχανή κανόνων διαχωρίζει τη δημιουργία και τη διαχείριση της επιχειρησιακής λογικής από τη συνολική ανάπτυξη των hardcoded εφαρμογών.

Η μηχανή παραγωγής επιχειρησιακών κανόνων Corticon λειτουργεί με αρχιτεκτονικές προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (Service Oriented Architectures-SOA). Οι παραδοσιακές μηχανές κανόνων χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Rete για την εκτέλεση των κανόνων. Για να αποφευχθούν πιθανά ζητήματα με την εκτέλεση των κανόνων καθώς τα δεδομένα γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα, η Corticon χρησιμοποιεί ένα πατενταρισμένο αλγόριθμο Σχεδίασης-Χρόνου-Διασύνδεση (Design-Time-Interface, DeTI). Αυτό ο αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί να μεταβάλλεται γραμμικά ανεξάρτητα από τον αριθμό των κανόνων ή της πολυπλοκότητας των στοιχείων.

Η γραμμική αυτή αύξηση παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα(Εικόνα[13].) στο οποίο παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα του χρόνου εκτέλεσης του αλγόριθμου Rete.



Εικόνα[13]. Χρόνοι απόκρισης αλγορίθμων DeTi/Rete

Η Corticon BRMS διαχειρίζεται σε ένα υπολογιστικό φύλλο, το οποίο στηρίζεται στη λογική μιας πλατφόρμας. Οι επιχειρήσεις και διάφοροι χρήστες πληροφορικής εργάζονται σε αυτή την πλατφόρμα πραγματοποιώντας δυναμικές αλλαγές στους κανόνες. Η διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών Corticon έχει ενσωματώσει ένα περιβάλλον ανάπτυξης ανοικτού κώδικα. Οι συνεργάτες και οι πελάτες χρησιμοποιούν το περιβάλλον ανοικτού κώδικα για να απλοποιήσουν τη διαδικασία της ενσωμάτωσης της μηχανής κανόνων του Corticon 5 στις εφαρμογές και την υποδομή λογισμικού τους. [27] [28]

Pyke

Η Pyke (Python Knowledge Engine, PyKE) εισάγει μια μορφή Λογικού Προγραμματισμού (εμπνευσμένη από την Prolog) στην την κοινότητα της Python, παρέχοντας μια μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων, η οποία βασίζεται στη γνώση (expert system) και είναι γραμμένη σε Python.

Σε αντίθεση με την Prolog, η Pyke ενσωματώνει την Python με τέτοιο τρόπο που επιτρέπει την κλήση της Pyke από την Python και ανάμιξη δηλώσεων και εκφράσεων της Python στο πλαίσιο των expert system.

Η Pyke αναπτύχθηκε ώστε να αξιοποιήσει στον μέγιστο βαθμό την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης κώδικα. Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία του:

- Συντάσσεται ένα σύνολο συναρτήσεων Python και ένα σύνολο κανόνων Pyke, το οποίο θα προσδιορίζει τις ρυθμίσεις αλλά και τον συνδυασμό των συναρτήσεων.
- Αυτές οι συναρτήσεις επεξεργάζονται μεταβλητές της Pyke (pattern variables) στο κυρίως σώμα της συνάρτησης.
- Η Pyke μπορεί να καλέσει τις συναρτήσεις πολλές φορές χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές για τις pattern μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο σώμα της συνάρτησης. Κάθε μία κλήση εμφανίζεται ως διαφορετική συνάρτηση.
- Στο τέλος των κλήσεων αυτών η Pyke συναρμολογεί τα αποτελέσματα των συναρτήσεων και συνθέτει ένα πλήρες πρόγραμμα που ονομάζεται γράφος (graph), το οποίο καλύπτει συγκεκριμένες ανάγκες.

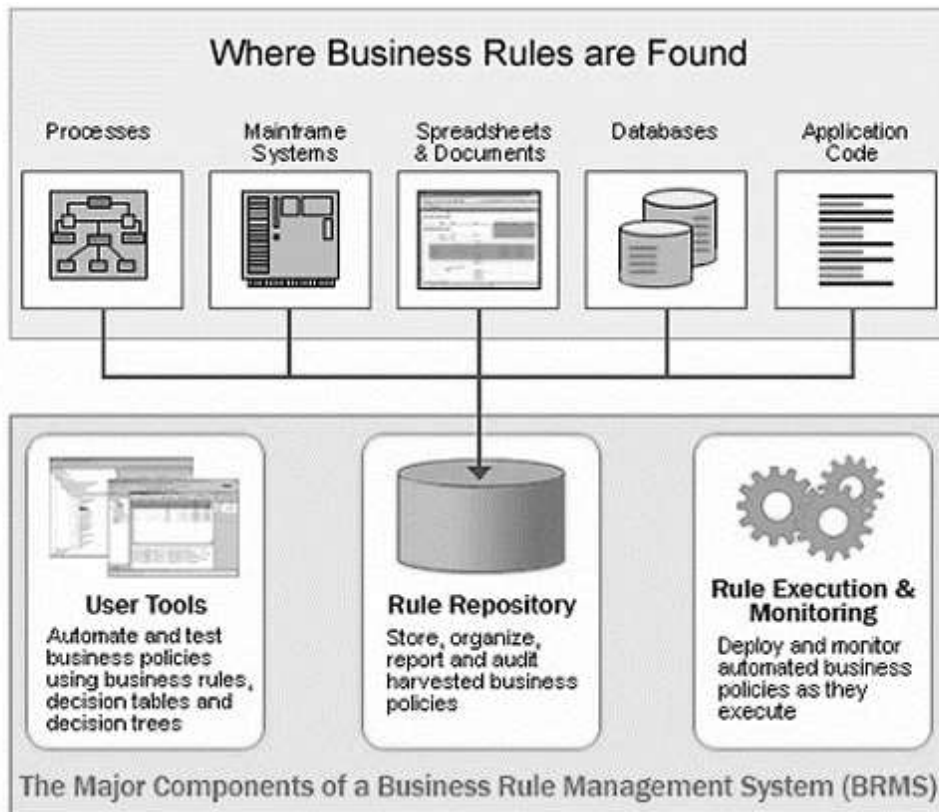
Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα άμεσης και ριζικής επεξεργασίας αλλά και χρήσης του ήδη υπάρχοντα κώδικα που είναι γραμμένος σε Python, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για συγκεκριμένες περιπτώσεις και σκοπούς.

Η PyKe αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο προσφέρει πολύ καλές λύσεις για που στηρίζονται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Προσαρμοστικότητα και επεξεργασία ήδη υπάρχοντα κώδικα
- Επαναχρησιμοποίηση κώδικα
- Καλή απόδοση του συστήματος [28]

3.3 Σύστημα Επιχειρησιακής Διαχείρισης μέσω Κανόνων

3.3.1 Εισαγωγή



Ως Σύστημα Επιχειρησιακής Διαχείρισης μέσω Κανόνων (BRMS ή Business Rule Management System) ορίζεται το λογισμικό που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει, να υλοποιήσει, να εκτελέσει, να παρακολουθήσει αλλά και να συντηρήσει την ποικίλη και περίπλοκη λογική που χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων μέσω συστημάτων στον κλάδο ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης. Αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως επιχειρησιακοί κανόνες (business rules), που περιλαμβάνουν πολιτικές, προϋποθέσεις και υποθετικές δηλώσεις, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των δράσεων που λαμβάνουν χώρα σε εφαρμογές και συστήματα. Αποτελούν βασικό εργαλείο για την διαχείριση επιχειρησιακών αποφάσεων, δίνοντας τη δυνατότητα δημιουργίας μιας οργανωτικής πολιτικής και των ακόλουθων δράσεων αυτής, επιτρέποντας έτσι ευρύτερο έλεγχο στις αποφάσεις που λαμβάνονται από την επιχείρηση ή τον οργανισμό.

Ένα σύστημα διαχείρισης επιχειρησιακών κανόνων είναι μία ολοκληρωμένη εφαρμογή που δίνει τη δυνατότητα πλήρους κατανόησης και συντήρησης της λογικής βάσει της οποίας λαμβάνονται αποφάσεις καθώς διαχωρίζεται από το κομμάτι του κώδικα και παρέχει ευελιξία στους τομείς χρήσης στα πλαίσια μιας επιχείρησης. Με την εξαγωγή υποθετικών κανόνων από των κώδικα και τα μοντέλα επεξεργασίας, οι ειδικοί μπορούν να έχουν πλήρη πρόσβαση στη λειτουργία και την συντήρηση μειώνοντας έτσι την προσπάθεια που απαιτείται για την ανανέωση της αυτοματοποιημένης λήψης αποφάσεων στα συστήματα παραγωγής, ενώ παράλληλα αυξάνουν την δυνατότητα μιας επιχείρησης να ανταποκριθεί άμεσα στις αλλαγές του περιβάλλοντος της. Ένα BRMS σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να λαμβάνει αποφάσεις των οποίων οι συνθήκες μεταβάλλονται συχνά. Παράλληλα έχοντας τη δυνατότητα να στηρίζει τις αποφάσεις του σε πληθώρα δεδομένων και διασυνδεδεμένων κανόνων επιτρέπει την εφαρμογή εξειδικευμένων όρων , προσφορών και δράσεων λαμβάνοντας υπόψη την εσωτερική πολιτική της εταιρείας αλλά και τις συνθήκες και τους κανονισμούς του εξωτερικού περιβάλλοντος της. [29]

3.3.2 Διαφοροποίηση ανάμεσα στα BRMS και Rules Engine

Ένα Rule Engine σχεδιασμένο για επιχειρήσεις αποτελεί συστατικό του Συστήματος Επιχειρησιακής Διαχείρισης μέσω Κανόνων. Επιτρέπει σε ανόμοια συστήματα την επίτρεψη εκτέλεσης κανόνων και καθορίζει την ορθή πυροδότηση τους βασισμένη στο περιεχόμενο της εκάστοτε αίτησης ή αλλαγής. Οι μηχανές αυτές έχουν τη δυνατότητα να συνδυάσουν δεδομένα με αποτελέσματα (αποφάσεις), τα οποία επιστρέφουν στο σύστημα που έκανε την αρχική αίτηση.

Στα πρώιμα στάδια της τεχνολογίας των κανόνων, το αντικείμενο είχε επικεντρωθεί στην εκτέλεση αυτών αλλά και στη δημιουργία αλγορίθμων που θα καθόριζαν την προτεραιότητα εφαρμογής και εκτέλεσης τους ανάλογα με το εκάστοτε αίτημα. Με την πάροδο του χρόνου όμως αναπτύχθηκαν εργαλεία και δεξιότητες που επέτρεψαν τη χρήση τους στον τομέα των επιχειρήσεων ενώ παράλληλα δόθηκε η δυνατότητα ελέγχου της επίδρασης αυτής της χρήσης στην διαμόρφωση αλλαγών στον τομέα των κανόνων. Μέσω αυτών των αλλαγών λοιπόν οι κανόνες εξελίχθηκαν από απλά μεμονωμένα προϊόντα σε τμήματα ενός BRMS.

Ένα BRMS περιλαμβάνει τρία βασικά συστατικά:

- Ένα σύνολο- αποθήκη κανόνων που εξάγεται από τη βάση του κώδικα. Κάτι τέτοιο επιτρέπει τη διαχείριση της λογικής της λήψης αποφάσεων ως ένα τμήμα της επιχείρησης καθώς κάνει πιο εύκολη την κατανόηση και την ενημέρωση των αυτοματοποιημένων υπηρεσιακών αποφάσεων. Η 'αποθήκη' αυτή επιτρέπει τη συνένωση των διαφορετικών κανόνων που λαμβάνονται υπ' όψιν στη λήψη αποφάσεων προκειμένου να επεκταθεί η χρήση τους σε άλλα τμήματα του οργανισμού.
- Ένα σύνολο εργαλείων που θα επιτρέπει στους διαχειριστές του συστήματος να προσδιορίσουν αλλά και να διαχειριστούν το σύνολο των κανόνων. Τα εργαλεία αυτά προσφέρουν τη δυνατότητα δημιουργίας κανόνων που θα καθοδηγούν τη συμπεριφορά των λειτουργικών συστημάτων αλλά παράλληλα θα διευκολύνουν τη συνεργασία ανάμεσα στην επιχείρηση και το IT για την ανάπτυξη και συντήρηση των εφαρμογών.
- Μια εκτελεστική μηχανή που θα επιτρέπει στο σύστημα παραγωγής να εκτελεί και να λαμβάνει αποφάσεις στα πλαίσια του BRMS. Το Rule Engine εκτελεί αιτήματα που έχουν στηριχθεί σε συγκεκριμένο επιχειρησιακό πλαίσιο, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από δεδομένα, κανόνες και αλγόριθμους εκτέλεσης που καθορίζουν τη διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων και κανόνων ώστε να εξαχθεί ένα αποτέλεσμα στα πλαίσια της λήψης απόφασης.

3.3.3 Λόγοι που απαιτούν τη χρήση των BRMS

Ένας από τους καθοριστικότερους παράγοντες που δείχνουν ότι ένα BRMS σύστημα είναι χρήσιμη εφαρμογή για μία επιχείρηση είναι το μέγεθος της συχνότητας με την οποία πραγματοποιούνται αλλαγές σε αυτή, ειδικά όταν αυτές επηρεάζουν τον τρόπο που δρουν τα συστήματα της. Οι οργανισμοί που απαιτούν γρήγορη αντίδραση στις αλλαγές του περιβάλλοντος τους (απαιτήσεις αγοράς, δράσεις των αντίπαλων εταιρειών, νέα μοντέλα απαιτήσεων κ.α.) προσπαθούν να αξιοποιήσουν τα BRMS συστήματα για τη γρήγορη προσαρμογή τους μέσω αλλαγών, ώστε να αποφύγουν μεγάλα και χρονοβόρα έργα του IT τμήματος της εταιρείας.

Ένας ακόμα παράγοντας είναι η πολυπλοκότητα της απόφασης που εξετάζεται. Για αποφάσεις που λαμβάνουν υπ' όψιν περίπλοκες και αλληλεξαρτώμενες πολιτικές της

εταιρείας, όπως για παράδειγμα η διαχείριση των κινδύνων και η τιμολογιακή πολιτική, που μπορεί να απαιτούν τον έλεγχο πολλών κανόνων, η χρήση των BRMS θεωρείται ιδανική.

Ανεξάρτητα από τη συχνότητα των αλλαγών, κάποιιοι κανόνες, όπως αυτοί της εκτίμησης κινδύνων ή της προσφοράς των πωλήσεων, πρέπει να μπορούν να ελέγχονται στενά από τους επιχειρησιακούς χρήστες. Ένα BRMS σύστημα προσφέρει ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον με πρόσβαση στη δημιουργία και συντήρηση κανόνων. Μία πολύ σημαντική δυνατότητα ενός τέτοιου συστήματος είναι η δυνατότητα που προσφέρει στην απλή σύνταξη κανόνων, χωρίς να απαιτείται μεγάλη προγραμματιστική γνώση του διαχειριστή, που όμως θα μπορούν να εφαρμοστούν και να υιοθετηθούν από την παραγωγή και το περιβάλλον της επιχείρησης με τη χρήση στα λειτουργικά συστήματα της.

Ακόμα ένας παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν είναι η ανάγκη ελέγχου των δράσεων και των αποφάσεων. Ένα BRMS σύστημα έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται τις αποφάσεις και να καταγράφει την αιτιολόγηση στην οποία στηρίχθηκαν, ενώ παράλληλα μπορεί να επιτρέπει την διαφορετική διαχείριση καταστάσεων εφόσον κάτι τέτοιο απαιτείται βάσει των αναγκών και του περιεχομένου τους. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται δραστηκή μείωση του χρόνου, μειώνεται η πιθανότητα λάθος και μετατίθεται το βάρος στη διαφορετική διαχείριση της κάθε κατάστασης. Έτσι λοιπόν δημιουργείται ένα ιστορικό που αποδεικνύει ότι η πολιτική μιας εταιρείας είναι μεταβλητή στη βάση του χρόνου και των συνθηκών. Μέσω αυτού φαίνεται το ταίριασμα μεταξύ των συνθηκών και των κανόνων που εκτελέστηκαν σε δεδομένη χρονική στιγμή, κάτι που επιτρέπει την γρήγορη και ορθή συμμόρφωση του συστήματος σε νέα δεδομένα.

3.3.4 Βασικές εφαρμογές των BRMS

Τόσο ιδιωτικοί όσο και δημόσιοι οργανισμοί έχουν καταφέρει να βελτιώσουν την λειτουργικότητα τους μέσω της υιοθέτησης και υλοποίησης συστημάτων BRMS.

Κάποια παραδείγματα εφαρμογών είναι τα ακόλουθα και περιλαμβάνουν:

- Τραπεζικές επιχειρήσεις: διαχείριση και προέλευση δανείων, υπολογισμός αμοιβών, αποφάσεις πιστωτικών κινδύνων.

- Αγορές Κεφαλαίων: επικύρωση εμπορικών συναλλαγών, καταπολέμηση εσόδων από παράνομες δραστηριότητες.
- Υπηρεσίες παροχής υγειονομικής περίθαλψης: αξιολόγηση επίδρασης φαρμάκων, επικύρωση δεδομένων που προέρχονται από κλινικές δοκιμές, υποστήριξη κλινικών αποφάσεων.
- Ασφάλειες: έγκριση πολιτικής, επεξεργασία απαιτήσεων, αξιολόγηση κινδύνων, υπολογισμός προμηθειών.
- Κατασκευές: διαμόρφωση της αλυσίδας παραγωγής, τιμολόγηση βάσει συμβάσεων, προτεραιότητα εκτέλεσης παραγγελιών.
- Δημόσιος τομέας: δικαιοδοσίες υπηρεσιών και υπολογισμός κερδών, αξιολόγηση φοροδιαφυγής, έλεγχος ασφαλείας της επικράτειας.
- Εμπόριο: προτάσεις μέσω διαδικτύου, υπολογισμός αξίας και φορολογίας, πιστή διαχείριση προσφερόμενων προγραμμάτων.
- Τηλεπικοινωνίες: προσφορά διαμόρφωσης δικτύων, δικαιοδοσίες και προτεραιότητες του δικτύου, τιμολόγηση διαμοιραζόμενων δικτύων, αξιολόγηση προσφερόμενων προγραμμάτων.
- Συγκοινωνίες: προσφερόμενα προγράμματα, διαχείριση τιμολόγησης βάσει συμβάσεων, τιμές εισιτηρίων.

Η διαχείριση της σχέσης με τους καταναλωτές (Customer Relationship Management, CRM) και τα σημεία πώλησης (Point of Sale, POS) είναι δύο τομείς που έχουν υψηλή ζήτηση στην παρούσα φάση, λόγω των τωρινών συνθηκών της αγοράς και των αυστηρότερων ελέγχων στη λειτουργία των επιχειρήσεων. Τα CRM και τα POS με ενσωματωμένα BRMS προσφέρουν καλύτερη καταναλωτική εμπειρία και εξαιρετικά εξατομικευμένες προσφορές. Επιτυγχάνεται η αυτοματοποιημένη δημιουργία περίπλοκων συναρτήσεων που δημιουργούν σχέσεις μεταξύ των απαιτήσεων, των προτιμήσεων και των προσδοκιών των καταναλωτών και των κινδύνων που υπάρχουν.

3.3.5 Οφέλη από τη χρήση των BRMS

Με την εκτεταμένη χρήση των BRMS παρατηρείται μεγάλη βελτίωση στη μείωση του χρόνου διάθεσης των προϊόντων και των υπηρεσιών στην αγορά. Πλέον οι ενημερώσεις για τις αλλαγές στα προϊόντα ή στην πολιτική της εταιρείας μπορούν να αναπτυχθούν εντός λίγων ημερών ή ωρών με τη βοήθεια ενός BRMS, διαδικασίες που ίσως να διαρκούσαν εβδομάδες ή ακόμα και μήνες χωρίς αυτά.

Ακόμα ένα πλεονέκτημα που αποκτάται χάρη στη χρήση των BRMS είναι ο εκσυγχρονισμός των διαδικασιών, που οδηγεί στην μείωση του κόστους, της ταχύτερης επεξεργασίας δεδομένων αλλά και στην καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών. Πλέον οι επιχειρήσεις προσπαθούν να μετατοπίσουν τη βάση των πελατειακών σχέσεων, από τη λογική του κέρδους και των καθαρών οικονομικών συναλλαγών, στην δημιουργία μιας πιο στενής και ανθρώπινης σχέσης με τον πελάτη.

Αυτό δεν αναιρεί τη δυνατότητα ξεχωριστής παρέμβασης σε έκτακτα γεγονότα που ίσως προκύψουν στο περιβάλλον μιας επιχείρησης. Η χρήση ενός BRMS επιτρέπει σε διαφορετικούς πελάτες να αυξήσουν το πλήθος των αυτοματοποιημένων αποφάσεων αλλά και τη συχνότητα της λήψης τους στα επιχειρησιακά τους συστήματα.

Επίσης είναι αναμενόμενη η υψηλότερη ποιότητα και η γρήγορη εφαρμογή των αποφάσεων αυτών. Κάποια συστήματα επεξεργάζονται πολύ μεγάλο πλήθος κανόνων προκειμένου να καταλήξουν στη λήψη μιας απόφασης, γεγονός που θα ήταν αδύνατο με τη χρήση των παραδοσιακών ενσωματωμένων συστημάτων.

4. Μεθοδολογία και εφαρμογές

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η περιγραφή της εργασίας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

Αρχικός στόχος της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός συστήματος IoT, που θα συνέλεγε δεδομένα από την ήδη υπάρχουσα πλατφόρμα του εργαστηρίου και εν συνεχεία θα τα επεξεργαζόταν.

Όμως η δημιουργία του συστήματος αυτού αντιμετώπιζε αρκετές δυσκολίες, καθώς η πλατφόρμα της Amazon IoT έχει μόλις ανακοινωθεί και δεν υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία για την υποστήριξη της. Αυτό το χαρακτηριστικό λοιπόν αποτέλεσε την κινητήριο δύναμη για την εκπόνηση ενός διαφορετικού project.

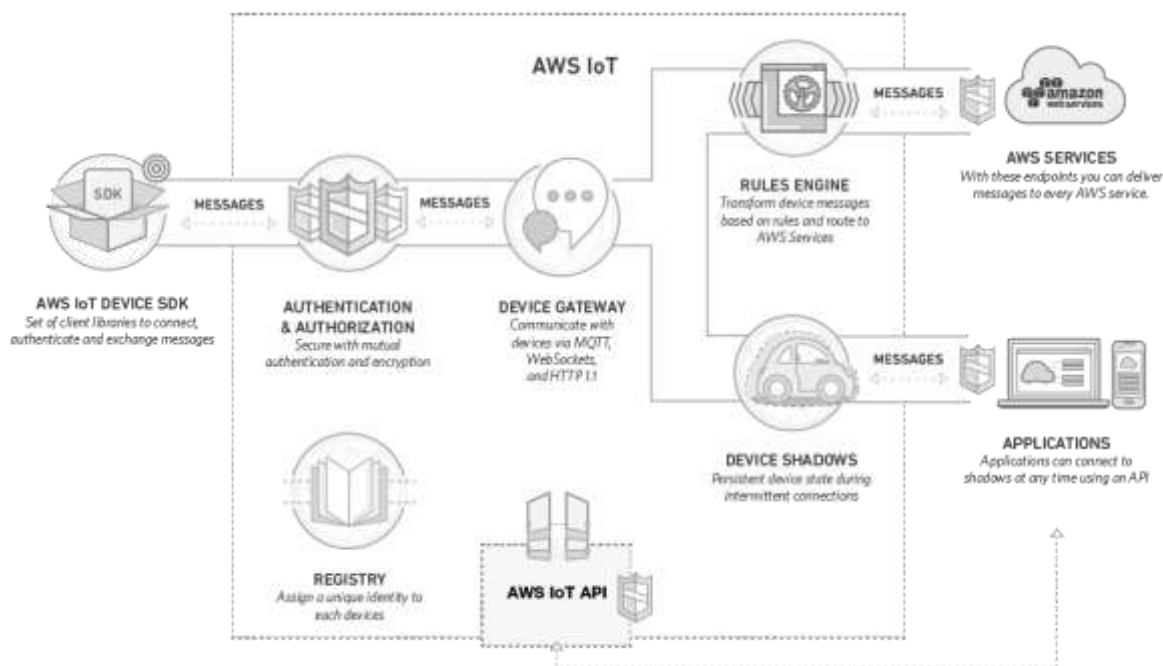
Αποφασίσαμε λοιπόν να επικεντρωθούμε στο πως θα γίνει εφικτή μια πιο γρήγορη και εύκολα κατανοητή διαδικασία δημιουργίας των IoT συστημάτων. Αυτό μας οδήγησε στην ανάπτυξη ενός κώδικα ο οποίος συγκεντρώνει όλα τα απαραίτητα 'συστατικά' των αντικειμένων και εν συνεχεία τα συνδέει με τον κατάλληλο τρόπο, προκειμένου να οδηγήσει στη δημιουργία ενός πλήρως λειτουργικού αντικειμένου αρχικά και ενός συνόλου αντικειμένων στη συνέχεια.

Στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου λοιπόν θα παρουσιάσουμε την πλατφόρμα στην οποία εργαστήκαμε για να γίνει κατανοητός ο τρόπος δομής και λειτουργίας της. Αυτή η παρουσίαση θα μας βοηθήσει στην κατανόηση των διεργασιών που πρέπει να ακολουθηθούν για την ανάπτυξη ενός συστήματος, γεγονός που θα διευκολύνει την παρουσίαση των λειτουργιών και λεπτομερειών του κώδικα που συντάχθηκε, η οποία και θα ακολουθήσει στα υποκεφάλαια 4.3 και 4.4.

Στη συνέχεια θα γίνει μια παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτής της εργασίας μέσω εικόνων που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του κώδικα για τη δημιουργία του συστήματος.

Πραγματοποιήθηκαν παράλληλα δοκιμές για την μεταβολή χαρακτηριστικών του συστήματος μέσω της σύνδεσης με MQTT, που επιβεβαίωσαν την ορθή λειτουργία των κανόνων που συντάχθηκαν για τον έλεγχο της λειτουργίας και δράσης του συστήματος.

4.1 Amazon IoT



Τρόπος λειτουργίας και διασύνδεση στοιχείων του AWS IoT

Το Amazon IoT είναι ένα Cloud Service που επιτρέπει την αμφίδρομη, εύκολη και ασφαλή επικοινωνία μεταξύ συνδεδεμένων μέσω Internet συσκευών (πχ λαμπτήρες, αισθητήρες, ενσωματωμένα συστήματα κ.α.) με άλλες συσκευές ή παρεχόμενες υπηρεσίες του Amazon Cloud. Έτσι καθίσταται εύκολη η συλλογή, η αποθήκευση και εν συνεχεία η ανάλυση δεδομένων που έχουν ληφθεί από πολλές συσκευές. Δίνεται επιπλέον η δυνατότητα δημιουργίας εφαρμογών που θα επιτρέψουν τον έλεγχο των συσκευών μέσω κινητού τηλεφώνου ή tablet.

Η επικοινωνία αυτή καθίσταται εφικτή μέσα από ένα σύνολο κανόνων που καθορίζει ο χρήστης για να περιγράψει τις επιθυμητές λειτουργίες που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν έπειτα από πιθανές αλλαγές σε κάποιο state-attribute των αντικειμένων.

Για να μπορέσει να περιγραφεί η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τη δημιουργία των αντικειμένων θα πρέπει να δούμε από τι αποτελείται το AWS IoT.

- **Message broker** – Παρέχει έναν ασφαλή μηχανισμό αμφίδρομης επικοινωνίας (publish and receive messages) μεταξύ του IoT και των αντικειμένων. Με την έκφραση επικοινωνία με το IoT γίνεται αναφορά στην αποστολή μηνυμάτων από κάποιον client σε ένα συγκεκριμένο topic.

Η λειτουργία του Message Broker είναι η προώθηση του μηνύματος αυτού σε όλους τους παραλήπτες που έχουν ζητήσει να ενημερώνονται για το συγκεκριμένο topic. Η αποστολή αυτών των μηνυμάτων ονομάζεται δημοσίευση (publish), ενώ η ενημέρωση για την αποστολή μηνυμάτων σε ένα συγκεκριμένο topic ονομάζεται συνδρομή (subscribe).

Ο τίτλος του κάθε topic είναι μοναδικός για κάθε λογαριασμό του AWS καθώς και για κάθε περιοχή δραστηριοποίησης (region). Πρέπει να τονιστεί ότι δεν παρέχεται η δυνατότητα, από το AWS, αποστολής και λήψης μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών λογαριασμών αλλά και περιοχών.

Το Message Broker διατηρεί μία λίστα από όλες τις συνεδρίες καθώς και τις συνδρομές αυτών. Όταν λοιπόν ένα μήνυμα δημοσιεύεται σε ένα topic γίνεται έλεγχος για πιθανές συνδρομές που αναφέρονται σε αυτό και εάν βρεθούν ενεργές συνδέσεις τότε το μήνυμα προωθείται σε αυτές.

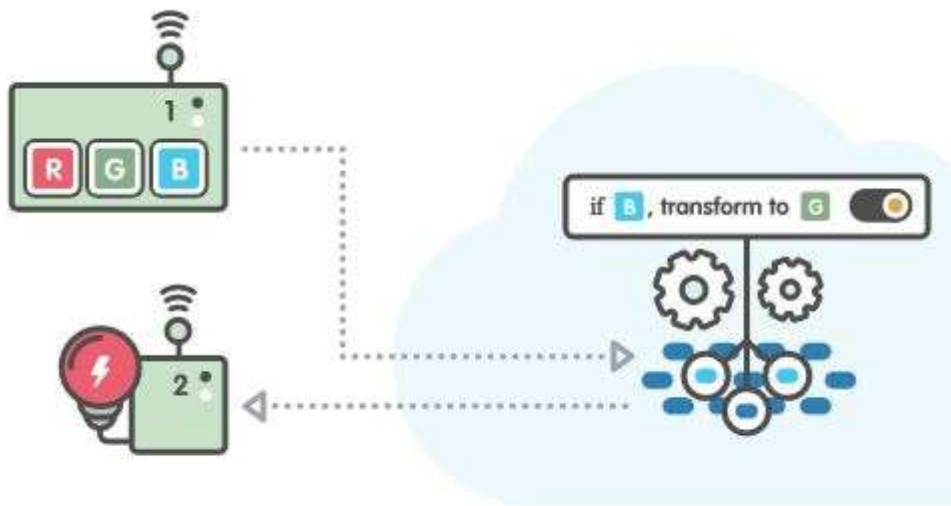
- **Rules engine** – Παρέχει δυνατότητα για την δημιουργία IoT εφαρμογών που θα συλλέγουν, θα επεξεργάζονται και θα αναλύουν δεδομένα, τα οποία στέλνονται από διάφορες διασυνδεδεμένες συσκευές, χωρίς να χρειάζεται η διαχείρισή τους μέσω κάποιων υποδομών ή υλικού.

Το Rules Engine αξιολογεί τα εισερχόμενα μηνύματα του AWS IoT, τα επεξεργάζεται ανάλογα και τα αποστέλλει σε άλλες συσκευές ή υπηρεσίες σύννεφου ανάλογα με τους κανόνες που έχουν οριστεί. Ένας κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί για δεδομένα που αποστέλλονται από μία ή περισσότερες συσκευές και να απαιτήσει την εκτέλεση πολλαπλών δράσεων παράλληλα.

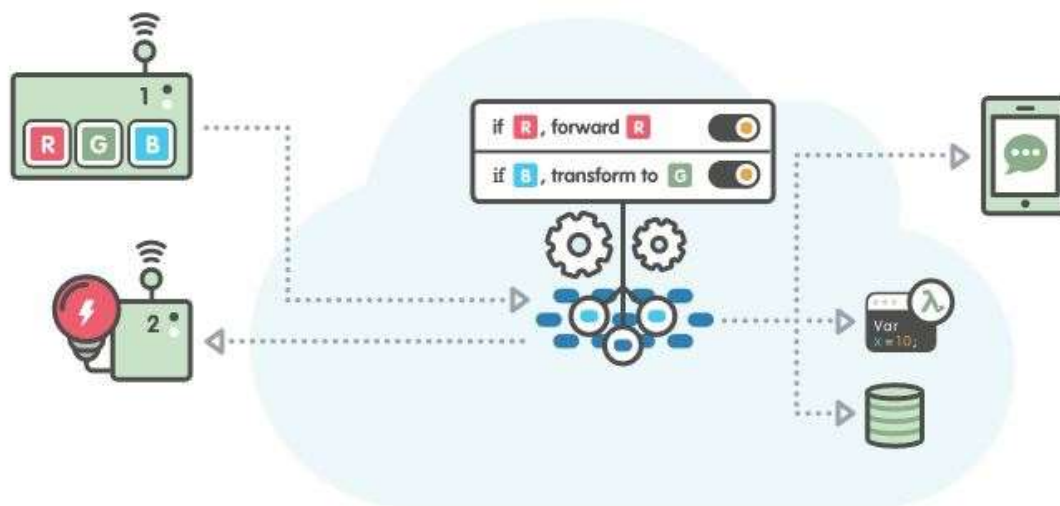
Οι κανόνες μπορούν να συνταχθούν είτε μέσω του γραφικού περιβάλλοντος που παρέχεται ή χρησιμοποιώντας μία σύνταξη που θα έχει τη μορφή της SQL. Δίνεται επιπλέον η δυνατότητα παράλληλης χρήσης και ελέγχου διαφορετικών δεδομένων του Cloud, όπως αυτά που αποστέλλονται από διαφορετικές συσκευές.

Το Rules Engine προσφέρει ένα μεγάλο φάσμα συναρτήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία των δεδομένων, ενώ παράλληλα μέσω της πλατφόρμας της Amazon προσφέρονται απεριόριστες δυνατότητες δημιουργίας νέων (AWS Lambda Function) κάτι που αναδिकνύει την ύπαρξη μεγάλης ευελιξίας και πολλών δυνατοτήτων, στην επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές.

Στις Εικόνες [14], [15] φαίνεται η σχεδιαγραμματικά ο ορισμός ενός κανόνα καθώς και μερικές από τις δράσεις που μπορεί να επιτελέσει.



Εικόνα [14]. Γραφική αναπαράσταση του ορισμού ενός κανόνα



Εικόνα [15]. Γραφική αναπαράσταση των πιθανών δράσεων ενός κανόνα

- **Thing Registry** – Οργανώνει τους πόρους που σχετίζονται με κάθε ένα αντικείμενο. Σε κάθε αντικείμενο προστίθενται μέχρι 3 χαρακτηριστικά καθώς και πιστοποιητικά για την βελτίωση των δυνατοτήτων ελέγχου και αντιμετώπισης προβλημάτων.

Η Amazon ανακοίνωσε πρόσφατα τη δημιουργία του χαρακτηριστικού Thing Types. Μέσω αυτής της κατηγοριοποίησης δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αποθηκεύσει περιγραφές και πληροφορίες σχετικές με τον σχεδιασμό των αντικειμένων που εντάσσονται στο ίδιο Thing Type. Αυτή η προσθήκη απλουστεύει κατά πολύ τη διαχείριση των αντικειμένων στο Thing Registry.

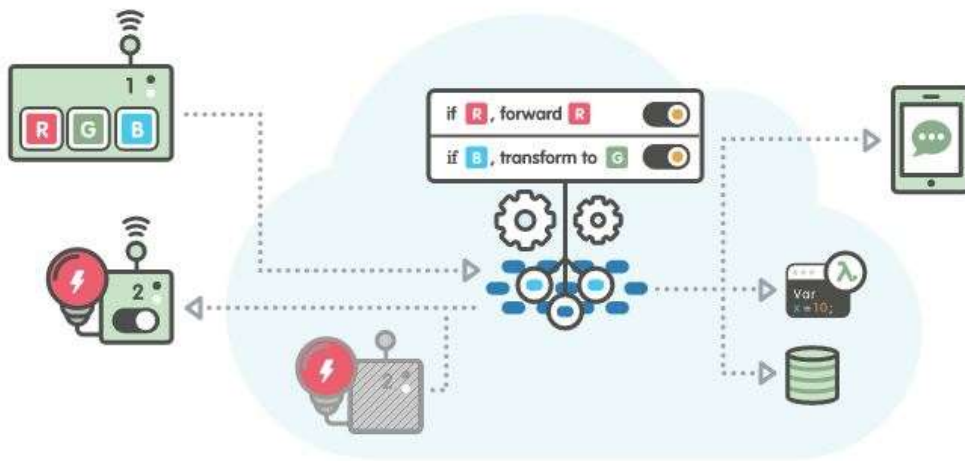
Ορίζοντας λοιπόν έναν τύπο αντικειμένων και προσθέτοντας αντικείμενα σε αυτόν επιτρέπεται η ομαδοποίηση τους καθώς και η προσθήκη κοινών χαρακτηριστικών σε κάθε αντικείμενο που εντάσσεται στον τύπο.

Παρόλο που ο ορισμός του τύπου είναι προαιρετικός η χρήση του βοηθάει στην καλύτερη οργάνωση του Thing Registry.

Ορίζονται όμως παράλληλα και κάποιοι βασικοί κανόνες χρήσης αυτού του χαρακτηριστικού.

- Ένα Thing Type μπορεί να προσδιορίζεται από 50, το πολύ χαρακτηριστικά.

- Ένα αντικείμενο που δεν εντάσσεται σε κάποιον τύπο συνεχίζει να προσδιορίζεται από 3, το πολύ, χαρακτηριστικά .
 - Ένα αντικείμενο μπορεί να υπάγεται μόνο σε έναν τύπο.
 - Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των Thing Types που μπορεί να καθορίσει ο χρήστης.
 - Το όνομα είναι αμετάβλητο μετά από τη δημιουργία του τύπου.
 - Ένας τύπος μπορεί να αποκλειστεί ανά πάσα στιγμή από την προσθήκη νέων αντικειμένων σε αυτόν.
 - Η διαγραφή ενός τύπου γίνεται μόνο εάν δεν υπάρχει κανένα αντικείμενο που να υπάγεται σε αυτόν.
- **Thing Shadows service** – Με το AWS IoT δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να δημιουργήσουν μία ακριβή, εικονική έκδοση- «σκιά» των συσκευών, η οποία θα περιλαμβάνει την κατάσταση της συσκευής κατά την τελευταία ενημέρωση, ώστε άλλες συσκευές ή εφαρμογές να μπορούν να τη διαβάζουν και να αλληλεπιδρούν με τη συσκευή. Η σκιά είναι ενημερωμένη τόσο για την τελευταία κατάσταση της συσκευής όσο και για την όποια επιθυμητή αλλαγή ακόμα και αν η συσκευή βρίσκεται εκτός σύνδεσης. Το εργαλείο που επιτρέπει την ανάκτηση πληροφοριών για την τελευταία κατάσταση της συσκευής, καθώς και την αλλαγή της, είναι το Rules Engine. Με την χρήση του Device Shadow γίνεται πιο εύκολη η δημιουργία εφαρμογών που επικοινωνούν με τις συσκευές χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία (REST APIs). Επιπλέον, οι διάφορες εφαρμογές μπορούν να αλλάξουν την επιθυμητή κατάσταση της συσκευής χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν την τρέχουσα κατάσταση. Αυτό θα το κάνει το AWS IoT καθώς θα συγκρίνει την επιθυμητή με την τελευταία αναφερθείσα κατάσταση και θα δώσει εντολή για την πιθανή αλλαγή της.



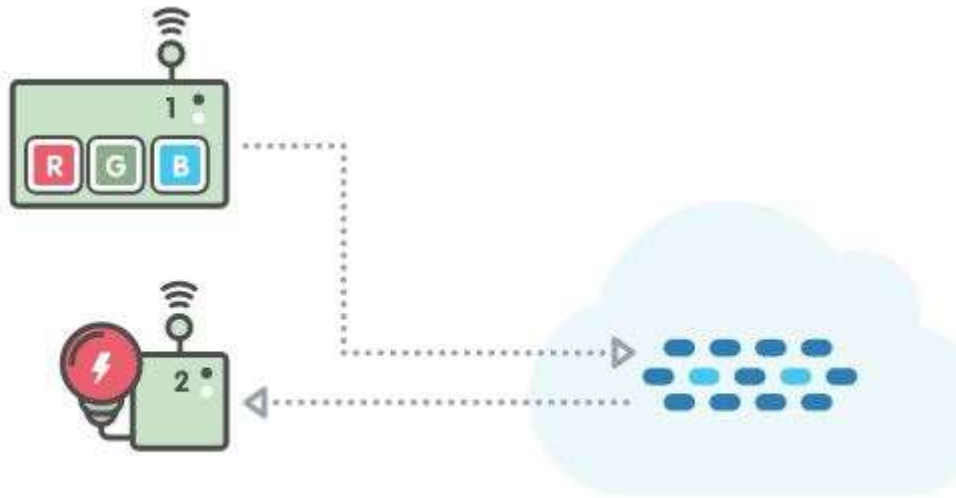
Εικόνα [16]. Γραφική αναπαράσταση της σκιάς ενός αντικειμένου

- **Device Gateway** – Δίνει τη δυνατότητα σε συσκευές να επικοινωνούν με ασφάλεια και επαρκώς με το AWS IoT.

Μέσω ενός μοντέλου δημοσίευσης- εγγραφής επιτρέπει την ανταλλαγή μηνυμάτων και κάνει εφικτή την επικοινωνία ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες συσκευές (one-to-one, one-to-many communication).

Μέσω της επικοινωνίας ανάμεσα σε πολλές συσκευές το AWS IoT δίνει την δυνατότητα σε μια συνδεδεμένη συσκευή να ενημερώσει όλους τους συνδρομητές που τους αφορά κάποια τυχούσα αλλαγή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αντικείμενα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω το Device Gateway ακόμα και αν χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.



Εικόνα [17]. Γραφική αναπαράσταση του Device Gateway

- **Security and Identity Service** – Προσφέρει μοιρασμένη ευθύνη για την ασφάλεια στο AWS Cloud.

Η AWS IoT προστατεύει την επικοινωνία ανάμεσα στις συσκευές με τη βοήθεια των διάφορων πιστοποιητικών αναγνώρισης και της κρυπτογράφησης, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι συσκευές χωρίς εξουσιοδότηση δε θα έχουν ποτέ πρόσβαση σε δεδομένα. Υποστηρίζονται τόσο η μέθοδος αναγνώρισης της AWS (SigV4) όσο και αυτή μέσω των πιστοποιητικών X.509. Η συνδέσεις που πραγματοποιούνται μέσω HTTP έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν και τους δύο προαναφερθέντες τρόπους αναγνώρισης, ενώ οι συνδέσεις που γίνονται μέσω MQTT χρησιμοποιούν πιστοποιητικά για την αναγνώριση των συσκευών. Τα πιστοποιητικά μπορούν να δημιουργηθούν μέσω του AWS αλλά παράλληλα δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να χρησιμοποιήσουν δικά τους.

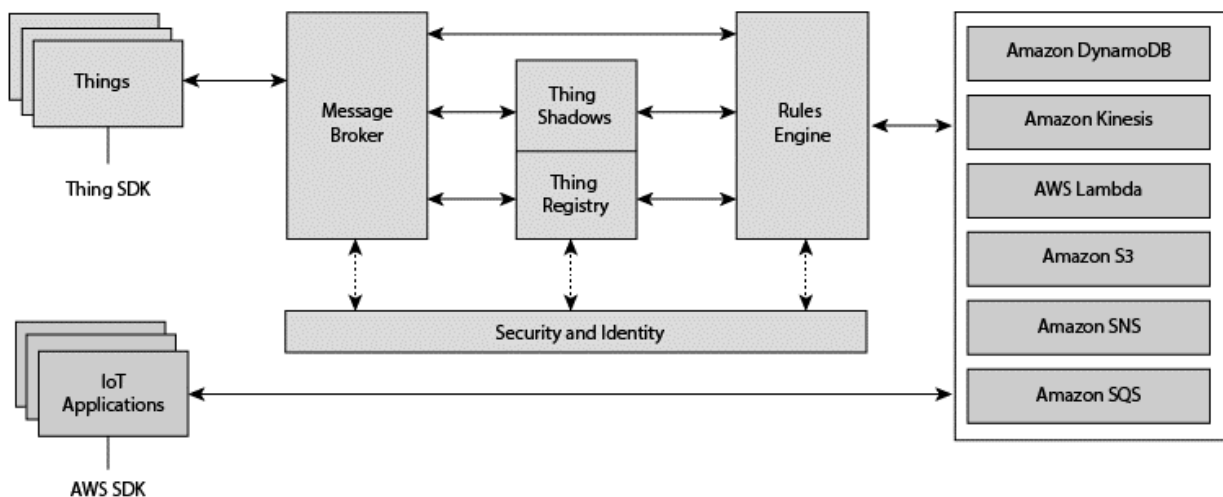
Θα πρέπει τα αντικείμενα να κρατάνε τα κλειδιά και τα πιστοποιητικά τους ασφαλή ώστε να μπορούν να στέλνουν δεδομένα με ασφάλεια στον Message Broker.

Τόσο το message broker όσο και η rules engine χρησιμοποιούν τα χαρακτηριστικά ασφαλείας του AWS για να αποστέλλουν πληροφορίες σε συσκευές ή άλλες υπηρεσίες της AWS.

Οι χρήστες μπορούν να επιτρέψουν επιθυμητές δράσεις σε κάθε συσκευή επισυνάπτοντας ρόλους και πολιτικές σε κάθε πιστοποιητικό, αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την άμεση αλλαγή στις λειτουργίες της συσκευής χωρίς να χρειάζεται η άμεση επαφή μαζί της.

4.2 Σύνοψη περιγραφή της διαδικασίας δημιουργίας αντικειμένου

Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα που εξηγεί τη σύνδεση των στοιχείων που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα [18]. Διασύνδεση χαρακτηριστικών του AWS IoT

Στη συνέχεια θα κάνουμε μια αναλυτικότερη επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας του AWS IoT.

Αρχικά όπως έχουμε ήδη αναφέρει η υπηρεσία αυτή της Amazon επιτρέπει σε Internet-connected αντικείμενα να συνδεθούν στο AWS Cloud και να αλληλεπιδράσουν με τις εφαρμογές του. Συνήθεις εφαρμογές του IoT έχουν να κάνουν με τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από συσκευές ή με τον απομακρυσμένο έλεγχο των συσκευών αυτών.

Τα αντικείμενα ενημερώνουν για την κατάσταση τους κάνοντας publish κάποια μηνύματα, σε μορφή JSON σε MQTT topics. Κάθε ένα από αυτά τα topics έχει ένα αναγνωριστικό προκειμένου να μπορεί να ταυτοποιηθεί το αντικείμενο που ενημερώνει την κατάσταση του.

Η επικοινωνία μεταξύ ενός αντικειμένου και της πλατφόρμας AWS IoT προστατεύεται από κάποια πιστοποιητικά τα οποία δημιουργούνται μέσα από αυτή αλλά ταυτόχρονα παρέχεται και η δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιήσει τα δικά του. Σε κάθε περίπτωση όμως θα πρέπει να καταχωρηθούν και να ενεργοποιηθούν τα πιστοποιητικά που θα χρησιμοποιηθούν. Έπειτα πρέπει να μεταφερθούν-αντιγραφούν στο αντικείμενο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, καθώς για να μπορέσει να συνδεθεί με το AWS IoT θα πρέπει να παρουσιάσει αυτά τα πιστοποιητικά.

Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας κανόνων που θα προσδιορίζουν μια η περισσότερες λειτουργίες που θα πρέπει να εκτελεστούν. Όταν η έκφραση που περιγράφει έναν κανόνα ικανοποιηθεί από τα δεδομένα που λαμβάνονται τότε το rule engine υλοποιεί τον κανόνα.

Για να περιγραφεί ένας κανόνας χρησιμοποιείται ένα JSON format η μορφή του οποίου θα αναλυθεί παρακάτω. Επιπλέον για να μπορέσει ο χρήστης να δημιουργήσει έναν κανόνα θα πρέπει να έχει τα κατάλληλα permissions από την υπηρεσία IAM της Amazon προκειμένου να μπορέσει να εκτελέσει τις ζητούμενες ενέργειες.

Κάθε αντικείμενο έχει μια «σκιά» για την αποθήκευση και ανάκτηση πληροφοριών. Ενημερώνει λοιπόν τον χρήστη δίνοντας του πληροφορίες για δύο πεδία: την κατάσταση του κατά τη διάρκεια της τελευταίας σύνδεσης καθώς και την επιθυμητή επόμενη κατάσταση (από τον χρήστη ή από άλλη εφαρμογή).

Μία εφαρμογή μπορεί επίσης να ζητήσει να ενημερωθεί για την κατάσταση του αντικειμένου, σε αυτή την περίπτωση η «σκιά» ενημερώνει στέλνοντας ένα JSON με όλες τις ζητούμενες πληροφορίες (και την κατάσταση κατά τη διάρκεια της τελευταίας σύνδεσης αλλά και την επιθυμητή).

Μία εφαρμογή μπορεί να ελέγξει ένα αντικείμενο με αίτημα της για αλλαγή της κατάστασης του. Η «σκιά» τότε αποδέχεται το αίτημα για αλλαγή, ενημερώνει την κατάσταση της και στη συνέχεια στέλνει μήνυμα προκειμένου να ενημερώσει για την αλλαγή της κατάστασης. Το

αντικείμενο με τη σειρά του και αφού συνδεθεί στην υπηρεσία λαμβάνει το μήνυμα αυτό, αλλάζει την κατάσταση και μετέπειτα ενημερώνει για την αλλαγή της κατάστασης του.

4.3 Μεθοδολογία δημιουργίας συστήματος και κώδικα

Η δημιουργία ενός αντικειμένου μπορεί να γίνει γραφικά χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα της AWS IoT. Όμως παρατηρείται ότι οι εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την ολοκλήρωση της δημιουργίας είναι αρκετά χρονοβόρες, ειδικά εάν πρόκειται για μεγάλο σύστημα αντικειμένων.

Κρίθηκε λοιπόν απαραίτητη η δημιουργία μιας βιβλιοθήκης που θα κάνει σε πολύ γρήγορο χρόνο και σχεδόν αυτοματοποιημένα τις εργασίες που απαιτούνται για την δημιουργία ενός αντικειμένου και των κανόνων που θα το διέπουν.

Ο κώδικας που δημιουργήθηκε ουσιαστικά διασπά τη διαδικασία σε δύο μεγάλα τμήματα:

- Τη δημιουργία του συστήματος και των κανόνων αυτού.
- Τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του συστήματος.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι και μέσα δημιουργίας και επεξεργασίας των αντικειμένων στην πλατφόρμα της Amazon. Όμως για αυτό το λόγο όταν ξεκινήσει ο χρήστης να ασχολείται με την πλατφόρμα παρουσιάζονται τα πρώτα προβλήματα λόγω των πολλών αναφορών στους τρόπους εργασίας. Θεωρήθηκε λοιπόν ότι θα ήταν βοηθητική η ύπαρξη μιας ολοκληρωμένης βιβλιοθήκης που σκοπό έχει τη διευκόλυνση των χρηστών.

Ο κώδικας αυτός γράφτηκε σε Python με τη χρήση της βιβλιοθήκης Boto3 που έχει αναπτυχθεί από την Amazon για χρήση στο AWS. Η λογική που ακολουθήθηκε είναι η δημιουργία ξεχωριστών script για κάθε επιμέρους διαδικασία που απαιτείται για την ολοκλήρωση της δημιουργίας ενός πλήρως λειτουργικού αντικειμένου. [30]

4.3.1 Περιγραφή κώδικα για τη δημιουργία του προς έλεγχο συστήματος.

Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφεί αναλυτικά τόσο η λογική όσο και η υλοποίηση του κώδικα που συντάχθηκε για την δημιουργία των αντικειμένων στο AWS IoT.

Αρχικά πραγματοποιείται η σύνδεση στον λογαριασμό με την χρήση των κλειδιών και των `UserId` που έχουν δοθεί στον χρήστη από την Amazon με την κλήση της συνάρτησης **`boto3.client()`**, η οποία επιστρέφει στην μεταβλητή **`connection`** τα στοιχεία της σύνδεσης τα οποία θα χρησιμοποιούνται κάθε φορά που θα θέλουμε να δημιουργήσουμε κάποιο αντικείμενο, καθώς είναι απαραίτητη η αναφορά στα δεδομένα αυτά.

Στη συνέχεια με την κλήση της συνάρτησης **`Thing.create()`** πραγματοποιείται η δημιουργία ενός αντικειμένου που θα έχει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που θα το καθιστούν ολοκληρωμένο και έτοιμο για χρήση. Αυτό σημαίνει ότι θα έχει ενσωματωμένα όλα τα `certificates` και τις `policies`, που ακόμα και αν δεν υπάρχουν τη στιγμή της κλήσης, θα δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της συνάρτησης.

Η συνάρτηση **`Thing.create()`** δέχεται τέσσερα ορίσματα. Τα τρία είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν δηλαδή το όνομα με το οποίο θα αναφερόμαστε στο αντικείμενο που έχουμε σκοπό να δημιουργήσουμε, οι πληροφορίες της σύνδεσης αλλά και το όνομα της πολιτικής που επιθυμούμε να ακολουθήσει το αντικείμενο. Έπειτα δίνεται η δυνατότητα πιστοποιητικά να αποστέλλονται ως ορίσματα έτοιμα από τον χρήστη χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο όμως. Έπειτα από έναν έλεγχο εντοπίζεται η ύπαρξη ή όχι των πιστοποιητικών και των πολιτικών.

Αν δεν υπάρχουν από πριν ζητείται η δημιουργία τους από τις συναρτήσεις που περιγράφονται παρακάτω.

Δημιουργία Certificate:

Έφόσον δεν προϋπάρχει ένα `certificate` η δημιουργία του ανατίθεται στη συνάρτηση **`Certificate.create()`**, η οποία δέχεται ως ορίσματα από την `Thing.create()` τα στοιχεία της σύνδεσης στο `account` και στη συνέχεια επιστρέφει στην μεταβλητή `certificate` τα χαρακτηριστικά του πιστοποιητικού που δημιουργήσαμε ενώ παράλληλα ενεργοποιεί το δημιουργηθέν πιστοποιητικό.

Δημιουργία Policy:

Εφόσον δεν προϋπάρχει η πολιτική που επιθυμούμε να καθορίζει τη λειτουργία του αντικειμένου αναθέτουμε τη δημιουργία της στην `Policy.create()`. Κατά την εκτέλεση αυτής της εντολής και εφόσον δεν έχει οριστεί διαφορετικά θα δημιουργηθεί μια πολιτική με το ζητούμενο όνομα.

Έπειτα θα πρέπει να καθοριστούν οι λειτουργίες που θα επιτελεί το αντικείμενο (iot:connect, publish, *), αυτό ορίζεται μέσα από το πεδίο `action` του `policy` (λεπτομερέστερη ανάλυση παρακάτω) που δημιουργήσαμε και που θα κάνουμε `attach` στο προς δημιουργία αντικείμενο. Το `policy` περιγράφεται από ένα `JSON`, η μορφή του οποίου είναι η ακόλουθη:

```
{
  "Version": "2012-10-17",
  "Statement": [{
    "Effect": "Allow",
    "Action":["iot:*"],
    "Resource": ["*"]
  }]
}
```

Οι λειτουργίες που θα επιτρέπονται στο αντικείμενο καθορίζονται από το πεδίο `“Action”`, μέσω του παραπάνω `JSON` δίνεται η δυνατότητα στο αντικείμενο να πραγματοποιήσει όλες τις πιθανές λειτουργίες που παρέχονται από το `IoT`. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η λίστα με τις ξεχωριστές δυνατότητες που μπορεί να επιτρέψει ένα `Policy`:

- Publish
- Subscribe
- Connect
- Receive
- Update Thing Shadow
- Get Thing Shadow
- Delete Thing Shadow
- (για όλα τα παραπάνω)

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η συνάρτηση Policy.create() παίρνει σαν ορίσματα το όνομα που θα δοθεί στο Policy καθώς και τα στοιχεία της σύνδεσης που έχει πραγματοποιηθεί στην αρχή.

Η εντολή που χρησιμοποιείται για την δημιουργία του Policy είναι η ακόλουθη :

```
connection.create_policy(  
    policyName="policy_name",  
    policyDocument="policy_document"  
)
```

Η περιγραφή των χαρακτηριστικών του προς δημιουργία Policy γίνεται στο πεδίο policy document που θα πρέπει να δοθεί το περιγραφικό JSON. Ο αποδεκτός τύπος για την συμπλήρωση του πεδίου αυτού είναι base string οπότε χρησιμοποιούμε την συνάρτηση **json.dumps(Policy_document)** της βιβλιοθήκης JSON της Python για την μετατροπή της μορφής του Policy Document από JSON σε απλό string.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα Policy μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περισσότερα από ένα αντικείμενα

Δημιουργία Thing:

Με την κλίση της εντολής create_thing θα δημιουργηθεί ένα αντικείμενο που αρχικά θα είναι κενό δηλαδή θα το χαρακτηρίζει απλά το όνομα του και τα χαρακτηριστικά που θα του προσδώσουμε (attributes). Προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου και πλήρως λειτουργικού αντικειμένου θα πρέπει να επισυναφθούν σε αυτό τα ανάλογα policies και certificates.

Αυτό θα γίνει μέσα από τις ακόλουθες εντολές:

```
connection.attach_principal_policy(  
    policyName=self.policy['policyName'],  
    principal=self.certificates['certificateArn']  
)
```

Στην παραπάνω εντολή επισυνάπτεται το Policy με το certificate που εν συνεχεία θα επισυναφθεί στο αντικείμενο. Αυτό γίνεται με την ακόλουθη εντολή:

```
connection.attach_thing_principal(  
    thingName=self.name,  
    principal=self.certificates['certificateArn']  
)
```

Πλέον έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία δημιουργίας του αντικειμένου και ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει κανόνες που θα καθορίζουν τη λειτουργία του.

Δημιουργία Rule:

Όπως έχει ειπωθεί και παραπάνω η συμπεριφορά των αντικειμένων που δημιουργούνται καθορίζεται από διάφορα Rules που ο χρήστης-διαχειριστής συντάσσει. Είναι σημαντικό εδώ να τονιστεί ότι μόνο οι χρήστες που έχουν άδεια administrator μπορούν να δημιουργήσουν Rules.

Το AWS IoT παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας κανόνων που θα επιτελούν πολλές και διαφορετικές λειτουργίες στο περιβάλλον των υπηρεσιών που παρέχει η Amazon.

Ορισμένες από αυτές τις λειτουργίες είναι οι ακόλουθες:

- Η συμπλήρωση και το φιλτράρισμα των δεδομένων που δίνονται από μία συσκευή.
- Η αποθήκευση των δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές στην βάση δεδομένων Amazon DB.
- Η αποθήκευση αρχείων στο Amazon S3.
- Η προώθηση ειδοποιήσεων στους χρήστες με τη χρήση της υπηρεσίας Amazon SNS.
- Η δημοσίευση δεδομένων στην ουρά της Amazon SQS..
- Η κλήση μιας συνάρτησης Lambda για την εξαγωγή δεδομένων
- Η επεξεργασία μεγάλου όγκου ληφθέντων μηνυμάτων για χρησιμοποιώντας την υπηρεσία Amazon Kinesis.

Για κάθε ξεχωριστή διαδικασία από τις παραπάνω ο τρόπος σύνταξης είναι ίδιος, διαφοροποιούνται μόνο τα δεδομένα που ζητούνται κάθε φορά. Η δομή της εντολής που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των κανόνων είναι η ακόλουθη:

```
response = client.create_topic_rule(  
    ruleName='string',  
    topicRulePayload={  
        'sql': 'string',  
        'description': 'string',  
        'actions': [  
            {  
                'dynamoDB': {  
                    'tableName': 'string',  
                    'roleArn': 'string',  
                    'operation': 'string',  
                    'hashKeyField': 'string',  
                    'hashKeyValue': 'string',  
                    'hashKeyType': 'STRING'|'NUMBER',  
                    'rangeKeyField': 'string',  
                    'rangeKeyValue': 'string',  
                    'rangeKeyType': 'STRING'|'NUMBER',  
                    'payloadField': 'string'  
                },  
                'lambda': {  
                    'functionArn': 'string'  
                },  
                'sns': {  
                    'targetArn': 'string',  
                    'roleArn': 'string',  
                    'messageFormat': 'RAW'|'JSON'  
                },  
                'sqs': {  
                    'roleArn': 'string',  
                    'queueUrl': 'string',  
                    'useBase64': True|False
```

```

},
'kinesis': {
    'roleArn': 'string',
    'streamName': 'string',
    'partitionKey': 'string'
},
'republish': {
    'roleArn': 'string',
    'topic': 'string'
},
's3': {
    'roleArn': 'string',
    'bucketName': 'string',
    'key': 'string'
},
'firehose': {
    'roleArn': 'string',
    'deliveryStreamName': 'string',
    'separator': 'string'
},
'cloudwatchMetric': {
    'roleArn': 'string',
    'metricNamespace': 'string',
    'metricName': 'string',
    'metricValue': 'string',
    'metricUnit': 'string',
    'metricTimestamp': 'string'
},
'cloudwatchAlarm': {
    'roleArn': 'string',
    'alarmName': 'string',
    'stateReason': 'string',
    'stateValue': 'string'
},

```

```

        'elasticsearch': {
            'roleArn': 'string',
            'endpoint': 'string',
            'index': 'string',
            'type': 'string',
            'id': 'string'
        }
    },
],
'ruleDisabled': True|False,
'awsIotSqlVersion': 'string'
}
)

```

Παρουσιάζονται όλες οι πιθανές λειτουργίες που μπορεί να επιτελέσει ένας κανόνας για να γίνει αντιληπτή η διαφορετικότητα, τόσο μεταξύ των δράσεων που μπορούν να ζητηθούν όσο και των υπηρεσιών που παρέχονται από το AWS.

Στη βιβλιοθήκη που δημιουργήθηκε έχουμε ένα ξεχωριστό script για τη δημιουργία των κανόνων όπου ο χρήστης κάθε φορά επιλέγει από τις λειτουργίες που παρέχονται και στη συνέχεια δημιουργεί τον κανόνα με τα χαρακτηριστικά που επιθυμεί μέσω της εντολής `Rule.create()`.

Διαγραφή αντικειμένου

Για να μπορέσει να διαγραφεί ένα αντικείμενο είναι απαραίτητη η αποσύνδεση του από όλα τα υπόλοιπα στοιχεία όπως είναι τα certificates και τα policies.

Για να γίνει αυτό ακολουθήθηκε μια αντίστροφη διαδικασία.

Αρχικά εντοπίστηκαν τα συνδεδεμένα με το αντικείμενο πιστοποιητικά και πολιτικές μέσω μιας λίγο περίπλοκης διαδικασίας χειρισμών συμβολοσειράς. Η Python είναι μια πολύ ικανή γλώσσα χειρισμού συμβολοσειρών οπότε η χρήση των εργαλείων που παρέχει αποτέλεσε τη βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση αυτού το προβλήματος. Στη συνέχεια ακολουθείται η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία από αυτή της δημιουργίας του αντικειμένου κατά την οποία πραγματοποιείται:

- Αποσύνδεση του Policy από το Certificate
- Αποσύνδεση του Certificate από το αντικείμενο
- Τελική διαγραφή του αντικειμένου

Για να μπορέσει να διαγραφεί και το Certificate θα πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία:

- Αλλαγή της κατάστασης του σε ανενεργή
- Διαγραφή

Για να γίνει αυτή η διαδικασία στο περιβάλλον της Amazon χρειάζεται πλήρη γνώση της δομής των αντικειμένων καθώς δεν είναι σαφές οι διασυνδέσεις μεταξύ των πιστοποιητικών, κάτι που καθιστά τη διαδικασία χρονοβόρα και πολλές φορές αναποτελεσματική.

Επομένως θεωρήθηκε ότι είναι σαφώς απλούστερη η διαγραφή των αχρείαστων αντικειμένων μέσω ενός κώδικα που θα το κάνει πολύ πιο γρήγορα και αποδοτικά.

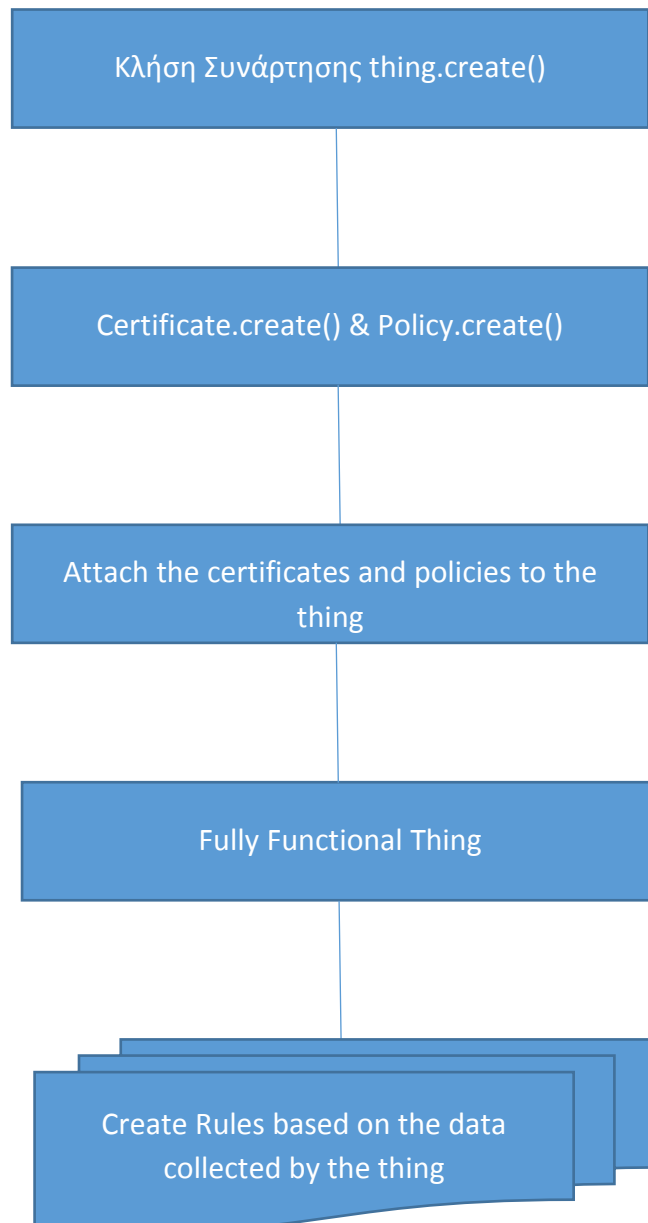
Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαγραφή των Policies και πιστοποιητικών παράλληλα με τη διαγραφή του αντικειμένου δε συνίσταται, καθώς υπάρχει περίπτωση να χρησιμοποιούνται από περισσότερα του ενός αντικείμενα. Η διαγραφή τους λοιπόν είναι εξαιρετικά πιθανό να προκαλέσει σοβαρό πρόβλημα σε άλλα αντικείμενα που δεν θα πρέπει να διαγραφούν. Για αυτό το λόγο δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στον έλεγχο των διασυνδέσεων μεταξύ των στοιχείων που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία δημιουργίας των αντικειμένων, κάτι που σημαίνει ότι εκτελείται έλεγχος για όλα τα συστατικά του αντικειμένου και εφόσον δε χρειάζονται αλλού, τότε και μόνο τότε γίνεται η οριστική τους διαγραφή.

Παράλληλα θεωρείται αξιόπιστη μέθοδος η ξεχωριστή δημιουργία certificate για το κάθε αντικείμενο, καθώς αυτό θα επιτρέψει την πιο εύκολη και ξεχωριστή επεξεργασία του κάθε αντικειμένου ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα, γεγονός που προσφέρει τη δυνατότητα της ανεξάρτητης διαχείρισης των πόρων και των αντικειμένων του συστήματος. Αποφεύγεται με αυτό τον τρόπο η πρόκληση σφαλμάτων που θα οδηγούσαν το σύστημα σε αστάθεια και μη αποτελεσματική λειτουργία.

Για τη σύνταξη και την εκτέλεση του κώδικα χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα JetBrains Pycharm Community Edition 2016.1.4.

4.3.2 Διάγραμμα ροής κώδικα

Ακολουθεί ένα διάγραμμα που δείχνει σχηματικά την λογική σειρά εκτέλεσης των εργασιών που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός πλήρως λειτουργικού αντικειμένου.



4.4 Έλεγχος λειτουργίας συστήματος με μεταβολή δεδομένων MQTT σύνδεσης.

Προκειμένου να μπορέσει να ελεγχθεί η αξιοπιστία της βιβλιοθήκης που δημιουργήθηκε θα πρέπει διαπιστωθεί ότι είναι εφικτή η αποτελεσματική και αποδοτική λειτουργία της σε διάφορα σενάρια.

Ο έλεγχος αυτός θα πραγματοποιηθεί σε δύο τομείς.

- Αρχικά θα δημιουργηθεί το επιθυμητό σύστημα για διαφορετικά πλήθη αντικειμένων και κανόνων που θα διέπουν τη λειτουργία τους.
- Έπειτα θα συνταχθεί ένας κώδικας που θα επιτρέπει την σύνδεση μέσω MQTT client σε κάθε αντικείμενο της πλατφόρμας.

4.4.1 Γενική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του κώδικα για σύνδεση μέσω MQTT client

Ζητούμενο τώρα είναι η δημιουργία κώδικα για την απομακρυσμένη σύνδεση με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης της Python `paho.mqtt.client`.

Αρχικά χρησιμοποιείται η διεύθυνση λογαριασμού του χρήστη στην πλατφόρμα της Amazon ως πληροφορία για την επιθυμητή σύνδεση. Δε ζητείται η διεύθυνση του κάθε αντικειμένου ξεχωριστά καθώς πρέπει να εδραιωθεί μια σύνδεση η οποία θα μπορεί να αναφέρεται στο σύνολο των αντικειμένων που υπάρχουν στο Thing Registry του λογαριασμού.

Στη συνέχεια με μια απλή εντολή `publish` στο αντικείμενο που πρέπει να γίνει αλλαγή, είναι εφικτή η τροποποίηση των δεδομένων αυτού. Η αλλαγή αυτή γίνεται με την αποστολή ενός JSON με τις επιθυμητές αλλαγές που θα ζητηθούν. Μια απλή αλλά χαρακτηριστική μορφή του JSON που αποστέλλεται ακολουθεί παρακάτω:

```
payload = json.dumps({
    "state": {
        "reported": {
            "attribute_1": random.choice(value_range)
```

```
}  
}  
})
```

Η διευθυνσιοδότηση τώρα γίνεται με την ακριβή αναφορά στο MQTT topic που χαρακτηρίζει το IoT αντικείμενο και είναι της μορφής:

```
$aws/things/" + thing + "/shadow/update
```

Όπου το thing αποτελεί μεταβλητή που προσδιορίζει το όνομα του αντικειμένου του οποίου τα attributes θα αλλάξουν.

Η τελική μορφή της εντολής που πραγματοποιεί την αλλαγή είναι της ακόλουθης μορφής:

```
publish("MQTT topic", payload)
```

Εφόσον αυτές οι εντολές ολοκληρωθούν επιτυχώς το αντικείμενο έχει ενημερωθεί και πλέον στόχος είναι η εφαρμογή των κανόνων που ορίζονται βάσει αυτών των αλλαγών.

4.4.2 Προαπαιτούμενα για την αποφυγή σφαλμάτων κατά την εκτέλεση των δοκιμών

Πρέπει εδώ όμως να γίνει μία πολύ σημαντική διευκρίνιση που είναι ζωτικής σημασίας για την σωστή λειτουργία του κώδικα αυτού. Τα αντικείμενα χαρακτηρίζονται από τα πιστοποιητικά που τους επισυνάπτονται και αυτά εν συνεχεία ορίζουν τη λειτουργία των αντικειμένων μέσα από τις πολιτικές με τις οποίες έχουν συνδεθεί. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι αρχικά ο χρήστης θα πρέπει να είναι βέβαιος ότι η λειτουργία που ζητάει μέσω του κώδικα να πραγματοποιήσει είναι σύμφωνη με τις επιτρεπτές από το αντικείμενο λειτουργίες. Δίνεται βέβαια η δυνατότητα σε ένα αντικείμενο να πραγματοποιεί όλες τις δυνατές διαδικασίες (iot:*) μέσω της χρήσης ενός γενικότερου policy.

Κατά τη δημιουργία της βιβλιοθήκης μας θεωρήθηκε πιο λειτουργική η εξ αρχής δημιουργία policies που θα επιτρέπουν την κάθε λειτουργία χωριστά καθώς και μιας ευρέως φάσματος, που ουσιαστικά θα επιτρέπει όλες τις δυνατές λειτουργίες στο αντικείμενο με το οποίο

επισυνάπτεται. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό καθώς δεν υπάρχει περιορισμός στο πλήθος των πιστοποιητικών με τα οποία μπορεί να συνδεθεί μια πολιτική. Αυτό όμως δεν απαγορεύει στον χρήστη τη δημιουργία νέων πολιτικών που πιθανώς να απαιτηθεί κάποια στιγμή. Για τη βέλτιστη χρήση καλό θα είναι τα ονόματα που θα δοθούν στις πολιτικές αυτές να είναι επεξηγηματικά των λειτουργιών της.

Ένα επιπλέον ζητούμενο είναι η χρήση των, παρεχόμενων από την πλατφόρμα της AWS, πιστοποιητικών. Η βάση της δημιουργίας εικονικών αντικειμένων στηρίζεται στην λογική της ύπαρξης συσκευών του φυσικού κόσμου που θα αντιστοιχίζονται με αυτές του συστήματος που δημιουργείται. Αυτή η αντιστοίχιση απαιτεί την ύπαρξη των πιστοποιητικών και στις δύο πλευρές (την εικονική της πλατφόρμας και του φυσικού αντικειμένου).

Όταν δημιουργείται ένα πιστοποιητικό από την πλατφόρμα η Amazon δίνει τη δυνατότητα λήψης των αρχείων και των κλειδιών που ορίζουν το πιστοποιητικό αυτό καθώς και τη δημιουργία ενός αρχείου Root Certificate. Απαιτείται αυτά τα αρχεία να υπάρχουν στην συσκευή που πρόκειται να συνδεθεί με τα εικονικά αντικείμενα του IoT. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τη διαδικασία σύνδεσης του αντικειμένου θα πρέπει να αναφερθούν τα πιστοποιητικά αυτά καθώς και τα κλειδιά τους ώστε να διασφαλίζεται η επικοινωνία της πλατφόρμας μόνο μεταξύ διαπιστευμένων χρηστών και συσκευών.

Αυτή η απαίτηση του συστήματος για ύπαρξη πιστοποιητικών στη συσκευή που προσπαθεί να συνδεθεί ίσως οδηγήσει στη δημιουργία προβλήματος στη διαδικασία υλοποίησης και δοκιμών του κώδικα, λόγω των πολλαπλών πιστοποιητικών που θα πρέπει να υπάρχουν. Έτσι θεωρήθηκε λογικό, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια δοκιμών του κώδικα, να χρησιμοποιηθεί ένα πιστοποιητικό, το οποίο θα συνδεθεί σε όλα τα αντικείμενα, εφόσον η Amazon το επιτρέπει, προκειμένου να μη χρειάζεται κάθε φορά η μεταφορά και η αποθήκευση των νέων αρχείων (πιστοποιητικών και κλειδιών).

4.4.3 Υλοποίηση παραδειγματικού κανόνα

Προκειμένου να μπορέσει να επιβεβαιωθεί η ορθή λειτουργία των αντικειμένων, ορίσθηκαν κανόνες, οι οποίοι αξιοποιούν τη λειτουργία SNS (Simple Notification Service) της Amazon Web Service. Αυτή η λειτουργία έχει ως στόχο την ενημέρωση συγκεκριμένων παραληπτών-

χρηστών για τις πιθανές μεταβολές στα χαρακτηριστικά διαφόρων επιλεγμένων αντικειμένων.

Αυτή η λειτουργία ενεργοποιείται μέσα από κανόνες που ελέγχουν τις αλλαγές των αντικειμένων και εν συνεχεία πυροδοτούν την έναρξη της SNS δράσης. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου κανόνα φαίνεται παρακάτω:

```
create_topic_rule(  
    ruleName=name_of_the_rule,  
    topicRulePayload={  
        'sql': "SELECT state.reported.attribute, FROM  
'$aws/things/thing_name/shadow/update/accepted' WHERE  
state.reported.attribute=value",  
        'description': 'description of rule string',  
        'actions': [  
            {  
                'sns': {  
                    'targetArn': 'The ARN of the SNS topic.',  
                    'roleArn': 'The ARN of the IAM role that grants  
access.,  
                    'messageFormat': 'RAW/JSON'  
                },  
            },  
        ],  
        'ruleDisabled': False,  
        'awsIotSqlVersion': '2016-03-23-beta'  
    }  
)
```

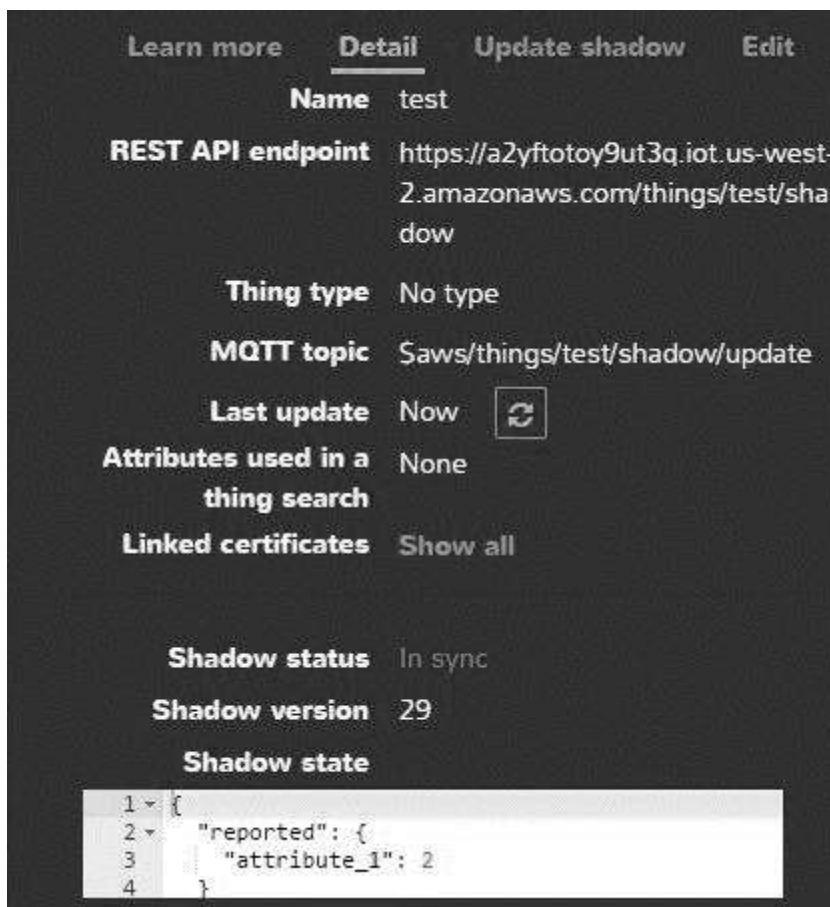
Στο παραπάνω κομμάτι κώδικα φαίνεται η σύνταξη ενός πολύ απλού κανόνα, ο οποίος όμως είναι πλήρως λειτουργικός εφόσον συνταχθεί σωστά. Εάν τεθεί ως παραλήπτης μια διεύθυνση E-mail, κάθε φορά που θα η συνθήκη attribute=value είναι αληθής τότε θα αποστέλλεται ένα mail στη διεύθυνση που έχει οριστεί.

Στην απλούστερη μορφή το mail έχει την ακόλουθη μορφή: {"attribute":value}

Παρακάτω φαίνονται τρεις εικόνες που δείχνουν τα αποτελέσματα της εκτέλεσης σε τρία διαφορετικά στάδια ελέγχου της ορθής λειτουργίας:



Εικόνα [19]. Εικόνα που λάβαμε κατά την εκτέλεση της σύνδεσης από το PyCharm



Εικόνα[20]. Εικόνα που λαμβάνουμε από την πλατφόρμα της AWS IoT

Me no-reply@sns.amazonaws.com μέσω amazonSES.com

8:21 μ.μ. (Πριν από 0 λεπτά)

προς Εμένα

...

{"attribute_1": 1}

Εικόνα [21]. Το e-mail που ελήφθη εφόσον ενεργοποιήθηκε ο SNS κανόνας

5. Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα

5.1 Παρατηρήσεις

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκαν κάποια συμπεράσματα αλλά και παρατηρήσεις που θα αναπτυχθούν στο παρόν κεφάλαιο.

Η πλατφόρμα της Amazon στην οποία αναπτύξαμε την εργασία είναι σχετικά καινούργια στο κομμάτι του Internet of Things. Γεγονός που δημιούργησε αρκετά προβλήματα στην ανάπτυξη της βιβλιοθήκης, τα οποία παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω:

- Λόγω της πρόσφατης ανακοίνωσης της πλατφόρμας δεν έχει αναπτυχθεί μεγάλη βιβλιογραφία πάνω στον τρόπο λειτουργίας και ανάπτυξης εφαρμογών σε αυτήν. Έπειτα από αναζητήσεις στο διαδίκτυο η μόνη πηγή πληροφοριών ήταν από χρήστες οι οποίοι χειρίζονταν την πλατφόρμα και διαθέτουν εμπειρία στον προγραμματισμό και τη διαχείριση αντίστοιχων εργαλείων.

Αυτή η πηγή παρόλο που ήταν αρκετά βοηθητική στη σύνταξη του κώδικα δεν προσέφερε παραπάνω πληροφορίες για την βαθύτερη κατανόηση της δομής και του τρόπου λειτουργίας της πλατφόρμας.

- Η πρώτη πηγή ουσιαστικών πληροφοριών ήταν το επίσημο έγγραφο της Amazon για την παρουσίαση αυτής της υπηρεσίας και την επεξήγηση των επί μέρους λειτουργιών. Όμως παρείχε πολλές πληροφορίες για το συνδυασμό διαφόρων άλλων παρεχόμενων υπηρεσιών της Amazon με το IoT, χωρίς να επικεντρώνεται σε αυτό.
- Επιπλέον εξαιτίας της πρόσφατης ανακοίνωσης αυτής της υπηρεσίας από την Amazon, προστίθενται συνέχεια καινούρια χαρακτηριστικά στα ήδη υπάρχοντα. Το γεγονός αυτό δημιούργησε αρκετά ζητήματα στην εξέλιξη του κώδικα καθώς υπήρχαν συνεχώς νέες αλλαγές που έπρεπε να ληφθούν υπόψιν για τη σύνταξη του ορθού και ενημερωμένου κώδικα της βιβλιοθήκης.
- Παράλληλα η ύπαρξη πολλών εργαλείων που υποστήριζαν τη δημιουργία και την μετέπειτα επεξεργασία του συνόλου των αντικειμένων, δημιουργεί ασάφεια ως προς τον βέλτιστο τρόπο υλοποίησης της διαδικασίας. Το σπουδαιότερο από αυτά είναι το Command Line Interface (AWS CLI) που έχει αναπτύξει η Amazon που προσφέρει μεγάλη ευκολία στη διαχείριση και δημιουργία συστημάτων.

Ωστόσο για να μάθει ένας απλός χρήστης να το χειρίζεται απαιτείται μεγάλη εξοικείωση με τον τομέα των λειτουργικών συστημάτων γενικά, αλλά και ειδικά με τις εντολές που προσφέρονται από το συγκεκριμένο CLI.

```
# - > aws elb describe-instance-health --load-balancer-name HAwebELB-QLSOWOED3ETI --output json
{
  "InstanceStates": [
    {
      "InstanceId": "i-537f141f",
      "ReasonCode": "N/A",
      "State": "InService",
      "Description": "N/A"
    },
    {
      "InstanceId": "i-791b1087",
      "ReasonCode": "N/A",
      "State": "InService",
      "Description": "N/A"
    }
  ]
}
```



Εικόνα[22]. Περιβάλλον του AWS Command Line Interface

5.2 Συμπεράσματα

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά το τέλος της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η παρούσα διπλωματική ασχολήθηκε με την ανάπτυξη ενός συστήματος IoT στην πλατφόρμα που προσφέρει η Amazon Web Services για αυτή τη λειτουργία. Η πλατφόρμα αυτή προσφέρει μια πληθώρα λειτουργιών που μπορεί να συνδυαστεί με εξαιρετικά αποτελέσματα με το IoT. Λόγω του μεγάλου πλήθους των προσφερόμενων υπηρεσιών ήταν αδύνατη η ανάλυση και διερεύνηση της κάθε μίας ξεχωριστά. Περαιτέρω διερεύνηση της κάθε υπηρεσίας θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο ξεχωριστής έρευνας.

Η αρχική σκέψη για τη διπλωματική ήταν η δημιουργία του συστήματος που θα λαμβάνει δεδομένα από το εργαστήριο και στη συνέχεια τα επεξεργάζεται. Όπως προαναφέρθηκε η διαδικασία αυτή εμφάνισε δυσκολίες λόγω της περιπλοκότητας της δημιουργίας και λειτουργίας ενός μεγάλου συστήματος, γεγονός που υπήρξε κινητήριο δύναμη για τη

δημιουργία αυτής της βιβλιοθήκης. Ουσιαστικά φτιάξαμε το εργαλείο που θα αποτελέσει το μέσο για την περαιτέρω ανάπτυξη της αρχικής ιδέας.

Η βιβλιοθήκη αυτή είχε ως αρχικό στόχο τη διευκόλυνση της διαδικασίας, γεγονός που επετεύχθη καθώς τα αποτελέσματα της λειτουργίας της είναι τα επιθυμητά τόσο σε αποδοτικότητα όσο και σε χρόνο εκτέλεσης συγκριτικά με τη χειροκίνητη διαδικασία στο γραφικό περιβάλλον της Amazon. Επομένως επιθυμία μας είναι η αξιοποίηση του κώδικα αυτού στα πλαίσια ανάπτυξης της πλατφόρμας του εργαστηρίου μέσω μελλοντικών διπλωματικών.

Παρακάτω φαίνονται διάφορα γενικότερα συμπεράσματα από την ενασχόληση μας με τον τομέα του IoT και ειδικότερα την πλατφόρμα που παρέχει η Amazon για αυτό.

- Αρχικά το IoT είναι μια τεχνολογία η οποία εκτός από τις πολλές επιπλέον τεχνολογίες που ενσωματώνει, απαιτεί και τη χρήση πολλών άλλων για την επιτυχή δημιουργία των συστημάτων. Λόγω της συνεχούς εξέλιξης έχουν δημιουργηθεί πολλοί τρόποι για την εργασία πάνω σε αυτά τα συστήματα. Η εξέλιξη είναι συνεχής, κάτι που σημαίνει ότι οι ειδικοί αυτών των συστημάτων θα πρέπει να ενημερώνονται συνέχεια πάνω στις αλλαγές αλλά και τις εισόδους νέων εργαλείων.
- Στόχος είναι η ενσωμάτωση του IoT στην καθημερινότητα μέσω της προώθησης της τεχνολογίας σε επιχειρήσεις και οργανισμούς. Αυτό θα γίνει αν καταφέρουν οι επιχειρήσεις να πεισθούν ότι τα δεδομένα που μπορούν να συλλεχθούν από ένα τέτοιο σύστημα, θα χρησιμοποιηθούν με ουσιώδη τρόπο και θα οδηγήσουν στην αύξηση της παραγωγικότητας, της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας του οργανισμού. Προς αυτή την κατεύθυνση λοιπόν θα πρέπει να κινηθεί ο τομέας αυτός για την επέκταση της τεχνολογίας του IoT.
- Ένας πολύ μεγάλος τεχνολογικός κλάδος που βρίσκει εφαρμογή στον τομέα του IoT, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι αυτός της ανάπτυξης κανόνων που θα καθορίζουν τη λειτουργία του ως σύνολο αλλά και τη λειτουργία και δραστηριότητα των ξεχωριστών αντικειμένων που το αποτελούν. Ο τομέας των RBS και των expert systems εξελίσσεται για πολλά χρόνια, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών εργαλείων για τη δημιουργία και τη συντήρηση συστημάτων κανόνων και των

μηχανών παραγωγής τους. Γεγονός που προσφέρει πληθώρα επιλογών στους προγραμματιστές και στις επιχειρήσεις ως προς την επιλογή του βέλτιστου συστήματος, το οποίο θα ταιριάζει κάθε φορά στις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε εφαρμογή απαιτείται έρευνα και βαθύτερη γνώση ή ενημέρωση των διαθέσιμων τρόπων υλοποίησης.

- Επιπλέον η υλοποίηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής στηρίχθηκε σε εικονικά αντικείμενα που επικοινωνούν μεταξύ τους και με την πλατφόρμα μέσω MQTT συνδέσεων. Η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος στον φυσικό κόσμο είναι απαραίτητη για την κατανόηση του πλήρους εύρους των δυνατοτήτων που παρέχονται αλλά και για την ουσιαστική χρήση της βιβλιοθήκης που δημιουργήθηκε.
- Τέλος από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι ο τομέας το IoT αποτελεί ένα αντικείμενο που χρήζει βαθύτερης μελέτης και κατανόησης. Αυτό σημαίνει ότι παρέχονται σπουδαίες δυνατότητες και ισχυρά εργαλεία, που είναι αδύνατο να αναπτυχθούν στο πλαίσιο μιας διπλωματικής εργασίας. Θεωρείται λοιπόν ότι προσφέρεται η δυνατότητα για την έναρξη βαθύτερης μελέτης και ανάπτυξης εφαρμογών, οι οποίες θα εκμεταλλεύονται τις ισχυρές δυνατότητες που προσφέρονται από την τεχνολογία αυτή.

Βιβλιογραφία

- [1] L. T. Y. L. W. a. A. V. Feng Xia, «Internet of Things».
- [2] R. B. S. M. M. P. Jayavardhana Gubbia, «Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,» *Future Generation Computer Systems*, 2013.
- [3] A. Darwiche, «Model-based diagnosis under real-world constraints».
- [4] «RuleML Realise your knowledge,» RuleML, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://wiki.ruleml.org/index.php/RuleML_Home.
- [5] RuleML, «. The Rule Markup Language Initiative,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.ruleml.org.
- [6] H. B. Adrian Paschke, «Rule Markup Languages and Semantic Web Rule Languages».
- [7] F. & S. Bry, «A gentle introduction into xcerpt, a rule-based, a rule-based query and transformation language for xml,» Sardinia,Italy, 2002.
- [8] V. L. a. F. Yang, «Lloyd-Topor Completion and General Stable Models».
- [9] I. Horrocks, «SWRL: A Semantic Web Rule Language».
- [10] «REVERSE reasoning on the Web,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://oxygen.informatik.tu-cottbus.de/reverse-i1/?q=R2ML>.
- [11] P. FENNELL, «SCHEMATRON - MORE USEFUL THAN YOU'D THOUGHT».
- [12] «Schematron, a language for making assertions about patterns found in XML documents,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.schematron.com/>.
- [13] OMG, OMG Production Rule Representation-Context and Current Status, 2003.
- [14] OMG, Production Rule Representation (PRR).
- [15] OMG, Semantics of Business Vocabulary and Business Rules (SBVR), 2015.

- [16] « Business Rules Group..a non-commercial peer group of IT professionals,» Business Rules Group, 1989. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.businessrulesgroup.org/sbvr.shtml>.
- [17] D. Merritt, Building Expert Systems in Prolog, Springer-Verlag, ©1989.
- [18] G. G. L. T. S Ceri, «"What you always wanted to know about Datalog (and never dared to ask)",» *EEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 1*(, 1989.
- [19] M. Chapple, «SQL Fundamentals,» About Tech, October 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://databases.about.com/od/sql/a/sqlfundamentals.htm>.
- [20] «W3C Guidebook — the Art of Consensus Guide».
- [21] «The evolution of Horn's Rule».
- [22] S. G. A. G. Klaus R. Dittrich, The Active Database Management System Manifesto: A Rulebase of ADBMS Features, Springer , 1995.
- [23] D. M. Solutions, «An Introduction to Decision Modeling with DMN,» 2016.
- [24] A. Fish, Knowledge Automation: How to Implement Decision Management in Business Processes, 2012.
- [25] J. Taylor, « Decision Management Systems: A Practical Guide to Using Business Rules and Predictive Analytic,» Pearson Education, 2012.
- [26] « CLIPS Reference Manual, Volume II, Advanced Programming Guide, Version 6.24,» 2006.
- [27] Κ. Π. Β. Ν. Κ. Φ. Σ. Η. Βλαχάβας Ι., “Παράρτημα 2-Το Σύστημα Κανόνων CLIPS”, Τεχνητή Νοημοσύνη, Β. Γκιούρδας Εκδοτική, Φεβρουάριος 2006.
- [28] B. Frederiksen, «PyKE - Python Knowledge Engine,» PyKE, March 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://pyke.sourceforge.net/>.
- [29] IBM, «Answers to Top BRMS Questions».
- [30] A. W. Services, «AWS IoT: Developer Guide».

[31] M. Vizard, «IT Business Edge,» [Ηλεκτρονικό]. Available:
<http://www.itbusinessedge.com/cm/blogs/vizard/new-business-rules-for-it/?cs=46382>.

[32] «Progress Corticon,» Progress, [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://www.progress.com/corticon>.

