



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Ανάπτυξη εφαρμογής συστήματος Ιστού αισθητήρων για  
διάθεση μετεωρολογικών δεδομένων με πρότυπα OGC**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ευγένιος-Δημήτριος Φ. Γουλιμής**

**Επιβλέπων :** Βασίλειος Βεσκούκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2021





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Ανάπτυξη εφαρμογής συστήματος Ιστού αισθητήρων για  
διάθεση μετεωρολογικών δεδομένων με πρότυπα OGC**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ευγένιος-Δημήτριος Φ. Γουλιμής**

**Επιβλέπων :** Βασίλειος Βεσκούκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Ιουλίου 2021.

*(Υπογραφή)*

.....  
Βασίλειος Βεσκούκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Νικόλαος Παπασπύρου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Δημήτριος Φωτάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2021

(Υπογραφή)

.....

**ΕΥΓΕΝΙΟΣ-ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Φ. ΓΟΥΛΙΜΗΣ**

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

© 2021 – 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.

## Περίληψη

Εστίαση σε αυτή την εργασία δίνετε στον λεγόμενο «Ιστό αισθητήρων». Την υποδομή που επιτρέπει την εξώθηση δεδομένων αισθητήρων στην παγκόσμια προσβάσιμη πληροφοριοδομή του Διαδικτύου επεκτείνοντας την περαιτέρω, όπου άνθρωποι και μηχανές θα δύναται εύκολα να έχουν πρόσβαση βάση τυποποιημένων διεπαφών και κωδικοποιήσεων για διάθεση και κατανάλωση δεδομένων αισθητήρων. Για τη διερεύνηση και ανάδειξη των παραπάνω αναπτύχθηκε εφαρμογή Ιστού αισθητήρων, αξιοποιώντας ως συστατικό μια υλοποίηση υπηρεσίας Ιστού αισθητήρων την IstSOS η οποία συμμορφώνεται με τα πρότυπα της Κοινοπραξίας Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (OGC), όπου υλοποιήθηκαν λειτουργίες διάθεσης και κατανάλωσης συγκεκριμένα μετεωρολογικών δεδομένων. Για τη διάθεση τα μετεωρολογικά δεδομένα πάρθηκαν με κατάλληλες διαδικασίες parsing από διαθέσιμα αρχεία κειμένου μηνιαίας σύνοψης, υπέστησαν τις απαραίτητες μετατροπές και κωδικοποιήθηκαν σε κατάλληλες τυποποιημένες αναπαραστάσεις πριν διαβιβαστούν (τροφοδοτηθούν) στην υπηρεσία IstSOS. Τέλος στο κομμάτι της κατανάλωσης που υλοποιήθηκε αντλούνται τα δεδομένα από την IstSOS και απεικονίζονται σε χάρτη καθώς και κατασκευάζονται διαγράμματα αιτούμενων χρονοσειρών.

**Λέξεις κλειδιά:** Ιστός αισθητήρων, Κοινοπραξία Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (OGC), Υπηρεσίες Ιστού



## Abstract

Focus on this work is given to the so-called "Sensor web". The infrastructure that enables the extraction of sensor data into the global accessible information structure of the Internet by expanding it further, where people and machines can easily access based on standard interfaces and encodings for the availability and consumption of sensor data. To investigate and highlight the above, a sensor web application was developed, utilizing as a component an implementation of a sensor web service, IstSOS, which complies with the standards of the Open Geospatial Consortium (OGC), where specific meteorological data distribution and consumption functions were implemented. For the disposal the meteorological data were taken with appropriate parsing procedures from available summary text files, underwent the necessary conversions and were encoded in appropriate standardized representations before being transmitted to the IstSOS service. Finally, in the part of consumption that was realized, the data from IstSOS are extracted and displayed on a map as well as diagrams of requested time series are constructed.

**Keywords:** Sensor Web, Open Geospatial Consortium (OGC), Web Services





## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Βασίλειο Βεσκούκη για την ανάθεση και επίβλεψη αυτού του θέματος διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ ιδιαίτερα και τους γονείς μου για την στήριξη υλική και ηθική κατά την διάρκεια των σπουδών μου.



# Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Ευχαριστίες</b> .....	<b>5</b>
<b>Πρόλογος</b> .....	<b>11</b>
<b>Κεφάλαιο 1</b> .....	<b>15</b>
<b>Συστήματα αισθητήρων, Ιστός Αισθητήρων, Αρχιτεκτονική επισκόπηση</b> .....	<b>15</b>
1.1 Συστήματα αισθητήρων .....	15
1.1.1 Δίκτυα αισθητήρων .....	19
1.1.2 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων .....	20
1.2 Ιστός Αισθητήρων.....	25
1.3 Ερευνητικές προκλήσεις Ιστού αισθητήρων .....	28
1.3.1 Σημαιολογικός Ιστός αισθητήρων και ζητήματα διαλειτουργικότητας .....	28
1.3.2 Μεγάλα δεδομένα αισθητήρων.....	28
1.3.3 Ανακάλυψη πόρων δεδομένων παρατηρήσεων αισθητήρων.....	30
1.4 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων - το επόμενης γενιάς σύστημα .....	31
Ιστού αισθητήρων .....	31
1.5 Αρχιτεκτονική επισκόπηση.....	32
<b>Κεφάλαιο 2</b> .....	<b>35</b>
<b>Πρότυπα</b> .....	<b>35</b>
2.1 Η τυποποίηση Sensor Web Enablement (SWE) της Κοινοπραξίας Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (OGC).....	35
2.2 Πρότυπα μοντέλων δεδομένων και κωδικοποιήσεων της OGC .....	36
2.2.1 Το πρότυπο μοντέλο παρατηρήσεων και μετρήσεων - O&M .....	37
2.2.2 Το μοντέλο αντικειμένων (ή μοντέλο χαρακτηριστικών στοιχείων - ISO OGC feature model) και το μοντέλο πεδίου (ή μοντέλο κάλυψης- ISO OGC coverage model) .....	40
2.2.3 Το πρότυπο SensorML.....	40
2.2.4 Το πρότυπο OGC SOS .....	41
2.2.4 Διαγράμματα ακολουθίας εφαρμογής παραγωγού και καταναλωτή δεδομένων μιας υπηρεσίας SOS .....	46

2.3 Κωδικοποιήσεις για την αναπαράσταση δεδομένων σε υπηρεσίες Ιστού: XML, JSON και CSV.....	47
2.3.1 XML – Η επεκτάσιμη γλώσσα σήμανσης.....	47
2.3.2 JSON – Η σημειογραφία αντικειμένων της JavaScript .....	47
2.3.3 Τιμές διαχωρισμένες με κόμμα (Comma separated values - CSV) .....	53
<b>Κεφάλαιο 3 .....</b>	<b>55</b>
<b>Η υλοποίηση IstSOS .....</b>	<b>55</b>
3.1 Το σύστημα υπηρεσίας IstSOS .....	55
3.2 Λογισμικά στοιχεία στα οποία βασίζεται το σύστημα IstSOS .....	56
3.2.1 PostgreSQL/PostGIS.....	56
3.2.2 Apache/mod_wsgi.....	56
3.2.3 GDAL .....	57
3.2.4 Python modules.....	57
3.3 Αρχιτεκτονική συστήματος IstSOS .....	57
3.4 Εσωτερική λειτουργική δομή λογισμικού .....	59
3.5 Επιπλέον χαρακτηριστικά του συστήματος IstSOS.....	60
3.6 Σχήμα βάσης δεδομένων του συστήματος IstSOS.....	62
3.7 Διεπαφή εφαρμογής OGC SOS του συστήματος IstSOS .....	65
3.8 Διεπαφή εφαρμογής WA-REST του συστήματος IstSOS.....	71
3.9 Η διεπαφή διαχείρισης του συστήματος IstSOS.....	74
3.10 Αποστολή και λήψη δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων προς και από την υπηρεσία του συστήματος IstSOS.....	76
3.10.1 Αποστολή δεδομένων .....	76
3.10.1 Λήψη δεδομένων .....	76
<b>Κεφάλαιο 4 .....</b>	<b>77</b>
<b>Ανάπτυξη εφαρμογής -παραγωγού και καταναλωτή- Ιστού αισθητήρων.....</b>	<b>77</b>
4.1 Στόχος υλοποίησης.....	77
4.2 Τα αρχικώς διαθέσιμα δεδομένα και η διαδικασία parsing.....	77
4.3 Πλάνο ανάπτυξης .....	84
4.4 Η αρχιτεκτονική του παραγωγού δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε ..	89
4.5 Διάγραμμα κλάσεων UML παραγωγού δεδομένων Ιστού αισθητήρων .....	90
4.6 Από το μοντέλο δεδομένων αρχείου μηνιαίας σύνοψης στο μοντέλο δεδομένων της υπηρεσίας IstSOS .....	91

4.6.1 Από το μοντέλο δεδομένων αρχείου μηνιαίας σύνοψης στο μοντέλο δεδομένων συστήματος αισθητήρων της υπηρεσίας IstSOS.....	91
4.6.2 Από το μοντέλο δεδομένων αρχείου μηνιαίας σύνοψης στο μοντέλο δεδομένων παρατηρήσεων της υπηρεσίας IstSOS .....	93
4.7 Η διαδικασία κλίσης των παρεχόμενων Web Services της υπηρεσίας IstSOS .....	94
4.8 Παραγωγός δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε .....	95
4.8.1 Κωδικοποίηση JSON συστήματος αισθητήρων .....	98
4.8.2 Κωδικοποίηση JSON δεδομένων παρατηρήσεων.....	99
4.9 Η αρχιτεκτονική του καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε	101
4.10 Διάγραμμα κλάσεων UML καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων.....	102
4.11 Καταναλωτής δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε .....	104
4.12 Κώδικας εφαρμογής.....	105
<b>Κεφάλαιο 5 .....</b>	<b>107</b>
<b>Συμπεράσματα-Επίλογος .....</b>	<b>107</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>109</b>



## Πρόλογος

Ένα λογισμικό πέπλο πάνω από τα διάφορα εγγενή ετερογενή συστήματα αισθητήρων πλανάται, που θα άρει υπερβαίνοντας/καλύπτοντας την ετερογένεια αυτών παρέχοντας τυποποιημένες διασυνδέσεις πρόσβασης και αναπαράστασης δεδομένων, ορίζοντας εν κατακλείδι ένα καθολικό πλαίσιο λειτουργίας και διάθεσης που θα εξωθήσει προς καθολική αποτελεσματική ενιαία παγκόσμια πρόσβαση μέσω Web των δεδομένων που παράγονται από τα διάφορα συστήματα αισθητήρων. Κατά κάποιον τρόπο τα διάφορα συστήματα αισθητήρων θα καθίστανται παρά την ετερογένεια τους ενιαία και καθολικώς προσβάσιμα από την όψη των πληροφοριών που παράγουν, αφού ο παρόντας Παγκόσμιος Ιστός θα αναπτυχθεί περαιτέρω και σε αυτά τροφοδοτούμενος από διάφορες βαθμίδες παραγωγής συστημάτων αισθητήρων με τα δεδομένα ανίχνευσης/μέτρησης/καταγραφής που παράγουν. Ένα ολιγοπαραμετρικό ενιαίο μοντέλο δεδομένων ελλοχεύει από την Κοινοπραξία Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (OGC) καθώς και πολλαπλές τυποποιήσεις προς τη διαδικασία αυτή: διεπαφές εφαρμογής, κωδικοποιήσεις δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και παρατηρήσεων και άλλα. Περαιτέρω η έρευνα στα «Μεγάλα Δεδομένα» θα κάνει εφικτή την αποτελεσματική και αποδοτική διαχείριση αυτών.

Με την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας σκοπεύουμε να αναδειχτεί ένα μικρό κομμάτι του οράματος του λεγόμενου Ιστού αισθητήρων αποκαλύπτοντας μερικώς και πρακτικώς ορισμένα από τα ζητήματα αυτά. Για το σκοπό αυτό η ανάπτυξη μιας σχετικής εφαρμογής κρίθηκε επιτακτική για την πρακτική εμπέδωση και εξοικείωση επί του θέματος. Συγκεκριμένα υλοποιήθηκε εφαρμογή πελάτη - παραγωγού και καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων- προς μία υπηρεσία Ιστού αισθητήρων που έχει πραγματοποιηθεί από το σύστημα IstSOS. Προς μια παρουσίαση βαθμιαίας επεξήγησης των παραπάνω η εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται μια συνολική θεώρηση των οντοτήτων που υπεισέρχονται από τα Συστήματα αισθητήρων στον Ιστό αισθητήρων εφοδιάζοντας στο τέλος με μια αρχιτεκτονική παράσταση για λόγους επισκόπησης καταλλήλως αφηρημένης για τους σκοπούς αυτής της εργασίας. Επιπλέον σκιαγραφούνται ορισμένες ερευνητικές προκλήσεις όπου παρουσιάζεται λιγάκι εκτενέστερα το θέμα των «Μεγάλων Δεδομένων» όπως σχετίζεται με τον Ιστό αισθητήρων.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η τυποποίηση για τον Ιστό Αισθητήρων της Κοινοπραξίας Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (OGC). Επιπλέον περιγράφονται σημαντικοί τύποι κωδικοποιήσεων δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υπηρεσιών Ιστού για την αναπαράσταση των πληροφοριών που ανταλλάσσονται: XML, JSON και CSV.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα Ιστού Αισθητήρων IstSOS με το οποίο υλοποιείται η υπηρεσία Ιστού αισθητήρων που υποστηρίζει την τυποποίηση OGC SWE. Το συστατικό αυτό θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη της εφαρμογής σ' αυτήν την εργασία.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάπτυξη εφαρμογής -παραγωγού και καταναλωτή- μετεωρολογικών δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε για τους σκοπούς αυτής της εργασίας. Στο κομμάτι του παραγωγού αντλούνται διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα από αρχεία κειμένου με μια διαδικασία συντακτικής ανάλυσης (parsing), υπόκεινται σε διάφορες απαραίτητες μετατροπές και κωδικοποιούνται όπως απαιτείται από τα πρότυπα πριν αποσταλούν στην υπηρεσία IstSOS. Για το μέρος του καταναλωτή αντλούνται τα πλέον διαθέσιμα στον Ιστό μετεωρολογικά δεδομένα από την υπηρεσία IstSOS και απεικονίζονται σε χάρτη καθώς και κατασκευάζονται διαγράμματα αιτούμενων χρονοσειρών.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διάφορα συμπεράσματα και ο επίλογος από την εκπόνηση αυτής της εργασίας.







## Κεφάλαιο 1

### Συστήματα αισθητήρων, Ιστός Αισθητήρων, Αρχιτεκτονική επισκόπηση

#### 1.1 Συστήματα αισθητήρων

Μια φυσική πορεία και εξελικτική τάση του πολιτισμού μας είναι η όλο και περισσότερο ευρύτητα της εισόδου χωροχρονικών μεταβολών ιδιοτήτων-μεταβλητών ενός ενιαία θεωρούμενου δυναμικού συστήματος στα υπολογιστικά συστήματα και κατ' επέκταση η τροφοδότηση αυτών στον Ιστό για περαιτέρω δυνατότητες παγκόσμιας πρόσβασης και υπολογιστικής αξιοποίησης προς επίλυση προβλημάτων. Ειδικότερα, «δεδομένα καταγραφής μετρήσεων αισθητήρων» που αντιπροσωπεύουν φαινόμενα, γεγονότα και συμβάντα του πραγματικού κόσμου<sup>1</sup> εισρέουν στην πληροφοριοδομή του Ιστού τροφοδοτώντας για περαιτέρω επεξεργασίες βάση υπολογιστικών διαδικασιών. Έτσι ο Ιστός διαπλέκεται από νέα κεντήματα, ανιχνευτικών διεργασιών μηχανών συμπληρώνοντας και αναδραστικά τη ζωή μας με στόχο τον όλο και περισσότερο αναγκαίο έλεγχο της εξέλιξης και της ανάπτυξης των πραγμάτων.

Η τροφοδότηση των νέων δεδομένων προς τον Ιστό άρχεται από τεχνουργηματικές μονάδες συστημάτων αισθητήρων. Ένα σύστημα αισθητήρων θεωρείται μια συστημική ολοκλήρωση που πραγματώνεται από τη σύνδεση ενός ή περισσοτέρων αισθητήρων με κάποια υπολογιστική μονάδα με δυνατότητες ανίχνευσης, μέτρησης, καταγραφής καθώς και επικοινωνίας -ενσύρματης είτε ασύρματης- με άλλες υπολογιστικές μονάδες. Ο αισθητήρας στην περίπτωση αυτή περιλαμβάνει ένα στοιχείο μετασχηματισμού που μετατρέπει κάποια άμεση διέγερση φυσικής ενέργειας σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και από εκεί σε δεδομένα για κάποιον καταχωρητή [1]. Μέσω μιας συσκευής αυτού του τύπου δύναται να ανιχνεύεται μέσω κατάλληλης εγκατάστασης παρατήρησης –επιτόπιας (επί της θέσης) είτε απομακρυσμένης- μια ιδιότητα ενός φαινομένου, γεγονότος ή συμβάντος και να επιστρέφεται μια τιμή. Ένας αισθητήρας ανιχνεύει και ανταποκρίνεται σε φυσικές διεγέρσεις όπως κίνηση, φως, θερμότητα και ούτω καθεξής. Έτσι διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες μπορούν να ανιχνευθούν, να μετρηθούν και να καταγραφούν καθώς παρακολουθούνται από επιτόπια εγκατεστημένους (in situ) είτε απομακρυσμένους αισθητήρες. Γενικώς ανιχνεύονται οι διεγέρσεις που φαίνονται στον πίνακα 1.1 [2]:

---

<sup>1</sup> Πραγματικός κόσμος: Ο προς μοντελοποίηση κόσμος του προβλήματος.

**Πίνακας 1.1 Τύποι εισερχόμενης περιβαλλοντικής διέγερσης και τύποι αισθητήρων**

Τύπος εισερχόμενης περιβαλλοντικής διέγερσης	Παραδείγματα αισθητήρων
Ακουστική	Ακουστικοί αισθητήρες: <i>Παθητικοί ακουστικοί αισθητήρες που ανιχνεύουν "φυσικούς" ήχους του περιβάλλοντος π.χ. μικρόφωνα, αισθητήρες υπερήχων, σεισμικοί αισθητήρες κ.α.. Ενεργητικοί ακουστικοί αισθητήρες όπως SONAR (sound navigation and ranging) οι οποίοι εκπέμπουν ηχητική ενέργεια και ανιχνεύουν τα επιστρεφόμενα ηχητικά σήματα από το περιβάλλον.</i>
Χημική	Οι περισσότεροι αισθητήρες για την ανίχνευση χημικών δεν είναι ουσιαστικά χημικοί με την έννοια ότι ανταποκρίνονται απλώς σε μία από τις πέντε άλλες διεγέρσεις αυτού του πίνακα. Ωστόσο κάποιοι νέοι τύποι αισθητήρων διεγείρονται άμεσα από χημικές ουσίες: ορισμένοι αισθητήρες κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο για άμεση ανίχνευση χημικών καταστάσεων με πραγμάτωση συγκεκριμένων χημικών αντιδράσεων σε ειδικά κατασκευασμένες επιμεταλλωμένες μεμβράνες προσαρμοσμένες σε μικροσκοπικές εστίες.
Ηλεκτρομαγνητική	Οι ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν τις παθητικές διατάξεις όπως: μαγνητικούς αισθητήρες, αισθητήρες ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς και ενεργητικούς αισθητήρες όπως το RADAR (radio detection and ranging). Αμιγώς μαγνητικοί αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύουν αλλαγές ή διαταραχές σε μαγνητικά πεδία.
Οπτική	Οι οπτικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα ιδιαίτερα γνωστών αισθητήρων συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων ορατού φωτός δηλ. τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές (συστοιχίες αισθητήρων φωτός) και τους αισθητήρες υπέρυθρων. Λιγότερο γνωστοί οπτικοί αισθητήρες είναι οι αισθητήρες οπτικών διεγέρσεων στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) όπως ο αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα που μετρά την απορρόφηση CO <sub>2</sub> .
Θερμική	Οι θερμικοί αισθητήρες που μετρούν τη θερμοκρασία ή την κλίση της θερμοκρασίας (gradient). Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ψηφιακών θερμικών αισθητήρων π.χ. το θερμίστορ είναι ένας τύπος ηλεκτρικού μεταβλητού αντιστάτη με μεταβλητή αντίσταση ανάλογη της θερμοκρασία περιβάλλοντος.
Μηχανική	Οι μηχανικοί αισθητήρες αποκρίνονται άμεσα σε μηχανικές δράσεις π.χ. πίεση, ροή, ή κίνηση. Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται τα επιταχυνσιόμετρα (accelerometers), τα αλτίμετρα (altimeters), τα ανεμόμετρα, τα βαρόμετρα και μια σειρά από διαφορετικούς τύπους μετρητών ροής (flow) καθώς και διάφοροι τύποι αισθητήρων υγρασίας (humidity).

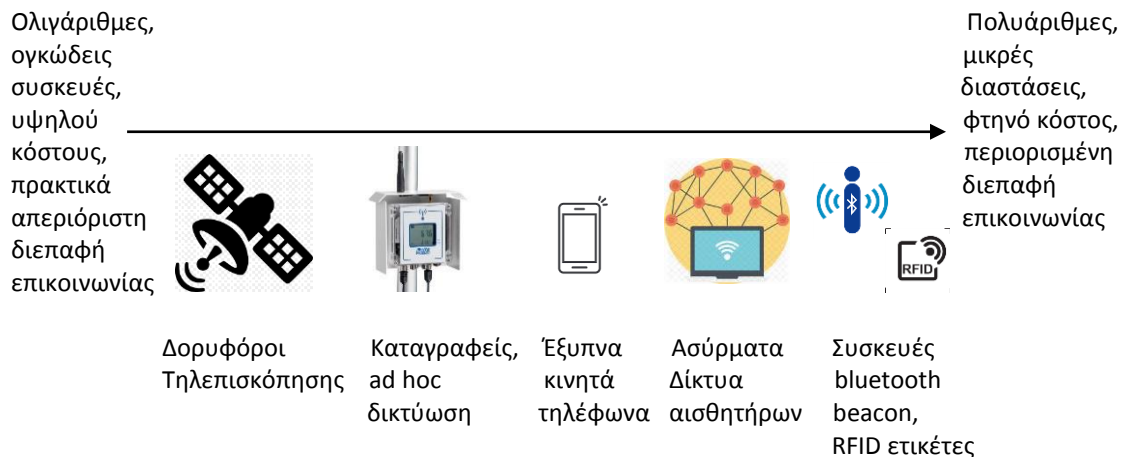
Εφόσον θεωρείται ότι η σύνδεση ενός αισθητήρα δύναται να καταλήγει σε υπολογιστική μονάδα τότε βέβαια και περισσότεροι αισθητήρες δύναται να συνδέονται στην υπολογιστική μονάδα καθιστώντας την **πολυαισθητηριακή** και επιπλέον η δυνατότητα πολλαπλότητας στο είδους της ανίχνευσης την καθιστά **πολυανιχνευτική**.

Η δυνατότητα της υπολογιστικής μονάδας να διαθέτει ικανότητες επικοινωνίας - ενσύρματης είτε ασύρματης- με άλλες υπολογιστικές μονάδες είναι αναγκαία για την προώθηση των συλλεγόμενων δεδομένων προς άλλα συστήματα αλλά και για την πραγματοποίηση συνεργατικών υπολογιστικών πράξεων σε δεδομένα αισθητήρων μεταξύ δύο ή περισσότερων κόμβων ενός δικτύου αισθητήρων. Δηλαδή ένας αριθμός τέτοιων αισθητήριων μονάδων δύναται να οργανώνεται σε ανεξάρτητα ή εξαρτημένα σύνολα (δίκτυα αισθητήρων) για ανίχνευση πληροφοριών καταστάσεων χωρικά εκτεταμένων ιδιοτήτων φαινομένων καθώς και τέλεση υπολογιστικού έργου [2]. Όσο αναφορά το τελευταίο υφίστανται τρεις διαφορετικές εναλλακτικές δυνατότητες τέλεσης της υπολογιστικής πράξης: συμβατικός, κατανεμημένος και αποκεντρωμένος υπολογισμός από την όψη της κατανομής του υπολογιστικού φορτίου και των χαρακτηριστικών της αρχιτεκτονικής του δικτυωμένου συστήματος που αντανακλά ουσιαστικά τον τρόπο εκτέλεσης του ανιχνευτικού-υπολογιστικού έργου από κάποιο δεδομένο σύνολο αισθητήριων κόμβων προς περάτωση της απαιτούμενης διεργασίας ανίχνευσης και υπολογισμού.

Τέλος όσο αναφορά τα συστήματα οι αισθητήρες δύναται να ενσωματώνονται σε μια ευρεία ποικιλία συστημάτων: από μικροσκοπικές συσκευές γνωστές σαν «έξυπνη σκόνη» [8], μεμονωμένες αισθητήριες υπολογιστικές μονάδες με δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας που οργανώνονται σε δίκτυα, έξυπνα κινητά τηλέφωνα μέχρι και μεγάλα συστήματα -αερομεταφερόμενα ή δορυφορικά- κ.α.. Οι δορυφορικοί αισθητήρες παρέχουν πολυφασματικές εικόνες σχετικά με την επιφάνεια της Γης (εικόνες κάλυψη γης, δεικτών βλάστησης κ.α.) και στα αερομεταφερόμενα συστήματα οι αισθητήρες δημιουργούν λεπτομερείς εικόνες είτε/και σαρώσεις με λέιζερ φυσικών ή ανθρώπινων κατασκευών (LiDAR) [9]. Οι αισθητήρες επί της γης δηλ. εγγύς, πάνω ή κάτω από την επιφάνεια της Γης, μετράνε οτιδήποτε από φυσικά χαρακτηριστικά όπως πίεση, θερμοκρασία, υγρασία κ.α. καθώς και φαινόμενα όπως άνεμο, βροχή, σεισμό έως την παρακολούθηση ζώων, φυτών, οχημάτων, τεχνικών καταστάσεων και ανθρώπων. Οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν στους αισθητήρες να γίνονται όλο και μικρότεροι, ελαφρύτεροι και περισσότερο ενεργειακά αποδοτικοί [3].

Όπως και να 'χει από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι υφίσταται μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών συστημάτων που μπορούν να ενταχθούν στην κατηγορία των συστημάτων αισθητήρων όπως έχουν προκύψει από διάφορες εφαρμογές ανίχνευσης-μέτρησης-καταγραφής (παρακολούθησης) αλλά ακόμα και δράσης με εγκατάσταση στο δίκτυο περαιτέρω και ενεργοποιητικών στοιχείων δηλ. εξόδων ενός ολοκληρωμένου συστήματος «Αίσθησης, Υπολογισμού και Ενεργοποίησης». Διάφοροι τύποι αισθητήριων συσκευών φαίνονται στο Σχήμα 1.1. Ακολουθώς περιγράφονται αναλυτικότερα ορισμένοι από αυτούς:

## Φάσμα αισθητήριων συσκευών



**Σχήμα 1.1** Διάφοροι τύποι αισθητήριων συσκευών

- **Δορυφόροι τηλεπισκόπησης:** Ογκώδεις συσκευές που περιέχουν πολυάριθμους αισθητήρες -παθητικής ή ενεργητικής λήψης- με συστήματα ικανά να παρέχουν εικονικές καταγραφές απομακρυσμένων δυναμικών γεωγραφικών φαινομένων και οντοτήτων που επισκοπούνται από αυτούς σε μεγάλο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος [4].
- **Καταγραφείς δεδομένων (data logger):** Μικρότερες ηλεκτρονικές συσκευές που καταγράφουν δεδομένα με την πάροδο του χρόνου είτε σε σχέση με μια θέση είτε με κάποιο ενσωματωμένο όργανο είτε μέσω εξωτερικών συνδέσεων οργάνων και αισθητήρων. Στην πλειονότητα τους οι καταγραφείς βασίζονται σε ψηφιακό επεξεργαστή και ονομάζονται καταγραφικά ψηφιακών δεδομένων (DDL) [5].
- **Έξυπνα κινητά τηλέφωνα:** Κινητά τηλέφωνα που είναι ικανά για κτήση αισθητήριων μετρήσεων για τον χώρο όπου κινείται ο χρήστης. Διαθέτουν αισθητήρες που βρίσκονται ενσωματωμένοι σε αυτά. Οι πληροφορίες των αισθητήρων δύναται να αξιοποιούνται περαιτέρω για την υλοποίηση διάφορων εφαρμογών [6]. Η ηλεκτρονική τους συσκευασία δύναται να περιλαμβάνει περισσότερους αισθητήρες π.χ. για μέτρηση θερμοκρασίας, ανίχνευση κατεύθυνσης κίνησης, μέτρηση βαρομετρικής πίεσης κ.α. [7].
- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων:** Συστημικές ολοκληρώσεις μεμονωμένων εξαρτημένων αισθητήριων κόμβων καταγραφής δηλ. που οργανώνονται σε δίκτυα και εφοδιάζουν με αξιόλογα δεδομένα παρατήρησης και καταγραφής του περιβάλλοντος όπου εγκαθίστανται καθώς εκτείνονται σε γεωγραφική κλίμακα. Καθίστανται ιδιαίτερα πλεονεκτικά για εγκατάσταση σε επικίνδυνες είτε/και δυσπρόσιτες περιοχές με ιδιαίτερα τιμητική χωροχρονική ανάλυση καταγραφής δεδομένων παρατηρήσεων πολλές φορές καλύτερη από τα δορυφορικά τηλεσκοπικά συστήματα και με επιπλέον το πλεονέκτημα της εγγύτητας στο φαινόμενο, πράγμα που παρέχει νέες δυνατότητες καταγραφής [2].

- **Συσκευές Bluetooth φάροι ή πυρσοί (beacon) και RFID ετικέτες:** Οι bluetooth φάροι είναι πομποί στην κατηγορία των συσκευών Bluetooth χαμηλής ενέργειας που μεταδίδουν το αναγνωριστικό τους σε κοντινές φορητές ηλεκτρονικές συσκευές. Η τεχνολογία επιτρέπει σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα, tablet και άλλες συσκευές να εκτελούν ενέργειες όταν βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από έναν φάρο. Το λογισμικό εφαρμογής της συσκευής λήψης αξιοποιεί το αναγνωριστικό του φάρου. Αυτό διασφαλίζει ότι μόνο η εγκατεστημένη εφαρμογή (όχι ο πομπός Bluetooth φάρος) μπορεί να παρακολουθεί τους χρήστες, ενδεχομένως ενάντια στη θέλησή τους, καθώς περπατούν γύρω από τους πομπούς [65].

Τα συστήματα RFID απαρτίζονται από δύο κύρια μέρη. Το πρώτο είναι οι πομποδέκτες (transponders) που συχνά αναφέρονται και ως ετικέτες RFID (RFID tags). Οι ετικέτες RFID είναι μικρά τσιπάκια που αποτελούνται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο περιλαμβάνει μνήμη ώστε να αποθηκεύει δεδομένα- πληροφορίες, και μία κεραία. Το μέγεθός τους μπορεί να είναι τόσο μικρό όσο το μισό ενός κόκκου άμμου (1/3 του χιλιοστού), ανάλογα με το τύπο της ετικέτας. Το δεύτερο μέρος είναι οι αναγνώστες ή αισθητήρες (readers), οι οποίοι ανακτούν τα δεδομένα από τις ετικέτες RFID. Οι αναγνώστες RFID έχουν ενσωματωμένη μια κεραία και μια μονάδα ελέγχου.

Η λειτουργία των συστημάτων RFID είναι απλή και βασίζεται στη δυναμική και αμφίδρομη επικοινωνία των ετικετών και των αναγνώστων. Όταν οι ετικέτες RFID βρεθούν στην εμβέλεια της κεραίας του αναγνώστη, η μονάδα ελέγχου επικοινωνεί με ραδιοκύματα με την κεραία των ετικετών RFID. Οι ετικέτες RFID ενεργοποιούνται με τη σειρά τους και επιστρέφουν τα αναζητούμενα δεδομένα στους αναγνώστες. Στη συνέχεια παρεμβαίνει ένα ενδιάμεσο λογισμικό, το οποίο κατανοεί τις πληροφορίες, οι οποίες αποστέλλονται από τη μονάδα ελέγχου του αναγνώστη. Ο αναγνώστης τις μεταφέρει στο εκάστοτε πληροφοριακό σύστημα [66].

Ως συμπέρασμα για την ποικιλία των συστημάτων αισθητήρων μπορεί κανείς να πει ότι υφίσταται πάντα μια φυσική οντότητα που μεσολαβεί ανάμεσα σε ένα περιβάλλον και ένα σύστημα ώστε κάτι να ανιχνεύεται, να μετρείται και να καταγράφεται από το περιβάλλον τελικά σε κάποια μνήμη του συστήματος.

Για λόγους περαιτέρω διασαφήνισης αναπτύσσεται παρακάτω η έννοια των δικτύων αισθητήρων και ακολούθως των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

### 1.1.1 Δίκτυα αισθητήρων

Ένα δίκτυο αισθητήρων (Sensor network) είναι ένα δίκτυο υπολογιστών που αποτελείται από χωρικά κατανομημένους δικτυωμένους κόμβους αισθητήριων υπολογιστικών μονάδων με σκοπό τη συνεργατική παρακολούθηση φυσικών και περιβαλλοντικών (environmental) συνθηκών. Εκτός του ότι αποτελείται από έναν ή περισσότερους αισθητήρες (σύνολο αισθητήρων) κάθε κόμβος σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι τυπικά εξοπλισμένος με μια συσκευή επικοινωνίας για τη μετάδοση δεδομένων.

Σήμερα είναι εφικτή και οικονομικά βιώσιμη η ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού δικτύων αισθητήρων για παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Είναι γεγονός κατά την τελευταία δεκαετία ότι δίκτυα αισθητήρων συμπεριλαμβανομένων τόσο επιτόπια

εγκατεστημένων κόμβων όσο και απομακρυσμένων συστημάτων, έχουν κατασκευαστεί πολλά και εξελιχθεί ιδιαιτέρως. Ένας συνδυασμός αυτών των εγγενώς ετερογενών συστημάτων ανίχνευσης μπορεί να παράσχει τεράστιες ποσότητες χρονικά έγκυρων, ολοκληρωμένων, συνεχών και υψηλής ανάλυσης παρατηρήσεων αναγκαίων για πολλές εφαρμογές όπως παρακολούθησης περιβάλλοντος, υποβρυχίων-υποθαλάσσιων τόπων, βιοτόπων, εμπόλεμων ζωνών, βιομηχανικών ζωνών, περιοχών επικινδυνότητας κ.α. Πολλές από αυτές τις περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στη διαχείριση καταστροφών.

Παραδείγματα δικτύων αισθητήρων μεγάλης κλίμακας περιλαμβάνουν το τοπικής κλίμακας NEPTUNE (North-East Pacific Time-series Undersea Networked Experiments) δίκτυο παρατήρησης του Ειρηνικού Ωκεανού όπου παρακολουθούνται μακροπρόθεσμες αλλαγές σε βάθη νερού που κυμαίνονται από 17 έως 2660 m και το παγκόσμιο δίκτυο σημαντήρων Argos όπου μετρείται η θερμοκρασία και η αλατότητα των ωκεανών [3]. Τα δίκτυα αισθητήρων τέλος μπορούν να τοποθετούνται σε κινητές πλατφόρμες όπως για παράδειγμα σε εναέριους σιδηροδρόμους (τελεφερίκ), σε ρομπότ, σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη, σε δορυφόρους, στη επιφάνεια της θάλασσας π.χ. για παρακολούθησης της κίνησης μιας πετρελαιοκηλίδας [2] και αλλού.

### 1.1.2 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

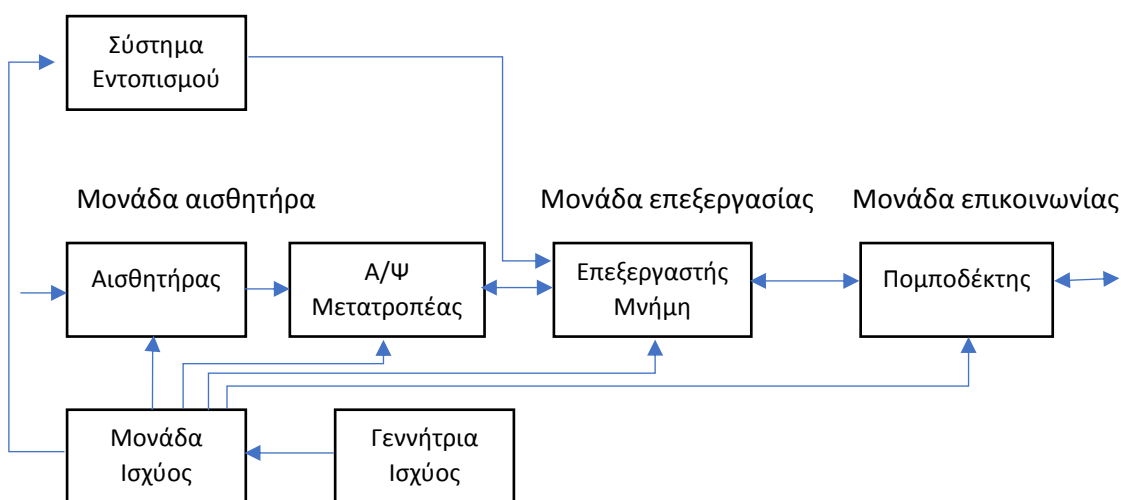
Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless sensor network) είναι ένα δίκτυο αισθητήρων όπου κάθε κόμβος έχει ενσωματωμένη μια μονάδα επεξεργασίας και ασύρματη συσκευή επικοινωνίας. Κάθε αισθητήριος κόμβος τοποθετείται σε ένα σημείο στο πεδίο παρακολούθησης με σκοπό την ανίχνευση, μέτρηση και καταγραφή ιδιοτήτων του περιβάλλοντος. Οι νέες τεχνολογίες όπως των μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS) επιτρέπουν την κατασκευή κόμβων σε μικρο- ή και νανοκλίμακα με αποτέλεσμα μεγαλύτερη φορητότητα και ευελιξία [10].

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλα τα δίκτυα αισθητήρων ασύρματα και σε πολλές αναφορές δεν γίνεται καν διάκριση μεταξύ των δύο. Σε αυτή την εργασία θεωρείται ως δίκτυο αισθητήρων οποιοδήποτε σύστημα που αποτελείται από ένα σύνολο αισθητήριων υπολογιστικών μονάδων με δυνατότητες δικτύωσης όπου μπορούν να χρησιμοποιούνται διάφορα συμβατικά αλλά και εξειδικευμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως π.χ. πρωτόκολλα υποβρύχιας ακουστικής επικοινωνίας. Ένας κόμβος σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από τέσσερα βασικά συστατικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2: μια μονάδα ανίχνευσης, μια μονάδα επεξεργασίας, μια μονάδα πομποδέκτη και μια μονάδα ισχύος. Πολλές εφαρμογές απαιτούν πρόσθετες μονάδες όπως μια μονάδα γεωγραφικού εντοπισμού καθώς και μια γεννήτρια ισχύος [3].

Οι μονάδες αισθητήρων συνήθως έχουν δύο υπομονάδες: αισθητήρες και μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC). Τα αναλογικά σήματα που παράγονται από τους αισθητήρες βάση του παρατηρούμενου φυσικού φαινομένου πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακά σήματα από τον μετατροπέα σήματος αναλογικό-σε-ψηφιακό και στη συνέχεια να αποσταλούν στη μονάδα επεξεργασίας. Η μονάδα επεξεργασίας είναι προγραμματιζόμενη και παρέχει δυνατότητα υπολογιστικής επεξεργασίας, αποθήκευσης και αμφίδρομης επικοινωνίας με άλλους κόμβους του συστήματος. Η μονάδα επεξεργασίας η οποία διασυνδέεται με τη μονάδα ανίχνευσης εκτελεί ορισμένες βασικές λειτουργίες επεξεργασίας σήματος



(απλές μετατροπές βάση καμπύλης βαθμονόμησης αισθητήρα) καθώς και άλλες λειτουργίες σύμφωνα με τον σκοπό της διεργασίας ανίχνευσης. Οι μεμονωμένοι κόμβοι του ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων χρησιμοποιούν τη μονάδα πομποδέκτη για να επικοινωνούν και να συντονίζονται μεταξύ τους καθώς δεν είναι εφικτή η άμεση σύνδεση κάθε κόμβου με το Διαδίκτυο λόγω του ότι μια μονάδα σε απευθείας σύνδεση επικοινωνίας με το Διαδίκτυο είναι ιδιαίτερα δαπανηρή σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [2]. Οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου συνήθως σχηματίζουν ένα δίκτυο πολλαπλών μεταβιβάσεων (multihop network) δηλ. ο κάθε κόμβος προωθεί τα μηνύματα στον επόμενο κοκ.. Έτσι το σύστημα παρακολούθησης δύναται να εκτείνεται σε μεγάλο βάθος κάλυψης.



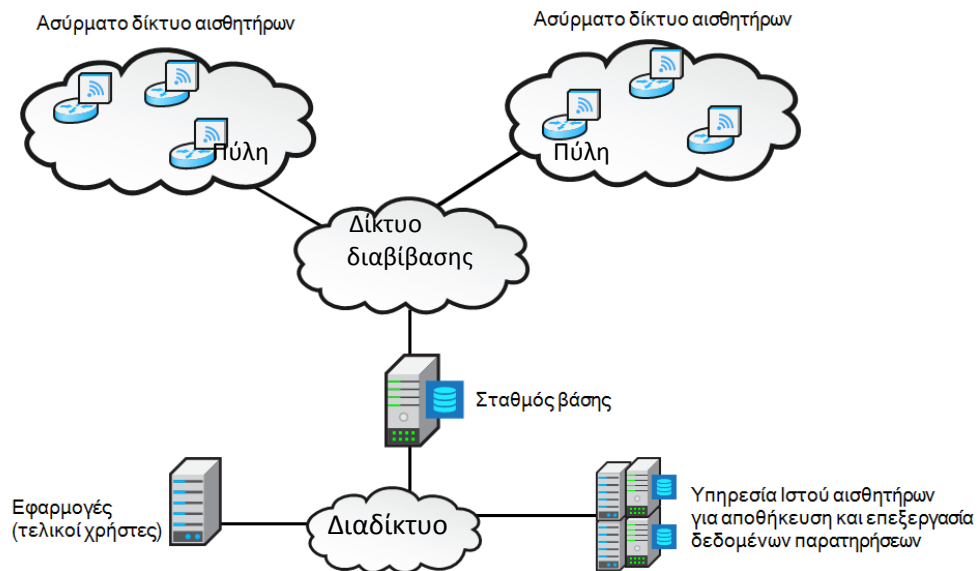
**Σχήμα 1.2** Τα συστατικά ενός κόμβου ασύρματου δικτύου αισθητήρων

Μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων το ασύρματο δίκτυο δύναται επίσης να εκτελεί και «συνεργατικές» επεξεργασίες πληροφορίας εντός δικτύου προς επιτέλεση υπολογιστικού έργου π.χ. αναφοράς της μέσης θερμοκρασίας μιας περιοχής ή την παρακολούθηση χωρικών αλλαγών με την πάροδο του χρόνου κ.α.. Αυτή η ευέλικτη επικοινωνιακή δομή επιτρέπει να παρέχονται από ένα δίκτυο που εκτελεί αποκεντρωμένες εργασίες ανίχνευσης και αποκεντρωμένες υπολογιστικές διεργασίες πολλές ικανότητες παρεμφερείς με ένα συγκεντρωμένο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Η ικανότητα επεξεργασίας «εντός δικτύου» ξεχωρίζει όμως από τα παραδοσιακά συστήματα παρακολούθησης που βασίζονται απλώς σε καταγραφικά δεδομένων καθώς και από άλλα συστήματα που βασίζονται απλώς στην ασύρματη διασύνδεση. Οι ενδιαφερόμενοι αναγνώστες μπορούν να ανατρέξουν στον Duckham [2], όπου εξηγούνται σε βάθος μεθοδολογίες και αλγόριθμοι αυτού του είδους αποκεντρωμένων υπολογιστικών διαδικασιών σε ένα πλαίσιο επεξεργασιών χωρικής πληροφορίας.

Περαιτέρω κάθε κόμβος ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων χρειάζεται ένα λειτουργικό σύστημα για τη διαχείριση των προηγουμένως αναφερθέντων στοιχείων υλικού. Λόγω των περιορισμένων πόρων των τυπικών κόμβων ενός ασύρματου

δικτύου αισθητήρων δεν δύναται να χρησιμοποιούνται συνήθη λειτουργικά συστήματα όπως ενσωματωμένο Linux κ.α. αλλά απαιτούνται περισσότερο εξειδικευμένα λειτουργικά συστήματα όσο αφορά την αρχιτεκτονική, το μοντέλο προγραμματισμού, τον χρονοπρογραμματισμό των διεργασιών, την διαχείριση και προστασία μνήμης, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, την διαχείριση κοινής χρήσης πόρων και υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου. Τέτοια λειτουργικά συστήματα αποτελούν τα TinyOS, Contiki, MANTIS και άλλα. Ο Farooq και ο Kunz παρέχουν μια ολοκληρωμένη έρευνα σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας των λειτουργικών συστημάτων για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων [11].

Για την ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς τα απαραίτητα στοιχεία του συστήματος. Στο Σχήμα 1.3 εικονίζεται μια τυπική κλιμακωτή αρχιτεκτονική ενός συστήματος παρακολούθησης που βασίζεται σε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Η αρχιτεκτονική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε εφαρμογές πεδίου [12].



**Σχήμα 1.3** Τυπική πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική ενός συστήματος ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων

Το χαμηλότερο επίπεδο αποτελείται από τους κόμβους του ασύρματου δικτύου αισθητήρων οι οποίοι πέρα από την ανίχνευση είναι σε θέση να εκτελέσουν και υπολογισμούς γενικής χρήσης συμπεριλαμβανομένων των διεργασιών δικτύωσης. Τέτοιοι μικροί κόμβοι τροφοδοτούμενοι από μπαταρίες εγκαθίστανται σε περιοχές ενδιαφέροντος. Επειδή τοποθετούνται ιδιαίτερα εγγύς στο παρατηρούμενο φαινόμενο συχνά χρησιμοποιούνται μικροί και φθηνοί αισθητήρες. Μέσω πυκνής ανάπτυξης δύναται να επιτευχθεί υψηλή χωρική ανάλυση. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις των καταγραφέντων δεδομένων (data-loggers) όπου χρησιμοποιούνται αισθητήρες υψηλής ποιότητας με πιο εξελιγμένη επεξεργασία

σήματος ένα σύστημα παρακολούθησης ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων παρέχει υψηλή ανοχή σε σφάλματα έναντι απόφραξης αισθητήρα (occlusion) και άλλων αστοχιών εξαρτημάτων.

Στο τέλος τα δεδομένα από κάθε κόμβο ενός ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων πρέπει να μεταδοθούν στο Διαδίκτυο. Για το σκοπό αυτό κάθε τοπικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων διαθέτει τουλάχιστον μια πύλη (gateway) που συχνά έχει περισσότερη ικανότητα υπολογιστικής επεξεργασίας, αποθήκευσης και ενεργειακής επάρκειας (π.χ. περισσότερο χώρο αποθήκευσης για έστω και προσωρινή αποθήκευση ιστορικών δεδομένων που εισέρχονται από τους κόμβους του συστήματος και μεγαλύτερες μπαταρίες ή/και ηλιακούς συλλέκτες). Η πύλη επικοινωνεί με το τοπικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και συνδέεται με το δίκτυο διαμεσολάβησης/διαβίβασης (transit network). Ανάλογα με τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς ο σχεδιασμός του δικτύου διαβίβασης μπορεί να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την αναμενόμενη ανοχή σφαλμάτων, την ενεργειακή απόδοση, το κόστος, τις απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο και τη δυνατότητα διαχείρισης. Για παράδειγμα στο δίκτυο διαμεσολάβησης μπορεί να χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας μονής διαδρομής για μεγάλη εμβέλεια απόσταση ή απλώς να υιοθετείται μια σειρά κόμβων του ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων σε μια διαδρομή από την πύλη προς κάποιο σταθμό βάσης. Τέλος ο σταθμός βάσης συνδέεται με διακομιστές υπηρεσιών Ιστού αισθητήρων για να προωθούνται οι μετρήσεις αισθητήρων σε διαλειτουργικές, επαναχρησιμοποιήσιμες και αναγνώσιμες από υπολογιστή, υπηρεσίες βάση τυποποιημένων διεπαφών πρόσβασης και κωδικοποιήσεων δεδομένων όπως περιγράφεται παρακάτω. Κατά την επιλογή ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων για ανάπτυξη πεδίου πρέπει να ληφθεί υπόψη η ακόλουθη λίστα μετρήσεων απόδοσης [13]. Στην πραγματικότητα αυτές οι μετρήσεις απόδοσης είναι επίσης και οι κύριες ερευνητικές προκλήσεις στην εφαρμογή και ανάπτυξη ασύρματων δικτύων αισθητήρων:

• **Ενεργειακή απόδοση/διάρκεια ζωής συστήματος.** Οι κόμβοι στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τροφοδοτούνται ουσιαστικά από μπαταρίες και σε ορισμένες περιπτώσεις από έναν συνδυασμό επαναφορτιζόμενων μπαταριών και ηλιακών συλλεκτών. Οι κόμβοι πρέπει να είναι ιδιαίτερα ενεργειακά αποδοτικοί για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του συστήματος. Η διάρκεια ζωής ενός κόμβου ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων δεν είναι στην πραγματικότητα μέτρο της διάρκειας ζωής του συστήματος καθώς ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων λειτουργεί συνεργατικά. Έτσι η διάρκεια ζωής μπορεί να μετρηθεί από γενικότερες παραμέτρους όπως ο χρόνος που οι μισοί κόμβοι θα εκλείψουν ή από μετρήσεις που εξαρτώνται άμεσα από την εφαρμογή όπως όταν το δίκτυο σταματά να παρέχει τις επιθυμητές πληροφορίες σχετικά με τα φαινόμενα.

• **Καθυστέρηση (latency).** Η καθυστέρηση ορίζεται ως η χρονική διάρκεια μεταξύ της χρονικής στιγμής που συμβαίνει η παρατήρηση και της στιγμής που παραδίδεται το αποτέλεσμα παρατήρησης στον ενδιαφερόμενο χρήστη ή εφαρμογή. Λόγω του υψηλού ενεργειακού κόστους της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων υπάρχει αντιστάθμιση<sup>2</sup> (trade-off) μεταξύ της καθυστέρησης και της ενεργειακής απόδοσης.

---

<sup>2</sup> Η αντιστάθμιση (trade-off) είναι μια απόφαση κατάστασης που συνεπάγεται μείωση ή απώλεια μιας ποιότητας, ποσότητας ή ιδιότητας ενός συνόλου ή σχεδίου με αντάλλαγμα που συνεπάγεται αύξηση

•**Συχνότητα δειγματοληψίας.** Η απόκτηση ακριβούς πληροφορίας είναι πρωταρχικός στόχος ενός έργου ανίχνευσης. Υψηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να σημαίνει βελτίωση της ακρίβειας επειδή μειώνει την ανάγκη παρεμβολής μεταξύ διακριτών σημείων δεδομένων. Ωστόσο υπάρχει αντιστάθμιση μεταξύ της συχνότητας δειγματοληψίας, της καθυστέρησης και της ενεργειακής απόδοσης. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων πρέπει να είναι προσαρμοστικό έτσι ώστε η επιδιωκόμενη εφαρμογή να αποκτά την επιθυμητή ακρίβεια με αποδεκτή καθυστέρηση και με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Για παράδειγμα μια εργασία ανίχνευσης μπορεί να επιτυγχάνει τον στόχο της είτε ζητώντας συχνότερη διάδοση δεδομένων από τους ίδιους κόμβους αισθητήρων είτε διανέμοντας τη διάδοση δεδομένων σε περισσότερους ακόμα κόμβους αισθητήρων με χαμηλότερο ρυθμό δειγματοληψίας.

•**Ανοχή σε σφάλματα.** Ένας κόμβος ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων ενδέχεται να αποτύχει λόγω των φυσικών συνθηκών (π.χ. σε ένα σενάριο πυρκαγιάς) ή όταν εξαντλούνται οι μπαταρίες. Μπορεί να είναι δύσκολο ή και οικονομικά ανέφικτο να αντικαθίστανται κόμβοι. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων πρέπει να είναι ανεκτικό σε σφάλματα έτσι ώστε διάφορες μη κρίσιμες αστοχίες να αποκρύπτονται από το έργο ανίχνευσης. Η ανοχή σφαλμάτων μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα διατήρησης των λειτουργιών του δικτύου αισθητήρων χωρίς διακοπή μετά από αστοχίες κόμβων αισθητήρων. Μια αποτελεσματική στρατηγική για την επίτευξη ανοχής σφαλμάτων είναι η αναπαραγωγή δεδομένων. Ωστόσο η αναπαραγωγή δεδομένων σε κάποιον άλλο κόμβο απαιτεί περαιτέρω ενέργεια. Υπάρχει και πάλι αντιστάθμιση μεταξύ της αναπαραγωγής δεδομένων και της ενεργειακής απόδοσης. Μια στρατηγική αναπαραγωγής δεδομένων θα πρέπει να είναι εξειδικευμένη για την εργασία. Για παράδειγμα οι κόμβοι ενός ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων μπορούν να μοιράζονται και να αναπαράγουν μόνο δεδομένα υψηλότερης προτεραιότητας και να παραμελούν άλλα δεδομένα.

•**Επεκτασιμότητα.** Ανάλογα με την εφαρμογή ο αριθμός των κόμβων ενός ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων μπορεί να φτάσει σε ακραία τιμή λ.χ. της τάξης των εκατομμυρίων. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο η συχνότητα επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων μπορεί επίσης να αυξάνεται, καταναλώνοντας έτσι περισσότερη ενέργεια και μειώνοντας τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Για δίκτυα μεγάλης κλίμακας είναι πιθανόν ένας τοπικός καθορισμός διαφόρων αλληλεπιδράσεων μιας δομημένης τοπολογίας και με κάποιου είδους πράξεων συνάθροισης να βελτιώνεται η επεκτασιμότητα.

Γενικά οι παρατηρήσεις που συλλέγονται από τα δίκτυα αισθητήρων πρέπει να καταλήξουν σε ένα αποθετήριο δεδομένων (data repository) λ.χ. μέσω Διαδικτύου, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από εφαρμογές. Ωστόσο από τη σκοπιά της διαχείρισης δεδομένων διαπιστώνεται το λεγόμενο φαινόμενο της μακράς ουράς το οποίο υφίσταται και στα δίκτυα αισθητήρων. Μια κατανομή μακράς ουράς σημαίνει ότι ένας μεγάλος αριθμός περιστατικών απέχει πολύ από το «κεφάλι» ή το κεντρικό τμήμα της κατανομής (εξ ου και μακριά ουρά). Ο Άντερσον (2006) αναφέρει την έννοια της μακράς ουράς στο βιβλίο του «The Long Tail: Why the Future of Business Selling Less of More», αναφέροντας το παράδειγμα της επιχείρησης Amazon.com η

---

σε άλλες πτυχές. Με απλά λόγια, μια αντιστάθμιση είναι όπου ένα πράγμα αυξάνεται και κάποιο άλλο πρέπει όμως να μειωθεί.

οποία εφαρμόζει αυτήν τη στρατηγική στα διαδικτυακά της βιβλιοπωλεία. Πριν τη δημιουργία διαδικτυακών βιβλιοπωλείων οι πελάτες συνήθως αγόραζαν βιβλία από τυπικά (φυσικά) βιβλιοπωλεία. Αυτά τείνουν όμως να προσφέρουν συνήθως μόνο τίτλους από δημοφιλή βιβλία, δηλαδή προσφέρουν μόνο το κεφάλι μιας «μακράς ουράς». Τα λιγότερο δημοφιλή βιβλία είναι συνήθως μη διαθέσιμα. Και έτσι οι πελάτες που μπορεί να ενδιαφέρονται γι' αυτά μπορεί να μη γνωρίζουν τους τίτλους, εφόσον δε τα αντικρύζουν συχνά στα ράφια [14]. Εντοπίζονται συχνά τέτοιου είδους ιδιαίτερα μεγάλες ουρές σε διάφορες επιχειρήσεις. Παρομοίως το φαινόμενο της μακράς ουράς εμφανίζεται και στα δίκτυα αισθητήρων. Πύλες δεδομένων αισθητήρων για αναζήτηση και λήψη δεδομένων μετρήσεων αισθητήρων φιλοξενούνται από ορισμένα μεγάλης κλίμακας κυβερνητικά και ερευνητικά επιτελεία (όπως Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO), Παγκόσμιο Σύστημα Διατάξεων Παρατήρησης της Γης (GEOSS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) και National Aeronautics and Space Administration (NASA) κ.α.). Ο αριθμός αυτών των πυλών είναι σχετικά μικρός παρόλα αυτά παρέχουν σημαντικές ποσότητες συνεχών συχνά μακροπρόθεσμων μετρήσεων από αισθητήρες. Αυτά τα δεδομένα ελέγχονται, βαθμονομούνται, ευρετηριάζονται, αποθηκεύονται και δημοσιεύονται στο Διαδίκτυο και αποτελούν συνήθως μόνο το «κεφάλι» σε ένα γράφημα μακράς ουράς δικτύων αισθητήρων. Έτσι η κεφαλή των δικτύων αισθητήρων γίνεται προς το παρόν προσβάσιμη στους ερευνητές ή/και ενδιαφερόμενους. Ωστόσο ένας μεγάλος αριθμός δικτύων αισθητήρων τοπικής κλίμακας όπως κόμβοι ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων που αναπτύσσονται και λειτουργούν από μεμονωμένους επιστήμονες δεν είναι προσβάσιμοι στους περισσότερους ερευνητές και ενδιαφερόμενους από την όψη των δεδομένων αισθητήρων. Ο Heidorn (2008) στο άρθρο του «Shedding Light on the Dark Data in the Long Tail of Science» περιγράφει αυτή τη περιφρονημένη κατηγορία ως «σκοτεινά δεδομένα» (Dark Data) [15]. Αυτά τα δεδομένα δεν ευρετηριάζονται μήτε αποθηκεύονται σε μια κεντρική πύλη δεδομένων αισθητήρων και έτσι γίνονται ουσιαστικά αόρατα στους περισσότερους επιστήμονες και άλλους πιθανούς ενδιαφερόμενους. Αυτά τα συστήματα αισθητήρων και τα δεδομένα τους είναι περισσότερο δύσκολο να εντοπιστούν και χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά από αυτά που βρίσκονται στην κεφαλή των δικτύων αισθητήρων. Ως αποτέλεσμα είναι πιο πιθανό να παραμείνουν σε χαμηλή χρήση και τελικά να χαθούν. Κατά συνέπεια υπάρχει μεγάλη ανάγκη να ενσωματωθούν αυτά τα ετερογενή συστήματα αισθητήρων σε ένα συνεκτικό και ενιαίο διαλειτουργικό σύστημα παγκόσμιας πρόσβασης το οποίο αποκαλείται **Ιστός αισθητήρων** [16].

## 1.2 Ιστός Αισθητήρων

Όπως γίνεται αντιληπτό από την προηγούμενη ενότητα υφίσταται μια μεγάλη ποικιλία εγγενώς ετερογενών συστημάτων αισθητήρων που μπορούν να ενταχθούν στα συστήματα αισθητήρων παρέχοντας εν κατακλείδι **αισθητήριες καταγραφές δεδομένων μετρήσεων** προς τροφοδότηση μιας **ενιαίας δεξαμενής αποτελεσματικής πρόσβασης αισθητήριων δεδομένων** τον αποκαλούμενο Ιστό αισθητήρων. Αλλά τι ακριβώς είναι ο Ιστός αισθητήρων;

Ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή: Η διαδικασία της ανίχνευσης μέσω ενός συστήματος αισθητήρων μετατρέπει τη φυσικότητα εισόδου σε δεδομένα σε κάποιο καταχωρητή. Από εκεί και πέρα τα δεδομένα είναι διαθέσιμα να χρησιμοποιηθούν σε υπολογιστικές πράξεις αλλά ή/και να εξωθηθούν ακολούθως προς τον Ιστό<sup>3</sup>. Αλλά μήπως προτρέχουμε;

Από ανεπεξέργαστα δεδομένα (raw data) ως εναρκτήριο σημείο είτε άλλα προϊόντα ετερογενών υπολογιστικών διαδικασιών συστημάτων αισθητήρων προς στο μονοπάτι τυποποιημένων τύπων που έχει ανάγκη για να πραγματώνεται ο Ιστός; Αν συμβεί δίχως τυποποίηση; Θα είναι εύκολα προσβάσιμη μια τέτοια δεξαμενή δεδομένων αισθητήρων; Θα είναι ουσιαστικά αξιοποιήσιμη; Η απάντηση μάλλον στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αποφαιτική. Διότι τα δεδομένα παρατηρήσεων αισθητήρων από μόνα τους δεν έχουν αξία χωρίς κοινώς συμφωνημένα **πρότυπα μοντέλα δεδομένων και μεταδεδομένα**. Για να μπορούν να ανακαλύπτονται στον Ιστό και να αξιοποιούνται αποτελεσματικά και αποδοτικά από πολλούς ενδιαφερόμενους σημαντικό είναι να παρέχονται κάτω από ένα κοινό πλαίσιο ουσιαστικής σημασιολογίας και δομικών περιγραφών. Και οι τράπεζες πληροφοριών δεδομένων αισθητήρων σε αυτήν την περίπτωση όπως και τα τραπεζικά καταστήματα έχουν ανάγκη από τυποποιημένα στοιχεία και συστήματα. Αυτό πρέπει να ισχύει αρχικά για το μοντέλο δεδομένων του οποίου η υιοθέτηση κατά κάποιο τρόπο οδηγεί εύκολα και σε μια κατάλληλη **τυποποιημένη διεπαφή πρόσβασης**. Σε αυτό το σημείο επέρχεται ακριβώς το όραμα του Ιστού αισθητήρων.

Ο Ιστός αισθητήρων μοιάζει με προσωπίο που απλώνεται-εκτείνεται επί των δεδομένων παρατηρήσεων συστημάτων αισθητήρων για να παρέχει στα συστήματα αρχικώς ένα ενιαίο τυποποιημένο μοντέλο δεδομένων για την αναπαράσταση των δεδομένων που προέρχονται από τα διάφορα εγγενώς ετερογενή συστήματα αισθητήρων και ακολούθως μια ενιαία τυποποιημένη διεπαφή εφαρμογής. Έτσι πραγματώνεται σε πρώτη φάση ο Ιστός Αισθητήρων. Με πρότυπα αναπαράστασης δεδομένων και τυποποιημένες διεπαφές πρόσβασης. Σε δεύτερη φάση απαιτούνται αποδοτικοί μηχανισμοί διαχείρισης που θα οδηγήσουν σε τρίτη φάση σε αποτελεσματικές μηχανές αναζήτησης δεδομένων αισθητήρων. Οι αποδοτικοί μηχανισμοί απαιτούνται ιδιαίτερα λόγου του τεράστιου όγκου δεδομένων που παράγονται από τα συστήματα αισθητήρων αλλά και για την καθίδρυση μιας ενιαίας προσβάσιμης καθολικής πληροφοριοδομής δεδομένων αισθητήρων. Όσο αναφορά το πρώτο ο ρυθμός δεδομένων αισθητήρων αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον αφού ο κόσμος μας πάντα θέλει να αυξάνει ταχύτητες. Μετά από όλα αυτά η ουσία γίνεται εύκολα προσβάσιμη και (δια)λειτουργική από την «ύπαρξη» (του Ιστού) και αναδεικνύεται περαιτέρω η ίδια η ουσία η οποία αξιοποιείται σε εφαρμογές συμβάλλοντας ιδιαίτερα και στη **βιωσιμότητα** των συστημάτων αισθητήρων.

Ενώ ο τομέας των δικτύων αισθητήρων ασχολείται ουσιαστικά με τη διασύνδεση φυσικών κόμβων αισθητήρων υπολογιστικών μονάδων δηλ. με ζητήματα δικτύωσης και επεξεργασίες εντός δικτύου, ο τομέας του Ιστού αισθητήρων ασχολείται κυρίως με τη διασύνδεση των δεδομένων και των εφαρμογών δηλ. ζητήματα διαλειτουργικότητας και καινοτομίας συναρμολόγησης (innovation-in-assembly). Η ενσωμάτωση των παραγόμενων δεδομένων παρατηρήσεων από διαφορετικά συστήματα αισθητήρων σε ένα ενιαίο και διαλειτουργικό σύστημα παρατηρήσεων

---

<sup>3</sup> Ο Ιστός θεωρείται μια ενιαία καθολικά προσβάσιμη πληροφοριοδομή.

αισθητήρων είναι αρκετά περίπλοκη. Οι κόμβοι ενός δικτύου αισθητήρων είναι υπολογιστές πεδίου. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων περιορίζεται από την εφαρμογή και το φυσικό περιβάλλον. Διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες στο πεδίο επιφέρουν και διαφορετικές προκλήσεις (π.χ. απομακρυσμένη τοποθεσία αισθητήρων, περιορισμοί ισχύος, ακραίες καιρικές συνθήκες κ.λπ.). Περαιτέρω αυτές οι διαφορετικές προκλήσεις οδηγούν σε διαφορετικά σχέδια και σχεδιαστικούς συμβιβασμούς. Ως αποτέλεσμα από τα διάφορα εξειδικευμένα συστήματα αισθητήρων δημιουργούνται νησίδες πληροφοριών. Έτσι απαιτείται μια συνεκτική υποδομή πληροφοριών προς ολοκλήρωση των αισθητήρων και των δεδομένων τους με διαλειτουργικό, ανεξάρτητο πλατφόρμας και ομοιόμορφο τρόπο.

Η έννοια του Ιστού αισθητήρων αντικατοπτρίζει ένα είδος τέτοιας υποδομής κοινής χρήσης, εύρεσης και πρόσβασης στους αισθητήρες και στα δεδομένα μέσω διαφορετικών εφαρμογών. Τα πρωτόκολλα επικοινωνιών των ετερογενών συστημάτων αποκρύπτονται από τις εφαρμογές οι οποίες ενσωματώνονται στον Ιστό αισθητήρων. Παρομοίως έτσι όπως ο Παγκόσμιος Ιστός (WWW) που λειτουργεί ουσιαστικά ως ένας παγκόσμιος ενιαίος υπολογιστής έτσι και ο Ιστός αισθητήρων θα μπορεί να λειτουργήσει ως ένας παγκόσμιος ενιαίος αισθητήρας. Από τον Ιστό αισθητήρων θα παρέχεται στους χρήστες, στις εφαρμογές και στα ίδια τα συστήματα αισθητήρων μια ενιαία αποτελεσματικά και αποδοτικά προσβάσιμη δεξαμενή με τεράστιες ποσότητες δεδομένων αισθητήρων-παρατηρήσεων και κατά συνέπεια η παροχή προϊόντων τεράστιας αφοσιωμένης επεξεργαστικής ισχύος μετά από διάθεση δεδομένων μεγάλου αριθμού ευρέως κατανεμημένων, ετερογενών συστημάτων αισθητήρων από διάφορα συστήματα λ.χ. ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, συστήματα τηλεπισκόπησης κ.α..

Ορισμένοι αναφέρουν αυτό το σύστημα ως «Παγκόσμιο Ιστό αισθητήρων» επειδή η διασύνδεση μεταξύ αυτών των «δικτύων» αισθητήρων επιτυγχάνεται συνήθως μέσω της υποδομής του Παγκόσμιου Ιστού (WWW). Αξίζει να σημειωθεί ότι η έννοια του Ιστού αισθητήρων εξελίσσεται, όπως αποδεικνύεται από ευρύ φάσμα ορισμών για τον Ιστό αισθητήρων [17], [18]. Σε ορισμένες αναφορές δεν γίνεται καν διάκριση μεταξύ των δικτύων αισθητήρων και του Ιστού αισθητήρων. Η βασική διάκριση γίνεται στην έρευνα όπου τα δίκτυα αισθητήρων ασχολούνται κυρίως με θέματα δικτύωσης και επεξεργασίας εντός των κόμβων ενός δικτύου συστημάτων αισθητήρων, ενώ η έρευνα στον Ιστό αισθητήρων επικεντρώνεται κυρίως σε θέματα διαχείρισης και διαλειτουργικότητας των δεδομένων και συστημάτων αισθητήρων. Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο ότι για μια ιδιαίτερα μεγάλης κλίμακας ενοποίηση δεδομένων από αισθητήρες π.χ. εθνικής ή διεθνούς εμβέλειας καθώς και για τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων πρέπει να αναπτυχθούν **ανοιχτά πρότυπα**. Τα ανοιχτά πρότυπα μπορεί να περιλαμβάνουν στην περίπτωση αυτή την τυποποίηση των διασυνδέσεων για σύνδεση και πρόσβαση σε συσκευές αισθητήρων, την τυποποίηση της αναπαράστασης των δεδομένων από αισθητήρες λ.χ. με εφαρμογή τεχνολογιών όπως XML κ.α.. Οι τυποποιήσεις αυτές είναι αναγκαίες για την διαλειτουργικότητα των συστημάτων. Με την παροχή τέτοιου είδους τυποποιημένων διασυνδέσεων καθώς και ανοιχτού λογισμικού θα γίνει εφικτός ο διαμοιρασμός και η πρόσβαση σε δεδομένα αισθητήρων με ενιαίο τρόπο. Έτσι τελικά επιστήμονες και άλλοι ενδιαφερόμενοι θα μπορούν να (δια)μοιράζονται, να εντοπίζουν, να συνδυάζουν και να θέτουν ερωτήματα σε πραγματικό χρόνο για δεδομένα

αισθητήρων που αφορούν γεωγραφικές περιοχές όλου του πλανήτη. Η κοινοπραξία Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (OGC) έχει καθοδηγήσει την τυποποίηση διεπαφών συστημάτων αισθητήρων για αρκετά χρόνια και αρκετές τυποποιήσεις είναι ήδη διαθέσιμες. Αυτές θα παρουσιαστούν αναλυτικά στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αυτής της εργασίας.

### 1.3 Ερευνητικές προκλήσεις Ιστού αισθητήρων

Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται ορισμένες ανοιχτές ερευνητικές προκλήσεις και μελλοντικές εργασίες για τον τομέα του Ιστού αισθητήρων.

#### 1.3.1 Σημαιολογικός Ιστός αισθητήρων και ζητήματα διαλειτουργικότητας

Οι Corcho και García-Castro (2010) αναφέρουν την άποψή τους σχετικά με ερευνητικές προκλήσεις από την οπτική γωνία του σημαιολογικού Ιστού αισθητήρων [19]. Οι Bröring et al. (2011) συζητούν ορισμένες ανοιχτές ερευνητικές προκλήσεις από την όψη της διαλειτουργικότητας [20]. Ακολουθώς περιγράφονται ορισμένα από τα ανοιχτά προβλήματα σε αυτό το ερευνητικό πεδίο από όψη των μεγάλων όγκων δεδομένων αισθητήρων (big sensor data).

#### 1.3.2 Μεγάλα δεδομένα αισθητήρων

Ο όρος «μεγάλα δεδομένα» χρησιμοποιείται για να περιγράψει σύνολα δεδομένων που είναι πολύ μεγάλα ή πολύ περίπλοκα για διαχείριση και επεξεργασία από συνήθη συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS) και συνήθεις εφαρμογές επεξεργασίας δεδομένων. Ένα ευρέως αποδεκτό μοντέλο για τα μεγάλα δεδομένα είναι το μοντέλο 3Vs. Το μοντέλο 3Vs ορίζει τα μεγάλα δεδομένα ως δεδομένα που είναι μεγάλα σε όγκο (volume), ταχύτητα (velocity) και ποικιλία (variety) [21]. Το κάθε «V» από μόνο του δημιουργεί διαφορετικές προκλήσεις στη διαχείριση μεγάλων δεδομένων. Τα δεδομένα αισθητήρων θεωρούνται στην πραγματικότητα μια πηγή μεγάλων δεδομένων με όλες τις προκλήσεις των 3V. Ακολουθώς αναλύονται στο πλαίσιο των 3V οι ερευνητικές προκλήσεις του Ιστού αισθητήρων:

**Όγκος:** Ένα χαρακτηριστικό των μεγάλων δεδομένων είναι ο μεγάλος όγκος δεδομένων που μπορεί να σημαίνει είτε μεγάλο μέγεθος είτε/και μεγάλο αριθμό εγγραφών δεδομένων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο όγκος των δεδομένων από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης είναι τεράστιος και προβλέπεται ότι το μέγεθος των δεδομένων αισθητήρων θα είναι 10-20 φορές μεγαλύτερο από τον όγκο δεδομένων των κοινωνικών μέσων. Καθώς ο αριθμός των αισθητήρων και το μέγεθος των δεδομένων αυτών θα αυξάνεται εκθετικά, ο τρόπος αποθήκευσης, μετάδοσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης των δεδομένων του Ιστού αισθητήρων αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση. Έχουν προταθεί και αναπτυχθεί νέες αρχιτεκτονικές μεγάλων δεδομένων συμπεριλαμβανομένου του πλαισίου MapReduce, Apache Hadoop και συναφών έργων [22], της αρχιτεκτονικής Lambda και Storm [23] κ.α. Ωστόσο αυτά τα νέα πλαίσια δεν έχουν σχεδιαστεί ειδικά για χωροχρονικά σύνολα δεδομένων. Τα χωροχρονικά σύνολα δεδομένων είναι ιδιαίτερα και σημαντικά στο



πλαίσιο του Ιστού αισθητήρων. Έτσι πρέπει να προταθούν και να αναπτυχθούν γι' αυτά εξειδικευμένοι αλγόριθμοι και αρχιτεκτονικές επεξεργασίας.

**Ταχύτητα:** Το χαρακτηριστικό της ταχύτητας αναφέρεται στο ρυθμό με τον οποίο παράγονται τα δεδομένα. Σε αντίθεση με τους ανθρώπους-μετέχοντες στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης τα συστήματα αισθητήρων στον Ιστό αισθητήρων μπορούν να παράγουν δεδομένα με ιδιαίτερα πολύ υψηλές συχνότητες λ.χ. οι κινητήρες ενός Boeing jet στη διάρκεια μιας πτήσης παράγουν 10 Terabyte δεδομένων αισθητήρων κάθε 30 λεπτά. Έτσι καθίσταται πολύ δύσκολη η αποτελεσματική επεξεργασία των υψηλής ταχύτητας ροών δεδομένων ειδικά αν ληφθεί υπόψη και η χωρική συνιστώσα των δεδομένων αυτών. Οι διάφοροι υφιστάμενοι αλγόριθμοι και αρχιτεκτονικές επεξεργασίας χωρικών δεδομένων πρέπει να επανασχεδιαστούν ώστε να αντιμετωπιστεί ο υψηλός όγκος σε συνδυασμό με την ταχύτητα των χωροχρονικών ροών δεδομένων αισθητήρων. Επιπλέον η συνήθης αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή (αιτήματος/απόκρισης) και τα συνήθη συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS) ενδέχεται να μην είναι κατάλληλα για διαχείριση ροών δεδομένων αισθητήρων υψηλών ταχυτήτων. Η αρχιτεκτονική δημοσίευσης-εγγραφής (publish/subscribe) και το σύστημα διαχείρισης ροών δεδομένων (DSMS) είναι μια εναλλακτική αναδυόμενη λύση επεξεργασίας δεδομένων που αξίζει όμως περαιτέρω έρευνα. Ο Huang (2014) πρότεινε το GeoPubSubHub μια αρχιτεκτονική δημοσίευσης/εγγραφής για τον Ιστό αισθητήρων [24]. Ο πυρήνας του GeoPubSubHub είναι το συγκεντρωτικό ιεραρχικό χωρικό μοντέλο (AHS) το οποίο είναι ένας νέος αλγόριθμος που βασίζεται στο DE-9IM που έχει σχεδιαστεί ειδικά για αποτελεσματικό προσδιορισμό τοπολογικών σχέσεων μεταξύ συνεχών εισερχόμενων ροών δεδομένων αισθητήρων και ενός μεγάλου αριθμού προκαθορισμένων ερωτημάτων (δηλαδή, εγγραφών συνδρομών). Ο Huang επέκτεινε το μοντέλο AHS αναπτύσσοντας το κατανεμημένο μοντέλο AHS με βάση το MapReduce, μια τυπική μεθοδολογία διαχείρισης «μεγάλων δεδομένων». Το μοντέλο AHS και το κατανεμημένο μοντέλο AHS είναι παραδείγματα ενημέρωσης υπαρχόντων χωρικών αλγορίθμων και αρχιτεκτονικών για την αντιμετώπιση των προκλήσεων των μεγάλων όγκων και ταχυτήτων των δεδομένων.

**Ποικιλία:** Η πρόκληση της ποικιλίας περιλαμβάνει ασύμβατες δομές δεδομένων, ασυνέπειες στη σημασιολογία δεδομένων και ασύμβατες μορφές δεδομένων. Γενικά το χαρακτηριστικό της ποικιλίας αναφέρεται στις διαφορές μεταξύ των πλειάδων (εγγραφών) δεδομένων. Στο πλαίσιο του Ιστού αισθητήρων το πλαίσιο διαλειτουργικότητας του προτύπου OGC SWE έχει αποδειχθεί ότι είναι χρήσιμο και πρακτικό για την αντιμετώπιση ζητημάτων ποικιλίας στον Ιστό αισθητήρων, ειδικά στην ανταλλαγή των παρατηρήσεων. Ωστόσο ενώ το SWE παρέχει ένα σημασιολογικό και συντακτικό πλαίσιο διαλειτουργικότητας υψηλού επιπέδου, απαιτούνται πρόσθετοι σημασιολογικοί όροι και μοντέλα εστίασης τομέα προκειμένου να βελτιωθεί περαιτέρω η διαλειτουργικότητα. Για παράδειγμα, οι Sheth, Henson, και Sahoo (2008) πρότειναν ότι ο σημασιολογικός Ιστός αισθητήρων διερευνά το ρόλο των σημασιολογικών όρων, των οντολογιών και της συλλογιστικής για τη βελτίωση της ανακάλυψης αισθητήρων καθώς και το ζήτημα της ενοποίησης [25]. Οι παγκόσμιες κοινότητες υδρολογίας προσέφεραν εδώ κάτι εξαιρετικό καθορίζοντας μοντέλα εστίασης τομέα για τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα τις παρατηρήσεις ποιότητας νερού βασιζόμενοι στο πλαίσιο του προτύπου SWE. Το αποτέλεσμα της συνεργασίας έφερε το πρότυπο OGC WaterML καθώς και το προφίλ υδρολογίας OGC

[26]. Το πρότυπο WaterML 2.0 έγινε αποδεκτό ως επίσημο πρότυπο της OGC τον Σεπτέμβριο του 2012 και στη συνέχεια εγκρίθηκε από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Γεωγραφικών Δεδομένων των ΗΠΑ (FGDC) και έχει προταθεί για υιοθέτηση ως κοινό πρότυπο WMO και ISO. Μόλις εγκριθεί επίσημα από την Επιτροπή Υδρολογίας του WMO, οι κοινότητες υδρολογίας σε όλο τον κόσμο θα έχουν ένα πραγματικά παγκόσμιο και διαλειτουργικό πλαίσιο για δημιουργία παγκόσμιου Ιστού αισθητήρων υδρολογίας. Απαιτούνται παρόμοιες προσπάθειες για να εκπληρωθεί ευρύτερα το όραμα του Παγκόσμιου Ιστού αισθητήρων.

### **1.3.3 Ανακάλυψη πόρων δεδομένων παρατηρήσεων αισθητήρων**

Για οποιοδήποτε καταναμεμένο σύστημα μεγάλης κλίμακας όπως το WWW τόσο η επικοινωνία όσο και η διαχείριση δεδομένων εντάσσονται περαιτέρω στο ευρύτερο πρόβλημα της ανακάλυψης πόρων. Παρομοίως ο Ιστός αισθητήρων χρειάζεται έναν αποτελεσματικό και αποδοτικό μηχανισμό «ανακάλυψης» όπως ένα μητρώο (registry), μια μηχανή αναζήτησης (search engine) ή μια μηχανή προτάσεων (recommendation engine). Οι Jirka, Bröring και Stasch (2009) ανέπτυξαν έναν μηχανισμό ανακάλυψης για τον Ιστό αισθητήρων προτείνοντας δύο συστατικά: το Sensor Instance Registry (SIR) και το Sensor ObservableRegistry (SOR) που παρέχουν μηχανισμούς αναζήτησης αισθητήρων αξιοποιώντας βασικές σημασιολογικές σχέσεις, μεταδεδομένα αισθητήρων και ενσωματώνουν την ανακάλυψη αισθητήρων σε ήδη υπάρχοντες καταλόγους (catalogs) [27]. Ενώ όμως η παραδοσιακή συγκεντρωμένη προσέγγιση μητρώου μπορεί να είναι κατάλληλη για σχετικά στατικά γεωγραφικά σύνολα δεδομένων είτε/και στατικά δίκτυα αισθητήρων αυτή ενδέχεται να μην είναι κατάλληλη για δίκτυα αισθητήρων και δυναμικά δεδομένα. Πρέπει να διερευνηθούν νέες προσεγγίσεις προκειμένου να αντιμετωπιστεί η δυναμική και παροδική φύση των δικτύων αισθητήρων. Οι Liang και Huang (2013) πρότειναν μια υβριδική peer-to-peer (P2P) αρχιτεκτονική για την ανακάλυψη Ιστού αισθητήρων στην οποία κάθε υπηρεσία Ιστού αισθητήρων χρησιμεύει επίσης ως μέρος της υποδομής ανακάλυψης υπηρεσιών Ιστού αισθητήρων (δηλαδή ως μετέχον κόμβος, peer) [28]. Αυτοί οι κόμβοι λειτουργούν βάση ενός μοντέλου συνεργασίας, όπου κάθε ομότιμος αξιοποιεί τους διαθέσιμους πόρους των άλλων όπως κεντρική μονάδα επεξεργασίας, αποθήκευση, εύρος ζώνης κ.λπ. για αμοιβαία οφέλη. Ο αποκεντρωμένος σχεδιασμός βελτιώνει περαιτέρω την επεκτασιμότητα του Ιστού αισθητήρων για φιλοξενία πολύ μεγάλου αριθμού αισθητήρων και χρηστών επειδή η αξιοπιστία αυξάνει λόγω του γεγονότος ότι δεν υφίσταται μοναδικό σημείο αστοχίας καθώς και επιτυγχάνεται και καλύτερη εξισορρόπηση φορτίου με την κατανομή του υπολογιστικού φορτίου στο σύστημα.

Σε αντίθεση με την παραδοσιακή προσέγγιση μητρώου που βασίζεται στην ταξινόμηση από πάνω προς τα κάτω, οι μηχανισμοί προτάσεων (recommendation engines) βασισμένες σε συνεργατική σήμανση<sup>4</sup> (folksonomy) προέκυψαν πρόσφατα

---

<sup>4</sup> Η συνεργατική σήμανση (Folksonomy) είναι ένα σύστημα ταξινόμησης στο οποίο οι τελικοί χρήστες εφαρμόζουν δημόσιες ετικέτες σε διαδικτυακά αντικείμενα, συνήθως για να διευκολύνουν την εύρεση σε μεταγενέστερο χρόνο αυτών των στοιχείων για τον εαυτό τους ή για άλλους. Με την πάροδο του χρόνου, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα σύστημα ταξινόμησης που βασίζεται σε αυτές τις ετικέτες ανάλογα πόσο συχνά εφαρμόζονται ή αναζητούνται, σε αντίθεση με μια ταξινόμηση που σχεδιάστηκε από τους κατόχους του περιεχομένου και καθορίστηκε κατά τη δημοσίευσή του. Αυτή η πρακτική είναι

ως μια καινοτόμος προσέγγιση για την αντιμετώπιση ζητημάτων ανακάλυψης πόρων σε μεγάλα δίκτυα. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν το Netflix όπου προτείνονται ταινίες, το Delicious με τους προτεινόμενους σελιδοδείκτες διευθύνσεων URL και το Flickr όπου προτείνονται εικόνες. Το συνεργατικό πλαίσιο φιλτραρίσματος μιας μηχανής πρότασης μπορεί να βοηθήσει τους χρήστες ώστε να αντιμετωπιστούν τα petabytes δεδομένων που παράγονται από τα δίκτυα αισθητήρων. Για παράδειγμα, οι Rezel και Liang (2011) ανέπτυξαν το SWE-FE (επέκταση συνεργατικής σήμανσης), ένα σύστημα προτάσεων βασισμένο σε συνεργατική σήμανση για τον Ιστό αισθητήρων. Το SWE-FE είναι ένα συνεργατικό σύστημα σήμανσης που εκμεταλλεύεται τις χωρικές πληροφορίες που σχετίζονται με τρία βασικά στοιχεία: ετικέτες (tags), πόρους (resources) και χρήστες (users). Το SWE-FE είναι σε θέση να προτείνει νέα δίκτυα αισθητήρων και σύνολα δεδομένων σύμφωνα με την ομοιότητα ενός χρήστη με τους υπόλοιπους χρήστες στο σύστημα Ιστού αισθητήρων. Προκειμένου οι χρήστες του Ιστού αισθητήρων να βρίσκουν σχετικά, έγκυρα και πλήρη αποτελέσματα αναζήτησης σχετικά με συστήματα αισθητήρων και δεδομένα παρατηρήσεων του ενδιαφέροντός τους χρειάζονται νέες προσεγγίσεις οι οποίες διαφέρουν από τα παραδοσιακά μητρώα καταχώρησης.

## **1.4 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων - το επόμενη γενιάς σύστημα Ιστού αισθητήρων**

Τα τελευταία 50 χρόνια, η τεχνολογία πληροφοριών (IT) έχει αναδιαμορφώσει δύο φορές ριζικά κάθε οργανισμό και επιχείρηση. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 και του 1970 η έλευση των υπολογιστών έφερε το πρώτο κύμα μετασχηματισμού με γνώμονα την τεχνολογία πληροφοριών η οποία αυτοματοποίησε μεμονωμένες δραστηριότητες στην αλυσίδα παραγωγής π.χ. από την επεξεργασία παραγγελιών και την πληρωμή λογαριασμών έως τον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή και τον σχεδιασμό (planning) παραγωγικών πόρων. Η γέννηση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) είναι ένα τυπικό παράδειγμα του πρώτου κύματος μετασχηματισμού που βασίζεται στην πληροφορική τεχνολογία. Στη δεκαετία του 1980 και του 1990 η άνοδος του Διαδικτύου (πανταχού παρόν και συμφέρον) εξαπέλυσε το δεύτερο κύμα μετασχηματισμού που βασίζεται στην πληροφορική τεχνολογία. Το δεύτερο κύμα έσπασε το εμπόδιο της τυραννίας της γεωγραφίας και επέτρεψε τον συντονισμό και την ολοκλήρωση των επιμέρους δραστηριοτήτων που αυτοματοποιήθηκαν στο πρώτο κύμα. Στο πλαίσιο των GIS, τα GIS που βασίζονται στον Ιστό, οι εικονικές γεώσφαιρες, οι υποδομές χωρικών δεδομένων (SDI), οι υπηρεσίες θέσης (location-based services) και τα κοινωνικά δίκτυα είναι ορισμένα παραδείγματα των αποτελεσμάτων του δεύτερου κύματος μετασχηματισμού που βασίζεται στην πληροφορική τεχνολογία. Μετά την έλευση των υπολογιστών και του Διαδικτύου, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) αναμένεται να είναι το τρίτο κύμα που θα μεταμορφώσει ριζικά ξανά τον κόσμο [30].

---

γνωστή επίσης ως συνεργατική σήμανση (collaborative tagging), κοινωνική ταξινόμηση (social classification), κοινωνική ευρετηρίαση (social indexing) και κοινωνική σήμανση (social tagging) [34].

Στο εγγύς μέλλον εκατομμύρια έως δισεκατομμύρια μικροί αισθητήρες και ενεργοποιητές θα ενσωματώνονται σε αντικείμενα του πραγματικού κόσμου και θα συνδέονται στο Διαδίκτυο σχηματίζοντας το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Η βασική υπόσχεση του IoT είναι ότι καθημερινά αντικείμενα ή συσκευές θα μπορούν να αισθάνονται το περιβάλλον τους, να συλλέγουν πληροφορίες, να επικοινωνούν και να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Με τη συλλογή αυτών των δεδομένων παρατήρησης θα είναι δυνατή η πρόσβαση σε πληροφορίες IoT που συλλέγονται από αισθητήρες από πολλές εφαρμογές σε πολλές συσκευές από οποιαδήποτε φυσική τοποθεσία. Ενσωματώνοντας αυτές τις συσκευές αισθητήρων στο περιβάλλον του Ιστού IoT ανοίγεται ο δρόμος για απεριόριστες συναρπαστικές νέες δυνατότητες.

Αν και το IoT είναι ένας νέος όρος μοιράζεται ένα παρόμοιο όραμα με τον Ιστό αισθητήρων. Ο Gubbi et al. (2013) παρέχουν ολοκληρωμένες έρευνες και κριτικές για το IoT [31]. Καθώς το IoT μπορεί να θεωρηθεί ως εξέλιξη των δικτύων αισθητήρων και του Ιστού αισθητήρων οι στοίβες αρχιτεκτονικής IoT και του Ιστού αισθητήρων είναι σχεδόν παρόμοιες αν όχι ίδιες.

Η τυποποίηση OGC SWE που αναπτύσσεται στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αυτής της εργασίας έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική για εφαρμογές Ιστού αισθητήρων. Όμως η πολυπλοκότητα και η υπολογιστική επιβάρυνση που εισάγεται ενδέχεται να μην είναι κατάλληλες για συσκευές περιορισμένων πόρων οι οποίες θα συνδέονται στο IoT. Οι Jazayeri, Huang και Liang (2012) παρέχουν μια ολοκληρωμένη μελέτη κρίνοντας ότι τα πρότυπα OGC SWE είναι πολύ βαριά και περίπλοκα για τις περιορισμένων πόρων συσκευές του IoT [32].

Τον Ιούνιο του 2012 δημιουργήθηκε μια νέα ομάδα εργασίας OGC Standards (SWG) με την ονομασία SensorWeb Interface for Internet of Things (SWE-IoT). Αργότερα το όνομα άλλαξε σε SensorThings API (διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογής) Standards Working Group. Η διεπαφή εφαρμογών OGC Sensor-Things API παρέχει έναν ανοιχτό και ενοποιημένο τρόπο διασύνδεσης συσκευών IoT, δεδομένων παρατήρησης και εφαρμογών μέσω του Διαδικτύου [33]. Το SensorThingsAPI βασίζεται στα περιεκτικά πρότυπα OGC SWE. Πυρήνας της SensorThings API είναι το μοντέλο παρατηρήσεων και μετρήσεων ISO O&M. Το προφίλ συστημάτων αισθητήρων του SensorThings API βασίζεται στο πρότυπο OGC SOS και το προφίλ διεργασιών βασίζεται στο OGC SPS. Η βασική διαφορά μεταξύ του SensorThingsAPI και των υφιστάμενων προτύπων SWE είναι ότι το SensorThings API έχει σχεδιαστεί ειδικά για τις συσκευές IoT με περιορισμένους πόρους και για προγραμματιστές εφαρμογών IoT. Το API SensorThings υιοθετεί την αρχή REST (representational state transfer), την αποδοτική κωδικοποίηση JSON (JavaScript Object Notation) και το ευέλικτο πρωτόκολλο OASIS (Open Artwork System Inter-change Standard) OData (Open Data) καθώς και τις συμβάσεις URL.

## 1.5 Αρχιτεκτονική επισκόπηση

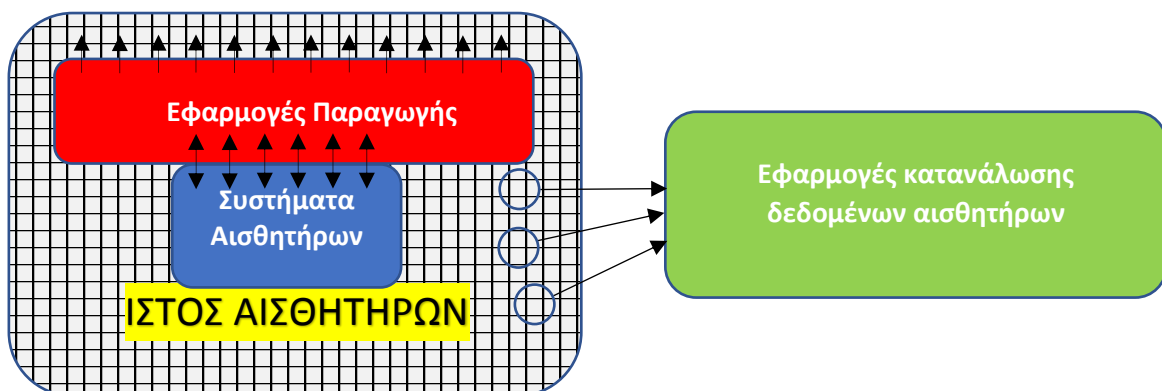
Από τα προηγούμενα γίνεται φανερό ότι ο Ιστός αισθητήρων αφορά μια ενιαία κανονιστικά οριζόμενη διαλειτουργική αποτελεσματική δομή πρόσβασης (έναν ενιαίο προσβάσιμο «καθολικό αισθητήρα» βάση τυποποιήσεων) με σκοπό τη

διάθεση και άντληση δεδομένων μετρήσεων αισθητήρων. Η κανονιστική δομή διαλειτουργικότητας αφορά σημασιολογικά, δομικά χαρακτηριστικά της πληροφορίας, διεπαφές πρόσβασης και διαχείρισης. Η διαλειτουργικότητα αφορά συνολικά τα εξής στοιχεία:

- μοντέλο δεδομένων συστημάτων αισθητήρων
- μοντέλο δεδομένων παρατηρήσεων συστημάτων αισθητήρων
- διεπαφή πρόσβασης
- διαχείριση δεδομένων αισθητήρων
- μηχανή ανακάλυψης αισθητήριων πόρων.

Τα μοντέλα δεδομένων τυποποιούνται σε επίπεδο εννοιολογικών μοντέλων καθώς και φυσικών κωδικοποιήσεων.

Στο Σχήμα 1.4 εικονίζεται μια αρχιτεκτονική επισκόπηση σε υψηλώς αφηρημένο επίπεδο που αφορά τη διερεύνηση του θέματος από την όψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και περιλαμβάνει μεταξύ του Ιστού αισθητήρων, τα συστήματα αισθητήρων, τις εφαρμογές παραγωγής και κατανάλωσης δεδομένων Ιστού αισθητήρων. Τα εγγενώς ετερογενή συστήματα αισθητήρων ευρισκόμενα στον πυρήνα της παραπάνω εικονιζόμενης αρχιτεκτονικής θεώρησης τροφοδοτούν μέσω των εφαρμογών παραγωγής οι οποίες εφαρμόζουν τυποποιημένα μοντέλα δεδομένων και αξιοποιούν τυποποιημένες διεπαφές πρόσβασης τον «φλοιό» που είναι ο Ιστός αισθητήρων. Ο Ιστός αισθητήριων παριστάνεται ως κανονιστικό σύνολο από κάρναβο τετραγωνιδίων στον οποίο οι εφαρμογές κατανάλωσης βάση των τυποποιημένων προτύπων αναπαράστασης των δεδομένων και των τυποποιημένων διεπαφών έχουν ουσιαστικά εύκολη πρόσβαση. Το γεγονός της εύκολης πρόσβασης παριστάνεται με διάφανο φακό - κυκλάκι στη αρχή του βέλους.



**Σχήμα 1.4** Αρχιτεκτονική επισκόπηση σχέσης Ιστού αισθητήρων, συστημάτων αισθητήρων, εφαρμογών παραγωγής και κατανάλωσης δεδομένων Ιστού αισθητήρων



## Κεφάλαιο 2

### Πρότυπα

#### **2.1 Η τυποποίηση Sensor Web Enablement (SWE) της Κοινοπραξίας Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (OGC)**

Παρόμοια όπως για πολλές άλλες υποδομές πληροφοριών παγκόσμιας κλίμακας όπως του Παγκόσμιου Ιστού (WWW) που βασίζεται σε ανοιχτά πρότυπα (της Κοινοπραξίας Παγκόσμιου Ιστού - World Wide Web Consortium - W3C) έτσι και για τον Ιστό αισθητήρων απαιτούνται επίσης ανοιχτά πρότυπα. Τα πρότυπα Sensor Web Enablement (SWE) της Κοινοπραξίας Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (Open Geospatial Consortium - OGC)<sup>5</sup> αποτελούν βασικά δομικά στοιχεία προς έναν «Παγκόσμιο Ιστό αισθητήρων». Η πρώτη έκδοση των προδιαγραφών SWE εγκρίθηκε μεταξύ 2006 και 2007 και η δεύτερη έκδοση μεταξύ 2012 και 2013. Παρέχονται οι ακόλουθες λειτουργίες [37]:

- Περιγραφή των παρατηρήσεων, που συλλέγονται από αισθητήρες ώστε να καθίσταται δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία αυτών.
- Περιγραφή των μεταδεδομένων των αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς αυτών καθώς και της σχέσης αξιοπιστίας και ακρίβειας των μετρήσεων.
- Πρόσβαση σε παρατηρήσεις και μεταδεδομένα αισθητήρων βάση τυποποιημένων κωδικοποιήσεων δεδομένων και κατάλληλων μηχανισμών «ερωτημάτων φίλτρων».
- Διεργασίες αισθητήρων για απόκτηση παρατηρήσεων

Οι προαναφερθείσες λειτουργικότητες παρέχονται από το πρότυπο OGC SWE το οποίο δομείται σε δύο επίπεδα. Κάθε επίπεδο ασχολείται ξεχωριστά με κάποιο ζήτημα διαλειτουργικότητας. Τα δύο επίπεδα είναι τα εξής:

- (i) μοντέλα δεδομένων SWE και
- (ii) διεπαφές υπηρεσίας SWE

Οι διεπαφές υπηρεσίας SWE παρέχουν έναν τυποποιημένο τρόπο πρόσβασης στα συστήματα αισθητήρων για ανταλλαγή πόρων μέσω Διαδικτύου, ενώ τα μοντέλα δεδομένων SWE παρέχουν έναν τυπικό τρόπο περιγραφής των πληροφοριών που ανταλλάσσονται μεταξύ των συστημάτων αισθητήρων.

Ο σκοπός του μοντέλου δεδομένων SWE είναι να επιτρέπει σε εφαρμογές να κατανοούν και να χρησιμοποιούν τα δεδομένα συστημάτων αισθητήρων.

---

<sup>5</sup> Η Κοινοπραξία Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (Open Geospatial Consortium-OGC) ξεκίνησε το 1994 ως ένας διεθνής εθελοντικός οργανισμός προτύπων «συναίνεσης» (κοινής συμφωνίας) όπου περισσότεροι από 500 -εμπορικοί, κυβερνητικοί, μη κερδοσκοπικοί, ερευνητικοί οργανισμοί και πανεπιστήμια- παγκοσμίως συνεργάζονται σε μια διαδικασία συναίνεσης, ενθαρρύνοντας την ανάπτυξη και εφαρμογή ανοιχτών προτύπων που αφορούν τα γεωγραφικά δεδομένα και τις σχετιζόμενες με αυτά υπηρεσίες όπως: Ιστός αισθητήρων, Διαδίκτυο των πραγμάτων, Υπηρεσίες θέσης (location based services) και γενικότερα επεξεργασίες και υπηρεσίες γεωγραφικών δεδομένων, διαμοιρασμός γεωγραφικών δεδομένων κ.α.. [38], [39].

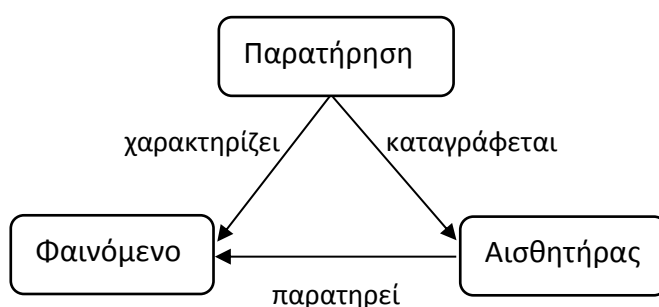
Στα μοντέλα δεδομένων SWE ο Ιστός αισθητήρων αποτελείται από τρία στοιχεία: (i) Παρατήρηση, (ii) Αισθητήρας και (iii) Φαινόμενο. Πολλές φορές αυτά τα τρία διαφορετικά πράγματα οι άνθρωποι συνηθίζουν να τα χρησιμοποιούν απaráλλαχτα. Ωστόσο οι έννοιες που υπόκεινται σε αυτές τις οντότητες ορίζονται από την OGC συγκεκριμένα ως εξής:

1 Παρατήρηση (Observation): μια διαδικασία παρατήρησης κάποιου φαινομένου με στόχο την εκτίμηση μιας τιμής ιδιότητας του φαινομένου.

2 Αισθητήρας (Sensor): μια οντότητα ικανή να παρατηρεί ένα φαινόμενο και να επιστρέφει μια εκτιμώμενη τιμή της ιδιότητας του φαινομένου.

3 Φαινόμενο (Phenomenon): ένα γεγονός ή φυσική ιδιότητα που μπορεί να παρατηρηθεί ή να μετρηθεί.

Η σχέση μεταξύ αυτών των τριών μπορεί να φανεί από την ακόλουθη φράση: Οι Παρατηρήσεις προκύπτουν από Αισθητήρες που παρατηρούν Φαινόμενα. Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζεται η σχέση μεταξύ των τριών αυτών βασικών οντοτήτων σύμφωνα με το μοντέλο δεδομένων SWE.



**Σχήμα 2.1** Οι τρεις βασικές οντότητες στο μοντέλο δεδομένων SWE

Μετά την αναγνώριση αυτών των βασικών οντοτήτων και σχέσεων η OGC ορίζει αντίστοιχες τυποποιήσεις μοντέλων δεδομένων και κωδικοποιήσεων που αφορούν αυτές τις τρεις οντότητες για τον Ιστό αισθητήρων.

## 2.2 Πρότυπα μοντέλων δεδομένων και κωδικοποιήσεων της OGC

Το πρότυπο μοντέλο παρατήρησης και μέτρησης ISO/OGC (O&M-observation and measurement) είναι ο πυρήνας του Ιστού αισθητήρων. Αποτελεί ένα εννοιολογικό μοντέλο για την αναπαράσταση (χωροχρονικών) δεδομένων παρατηρήσεων [40], [41]. Περαιτέρω η γλώσσα SensorML (Sensor Model Language) παρέχει ένα γενικευμένο μοντέλο καθώς και κωδικοποιήσεις XML και JSON για την περιγραφή τόσο επιτόπιων (insitu) όσο και απομακρυσμένων συστημάτων αισθητήρων ή/και άλλων σχετικών διαδικασιών παρατηρήσεων δεδομένων [42], [43], [44]. Όσον αφορά



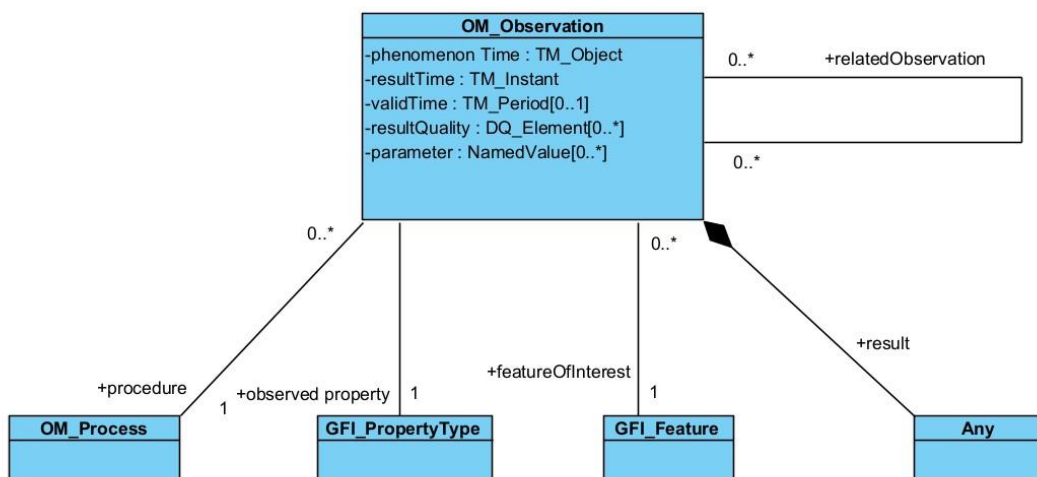
τα μοντέλα που βασίζονται σε φαινόμενα, δεδομένου ότι υπάρχουν οντολογικοί ορισμοί για φαινόμενα από διαφορετικούς τομείς, στο πρότυπο SWE αξιοποιούνται και διάφορες υπάρχουσες τυπικές προσπάθειες όπως οι οντολογίες SWEET γεωεπιστημών (<https://sweet.jpl.nasa.gov/>) ή οι οντολογίες IOOS για τις επιστήμες της θάλασσας (<https://ioos.noaa.gov/>) κ.α..

Πέρα από τις τυποποιήσεις O&M και SensorML υπάρχει και το πρότυπο SWE Common για τη περιγραφή συνήθων θεμελιωδών τύπων δεδομένων οι οποίοι χρησιμοποιούνται γενικώς σε ένα πλαίσιο εργασίας SWE. Καθώς το πρότυπο SWE Common αποτελεί πρωτίστως ένα πρότυπο εφαρμογής όπου περιγράφονται η σύνταξη και οι κωδικοποιήσεις, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να ανατρέξουν στην προδιαγραφή OGC SWE Common 2.0 [45].

### 2.2.1 Το πρότυπο μοντέλο παρατηρήσεων και μετρήσεων - O&M

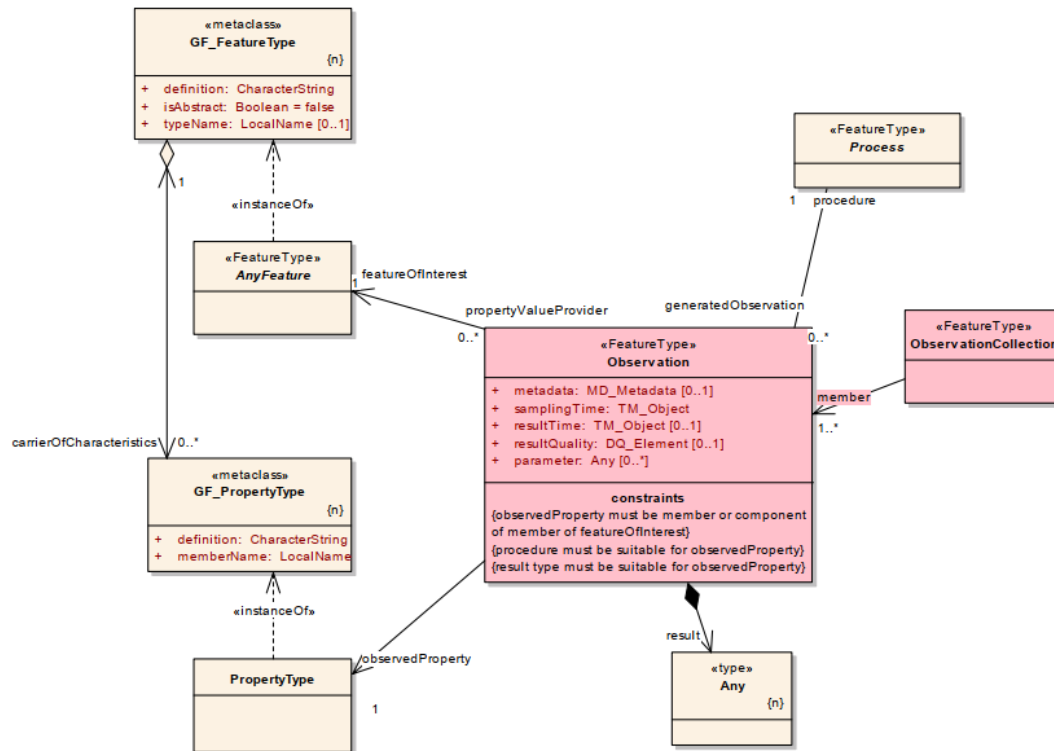
Στο πρότυπο O&M μια παρατήρηση ορίζεται ως ένα συμβάν παρατήρησης ενός φαινομένου με στόχο την εκτίμηση μιας τιμής του φαινομένου. Το O&M παρέχει μια τυποποίηση εννοιολογικού μοντέλου παρατηρήσεων/μετρήσεων καθώς και την κωδικοποίηση αυτού σε φυσικό επίπεδο.

Μια εσφαλμένη αντίληψη για τον Ιστό αισθητήρων είναι να πιστεύει κανείς ότι οι «αισθητήρες» είναι το ουσιαστικό κομμάτι. Το όνομα «αισθητήρας» Ιστού (Sensor Web) παραπλανά και πολλές φορές συλλαμβάνει κανείς τα πράγματα από την όψη των αισθητήρων. Ωστόσο πρωταρχική σημασία έχουν οι παρατηρήσεις. Αυτές αποτελούν το βασικό κομμάτι του Ιστού αισθητήρων και οι περισσότερες εφαρμογές αξιοποιούν ειδικά τις παρατηρήσεις παρά τους αισθητήρες από τους οποίους αυτές προέκυψαν. Έτσι ένα τυπικό μοντέλο παρατηρήσεων, όπως το O&M, είναι στην πραγματικότητα το σημαντικότερο στοιχείο του Ιστού αισθητήρων. Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται το μοντέλο παρατηρήσεων που ορίζεται στο πρότυπο O&M.



Σχήμα 2.2 Το μοντέλο παρατηρήσεων που ορίζεται στο πρότυπο O&M

Ακολουθως μια πιο εκτεταμένη αναπαράσταση αυτού από τον Fowler (1999) που τυποποιήθηκε σε δελτίο βέλτιστης πρακτικής της OGC όπως αναφέρεται στο [46] φαίνεται στο Σχήμα 2.3.



**Σχήμα 2.3** Μια πιο εκτεταμένη αναπαράσταση του μοντέλου παρατηρήσεων και μετρήσεων O&M [46]

Στο μοντέλο O&M μια παρατήρηση πρέπει να έχει τουλάχιστον τις έξι παρακάτω περιγραφόμενες ιδιότητες. Κάθε ιδιότητα είναι απαραίτητη για να είναι ουσιαστικά χρήσιμη μια παρατήρηση:

- 1 **Χαρακτηριστικό στοιχείο ενδιαφέροντος (Feature of Interest).** Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενδιαφέροντος ή χάριν απλότητας «στοιχείο ενδιαφέροντος» είναι ένα αναγνωρίσιμο αντικείμενο που σχετίζεται με το παρατηρούμενο φαινόμενο. Μια παρατήρηση έχει ως αποτέλεσμα μια τιμή να ανατίθεται στο φαινόμενο. Το φαινόμενο είναι μια ιδιότητα του χαρακτηριστικού στοιχείου όπου το τελευταίο είναι το χαρακτηριστικό στοιχείο ενδιαφέροντος, την ιδιότητα του οποίου αφορά η παρατήρηση. Το στοιχείο ενδιαφέροντος είναι μια κρίσιμη έννοια που επιτρέπει στο O&M να αποτελεί ένα γενικευμένο μοντέλο καλύπτοντας τόσο επιτόπιες (in situ) όσο και απομακρυσμένες παρατηρήσεις. Όταν η θέση του στοιχείου ενδιαφέροντος της παρατήρησης ταυτίζεται με τη θέση της διαδικασίας παρατήρησης (δηλαδή του αισθητήρα) τότε η παρατήρηση

θεωρείται επιτόπια (in situ). Εάν η θέση του στοιχείου ενδιαφέροντος είναι διαφορετική από την θέση της διαδικασίας (procedure) τότε η παρατήρηση έχει γίνει από απομακρυσμένο σύστημα.

- 2 **Φαινόμενο/παρατηρούμενη ιδιότητα (phenomenon/observed property).** Το φαινόμενο είναι η παρατηρήσιμη ιδιότητα των φυσικών οντοτήτων που μετρήθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν από την παρατήρηση. Παραδείγματα φαινομένων αποτελούν η θερμοκρασία, η υγρασία και η χημική συγκέντρωση.
- 3 **Διαδικασία (procedure).** Μια παρατήρηση συνήθως έχει προκύψει από μια διαδικασία η οποία συνήθως είναι κάποιος αισθητήρας. Ωστόσο μια παρατήρηση μπορεί να έχει προκύψει και από κάποιο υπολογιστικό μοντέλο ή αποτέλεσμα μιας προσομοίωσης δηλ. από μια γενικότερη διαδικασία. Παράδειγμα διαδικασίας για το σχηματισμό μιας παρατήρησης θερμοκρασίας είναι το θερμόμετρο.
- 4 **Αποτελέσματα (results).** Ένα αποτέλεσμα παρατήρησης είναι η εκτίμηση της τιμής ενός φαινομένου. Ουσιαστικά είναι ο σκοπός της παρατήρησης. Το αποτέλεσμα όμως δεν είναι μόνο η ίδια η τιμή. Γενικώς αποτελείται από δύο τμήματα: (i) την τιμή του αποτελέσματος και (ii) την μονάδα μέτρησης. Για παράδειγμα ένα πλήρες στιγμιότυπο ενός αποτελέσματος παρατήρησης μιας θερμοκρασίας είναι το **15 °C**, όπου το **15** είναι η τιμή και το **°C** η μονάδα μέτρησης.
- 5 **Χρόνος (time).** Υφίστανται τρία ξεχωριστά χρονικά χαρακτηριστικά για τις παρατηρήσεις: ο χρόνος αποτελέσματος (result time) που αναφέρεται στη χρονική στιγμή που το αποτέλεσμα της παρατήρησης γίνεται διαθέσιμο, ο χρόνος φαινομένου που αναφέρεται στη χρονική στιγμή ή την περίοδο κατά την οποία το αποτέλεσμα ίσχυε για την ιδιότητα του στοιχείου ενδιαφέροντος. Για ορισμένες παρατηρήσεις ο χρόνος αποτελέσματος είναι ο ίδιος με τον χρόνο φαινομένου. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δύο διαφέρουν. Για παράδειγμα στην παρακολούθηση της ποιότητας του νερού όταν γίνεται μέτρηση σε δείγμα νερού στο εργαστήριο ο χρόνος φαινομένου είναι ο χρόνος λήψης του δείγματος νερού π.χ. ο χρόνος λήψης της ποσότητας από κάποια λίμνη ή ποτάμι, ενώ ο χρόνος αποτελέσματος είναι ο χρόνος εφαρμογής μιας εργαστηριακής διαδικασίας ανάλυσης δείγματος η οποία δίνει την τιμή της παρατήρησης. Περαιτέρω ο χρόνος εγκυρότητας (valid time) είναι η χρονική περίοδος για την οποία είναι έγκυρο το αποτέλεσμα. Ο χρόνος εγκυρότητας χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές πρόβλεψης.
- 6 **Θέση (Location).** Μια παρατήρηση δεν έχει εγγενώς την ιδιότητα της θέσης. Ωστόσο η θέση μιας παρατήρησης ανάλογα με το σενάριο σχετίζεται συνήθως με το στοιχείο ενδιαφέροντος αλλά και ορισμένες φορές με τη διαδικασία παρατήρησης.

### 2.2.2 Το μοντέλο αντικειμένων (ή μοντέλο χαρακτηριστικών στοιχείων - ISO OGC feature model) και το μοντέλο πεδίου (ή μοντέλο κάλυψης- ISO OGC coverage model)

Το μοντέλο αντικειμένων (ή μοντέλο χαρακτηριστικών - ISO OGC feature model) και το μοντέλο πεδίου (ή μοντέλο κάλυψης- ISO OGC coverage model) είναι δύο κοινώς αποδεκτά μοντέλα γεωγραφικής πληροφορίας. Το πρότυπο μοντέλο O&M παρέχει μια πρόσθετη όψη, μια όψη βάσει παρατήρησης.

Το ISO 19109 περιγράφει τον όρο feature (χαρακτηριστικό στοιχείο) ως τη θεμελιώδη οντότητα γεωγραφικής πληροφορίας και σε πολλές αναφορές της γεωγραφικής επιστήμης (GIScience) τα στοιχεία ονομάζονται αντικείμενα. Το γενικό μοντέλο στοιχείων (GFM) που παρουσιάζεται στα ISO 19101 και ISO 19109 καθορίζει έναν τύπο στοιχείου βάση ενός συνόλου χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του (characteristic set of properties), συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων (attributes), των ρόλων της σχέσης και των συμπεριφορών καθώς και των σχέσεων γενίκευσης, εξειδίκευσης και περιορισμών. Έτσι το μοντέλο χαρακτηριστικών στοιχείων παρέχει μια όψη του κόσμου με όρους ενός συνόλου διακριτών αναγνωρίσιμων αντικειμένων που τον καθορίζουν.

Το ISO 19123 περιγράφει το μοντέλο κάλυψης ως βασικό εναλλακτικό μοντέλο για τη γεωγραφική πληροφορία και πολλές φορές στη βιβλιογραφία της γεωγραφικής επιστήμης (GIScience) αναφέρεται και ως μοντέλο πεδίων. Παρέχει μια όψη του κόσμου βάση ιδιοτήτων (property) επισημαίνοντας την μεταβολή (variation) μιας ιδιότητας εντός ενός χωροχρονικού τομέα ενδιαφέροντος. Αυτές οι όψεις δεν είναι αποκλειστικής αρμοδιότητας αλλά και οι δύο χρησιμοποιούνται στην ανάλυση και μοντελοποίηση του γεωγραφικού χώρου.

Το ISO 19156 περιγράφει τις παρατηρήσεις που σχετίζονται με κάποιο συμβάν συλλογής δεδομένων. Ο σκοπός ενός συμβάντος παρατήρησης είναι η εκχώρηση μιας τιμής σε μια ιδιότητα ενός χαρακτηριστικού στοιχείου (feature). Τα αποτελέσματα μιας συλλογής παρατηρήσεων των διαφορετικών ιδιοτήτων ενός χαρακτηριστικού στοιχείου μπορούν να παρέχουν μια πλήρη περιγραφή του χαρακτηριστικού στοιχείου (ή του αντικειμένου). Εναλλακτικά τα αποτελέσματα μιας συλλογής παρατηρήσεων μιας συγκεκριμένης ιδιότητας σε μια συλλογή διαφορετικών χαρακτηριστικών στοιχείων παρέχουν μια διακριτή κάλυψη (ή πεδίο). Άλλες ιδιότητες της παρατήρησης σχετικές με την εκτίμηση της τιμής ή τιμών μιας ιδιότητας κάποιου χαρακτηριστικού στοιχείου ενδιαφέροντος είναι τα λεγόμενα **μετα-δεδομένα** (όπως χρόνος, μονάδα μέτρησης, ποιότητα κ.λπ.). Προφανώς είναι και αυτά ιδιαίτερα σημαντικά. Συγκεκριμένα οι παρατηρήσεις αφορούν ιδιότητες (properties) π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, κατάσταση ενεργοποίησης-ON/ απενεργοποίησης-OFF κ.α. των οποίων οι τιμές προσδιορίζονται με μια γνωστή διαδικασία όπως π.χ. έναν αισθητήρα. Στην διαδικασία αυτή όμως ενυπάρχει αβεβαιότητα στο εκτιμώμενο αποτέλεσμα. Τα μεταδεδομένα που παρέχονται από κάποιο στιγμιότυπο παρατήρησης είναι απαραίτητα για τη χρήση του αποτελέσματος παρατήρησης για περαιτέρω ανάλυση, αξιολόγηση και αξιοποίηση.

### 2.2.3 Το πρότυπο SensorML

Ένας αισθητήρας χρησιμοποιείται στην παρατήρηση ενός φαινομένου και έχει έξοδο μια εκτιμώμενη τιμή του φαινομένου. Η SensorML παρέχει ένα εννοιολογικό μοντέλο καθώς και μια φυσική κωδικοποίηση για συστήματα αισθητήρων.

Συγκεκριμένα παρέχει ένα πλαίσιο εργασίας εντός του οποίου καθορίζονται τα γεωμετρικά, δυναμικά και παρατηρησιακά χαρακτηριστικά των συστημάτων αισθητήρων [42], [43], [44].

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων αισθητήρων και η SensorML καθιερώνει έναν κοινό τόπο όπου εντάσσονται όλοι αυτοί οι διαφορετικοί τύποι. Βασική έννοια αυτού του πλαισίου εργασίας είναι το αφηρημένο μοντέλο διαδικασιών. Αποτελεί την στοιχειώδη (ατομική) μονάδα για μοντελοποίηση διαφορετικών τύπων αισθητήρων. Η SensorML παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- 1 Υποστήριξη ανακάλυψης (discovering) αισθητήρων μέσω κωδικοποίησης μεταδεδομένων αισθητήρων,
- 2 Παροχή πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ερμηνεία και ανάλυση των δεδομένων που παράγονται από αισθητήρες (π.χ. παράμετροι βαθμονόμησης αισθητήρα).
- 3 Επιτρέπει την περιγραφή των βημάτων μετεπεξεργασίας που εφαρμόζονται στα δεδομένα αισθητήρων για ανασυγκρότηση δεδομένων σε μια εκ των προτέρων διαδικασία δημιουργίας δεδομένων.

Στο μοντέλο SensorML μια διαδικασία (process) περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία (ο αισθητήρας θεωρείται μια ειδική περίπτωση διαδικασίας) [42]:

- 1 **Είσοδοι, έξοδοι και παράμετροι.** Μια διαδικασία έχει μία ή περισσότερες εισόδους και βάσει παραμέτρων μιας μεθοδολογίας παράγει μία ή περισσότερες εξόδους. Οι είσοδοι και οι έξοδοι αντιπροσωπεύουν «θύρες» με τις οποίες οι εξωτερικές διεργασίες ανταλλάσσουν δεδομένα με τη διαδικασία. Οι παράμετροι μπορούν να θεωρηθούν ως ένας ειδικός τύπος εισόδων που απαιτούνται από τη μεθοδολογία της διαδικασίας.
- 2 **Θέση (Position).** Μέσω της θέσης παρέχεται πέρα από τη θέση και ο προσανατολισμός της διαδικασίας για κάποια δεδομένη στιγμή στο χρόνο. Οι πληροφορίες θέσης είναι ζωτικής σημασίας για τη χρήση των παρατηρήσεων αισθητήρων. Αντιπροσωπεύουν όχι μόνο την θέση-τοποθεσία (location) αλλά και την θέση-προσανατολισμό. Ο προσανατολισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε συστήματα απομακρυσμένων αισθητήρων. Για παράδειγμα, το να είναι γνωστό σε ποια ακριβώς κατεύθυνση δείχνει ένας αισθητήρας κάμερας κυκλοφορίας είναι πληροφορία ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση των εικόνων της κάμερας. Για κινητούς αισθητήρες οι πληροφορίες θέσης είναι εξαρτώμενες από το χρόνο, αφού αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου καθώς κινείται ο αισθητήρας.
- 3 **Ομάδα μεταδεδομένων.** Ο σκοπός της ομάδας μεταδεδομένων είναι (i) η υποστήριξη στην ανακάλυψη πόρων, (ii) ο ποιοτικός προσδιορισμός των αποτελεσμάτων της διαδικασίας και (iii) η επιβοήθηση στη κατανόηση από πρόσωπα ανθρώπους και προγράμματα. Τα μεταδεδομένα περιλαμβάνουν αναγνωριστικά (ταυτοποιητές), ταξινομητές, περιορισμούς, δυνατότητες, ιδιότητες, επαφές, πηγές τεκμηρίωσης και ιστορικό.

#### 2.2.4 Το πρότυπο OGC SOS

Το πρότυπο OGC SOS (Sensor Observation Service) καθορίζει τυποποιημένες διεπαφές πρόσβασης σε υπηρεσία παρατηρήσεων και μεταδεδομένων αισθητήρων

[46]. Οι αισθητήρες μπορούν να χαρακτηριστούν με τρεις τουλάχιστον διαφορετικούς τρόπους: (i) ανάλογα με την εγγύτητα στο φαινόμενο που ανιχνεύεται: επιτόπιοι (in situ) ή απομακρυσμένοι (remote) (ii) ανάλογα με την κινητικότητα: σταθεροί ή κινητοί και (iii) ανάλογα με τη διάρκεια/διάρκεια ζωής του αισθητήρα: προσωρινοί/μιας χρήσης ή μόνιμοι. Η διεπαφή του προτύπου SOS αποκρύπτει την ετερογένεια των διαφόρων συστημάτων παρέχοντας γενικώς δύο βασικές λειτουργίες: (i) λήψη παρατηρήσεων σύμφωνα με χωροχρονικά κριτήρια και (ii) περιγραφή συστημάτων αισθητήρων σύμφωνα με χωροχρονικά κριτήρια.

Η διεπαφή SOS δεν αφορά απλώς διαδικτυακές υπηρεσίες απλώς για κατέβασμα (download) των παρατηρήσεων. Μέσω της SOS δύναται να φιλτράρονται σύνολα παρατηρήσεων βάση περιορισμών. Ένα αίτημα που αφορά είτε παρατηρήσεις είτε/και αισθητήρες μπορεί να περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους περιορισμούς: (i) τον συγκεκριμένο αισθητήρα που αφορούν οι ζητούμενες παρατηρήσεις, (ii) τις συγκεκριμένες χρονικές περιόδους για τις οποίες ζητούνται παρατηρήσεις (μπορεί να πρόκειται για δεδομένα πραγματικού χρόνου, ιστορικά δεδομένα ή ακόμη και για δεδομένα πρόβλεψης), (iii) το συγκεκριμένο φαινόμενο που παρατηρείται από τον αισθητήρα, (iv) τη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή που περιέχει τον αισθητήρα, και (v) τη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή που περιέχει το χαρακτηριστικό ενδιαφέροντος των παρατηρήσεων. Οι λεπτομερείς λειτουργίες και τα σχήματα περιγράφονται στην προδιαγραφή OGC SOS [35], [46].

Η διαφορά μεταξύ SOS και WFS (WebFeature Service) [47] χρειάζεται διευκρίνιση, επειδή τα δύο πρότυπα μοιράζονται πολλές ομοιότητες και υπάρχουν υλοποιήσεις όπου χρησιμοποιείται το WFS ως υπηρεσία παρατηρήσεων αισθητήρων. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι το WFS χρησιμοποιεί μια πολύ περισσότερο ευέλικτη προσέγγιση μοντελοποίησης για οντότητες του πραγματικού κόσμου ενώ η προδιαγραφή SOS χρησιμοποιεί ένα κοινό μοντέλο αισθητήρων, παρατηρήσεων και φαινομένων. Το WFS χρησιμοποιεί σχήματα εφαρμογών Geography Markup Language (GML) για να καθορίσει τις συγκεκριμένες ιδιότητες κάθε τύπου χαρακτηριστικού στοιχείου. Οι πελάτες του WFS σε έναν συγκεκριμένο τομέα πρέπει να έχουν εκ των προτέρων γνώση των σχημάτων εφαρμογής που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον τομέα. Αντίθετα, τα μοντέλα SOS δεν είναι συγκεκριμένα για τον τομέα και ο πελάτης δεν χρειάζεται εκ των προτέρων να έχει γνώση για συγκεκριμένα σχήματα εφαρμογών τομέα. Για εφαρμογές που σχετίζονται με παρατηρήσεις αισθητήρων η χρήση του SOS βελτιώνει σημαντικά τη διαλειτουργικότητα των εφαρμογών.

Ο σκοπός της Υπηρεσίας Σχεδιασμού Αισθητήρων (Sensor Planning Service - SPS) είναι να παρέχει μια τυπική διεπαφή υπηρεσίας Ιστού για συλλογή στοιχείων προς το σύστημα υποστήριξης που τα περιβάλλει [48]. Ένα στοιχείο συλλογής είναι ένα διαθέσιμο μέσο συλλογής πληροφοριών. Τα στοιχεία συλλογής περιλαμβάνουν αισθητήρες ή/και ενεργοποιητές αλλά δεν περιορίζονται μόνο σε αυτούς τους τύπους. Μπορεί να πηγάζουν από κάποιο σύστημα προσομοίωσης ή οποιοδήποτε άλλο στοιχείο συλλογής πληροφοριών. Το SPS παρέχει τρεις βασικές λειτουργίες [48]: (i) να βοηθήσει στη δημιουργία σχεδίων σκοπιμότητας εργασιών, (ii) να πραγματοποιήσει εφικτές αιτήσεις εργασιών για στοιχεία συλλογής όπως δίκτυα αισθητήρων ή άλλα συστήματα αισθητήρων και (iii) να υποβάλει ερώτημα εάν τα μετρημένα δεδομένα είναι προσβάσιμα μετά την ολοκλήρωση της διεργασίας. Μια τυπική περίπτωση χρήσης για ένα SPS είναι η ενημέρωση της συχνότητας

δειγματοληψίας ενός αισθητήρα ή της διαδρομής πτήσης ενός μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος.

Οργανισμοί και ερευνητικά έργα σε όλο τον κόσμο δημιουργούν τον Παγκόσμιο Ιστό αισθητήρων δημιουργώντας συστήματα ανίχνευσης μεγάλης κλίμακας με τα πρότυπα SWE. Ο αριθμός των επιτυχημένων εφαρμογών δείχνει την ωριμότητα και την καταλληλότητα των προτύπων SWE σε πραγματικές εφαρμογές. Το 2013 το Υπουργείο Άμυνας του Ηνωμένου Βασιλείου χρηματοδότησε μια αξιολόγηση της ωριμότητας των εφαρμογών με πρότυπα OGC SWE [36]. Οι Bröring et al. (2011) και Percivall (2013) προσφέρουν μια «εξαντλητική λίστα» εφαρμογών SWE και ερευνητικών έργων από όλο τον κόσμο [35], [36].

#### **2.2.4.1 Διεπαφές υπηρεσίας OGC SOS της 1<sup>ης</sup> έκδοσης**

Στο πρότυπο SOS (Sensor Observation Service) μέρος του προτύπου SWE καθορίζεται η διεπαφή για αλληλεπίδραση με τις παρατηρήσεις των αισθητήρων για μια υπηρεσία Ιστού αισθητήρων. Μέσω ενός αριθμού δοσοληπτικών πράξεων (transactional operations) καθορίζονται λειτουργίες αναζήτησης, εξερεύνησης αισθητήρων, ανάκτησης μετρήσεων και γενικές πράξεις διαχείρισης δεδομένων. Η περιγραφή που ακολουθεί αφορά την 1<sup>η</sup> έκδοση του SOS. Στη 2<sup>η</sup> έκδοση εισάγονται ορισμένες μικρές αλλαγές. Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας αρκεί μια επισκόπηση της 1<sup>ης</sup> έκδοσης [46].

Όπως στα περισσότερα πρότυπα του OGC το SOS βασίζεται στην ανταλλαγή προτύπων μηνυμάτων αιτήματος-απόκρισης (request-response) μεταξύ της υπηρεσίας (service) και του πελάτη (παραγωγού είτε καταναλωτή δεδομένων αισθητήρων και παρατηρήσεων) υπό το πρωτόκολλο HTTP. Τα αιτήματα αποστέλλονται στην υπηρεσία ως HTTP POST (σε αυτήν την περίπτωση ένα αρχείο XML μορφοποιείται καταλλήλως σύμφωνα με την προδιαγραφή) είτε ως HTTP GET (στην περίπτωση αυτή υποβάλλεται ένα σύνολο ζευγών -κλειδί, τιμή- {KVP-key value pairs}, ο τύπος του αιτήματος και οι σχετικές επιτρεπόμενες παράμετροι. Η απόκριση της υπηρεσίας είναι ένα αρχείο XML δομημένο σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Σύμφωνα με το πρότυπο OGC SOS της έκδοσης 1.0 μια υπηρεσία πρέπει να υλοποιεί υποχρεωτικά τουλάχιστον τα τρία αιτήματα «προφίλ πυρήνα» (core), ενώ οι υπόλοιπες λειτουργίες «προφίλ δοσοληψίας» (transactional) ή/και «εκτεταμένο (enhanced) προφίλ» είναι προαιρετικές. Το σύνολο αυτών των αιτημάτων φαίνεται ακολούθως στον πίνακα 2.1 [53].

**Πίνακας 2.1** Σύνολο τυπικών αιτημάτων της προδιαγραφής OGC SOS έκδοσης 1.0 [53]

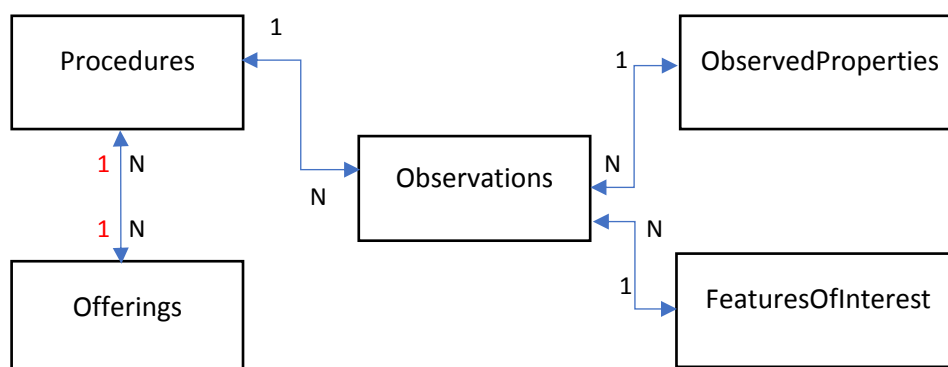
SOS αίτημα	Προφίλ	Υποχρεωτικό	Συνοπτική περιγραφή
GetCapabilities	Core	Ναι	Παρέχει περιγραφή της υπηρεσίας που προσφέρεται: πληροφορίες διαχειριστή, προσφερόμενες δυνατότητες, παρατηρούμενες ιδιότητες, χαρακτηριστικά στοιχεία κ.α.
DescribeSensor	Core	Ναι	Παρέχει μία ενδεχομένως λεπτομερή περιγραφή ενός καταχωρημένου στοιχείου συστήματος αισθητήρα ή διαδικασίας σε μορφή SensorML.
GetObservation	Core	Ναι	Παρέχει παρατηρήσεις βάση φίλτρων που καθορίζονται βάση χρόνου, διαδικασίας, φαινομένου, χαρακτηριστικού στοιχείου ενδιαφέροντος καθώς και από άλλες παραμέτρους του μοντέλου O&M.
RegisterSensor	Transactional	Όχι	Παρέχει τη δυνατότητα εγγραφής/καταχώρησης ενός νέου συστήματος αισθητήρων σε κάποια υπάρχουσα υπηρεσία
InsertObservation	Transactional	Όχι	Παρέχει τη δυνατότητα δυναμικής εισαγωγής νέων παρατηρήσεων σε κάποιο καταχωρημένο σύστημα αισθητήρων
GetFeatureOfInterest	Enhanced	Όχι	Παρέχει το αιτούμενο χαρακτηριστικό στοιχείο ενδιαφέροντος σε Μορφή GML
GetResult	Enhanced	Όχι	Παρέχει έναν σύντομο τρόπο για λήψη παρατήρησης χωρίς να διοχετεύεται το πλήρες αίτημα
GetObservationByID	Enhanced	Όχι	Παρέχει ταχεία πρόσβαση σε παρατήρηση με χρήση ενός αριθμού ταυτοποίησης
GetFeatureOfInterestTime	Enhanced	Όχι	Παρέχει την χρονική στιγμή για κάποιο στοιχείο ενδιαφέροντος που παρατηρήθηκε
DescribeFeatureType	Enhanced	Όχι	Παρέχει το σχήμα που χρησιμοποιήθηκε στην αναπαράσταση των στοιχείων ενδιαφέροντος
DescribeObservationType	Enhanced	Όχι	Παρέχει το σχήμα που χρησιμοποιήθηκε στην αναπαράσταση των παρατηρήσεων
DescribeResultModel	Enhanced	Όχι	Παρέχει το σχήμα που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του αντικειμένου αποτελέσματος εντός της sml:observation



Το SOS βασίζεται σε πέντε βασικά αντικείμενα [46]:

1. Παρατηρήσεις (observation): αποτελούν κεντρικό στοιχείο του προτύπου και αντιπροσωπεύουν τις τιμές που μετρούνται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές π.χ. τιμή=0.2, ημερομηνία/ώρα: 08/11/2015 12:12. Αναπαρίστανται σύμφωνα με το πρότυπο μοντέλο δεδομένων O&M.
2. Διαδικασία (procedure): η οντότητα που παρέχει τις παρατηρήσεις δηλ. κάποιος αισθητήρας είτε κάποια άλλη διαδικασία. Αναπαρίστανται ως SensorML στο πρότυπο μοντέλο δεδομένων συστημάτων αισθητήρων του SWE.
3. Παρατηρούμενες ιδιότητες (observed properties): αντιπροσωπεύουν το φαινόμενο που παρατηρείται π.χ. θερμοκρασία αέρος. Αναπαρίστανται με URI (uniform resource identifier) που αποτελείται από κείμενο διαχωρισμένο με άνω και κάτω τελεία σύμφωνα με το om: observedProperty του προτύπου O&M.
4. Χαρακτηριστικό στοιχείο ενδιαφέροντος (featuresOfInterest): είναι το χαρακτηριστικό στοιχείο που σχετίζεται με τις παρατηρήσεις. Έτσι για κάποιο επιτόπιο όργανο δηλ. που μετράει στη θέση όπου εγκαθίσταται (in-place instrument) είναι η θέση ακριβώς του αισθητήρα, ενώ για κάποιο απομακρυσμένο σύστημα είναι κάποια θέση στόχος λ.χ. η τοποθεσία με συντεταγμένες (λ,φ). Αναπαρίστανται σύμφωνα με το στοιχείο om: featureOfInterest του προτύπου O&M.
5. Προσφορά (offering): είναι μια συλλογή αισθητήρων που απαρτίζουν μια ομάδα με συγκεκριμένο σκοπό π.χ. ένα σύνολο αισθητήρων καιρού. Αναπαρίστανται ως στοιχείο sos: ObservationOffering του προτύπου SOS.

Οι οντότητες αυτές που σχετίζονται με τη διεπαφή υπηρεσίας SOS αναπαρίστανται ως διάγραμμα οντοτήτων-συσχετίσεων ακολούθως στο Σχήμα 2.4 [53]. Με κόκκινο σημειώνονται οι αλλαγές των σχέσεων που εισάγονται στην 2<sup>η</sup> έκδοση του SOS.



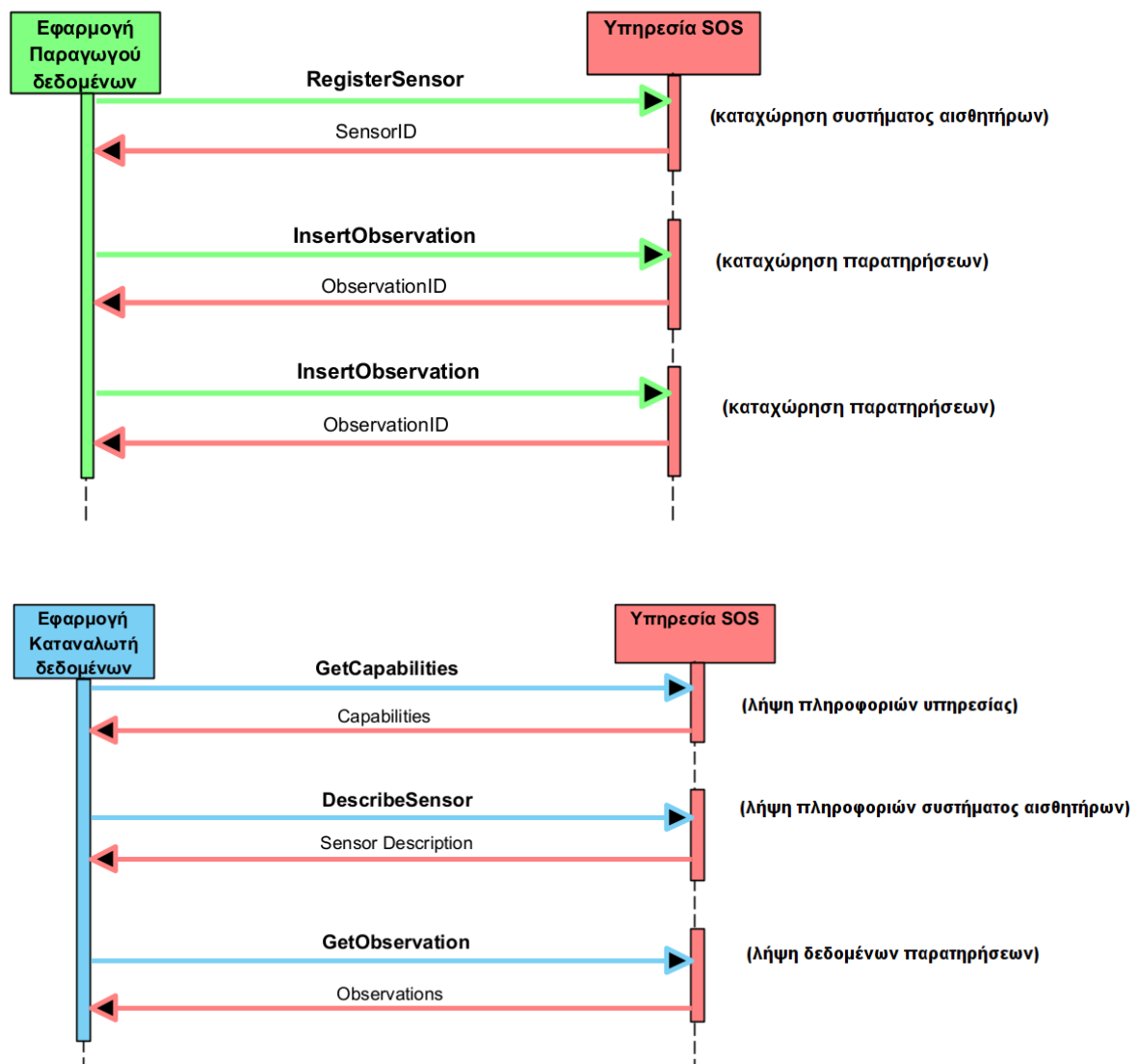
**Σχήμα 2.4** Οι οντότητες που σχετίζονται με τη διεπαφή υπηρεσίας SOS

Συμπερασματικά, το πρότυπο SOS εφαρμόζεται σε περιπτώσεις χρήσης στις οποίες τα δεδομένα αισθητήρων και παρατηρήσεων πρέπει να υφίστανται διαχείριση με τρόπο διαλειτουργικό τρόπο. Αυτό το πρότυπο ορίζει μια διεπαφή υπηρεσίας Ιστού

(Web service interface) που επιτρέπει την διατύπωση αιτημάτων σε δεδομένα παρατήρησης (querying observations), μεταδεδομένα αισθητήρων καθώς και σε δεδομένα παρατηρούμενων χαρακτηριστικών στοιχείων (observed features). Το πρότυπο καθορίζει τρόπους για καταχώριση νέων αισθητήρων και κατάργηση (remove) υφιστάμενων και λειτουργίες για την εισαγωγή νέων παρατηρήσεων.

#### 2.4.4 Διαγράμματα ακολουθίας εφαρμογής παραγωγού και καταναλωτή δεδομένων μιας υπηρεσίας SOS

Δύο τυπικά διαγράμματα ακολουθίας (sequence diagrams) αντίστοιχα από την όψη ενός πελάτη παραγωγού και ενός πελάτη καταναλωτή δεδομένων αισθητήρων μιας υπηρεσίας SOS φαίνονται ακολούθως στο Σχήμα 2.5 [46], [53]:



Σχήμα 2.5 Εφαρμογή παραγωγού και καταναλωτή δεδομένων σε μια υπηρεσία SOS

## 2.3 Κωδικοποιήσεις για την αναπαράσταση δεδομένων σε υπηρεσίες Ιστού: XML, JSON και CSV

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται ορισμένες βασικές μορφές κωδικοποιήσεων δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε υπηρεσίες Ιστού αισθητήρων. Συγκεκριμένα παρακάτω περιγράφεται οι μορφοποιήσεις XML, JSON και CSV. Με βάση τις δύο πρώτες (XML και JSON) κωδικοποιούνται μοντέλα δεδομένων των προτύπων OGC SWE (όπως SensorML και O&M) καθώς και χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση πληροφοριών συναλλαγής μεταξύ υπηρεσιών Ιστού αισθητήρων και πελατών όπως και αναφέρθηκε. Σε αυτήν την εργασία τέτοιου είδους μορφοποιήσεις αξιοποιούνται στην ανάπτυξη της εφαρμογής -παραγωγού και καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων- όπως περιγράφεται αναλυτικά στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Η μορφοποίηση τιμών διαχωρισμένων με κόμμα (CSV) είναι η απλούστερη και γίνεται πολλές φορές χρήσιμη.

### 2.3.1 XML – Η επεκτάσιμη γλώσσα σήμανσης

Η XML (eXtensible Markup Language) είναι μία γλώσσα «σήμανσης», που περιλαμβάνει ένα σύνολο κανόνων για την κωδικοποίηση πληροφοριών. Ορίζεται στην προδιαγραφή XML 1.0 (XML 1.0 Specification) που δημιούργησε ο διεθνής οργανισμός προτύπων W3C (World Wide Web Consortium) αλλά και σε διάφορες άλλες σχετικές τυποποιήσεις ανοιχτών προτύπων. Αποτελεί μια μορφοποίηση δεδομένων σε αρχείο κειμένου εκτυπώσιμων Unicode χαρακτήρων (δηλ. με υποστήριξη για όλες τις γλώσσες του κόσμου). Χρησιμοποιείται ευρέως για την αναπαράσταση αυθαίρετων δομών δεδομένων [49]. Ένα αρχείο XML κωδικοποίησης περιγραφής SensorML ενός συστήματος αισθητήρα φαίνεται στο Σχήμα 2.6.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία προγραμματιστικών βιβλιοθηκών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι προγραμματιστές για δημιουργία και γενικώς επεξεργασία XML δεδομένων.

### 2.3.2 JSON – Η σημειογραφία αντικειμένων της JavaScript

Η JSON (JavaScript Object Notation) είναι μια μορφή αναπαράστασης αντικειμένων δεδομένων βασισμένη σε κείμενο εκτυπώσιμων χαρακτήρων, αποδοτικά επεξεργάσιμη και ουδέτερη πλατφόρμας όπου τα αντικείμενα δεδομένων αναπαρίστανται ως ζεύγη χαρακτηριστικού-τιμής. Ιστορικά η JSON ξεκίνησε από την JavaScript [50]. Ωστόσο σήμερα θεωρείται μια μορφή ανεξάρτητη γλώσσας προγραμματισμού λόγω της ευρείας υιοθέτησής της από όλες τις μοντέρνες γλώσσες προγραμματισμού [51]. Πολλές εφαρμογές Ιστού σήμερα επικοινωνούν ανταλλάσσοντας δεδομένα κωδικοποιημένα σε JSON αντί XML και πολλοί προγραμματιστές την προτιμούν ως λιγότερο φλύαρη και ευκολότερη στην ανάγνωση. Η μορφοποίηση JSON αξιοποιείται σε αυτή την εργασία για κωδικοποίηση SensorML και O&M περιγραφών δηλ. δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων στη υλοποίηση της εφαρμογής. Για το λόγο αυτό περιγράφεται ακολούθως λιγάκι αναλυτικότερα.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<sml:PhysicalComponent gml:id="MY_SENSOR"
xmlns:sml="http://www.opengis.net/sensorml/2.0"
xmlns:swe="http://www.opengis.net/swe/2.0"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml/3.2"
xmlns:gmd="http://www.isotc211.org/2005/gmd"
xmlns:gco="http://www.isotc211.org/2005/gco"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sensorml/2.0
http://schemas.opengis.net/sensorml/2.0/sensorML.xsd">
  <!-- ===== -->
  <!--           System Description           -->
  <!-- ===== -->
  <gml:description>Temperature sensor on my window</gml:description>
  <gml:identifier codeSpace="uniqueID">myCompany.com.63547</gml:identifier>
  <!-- ===== -->
  <!--           Observed Property = Output           -->
  <!-- ===== -->
  <sml:outputs>
    <sml:OutputList>
      <sml:output name="temp">
        <swe:Quantity definition="http://dbpedia.org/resource/Temperature">
          <swe:label>Air Temperature</swe:label>
          <swe:uom code="Cel"/>
        </swe:Quantity>
      </sml:output>
    </sml:OutputList>
  </sml:outputs>
  <!-- ===== -->
  <!--           Sensor Location           -->
  <!-- ===== -->
  <sml:position>
    <gml:Point gml:id="stationLocation"
      srsName="http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/4326">
      <gml:coordinates>47.8 88.56</gml:coordinates>
    </gml:Point>
  </sml:position>
</sml:PhysicalComponent>

```

**Σχήμα 2.6** Παράδειγμα XML κωδικοποίησης SensorML περιγραφής ενός συστήματος αισθητήρα [πηγή: <http://www.sensorml.com/>]

## Η σύνταξη δεδομένων JSON

Στην μορφοποίηση JSON αναπαρίστανται γενικώς δύο δομές δεδομένων [51]:

α) **Μη διατεταγμένο σύνολο από ζεύγη (όνομα, τιμή) για την αναπαράσταση αντικειμένου:** Οι ιδιότητες του αντικειμένου και οι τιμές τους αναπαρίστανται από ζεύγη «όνομα, τιμή». Το όνομα και η τιμή στο ζεύγος διαχωρίζονται με άνω και κάτω τελεία (:). Τα ονόματα των ιδιοτήτων σε ένα αντικείμενο είναι συμβολοσειρές και οι τιμές μπορεί να είναι οποιοσδήποτε από τους έγκυρους τύπους δεδομένων της JSON όπως αριθμοί, συμβολοσειρές, Boolean, πίνακες (array), αντικείμενα ή null. Κάθε ζεύγος «όνομα:τιμή» σε ένα αντικείμενο JSON διαχωρίζεται από κόμμα (,) και ολόκληρο το αντικείμενο περικλείεται σε άγκιστρα ({}).

Για παράδειγμα, μια αναπαράσταση JSON ενός αντικειμένου τμήματος (department) είναι η εξής:

```
{"departmentId":10, "departmentName":"IT", "manager":"John Chen"}
```

Σε αυτό το παράδειγμα φαίνεται πώς μπορούν να αναπαρίστανται σε μορφή JSON τα διάφορα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου department όπως departmentId, departmentName και manager.

**β) Διατεταγμένο σύνολο τιμών για την αναπαράσταση πίνακα (array) [51]:** Οι πίνακες περικλείονται σε αγκύλες ([]) και οι τιμές τους διαχωρίζονται με κόμμα (,). Κάθε τιμή σε έναν πίνακα μπορεί να είναι διαφορετικού τύπου συμπεριλαμβανομένου ενός άλλου πίνακα ή ενός αντικειμένου. Το ακόλουθο παράδειγμα απεικονίζει τη χρήση της σημειογραφίας για την αναπαράσταση ενός πίνακα υπαλλήλων (employees) που εργάζονται σε κάποιο τμήμα (department) σε κάποια τοποθεσία (location):

```
{"departmentName":"IT",  
  "employees": [  
    {"firstName":"John", "lastName":"Chen"},  
    {"firstName":"Ameya", "lastName":"Job"},  
    {"firstName":"Pat", "lastName":"Fay"}  
  ],  
  "location":["New York", "New Delhi"]  
}
```

### **Βασικοί τύποι δεδομένων JSON**

Οι βασικοί τύποι δεδομένων που διατίθενται στη JSON είναι [51]:

**Αριθμός:** Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση ενός προσημασμένου δεκαδικού αριθμού που προαιρετικά μπορεί να έχει και κλασματικό μέρος. Οι ακέραιοι καθώς και οι αριθμοί κινητής υποδιαστολής (float) αναπαρίστανται χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο δεδομένων. Στο ακόλουθο παράδειγμα χρησιμοποιείται ο δεκαδικός τύπος δεδομένων για την αποθήκευση του συνολικού βάρους (totalWeight):

```
{"totalWeight":123.456}
```

**Συμβολοσειρά:** Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση μιας ακολουθίας μηδέν ή περισσότερων χαρακτήρων. Οι συμβολοσειρές περικλείονται σε διπλά εισαγωγικά όπου υποστηρίζεται και ο γνωστός χαρακτήρα διαφυγής (/). Ένα παράδειγμα για τον τύπο δεδομένων συμβολοσειράς είναι το εξής:

```
{"firstName":"Jobinesh"}
```

**Boolean:** Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση μιας τιμής αληθείας (αληθή ή ψευδή τιμή). Έτσι αναπαρίστανται οι δύο καταστάσεις μιας μεταβλητής Boolean, με true ή false στον κώδικα. Ένα παράδειγμα είναι το εξής:

```
{"isValidEntry":true}
```

**Πίνακας:** Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση μιας διατεταγμένης λίστας μηδέν ή περισσότερων τιμών καθεμιά από τις οποίες μπορεί να είναι οποιουδήποτε τύπου. Σε αυτήν την αναπαράσταση οι διαχωρισμένες με κόμμα τιμές περικλείονται σε αγκύλες. Ένα παράδειγμα αναπαράστασης πίνακα είναι το εξής:

```
{"φρούτα": ["μήλο", "μπανάνα", "πορτοκάλι"]}
```

**Αντικείμενο:** Αυτός ο τύπος είναι μια μη διατεταγμένη συλλογή από ζεύγη χαρακτηριστικό-τιμή διαχωρισμένων με κόμμα που περικλείονται σε άγκιστρα. Όλα τα χαρακτηριστικά πρέπει να είναι συμβολοσειρές και πρέπει να διακρίνονται μεταξύ τους μέσα στο αντικείμενο. Στο ακόλουθο παράδειγμα απεικονίζεται μια αναπαράσταση αντικειμένου σε JSON:

```
{"departmentId":10,  
  "departmentName":"IT",  
  "manager":"John Chen"}
```

**null:** Αυτός ο τύπος είναι η κενή τιμή (empty value) η οποία αναπαρίσταται χρησιμοποιώντας τη λέξη κλειδί null. Στο ακόλουθο παράδειγμα απεικονίζεται μια αναπαράσταση κενής τιμής για ένα χαρακτηριστικό error:

```
{"error":null}
```

Ένα συνολικό παράδειγμα εγγράφου JSON που περιέχει έναν JSON πίνακα αντικειμένων υπαλλήλων employee είναι το εξής:

```
[ {"employeeId":100,"firstName":"John","lastName":"Chen",  
  "email":"john.chen@xxxx.com","hireDate":"2008-10-16"},  
  {"employeeId":101,"firstName":"Ameya","lastName":"Job",  
  "email":"ameya.job@xxx.com","hireDate":"2013-03-06"},  
  {"employeeId":102,"firstName":"Pat","lastName":"Fay",  
  "email":"pat.fey@xxx.com","hireDate":"2001-03-06"} ]
```

## Σύνταξη JSON

Είναι συχνά απαραίτητο για τις εφαρμογές να ελέγχουν την εγκυρότητα JSON αντικειμένων δηλ. να υπάρχουν ορισμένες ιδιότητες καθώς και να τηρούνται διάφοροι πρόσθετοι περιορισμοί. Ο έλεγχος εγκυρότητας πραγματοποιείται βάση ενός σχήματος JSON. Ένα JSON σχήμα είναι μια γραμματική για τον ορισμό της δομής, του περιεχομένου και σε ορισμένο βαθμό της σημασιολογίας JSON αντικειμένων. Επιτρέπει τον καθορισμό μεταδεδομένων (δεδομένα σχετικά με τα δεδομένα) δηλ. σχετικά με το τι σημαίνουν οι ιδιότητες ενός αντικειμένου και ποιες τιμές επιτρέπονται για αυτές τις ιδιότητες. Το αποτέλεσμα εφαρμογής μιας γραμματικής είναι ένα σχήμα που περιγράφει το σύνολο αντικειμένων JSON που είναι έγκυρα σύμφωνα με το σχήμα. Ένα σχήμα JSON εκφράζεται ως αντικείμενο JSON [51].

## Επεξεργασία JSON

Σημασία στην πράξη έχει η μετατροπή της JSON μορφοποίησης σε αντικείμενα δεδομένων μιας γλώσσας προγραμματισμού και αντιστρόφως. Υπάρχουν διάφορα

μοντέλα επεξεργασίας. Με τον όρο επεξεργασία νοείται ανάγνωση, εγγραφή, διατύπωση ερωτημάτων (querying) και τροποποίηση δεδομένων JSON. Δύο σημαντικοί τρόποι είναι οι εξής [51]: **μοντέλο αντικειμένων** και **μοντέλο ροών**. Στο μοντέλο αντικειμένων η μορφοποίηση JSON μετατρέπεται σε μια ιεραρχική δομή λ.χ. ενός δένδρου και αντιστρόφως. Στο μοντέλο ροών διαβάζεται ή γράφεται ένα αρχείο JSON σειριακά.

Για λόγους συγκριτικής αντιπαραβολής φαίνεται ακολούθως στα Σχήματα 2.7 και 2.8 αντιστοίχως ένα παράδειγμα αρχείου XML και JSON αναπαραστάσεων μιας περιγραφής SensorML.

```
<PhysicalComponent id="MY_SENSOR">
  <description>Thermometer on the window of the C-Building, Room
    315</description>
  <identifier>urn:icd:stations:FR8766</identifier>
  <identification>
    <IdentifierList>
      <identifier>
        <Term definition="http://sensorml.com/ont/swe/property/ShortName">
          <label>Short Name</label><value>Thermometer FR8766</value>
        </Term>
      </identifier>
      <identifier>
        <Term
definition="http://sensorml.com/ont/swe/property/Manufacturer">
          <label>Manufacturer Name</label><value>ACME Inc</value>
        </Term>
      </identifier>
      <identifier>
        <Term
definition="http://sensorml.com/ont/swe/property/SerialNumber">
          <label>Serial Number</label><value>FT5743456566-997</value>
        </Term>
      </identifier>
    </IdentifierList>
  </identification>

  <outputs>
    <OutputList>
      <output name="temp">
        <Quantity definition=
"http://sweet.jpl.nasa.gov/2.2/quantTemperature.owl#Temperature">
          <uom code="Cel"/>
        </Quantity>
      </output>
    </OutputList>
  </outputs>
  <position>
    <Point id="stationLocation">
      <srsName>http://www.opengis.net/def/crs/EPSG/0/4326</srsName>
      <srsDimension>2</srsDimension>
      <pos>47.8 88.56</pos>
    </Point>
  </position>
</PhysicalComponent>
```

**Σχήμα 2.7** XML-μορφοποίηση περιγραφής SensorML

```

{"type": "PhysicalComponent",
 "id": "MY_SENSOR",
 "description": "Thermometer on the window of the C-Building, Room
 315",
 "identifier": "urn:icd:stations:FR8766",
 "identification": [
  {
    "type": "IdentifierList",
    "identifier": [
      {"type": "Term",
       "definition": "http://sensorml.com/ont/swe/property/ShortName",
       "label": "Short Name", "value": "Thermometer FR8766"},
      {"type": "Term",
       "definition": "http://sensorml.com/ont/swe/property/Manufacturer ",
       "label": "Manufacturer Name", "value": "ACME Inc"},
      {"type": "Term",
       "definition": "http://sensorml.com/ont/swe/property/ModelNumber",
       "label": "Manufacturer Model", "value": "T911"},
      {"type": "Term",
       "definition": "http://sensorml.com/ont/swe/property/SerialNumber",
       "label": "Serial Number", "value": "FT5743456566-997"}
    ]
  }
],
 "classification": [
  {"type": "ClassifierList",
   "classifier": [
     {"type": "Term",
      "definition":
"http://sensorml.com/ont/swe/property/IntendedApplication",
      "label": "Intended Application",
      "value": "Atmospheric Temperature"
     }
   ]
  }
],
 "outputs": {
  "type": "OutputList",
  "output": [
    {"name": "temp", "type": "Quantity",
     "definition":
"http://sweet.jpl.nasa.gov/2.2/quantTemperature.owl#Temperature",
     "uom": { "code": "Cel" }
    }
  ]
},
 "position": [{"type": "Point", "id": "stationLocation",
  "srsName": "http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/4326",
  "srsDimension": "2", "pos": "47.8 88.56"
  }
]
}

```

**Σχήμα 2.8** JSON-μορφοποίηση περιγραφής SensorML



### 2.3.3 Τιμές διαχωρισμένες με κόμμα (Comma separated values - CSV)

Ένα αρχείο τιμών διαχωρισμένων με κόμμα είναι ένα αρχείο κειμένου που χρησιμοποιεί κόμματα για διαχωρισμό των τιμών μιας εγγραφής του αρχείου [52]. Κάθε γραμμή του αρχείου είναι μια εγγραφή δεδομένων. Κάθε εγγραφή αποτελείται από ένα ή περισσότερα πεδία, διαχωρισμένα με κόμμα. Ένα παράδειγμα φαίνεται ακολούθως στο Σχήμα 2.9.

```
20150101T00:10:00.000000+0100,0.446000  
20150101T00:20:00.000000+0100,0.862000  
20150101T00:30:00.000000+0100,0.932000  
20150101T00:40:00.000000+0100,0.384000
```

**Σχήμα 2.9** Ένα αρχείο τιμών διαχωρισμένων με κόμμα με 4 εγγραφές δεδομένων παρατηρήσεων που μπορεί να αντιπροσωπεύει μια χρονοσειρά δεδομένων παρατηρήσεων ενός συστήματος αισθητήρων - χρόνος σε μορφή iso8601 και σχετική υγρασία



## Κεφάλαιο 3

### Η υλοποίηση IstSOS

#### 3.1 Το σύστημα υπηρεσίας IstSOS

Το σύστημα υπηρεσίας IstSOS (Istituto Scienze della Terra Sensor Observation Service) είναι ένα σύστημα διαχείρισης παρατηρήσεων αισθητήρων που ακολουθεί το πρότυπο OGC SOS της Κοινοπραξίας Ανοιχτών προτύπων Γεωγραφικών δεδομένων (Open Geospatial Consortium). Επιτρέπει τη διάθεση δεδομένων παρατηρήσεων στον Ιστό και την πρόσβαση σε αυτά δηλ. αποτελεί ουσιαστικά μια υλοποίηση υπηρεσίας Ιστού Αισθητήρων. Η υλοποίηση του εξυπηρετητή (server) του συστήματος IstSOS είναι ανοιχτού κώδικα και είναι γραμμένη εξ ολοκλήρου σε Python. Περαιτέρω το σύστημα IstSOS βασίζεται σε αξιόπιστα λογισμικά στοιχεία όπως PostgreSQL/PostGIS, Apache/mod\_wsgi και άλλα τα οποία περιγράφονται στην επόμενη ενότητα. Η νεότερη έκδοση περιλαμβάνει επεκτάσεις όπως διεπαφή υπηρεσίας RESTful καθώς και διεπαφή διαχείρισης χρήστη. Αυτά τα δύο στοιχεία διευκολύνουν αρκετά την αλληλεπίδραση με το σύστημα δηλ. όσο αναφορά την εγκατάσταση, την ρύθμιση της υπηρεσίας και διαχείριση των δεδομένων. Το λογισμικό σύστημα IstSOS είναι ένα έργο επώασης OSGeo το οποίο διανέμεται με γενική δημόσια άδεια (general public licence – GPL).

Η ανάπτυξη του συστήματος IstSOS ξεκίνησε στο ελβετικό Ινστιτούτο Γεωεπιστημών<sup>6</sup> (IST) το 2009. Στην αρχή αφορούσε μια απλή υλοποίηση του προτύπου OGC SOS για διαχείριση, παροχή και ενσωμάτωση υδρομετεωρολογικών δεδομένων τα οποία συλλέγονται στο καντόνι του Τιτσίνο (Canton Ticino). Ο εξυπηρετητής IstSOS που υλοποιήθηκε βάση ανοιχτών προτύπων καθιστά εύκολη τη διαχείριση δεδομένων παρατηρήσεων, την αποστολή και διάθεση των δεδομένων από κάποιο σύστημα αισθητήρων. Αξίζει να αναφερθεί ότι αποτελεί ανθεκτικό και αξιόπιστο σύστημα έχοντας ελεγχθεί σε πραγματικές συνθήκες ως μέρος του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης κινδύνων της λίμνης Verbanò. Στην εφαρμογή αυτή δεδομένα παρατηρήσεων πρέπει να ανταλλάσσονται σχεδόν σε πραγματικό χρόνο από διαπεριφερειακούς εταίρους και να χρησιμοποιούνται σε κάποιο υδρολογικό μοντέλο για πρόβλεψη της στάθμης της λίμνης προς εκτίμηση της επικινδυνότητας μιας ενδεχόμενης πλημμύρας. Το σύστημα συνδέεται με

---

<sup>6</sup> Το Ινστιτούτο Γεωεπιστημών (IST-Istituto Scienze della Terra) δραστηριοποιείται σε κλάδους της επιστήμης με στόχο την διαχείριση και την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Κύρια καθήκοντα του είναι η διεξαγωγή εφαρμοσμένης έρευνας, η ανάπτυξη παροχής υπηρεσιών καθώς και η συμβολή στη διδασκαλία (βασική και ακαδημαϊκή). Αποτελείται από ειδικούς στη διαχείριση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, στη μοντελοποίηση φυσικών κινδύνων, στη μελέτη της τοπικής γεωλογίας, στις περιβαλλοντικές βάσεις δεδομένων και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Το Ινστιτούτο συνεργάζεται για την υλοποίηση εφαρμοσμένων ερευνητικών έργων που σχετίζονται με την επικράτεια, με εθνικά και διεθνή πανεπιστήμια, τη δημόσια διοίκηση και με ιδιωτικές εταιρείες. Χρηματοδοτείται από εθνικούς πόρους του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα και ορισμένες φορές και από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η συνεργασία με την καντονική διοίκηση αφορά διάφορα ζητήματα όπως: συντήρηση του δικτύου παρακολούθησης των υδάτινων πόρων, προβλέψεις πλημμύρας, ανάπτυξη διαδικτυακών υπηρεσιών, σχεδιασμό και διαχείριση περιβαλλοντικών βάσεων δεδομένων κ.α. [55].

αποκλειστική γεωπύλη (geoportals) που χρησιμοποιείται από την πολιτική προστασία για διαχείριση και επιφυλακή προς προστασία του πληθυσμού και των υποδομών της περιοχής Λοκάρνο [54].

## 3.2 Λογισμικά στοιχεία στα οποία βασίζεται το σύστημα IstSOS

Η υλοποίηση του IstSOS βασίζεται στα ακόλουθα λογισμικά στοιχεία:

### 3.2.1 PostgreSQL/PostGIS

Η PostgreSQL είναι μια αντικειμενο-σχεσιακή βάση δεδομένων ανοικτού κώδικα. Αναπτύσσεται πάνω από δύο δεκαετίες και αποτελεί πλέον την πιο προχωρημένη βάση δεδομένων ανοικτού κώδικα. Βασίζεται σε μια αποδεδειγμένα καλή αρχιτεκτονική η οποία έχει κερδίσει την εμπιστοσύνη των χρηστών όσο αναφορά την αξιοπιστία, την ακεραιότητα των δεδομένων και την ορθή λειτουργία. Η PostgreSQL τρέχει σε όλα τα βασικά λειτουργικά συστήματα στα οποία περιλαμβάνονται το Linux, το UNIX (AIX, BSD, HP-UX, SGI, IRIX, MAC OS X, Solaris, Tru64) και τα Windows. Είναι συμβατή με ACID και συμπεριλαμβάνει τους περισσότερους τύπους δεδομένων SQL92 και SQL99 (INTEGER, NUMERIC, BOOLEAN, CHAR, VARCHAR, DATE, INTERVAL και TIMESTAMP). Υποστηρίζει αποθήκευση μεγάλων δυαδικών αντικειμένων (binary) όπως εικόνων, ήχων και βίντεο. Διαθέτει διεπαφές προγραμματισμού για τις γλώσσες C, C++, Java, Perl, Python, Ruby, Tcl, υποστήριξη της πλατφόρμας .NET και του προτύπου ODBC και περιλαμβάνει και ένα εξαιρετικό εγχειρίδιο χρήσης. Η PostgreSQL προέρχεται από το πακέτο POSTGRES το οποίο γράφτηκε στο Πανεπιστήμιο του Μπέρκλεϋ της Καλιφόρνιας των Η.Π.Α.. [57]

Το PostGIS είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού ανοικτού κώδικα που προσθέτει υποστήριξη για γεωγραφικά αντικείμενα στη βάση δεδομένων PostgreSQL. Το PostGIS ακολουθεί το πρότυπο Simple feature της Open Geospatial Consortium στη διατύπωση κώδικα SQL [58].

### 3.2.2 Apache/mod\_wsgi (mod\_python for version <= 1.0)

Ο Apache HTTP γνωστός και απλά ως Apache είναι ένας εξυπηρετητής Ιστού<sup>7</sup>. Ο Apache είναι ένας από τους δημοφιλέστερους εξυπηρετητές Ιστού λόγω του ότι λειτουργεί σε πολλές διαθέσιμες πλατφόρμες όπως Windows, Linux, Unix και Mac OS X. Κυκλοφόρησε υπό την άδεια λογισμικού της Apache και αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα. Συντηρείται από μια κοινότητα ανοικτού κώδικα με επιτήρηση του Ιδρύματος Λογισμικού Apache (Apache Software Foundation).

Ο Apache χρησιμοποιείται και σε τοπικά δίκτυα σαν εξυπηρετητής συνεργαζόμενος με συστήματα διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων όπως Oracle, MySQL.

Η πρώτη του έκδοση γνωστή ως NCSA HTTPd δημιουργήθηκε από τον Robert McCool και κυκλοφόρησε το 1993. Θεωρείται ότι έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αρχική

---

<sup>7</sup> Εξυπηρετητής Ιστού: Ως γνωστόν όταν ένας χρήστης επισκέπτεται έναν ιστότοπο το πρόγραμμα πλοήγησης (browser) επικοινωνεί με ένα πρόγραμμα εξυπηρετητή (server) Ιστού μέσω του πρωτοκόλλου HTTP, το οποίο παράγει τις ιστοσελίδες και τις αποστέλλει στο πρόγραμμα πλοήγησης.

φάση εξάπλωσης του Παγκόσμιου Ιστού. Ήταν η πρώτη βιώσιμη εναλλακτική επιλογή απέναντι στον εξυπηρετητή HTTP της εταιρείας Netscape και από τότε έχει εξελιχθεί σε σημείο να ανταγωνίζεται σε λειτουργικότητα και απόδοση άλλους εξυπηρετητές βασισμένους στο Unix. Από το 1996 μέχρι τον Μάρτιο του 2006 ήταν από τους πιο δημοφιλείς εξυπηρετητές αλλά από εκεί και έπειτα έχει μειωθεί το ποσοστό της εγκατάστασής του κυρίως λόγω της εξάπλωσης του εξυπηρετητή Ιστού Internet Information Services (IIS) και της πλατφόρμας .NET της Microsoft. Τον Οκτώβριο του 2007 το μερίδιο του ήταν στο 47.73% από όλους τους ιστοτόπους. Τον Μάρτιο του 2017 το 49.48% του συνόλου των καταχωρισμένων Ελληνικών τομέων χρησιμοποιούσε Apache [59].

Το mod\_wsgi είναι ένα module εξυπηρετητή HTTP Apache υλοποιημένο από τον Graham Dumbleton για να παρέχεται στο Apache μια διεπαφή συμβατή με το WSGI για φιλοξενία εφαρμογών Ιστού γραμμένες σε Python (Python-web integration). Από την έκδοση 4.5.3, το mod\_wsgi υποστηρίζει Python 2 και 3 [60].

### 3.2.3 GDAL (όχι για versions < 2.0)

Η GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) είναι μια βιβλιοθήκη λογισμικού για ανάγνωση και γραφή raster και διανυσματικών τύπων χωρικών δεδομένων που κυκλοφορεί με επιτρεπόμενη άδεια ελεύθερου λογισμικού τύπου X/MIT από το Open Source Geospatial Foundation [61].

### 3.2.4 Python modules

Αξιοποιούνται επιπλέον τα ακόλουθα Python modules:

- isodate για μετατροπές στο πρότυπο ISO8601,
- python-gdal (for version <=2.0),
- pyscopg2 για σύνδεση στη βάση δεδομένων,
- pytz για διαχείριση των ζωνών ώρας.

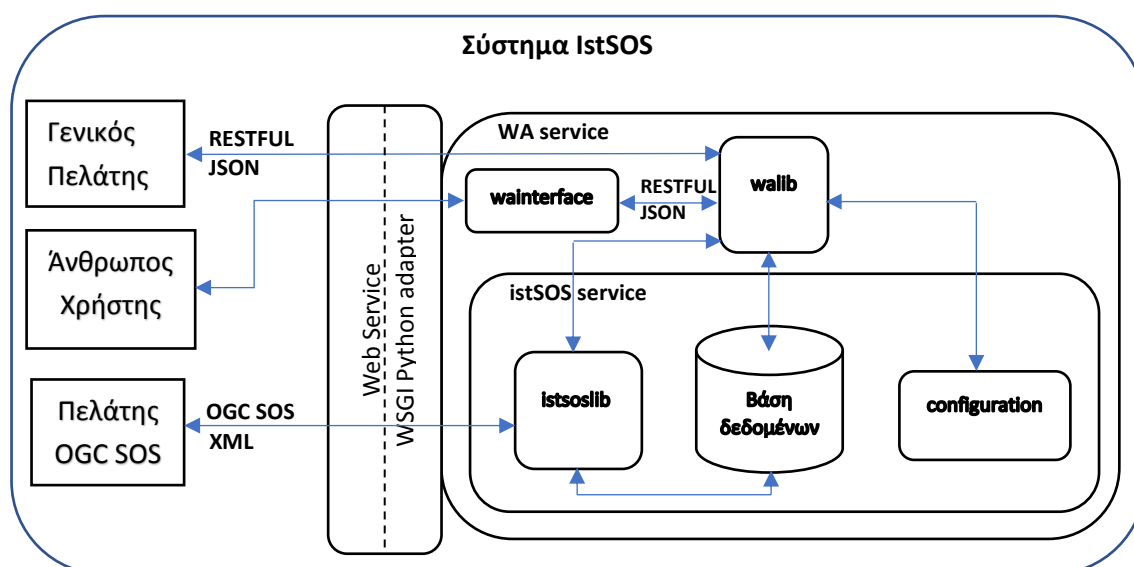
## 3.3 Αρχιτεκτονική συστήματος IstSOS

Το σύστημα IstSOS εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου από έναν απλό πάροχο υπηρεσιών (service provider) σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης δεδομένων. Στην εναρκτήρια φάση της η υλοποίηση υποστήριζε απλώς το πρότυπο OGC SOS μέσω του τμήματος **istSOSlib** που αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος. Για την ικανοποίηση επιπλέον απαιτήσεων όπως υποστήριξη ακανόνιστων χρονοσειρών (irregular) κ.α. το λογισμικό επεκτάθηκε και εμπλουτίστηκε με νέα χαρακτηριστικά: Η ανάγκη για μια φιλική διεπαφή χρήστη (GUI) οδήγησε στην ανάπτυξη της διεπαφής Διαχείρισης Ιστού (Web Administration interface) **wainterface**. Αυτή πραγματοποιείται μέσω υλοποίησης RESTful υπηρεσίας στο τμήμα **walib**. Η RESTful υπηρεσία επιτρέπει αποδοτικότερη και απλούστερη διαχείριση του συστήματος - εγκατάσταση, ρύθμιση στιγμιότυπων υπηρεσίας, πράξεις ενημέρωσης μεταδομένων, προσθήκη νέων αισθητήρων, επαλήθευσης, ορθότητας, διόρθωσης, έλεγχο

εγκυρότητας δεδομένων- και αξιοποιείται πέρα από την υλοποίηση της διεπαφής χρήστη και για γενικότερες εξωτερικές διαδικασίες προγραμμάτων πελατών.

Το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1 έχει μια ένθετη αρχιτεκτονική. Μπορεί κανείς να το παρομοιάσει με «ροδάκινο» με την wainterface να αποτελεί την φλούδα, την walib τον καρπό και την istsoelib τον πυρήνα. Στη walib υλοποιούνται οι κλάσεις και λειτουργίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της wa-υπηρεσίας.

Τα τρία λογισμικά συστατικά αλληλοεπιδρώντας μεταξύ τους συνυφαίνουν τρεις διαφορετικές διεπαφές αλληλεπίδρασης: ανθρώπων, πελατών γενικών διαδικασιών και τυποποιημένων πελατών όπως φαίνεται ακολούθως στη αναπαράσταση της αρχιτεκτονική του συστήματος στο Σχήμα 3.1. [54].



**Σχήμα 3.1** Αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής του συστήματος IstSOS. Φαίνονται οι τρεις διαφορετικές διεπαφές που παρέχονται: πελατών γενικών διαδικασιών, ανθρώπων-χρηστών και τυποποιημένων πελατών (OGC SOS)

Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω, το σύστημα IstSOS συντίθεται από δύο είδη υπηρεσιών Ιστού. Η πρώτη υπηρεσία istSOS service εκτίθεται βάση της τυποποιημένης διεπαφής SOS όπου η επικοινωνία συντελείται ουσιαστικά βάση XML κωδικοποιήσεων και η δεύτερη υπηρεσία WA service βάση διεπαφής REST όπου η επικοινωνία συντελείται βάση JSON κωδικοποιήσεων. Σημειώνεται ότι μέσω της WA-REST υπηρεσίας παρέχεται επιπλέον η δυνατότητα διαχείρισης (administration) του συστήματος.

### 3.4 Εσωτερική λειτουργική δομή λογισμικού

Το λογισμικό IstSOS έχει αναπτυχθεί με μια προσέγγιση factory<sup>8</sup> χρησιμοποιώντας τρεις «ενότητες κώδικα» (modules<sup>9</sup>) [53], [54]:

- Φίλτρο (filter): παρέχει τη διεπαφή για μετατροπή των HTTP αιτημάτων (GET ή POST) που υποβάλλονται (διατυπώνονται) σύμφωνα με το πρότυπο OGC SOS σε αντικείμενα Python που περιέχουν τις υποβληθείσες παραμέτρους με τις αντίστοιχες τιμές.
- Ανταποκριτής (responder): διεπαφή για επίλυση του υποβληθέντος αιτήματος: καθορισμός αλληλεπίδρασης με τη βάση δεδομένων για συλλογή των απαιτούμενων πληροφοριών δηλ. εκτέλεση των απαραίτητων δοσοληψιών<sup>10</sup>.
- Αντικείμενο απόδοσης (renderer): διεπαφή μετατροπής των πληροφοριών που είναι αποθηκευμένες στους ανταποκριτές σε απόκριση OGC SOS δηλ. όπως ορίζεται στο πρότυπο.

Η υπηρεσία IstSOS χειρίζεται τα διάφορα αιτήματα OGC SOS με τη διαδοχική δημιουργία `factory_filter`, `factory_responder` και `factory_renderer` ώστε να γίνει κλήση στις κατάλληλες κλάσεις προς δημιουργία της απόκρισης. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται η όλη διαδικασία: αρχικά το `factory_filter` δημιουργεί την κατάλληλη κλάση φίλτρου συναρτήσει του τύπου του αιτήματος που υποβάλλεται, στη συνέχεια ο `factory_responder` δημιουργεί αυτόματα τη σχετική κλάση απόκρισης και τέλος ο σωστός `renderer` καλείται από το `factory_renderer` για να παράγει την OGC SOS απόκριση [53].

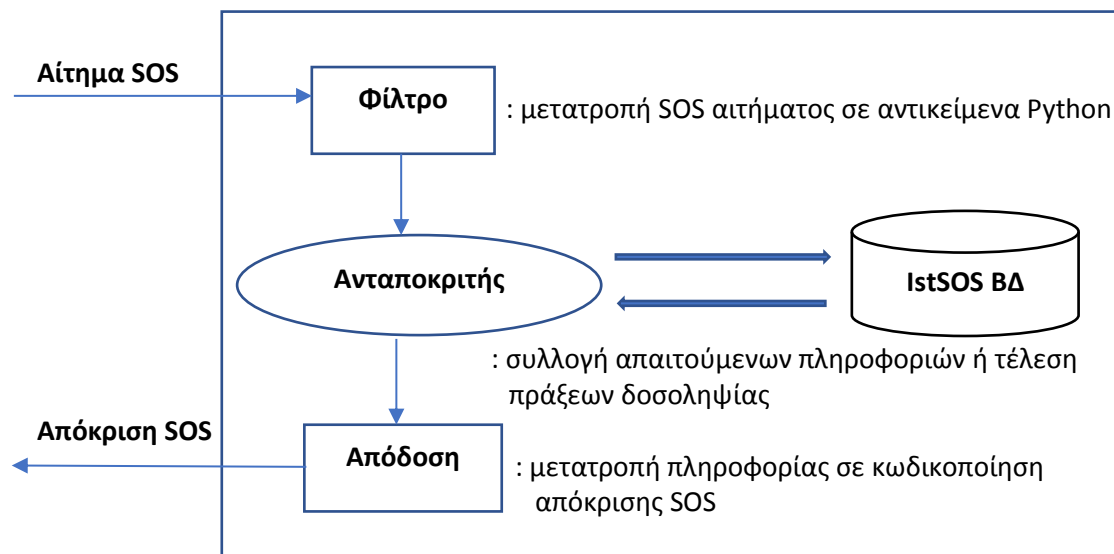
Τέλος σε ένα αρχείο διαμόρφωσης (configuration file) αποθηκεύονται σημαντικές παράμετροι ρυθμίσεων όπως μεταδεδομένα υπηρεσίας (π.χ. όνομα, έκδοση, κάτοχος), παράμετροι σύνδεσης βάσης δεδομένων, ορισμός λεξικών, αιτήματα χειρισμού κ.λπ.

---

<sup>8</sup> Ένα πρότυπο Factory ή πρότυπο μεθόδου Factory επιτρέπει τον ορισμό απλώς μιας διεπαφής ή αφηρημένης κλάσης για τη δημιουργία αντικειμένων όπου η κλάση που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία των αντικειμένων αποφασίζεται από υποκλάσεις. Με άλλα λόγια η δημιουργία ενός στιγμιότυπου της κλάσης ανατίθεται σε υποκλάσεις. Το πρότυπο μεθόδου Factory αποτελεί ένα σχεδιαστικό πρότυπο που χρησιμοποιείται για καθορισμό στο χρόνο εκτέλεσης διεπαφών για τη δημιουργία αντικειμένων. Καλείται factory εξαιτίας του ότι δημιουργούνται διάφοροι τύποι αντικειμένων χωρίς την ανάγκη της γνώσης εκ των προτέρων του αντικειμένου που θα δημιουργηθεί ή το πώς θα δημιουργηθεί.

<sup>9</sup> Μια ενότητα (module) είναι ένα αντικείμενο στην Python με αφηρημένες ιδιότητες που μπορεί δεθεί (bind) και να γίνει αναφορά (reference) σε αυτό. Ουσιαστικά είναι ένα αρχείο με κώδικα Python. Σε ένα module δύναται να ορίζονται συναρτήσεις, κλάσεις και μεταβλητές.

<sup>10</sup> Μια δοσοληψία (Transaction) είναι ένα πρόγραμμα συνόλου πράξεων προς τη βάση δεδομένων (database operations) που εκτελείται ως ενιαία λογική μονάδα επεξεργασιών δεδομένων. Οι πράξεις που δύναται να περιέχονται σε μια δοσοληψία μπορεί να είναι διάφορες όπως insert, delete, update ή retrieve data.



**Σχήμα 3.2** Η εσωτερική λειτουργική δομή του συστήματος IstSOS

### 3.5 Επιπλέον χαρακτηριστικά του συστήματος IstSOS

Εκτός από τις τυπικές λειτουργίες που ορίζονται στο πρότυπο SOS στην *istsoslib* έχουν υλοποιηθεί επιπλέον μια σειρά δυνατοτήτων προς υποστήριξη διαφόρων αναγκών διαχείρισης δεδομένων. Αυτές είναι οι εξής [54]:

(1)*Εικονικές διαδικασίες (Virtual procedures)*: παρέχουν την δυνατότητα δημιουργίας δεδομένων που ουσιαστικά δεν αποτελούν μετρήσεις αλλά παράγονται από οριζόμενες υπολογιστικές διαδικασίες από δεδομένα που ανήκουν σε άλλες διαδικασίες.

(2)*Ακανόνιστες χρονοσειρές (Irregular time series)*: σε παρατηρήσεις καθοδηγούμενες από συμβάντα δεν πρέπει να παρέχονται δεδομένα απουσία συμβάντος (π.χ. μετρήσεις βροχής δίχως βροχόπτωση). Αυτή η περίπτωση πρέπει να διακρίνεται από την περίπτωση ελλειπόντων δεδομένων (δηλ. όταν λείπουν παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια του συμβάντος).

(3)*Συνάθροιση εν λειτουργία (On-the-fly aggregation)*: ο χρήστης μπορεί να διατυπώνει αιτήματα συναθροιστικών πράξεων σε δεδομένα παρατηρούμενων ιδιοτήτων καθορίζοντας τη χρονική ανάλυση συνάθροισης, τον τύπο συνάθροισης (μέγιστο, ελάχιστο, μέσο ή άθροισμα) είτε μια κενή συνάθροιση (δίχως δεδομένα). Το τελευταίο χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση διαστημάτων χωρίς παρατηρήσεις.

(4)*Διαφορετικές μορφές εξόδου*: ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την επιθυμητή μορφή εξόδου των δεδομένων παρατηρήσεων. Εκτός από τη μορφή XML παρέχεται επιπλέον έξοδος δεδομένων σε JSON και CSV.



(5) *Δυνατότητα εισαγωγής πολλαπλών παρατηρήσεων με ένα και μόνο αίτημα*. Οι προδιαγραφές δεν ορίζουν σαφώς εάν με ένα αίτημα insertObservation μπορούν να καταχωρηθούν περισσότερες από μία παρατηρήσεις: το σύστημα IstSOS υποστηρίζει όμως πολλαπλή εισαγωγή.

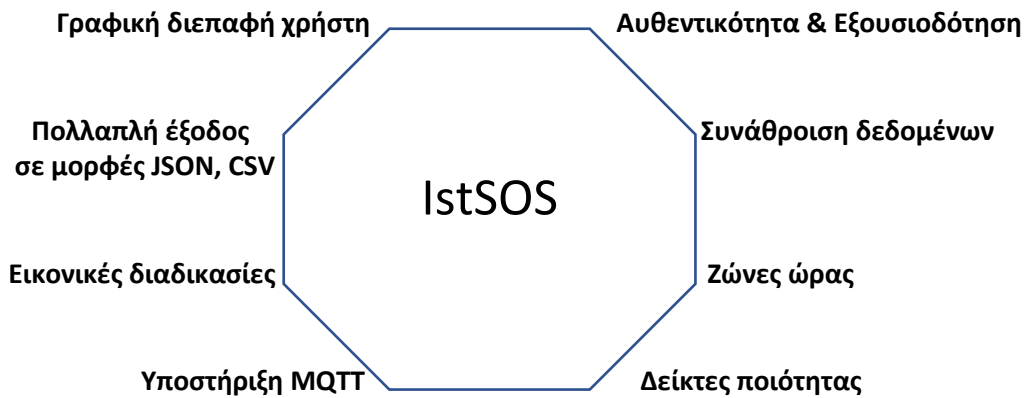
(6) *Υπέρβαση παρατηρήσεων*: μερικές φορές οι διαχειριστές δεδομένων πρέπει να διαγράψουν ή να αντικαταστήσουν υπάρχουσες παρατηρήσεις. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι η διαγραφή καταγεγραμμένων δεδομένων δοκιμής κατά την διάρκεια επαλήθευσης της λειτουργίας ενός οργάνου (π.χ. εκκένωση κάδου μετρητή νερού βροχής για την επαλήθευση της ορθής λειτουργίας καταχώρησης όγκου νερού). Ένα άλλο τυπικό παράδειγμα είναι η ενημέρωση των παρατηρήσεων με νέες εγγραφές: όταν συλλέγονται δεδομένα και από άλλες πηγές συχνά παρέχονται δεδομένα σε τακτά χρονικά διαστήματα με επικαλυπτόμενες περιόδους.

(7) *Μέγιστη περίοδος δεδομένων ανά αίτημα*: το σύστημα επιτρέπει τον ορισμό ενός μέγιστου χρόνου περιόδου για ένα μεμονωμένο αίτημα κατά την εκτέλεση ενός αιτήματος getObservation. Έτσι αποτρέπεται η υπερφόρτωση του εξυπηρετητή και η μη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας.

(8) *Υποστήριξη τελεστή LIKE στο φιλτράρισμα παρατηρούμενων ιδιοτήτων*: οι παρατηρούμενες ιδιότητες οργανώνονται γενικά σε ιεραρχική σχέση μεταξύ τους σύμφωνα με μια καλώς ορισμένη οντολογία. Για παράδειγμα η θερμοκρασία και η υγρασία είναι και οι δύο μετεωρολογικές ιδιότητες του αέρα, οπότε πιθανότατα καταχωρούνται ως `urn:ogc:def:property:x-istsos:1.0:meteorological:air:temperature` και `urn:ogc:def:property:x-istsos:1.0:meteorological:air:humidity`. Με χρήση του φίλτρου LIKE μπορεί κανείς να διατυπώσει αίτημα απλώς για την ιδιότητα του αέρα και έτσι θα επιστρέφονται και οι δύο ιδιότητες.

(9) *Δείκτης ποιότητας δεδομένων*: Το σύστημα IstSOS υποστηρίζει εγγενώς δείκτες ποιότητας δεδομένων δηλ. ως απαραίτητη ιδιότητα στα δεδομένα. Στην πραγματικότητα τα δεδομένα δεν έχουν αξία είτε έχουν περιορισμένη αξία εάν δεν διατίθενται πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα. Κάθε καταχωρημένη παρατήρηση και θέση οργάνου μέτρησης σχετίζεται εκ των πραγμάτων με ένα δείκτη ποιότητας δεδομένων. Από προεπιλογή το σύστημα IstSOS παρέχει επτά επίπεδα ποιότητας: ακατέργαστο, εσφαλμένο, εύλογο (reasonable), στατιστικά ορθό, χρονικά συνεκτικό, χωρικά συνεκτικό, χειροκίνητα προσαρμοσμένο, ορθό. Τα επίπεδα ποιότητας εκχωρούνται διαδοχικά μετά από δοκιμές ποιοτικού ελέγχου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει έναν περιορισμό για μια παρατηρούμενη ιδιότητα (π.χ. βροχόπτωση $\geq$ 0) και έναν περιορισμό για κάθε Διαδικασία (π.χ. -10 <θερμοκρασία <+35). Τέτοιοι ορισμοί χρησιμοποιούνται για την αντιστοίχιση κωδικών ποιότητας (εσφαλμένων, λογικών και στατιστικά ορθών) κατά την εισαγωγή δεδομένων. Επιπλέον οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να καθορίζουν τα δικά τους επίπεδα ποιότητας, να ενημερώνουν τους υφιστάμενους δείκτες ποιότητας των παρατηρήσεων με ένα αίτημα InsertObservation και να ανακτούν τις παρατηρήσεις βάση δεικτών ποιότητας.

Ορισμένα από αυτά τα επιπλέον χαρακτηριστικά του συστήματος IstSOS εικονίζονται στο Σχήμα 3.3 [53].



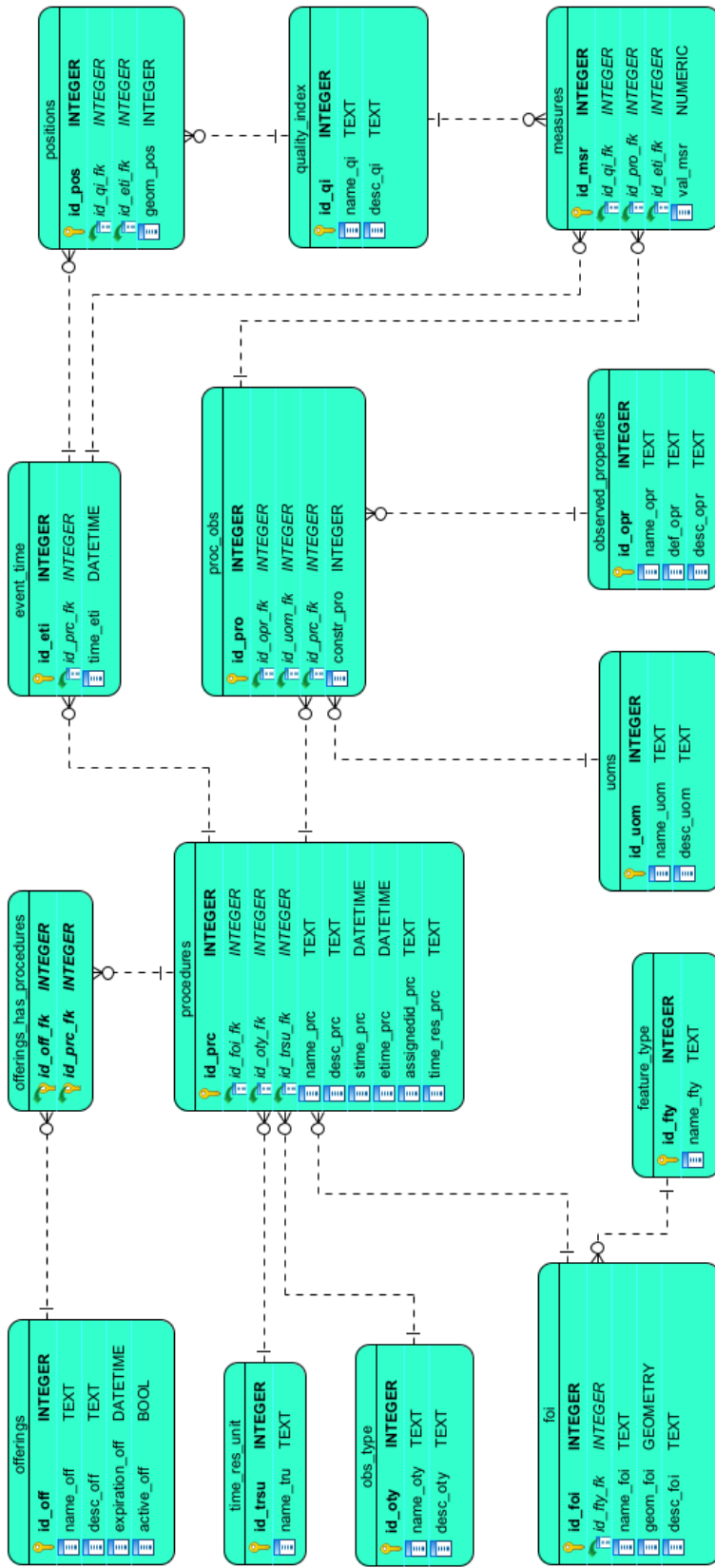
- + υποστήριξη Μεγάλων δεδομένων
- + API πελάτη IstSOS
- + υπηρεσία ειδοποίησης
- + Widgets API

**Σχήμα 3.3** Επιπλέον χαρακτηριστικά του συστήματος IstSOS

### 3.6 Σχήμα βάσης δεδομένων του συστήματος IstSOS

Το σύστημα IstSOS επιτρέπει τον ορισμό πολλαπλών στιγμιότυπων υπηρεσίας με το κάθε στιγμιότυπο με τη δική του διαμόρφωση που ορίζεται βάση επέκτασης μιας προεπιλεγμένης διαμόρφωσης. Κάθε υπηρεσία καθορίζεται από μοναδικό όνομα το οποίο είναι επίσης και όνομα του σχήματος βάσης δεδομένων του στιγμιότυπου όπου βρίσκονται αποθηκευμένα τα δεδομένα. Το σχήμα βάσης δεδομένων στο οποίο βασίζεται κάθε στιγμιότυπο υπηρεσίας του συστήματος IstSOS φαίνεται στο Σχήμα 3.4. Το σχήμα περιλαμβάνει τους πίνακες: procedures, foi (featureOfInterest), offerings, observed\_properties, measures κ.α. Ο πίνακας procedures σχετίζεται μέσω ενδιάμεσου πίνακα offering\_has\_procedures με τον πίνακα offerings. Οποιαδήποτε παρατήρηση αποθηκεύεται στον πίνακα measures που συνδέεται με έναν πίνακα event\_time και με έναν πίνακα quality\_index καθώς και μέσω της τριπλής σχέσης proc\_obs με τον UnitOfMeasure. Ένας περιορισμός εγγυάται ότι για μία μόνο χρονική στιγμή και ένα μόνο proc\_obs στοιχείο υπάρχει μόνο μία μετρούμενη τιμή [53], [54].

Τους πίνακες αυτούς για κάποιο δεδομένο στιγμιότυπο υπηρεσίας του συστήματος IstSOS μπορεί κανείς να τους παρατηρήσει και να θέσει ερωτήματα σε περιβάλλον διαχείρισης της PostgreSQL όπως στο shell της (psql) ή σε κάποιο άλλο φιλικότερο περιβάλλον διαχείρισης όπως το pgAdmin. Στιγμιότυπα της διαδικασίας αυτής φαίνονται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.4 Σχήμα βάσης δεδομένων στιγμιότυπου υπηρεσίας του συστήματος IstSOS [53],[54]

```

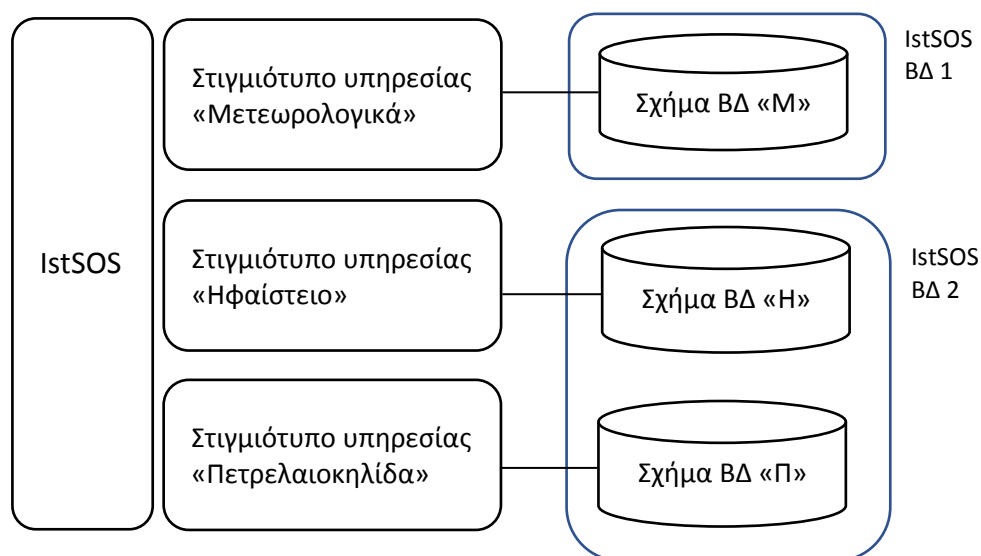
SQL Shell (psql)
istsos=# \dt meteoservice.
          List of relations
 Schema |          Name          | Type | Owner
-----+-----+-----+-----
meteoservice | cron_log              | table | postgres
meteoservice | event_time            | table | postgres
meteoservice | feature_type          | table | postgres
meteoservice | foi                   | table | postgres
meteoservice | measures              | table | postgres
meteoservice | obs_type              | table | postgres
meteoservice | observed_properties   | table | postgres
meteoservice | off_proc              | table | postgres
meteoservice | offerings              | table | postgres
meteoservice | positions             | table | postgres
meteoservice | proc_obs              | table | postgres
meteoservice | procedures            | table | postgres
meteoservice | quality_index         | table | postgres
meteoservice | tran_log              | table | postgres
meteoservice | uom_s                 | table | postgres
(15 rows)

istsos=# SELECT * from meteoservice.measures;
 id_msr | id_eti_fk | id_qi_fk | id_pro_fk | val_msr
-----+-----+-----+-----+-----
  9305 |      9426 |       200 |         469 | 15.900000
  9306 |      9427 |       200 |         469 | 11.200000
  9307 |      9428 |       200 |         469 | 16.100000
  9308 |      9429 |       200 |         469 | 11.300000
  9309 |      9430 |       200 |         469 | 18.700000

```

**Σχήμα 3.5** Πίνακες σχήματος βάσης δεδομένων στο περιβάλλον διαχείρισης psql της PostgreSQL ενός δεδομένου στιγμιότυπου service της υπηρεσίας IstSOS

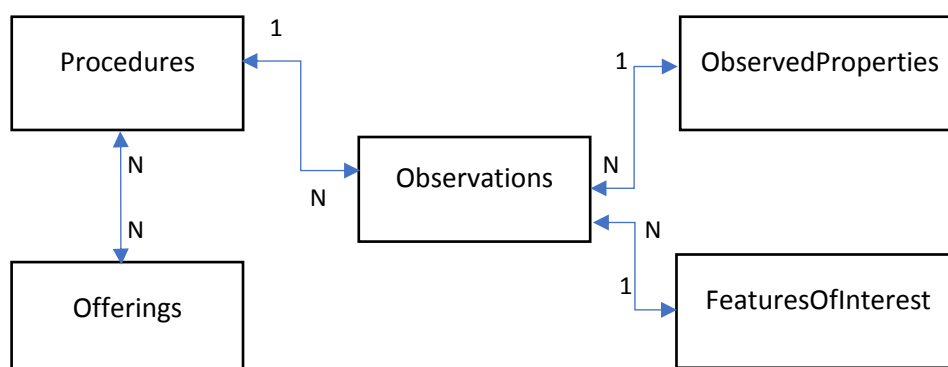
Στο σύστημα IstSOS μπορεί κανείς να οργανώσει δεδομένα παρατηρήσεων σε διαφορετικά στιγμιότυπα υπηρεσίας. Κάθε στιγμιότυπο υπηρεσίας έχει το δικό του σχήμα βάσης που είναι ανεξάρτητο από άλλα στιγμιότυπα υπηρεσίας. Τα σχήματα αυτά επιπλέον μπορεί να υφίστανται σε διαφορετικές βάσεις δεδομένων. Αυτά εικονίζονται στο Σχήμα 3.6.



**Σχήμα 3.6** Οργάνωση δεδομένων παρατηρήσεων στο σύστημα IstSOS

### 3.7 Διεπαφή εφαρμογής OGC SOS του συστήματος IstSOS

Το πρότυπο SOS όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο βασίζεται σε πέντε βασικά στοιχεία που απεικονίζονται στο Σχήμα 3.7. Τις Παρατηρήσεις (*Observation*) οι οποίες είναι τα δεδομένα καταγραφής. Κάθε μέτρηση σχετίζεται με μία και μόνο Διαδικασία (*Procedure*) που είναι ο αισθητήρας, η συσκευή είτε κάποια άλλη διαδικασία που παρήγαγε την παρατήρηση. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων η Διαδικασία είναι το όργανο (π.χ. ένας μετρητής βροχής), ενώ οι Παρατηρήσεις είναι οι μετρήσεις (π.χ. τιμές χιλιοστών βροχής). Κάθε Παρατήρηση είναι ένας ποσοτικός προσδιορισμός μιας Παρατηρούμενης Ιδιότητας (*observedProperty*) μέσω της οποίας προσδιορίζεται ένα φαινόμενο (π.χ. εδώ της βροχόπτωσης). Επιπλέον κάθε Παρατήρηση είναι ένας ποσοτικός προσδιορισμός ενός φαινομένου που σχετίζεται με ένα ή περισσότερα Χαρακτηριστικά Στοιχεία Ενδιαφέροντος (*FeatureOfInterest*) τα οποία υποδηλώνουν τις θέσεις δειγματοληψίας ή τα αντικείμενα (π.χ. θέση οργάνου παρατήρησης). Περαιτέρω ένας αριθμός διαδικασιών δύναται να σχετίζεται με μία είτε περισσότερες Προσφορές (*offerings*) που αντιπροσωπεύουν η καθεμία μια λογική ομάδα αισθητήρων (π.χ. μετεωρολογικό δίκτυο Αττικής) προς διευκόλυνση της πρόσβασης στα δεδομένα.



**Σχήμα 3.7** Βασικά στοιχεία του προτύπου SOS (έκδοση 1.0.0)

Τα στοιχεία στο Σχήμα 3.7 καθίστανται προσβάσιμα μέσω της διεπαφής OGC SOS όπως παρουσιάστηκε στην 1<sup>η</sup> έκδοση στο προηγούμενο κεφάλαιο αυτής της εργασίας δηλ. μέσω αιτημάτων που ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες: προφίλ πυρήνα (*core*), προφίλ δοσοληψίας (*transactional*) και εκτεταμένου προφίλ (*enhanced*). Η κλήση αιτημάτων μπορεί να γίνει μέσω του πρωτοκόλλου HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) με τύπο αιτήματος POST ή GET. Η επιστρεφόμενη απόκριση είναι μορφής XML.

Το υποχρεωτικό προφίλ πυρήνα περιλαμβάνει τις λειτουργίες-αιτήματα *GetCapabilities*, *DescribeSensor* και *GetObservation*. Το αίτημα *GetCapabilities* αποκαλύπτει τις πληροφορίες-μεταδεδομένα της υπηρεσίας όπως όνομα παρόχου, διεύθυνση επικοινωνίας, προσβασιμότητα κ.α., τις προσφερόμενες Διαδικασίες,

Προσφορές, Παρατηρήσεις και Χαρακτηριστικά Στοιχεία Ενδιαφέροντος. Το αίτημα *DescribeSensor* καλείται για ανάκτηση λεπτομερών μεταδεδομένων για μια Διαδικασία τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν τον τύπο του αισθητήρα, το όνομα του παραγωγού ή ιδιοκτήτη καθώς και τεχνικές προδιαγραφές. Το αίτημα *GetObservation* είναι το πλέον βασικό αίτημα πρόσβασης σε Παρατηρήσεις. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει το φιλτράρισμα των παρατηρούμενων μετρήσεων βάση χρονικών καθορισμών δηλ. χρονικών διαστημάτων είτε μεμονωμένων χρονικών στιγμών, χωρικών συνθηκών, προσφορών κ.α..

Το προαιρετικό προφίλ δοσοληψίας παρέχει την δυνατότητα τροφοδοσίας του συστήματος με νέα δεδομένα συστημάτων αισθητήρων και παρατηρήσεων, μέσω των αιτημάτων *RegisterSensor* και *InsertObservation*. Η λειτουργία *RegisterSensor* επιτρέπει την εγγραφή μιας Διαδικασίας καθορίζοντας: ένα πρότυπο παρατήρησης βάση του οποίου περιγράφονται οι Παρατηρήσεις, τις Παρατηρούμενες Ιδιότητες, τα Χαρακτηριστικά Στοιχεία Ενδιαφέροντος και τα μεταδεδομένα σε XML κωδικοποίηση. Οι αισθητήρες περιγράφονται γενικώς με τη γλώσσα *SensorML* (*Sensor Model Language*) η οποία αποτελεί μοντέλο δεδομένων αλλά και XML κωδικοποίηση για περιγραφή μεταδεδομένων συστημάτων αισθητήρων. Ως απόκριση ο πελάτης λαμβάνει ένα μοναδικό αναγνωριστικό καταχωρημένης διαδικασίας (*unique Procedure identifier*) το οποίο χρησιμοποιείται σε μεταγενέστερα αιτήματα *InsertObservation* κατά την εισαγωγή των παρατηρήσεων που αφορούν τη συγκεκριμένη διαδικασία.

Το προαιρετικό βελτιωμένο προφίλ ομαδοποιεί έναν αριθμό αιτημάτων με στόχο να διευκολύνεται η άμεση πρόσβαση σε συγκεκριμένες πληροφορίες. Για παράδειγμα το αίτημα *GetObservationById* παρέχει την ανάκτηση συγκεκριμένης παρατήρησης βάση *Id*, ενώ το *GetFeatureOfInterest* παρέχει την ανάκτηση χαρακτηριστικού στοιχείου σε κωδικοποίηση *GML* (*Geography Markup Language*) ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού στοιχείου ενδιαφέροντος.

Ορισμένα OGC SOS αιτήματα διατυπωμένα για το περιβάλλον του συστήματος *IstSOS* βάση του πρωτοκόλλου *HTTP* παρατίθενται ακολούθως [53]:

#### Αίτημα: **GetCapabilities**

Αυτή η λειτουργία επιτρέπει στους πελάτες να ανακτήσουν μεταδεδομένα υπηρεσίας σχετικά με μια κάποιο στιγμιότυπο υπηρεσίας. Η διατύπωση του αιτήματος για κάποιο στιγμιότυπο υπηρεσίας ονόματος *demo* είναι:

<http://localhost/istsos/demo?request=getCapabilities&service=SOS>

#### Αίτημα: **DescribeSensor**

Αυτή η λειτουργία επιτρέπει στους πελάτες να λαμβάνουν την περιγραφή μιας διαθέσιμης διαδικασίας. Η διατύπωση του αιτήματος για κάποιο στιγμιότυπο υπηρεσίας ονόματος *demo* είναι:

[http://localhost/istsos/demo?request=DescribeSensor&procedure=T\\_AEGINA&outputFormat=text/xml;subtype='sensorML/1.0.1'&service=SOS&version=1.0.0](http://localhost/istsos/demo?request=DescribeSensor&procedure=T_AEGINA&outputFormat=text/xml;subtype='sensorML/1.0.1'&service=SOS&version=1.0.0)

Αίτημα: **GetObservation**

Παρακάτω διατυπώνονται αιτήματα GetObservation με εφαρμογή διάφορων φίλτρων.

[http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
version=1.0.0&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
procedure=T\\_AEGINA&  
eventTime=20150603T15:20:00+01:00/20150603T15:50:00+01:00&  
observedProperty=temperature&  
responseFormat=text/plain&  
qualityIndex=True](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&version=1.0.0&request=GetObservation&offering=temporary&procedure=T_AEGINA&eventTime=20150603T15:20:00+01:00/20150603T15:50:00+01:00&observedProperty=temperature&responseFormat=text/plain&qualityIndex=True)

[http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
procedure=urn:ogc:def:procedure:xistsos:1.0:P\\_AEGINA&  
eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&  
observedProperty=urn:ogc:def:parameter:xistsos:1.0:meteo:air:rainfall&  
responseFormat=text/xml;subtype="om/1.0.1"&  
service=SOS&  
version=1.0.0](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&offering=temporary&procedure=urn:ogc:def:procedure:xistsos:1.0:P_AEGINA&eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&observedProperty=urn:ogc:def:parameter:xistsos:1.0:meteo:air:rainfall&responseFormat=text/xml;subtype=)

Αίτημα: **GetObservation** για παρατηρήσεις βροχόπτωσης για όλους τους σταθμούς μεταξύ 20140601T00:00:00+02 και 20140603T00:00:00+02 (timeproperty filters):

[http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&  
observedProperty=urn:ogc:def:parameter:xistsos:1.0:meteo:air:rainfall&  
responseFormat=text/xml;subtype="sensorML/1.0.1"&  
service=SOS&  
version=1.0.0](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&offering=temporary&eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&observedProperty=urn:ogc:def:parameter:xistsos:1.0:meteo:air:rainfall&responseFormat=text/xml;subtype=)

Αίτημα: **GetObservation** για λήψη παρατηρήσεων για όλους τους σταθμούς με εφαρμογή φίλτρου χωρικής τομής:

[http://localhost/istsos/demo?service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
observedProperty=meteo&](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&offering=temporary&observedProperty=meteo&)

responseFormat=text/xml;subtype="sensorML/1.0.1"&  
service=SOS&  
version=1.0.0&  
featureOfInterest=<ogc:BBOX><ogc:PropertyName>the\_geom</ogc:PropertyName>  
<gml:Box srsName='EPSG:4326'>  
<gml:coordinates>18,45  
30,55</gml:coordinates></gml:Box></ogc:BBOX>

Αίτημα: **GetObservation** για λήψη παρατηρήσεων για όλους τους σταθμούς με εφαρμογή φίλτρου απόστασης (time property distance filters):

http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
observedProperty=temperature&  
responseFormat=text/xml;subtype="sensorML/1.0.1"&  
service=SOS&  
version=1.0.0&  
featureOfInterest=<ogc:DWithin><ogc:PropertyName>SHAPE</ogc:PropertyName><  
gml:Point srsName="EPSG:4326">  
<gml:coordinates decimal="." cs="," ts="">  
8.961,46.027  
</gml:coordinates></gml:Point><ogc:Distance>10</ogc:Distance></ogc:DWithin>

Αίτημα: **GetObservation** για λήψη παρατηρήσεων για όλους τους σταθμούς με εφαρμογή φίλτρου και τιμών αποτελέσματος (result)

http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&  
offering=temporary&  
eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&  
observedProperty=urn:ogc:def:parameter:xistsos:1.0:meteo:air:rainfall&  
responseFormat=text/plain&service=SOS&version=1.0.0&  
result=  
"<ogc:PropertyIsGreaterThan><ogc:PropertyName>rainfall</ogc:PropertyName>  
<ogc:Literal>0</ogc:Literal></ogc:PropertyIsGreaterThan>"

Ακολουθως διάφορα αιτήματα με χρήση των επιπλέον χαρακτηριστικών του συστήματος IstSOS:

Λήψη παρατηρήσεων με χρήση ονομάτων:

http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&



offering=temporary&  
procedure=P AEGINA&  
eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&  
observedProperty=rainfall&  
responseFormat=text/xml;subtype="sensorML/1.0.1"&  
service=SOS&  
version=1.0.0

http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&  
observedProperty=rainfall&  
responseFormat=text/xml;subtype="sensorML/1.0.1"&  
service=SOS&  
version=1.0.0

Λήψη παρατηρήσεων με χρήση ζωνών ώρας:

http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
procedure=P AEGINA  
eventTime=2015-06-01T00:00:00+0500/2015-06-03T00:00:00+0500&  
observedProperty=rainfall&  
responseFormat=text/xml;subtype="sensorML/1.0.1"&  
service=SOS&  
version=1.0.0

Λήψη παρατηρήσεων σε μορφή CSV και JSON:

Όπως έχει αναφερθεί το σύστημα IstSOS υποστηρίζει πέρα από τύπο text/xml επιπλέον για έξοδο και τους τύπους application/json και text/csv:

Δεδομένα σε μορφή CSV:

http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
eventTime=2015-06-01T00:00:00+0200/2015-06-03T00:00:00+0200&  
observedProperty=rainfall&  
responseFormat=text/plain&service=SOS&version=1.0.0

Δεδομένα σε μορφή JSON:

[http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
eventTime=2015-06-01T00:00:00+0200/2015-06-03T00:00:00+0200&  
observedProperty=rainfall&  
responseFormat=application/json&service=SOS&version=1.0.0](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&offering=temporary&eventTime=2015-06-01T00:00:00+0200/2015-06-03T00:00:00+0200&observedProperty=rainfall&responseFormat=application/json&service=SOS&version=1.0.0)

Λήψη δεδομένων παρατηρήσεων με συναθροιστική πράξη εν λειτουργία (data aggregation on the fly). Εδώ δύναται να καθορίζονται τα εξής [53]:

- α) χρονικό διάστημα συναθροιστικής πράξης (aggregate Interval): P1DT = 1 ημέρα, PT12H = 12 ώρες (ISO8601).
- β) λειτουργία συναθροιστικής πράξης: AVG, SUM, MAX, MIN (προαιρετικοί παράμετροι και προκαθορισμένες τιμές δύναται να διαμορφώνονται από τη Διεπαφή διαχείρισης -Web Admin interface).
- γ) κενά δεδομένα (aggregatenodata): αριθμητική τιμή για χρήση σε περιπτώσεις ακανόνιστων χρονοσειρών (irregular time series).
- δ) δείκτης ποιότητας (aggregatenodataqi): ο δείκτης ποιότητας προς ανάθεση στα κενά δεδομένα.

Για παράδειγμα ένα αίτημα της μέγιστης ημερησίας θερμοκρασία είναι το εξής:

[http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&  
offering=temporary&procedure=T\\_AEGINA&  
eventTime=20150504T00:00:00+01/20150514T00:00:00+01&  
observedProperty=temperature&  
aggregateInterval=PT24H&aggregateFunction=MAX&  
responseFormat=text/plain&  
service=SOS&version=1.0.0](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&offering=temporary&procedure=T_AEGINA&eventTime=20150504T00:00:00+01/20150514T00:00:00+01&observedProperty=temperature&aggregateInterval=PT24H&aggregateFunction=MAX&responseFormat=text/plain&service=SOS&version=1.0.0)

Λήψη παρατηρήσεων σε μορφή CSV με δείκτη ποιότητας (υπενθυμίζεται ότι επιπλέον του τύπου εξόδου παρατηρήσεων text/xml υποστηρίζονται επίσης οι τύποι application/json and text/csv:

[http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&  
observedProperty=rainfall&  
responseFormat=text/plain&service=SOS&version=1.0.0&  
qualityIndex=True](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&offering=temporary&eventTime=20150601T00:00:00+0200/20150603T00:00:00+0200&observedProperty=rainfall&responseFormat=text/plain&service=SOS&version=1.0.0&qualityIndex=True)

Δεδομένα σε μορφή CSV με εφαρμογή φίλτρου ποιότητας (σημειώνεται ότι στη εφαρμογή ενός δείκτη ποιότητας το σύστημα IstSOS επιστρέφει μόνο τις παρατηρήσεις που ικανοποιούν τα κριτήρια και έχουν όλες τις τιμές με δείκτη ποιότητας):

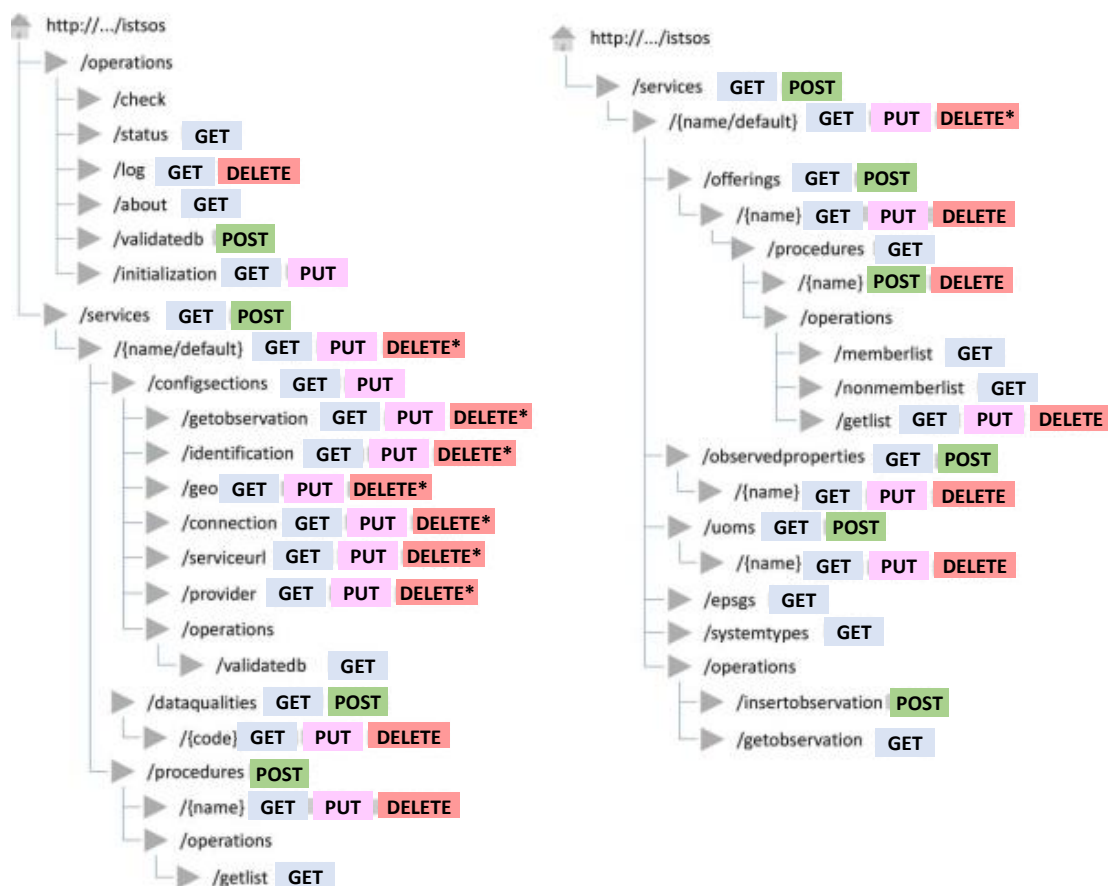
[http://localhost/istsos/demo?  
service=SOS&  
request=GetObservation&  
offering=temporary&  
eventTime=20150603T15:00:00+01:00/20150603T16:00:00+01:00&  
observedProperty=temperature&  
responseFormat=text/plain&  
service=SOS&  
version=1.0.0&  
procedure=T\\_LUGANO&qualityIndex=True&qualityfilter=>110](http://localhost/istsos/demo?service=SOS&request=GetObservation&offering=temporary&eventTime=20150603T15:00:00+01:00/20150603T16:00:00+01:00&observedProperty=temperature&responseFormat=text/plain&service=SOS&version=1.0.0&procedure=T_LUGANO&qualityIndex=True&qualityfilter=>110)

### 3.8 Διεπαφή εφαρμογής WA-REST του συστήματος IstSOS

Η walib είναι ο πολτός του συστήματος όπου υλοποιείται βασικά η WA-υπηρεσία η οποία παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης του συστήματος IstSOS αξιοποιώντας μια προσέγγιση αρχιτεκτονική υπηρεσίας REST (REpresentational State Transfer). Αυτό το συστατικό σύμφωνα με το πρότυπο RESTful επιτρέπει την πρόσβαση με χρήση μεθόδων HTTP: GET για ανάκτηση, POST για προσθήκη, PUT για ενημέρωση και DELETE για διαγραφή/αφαίρεση αντικειμένων. Στο Σχήμα 3.8 απεικονίζονται οι εκτιθέμενοι πόροι μέσω δομής καταλόγου μοναδικώς ταυτοποιήσιμων στοιχείων (URIs) με επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τις υποστηριζόμενες μεθόδους [54].

Η walib υιοθετεί τη μορφή JSON (<http://www.json.org>) στην επικοινωνία μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή. Γενικώς η μέθοδος GET απαιτεί απλώς να προσδιοριστεί το στοιχείο μέσω URI. Η μέθοδος POST απαιτεί να παρέχονται οι ίδιες παράμετροι που αποκτούνται μέσω της λειτουργίας GET για το στοιχείο με εξαίρεση το αναγνωριστικό του αντικειμένου. Στη μέθοδος PUT πρέπει να στέλνονται όλες οι παράμετροι που λαμβάνονται σε μια λειτουργία GET για το στοιχείο, συμπεριλαμβανομένου του αναγνωριστικού του αντικειμένου και τέλος στη μέθοδο DELETE απαιτείται το αναγνωριστικό όπως καθορίζεται με URI.

Μια απόκριση wa περιλαμβάνει τα ακόλουθα: την ένδειξη «success» που δείχνει εάν το αίτημα εκτελέστηκε με επιτυχία, το μήνυμα «message» με το κείμενο που επιστρέφεται το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν εμφανίζονται σφάλματα, το σύνολο "total" που προσδιορίζει τον αριθμό των επιστρεφόμενων στοιχείων και τα δεδομένα «data» με τα χαρακτηριστικά και τη δομή τους. Τα στοιχεία "total" και "data" επιστρέφονται μόνον όταν ζητούνται δεδομένα.



**Σχήμα 3.8** Στοιχεία και μέθοδοι HTTP της διεπαφής REST του συστήματος IstSOS [54]

Η διατύπωση ενός αιτήματος WA REST είναι απλώς η δημιουργία της σωστής URL διαδρομής. Προς καλύτερη διευκρίνιση του τρόπου αλληλεπίδρασης με την υπηρεσία wa, ακολούθως παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα υπηρεσίας που έχει καταχωρηθεί στη διεύθυνση URL <http://localhost/istsos/wa/> και με αναφορά στο στοιχείο ποιότητας δεδομένων (data qualities). Σε κάθε αίτημα αναφέρεται η χρησιμοποιημένη HTTP μέθοδο, το URI του αιτήματος, το σώμα αιτήματος και η απόκριση [54]:

Συγκέντρωση πληροφορίας για τον δείκτη ποιότητας 200 της υπηρεσίας demo:

**Μέθοδος:** GET

**Διεύθυνση:**

<http://localhost/istsos/wa/istsos/services/demo/dataqualities/200>

**Σώμα αιτήματος:** { }

**Απόκριση:** {"success": true, "message": "Data qualities of service <demo> successfully retrieved", "total": 1, "data": [{"code": 200, "name": "reasonable", "description": "the value is in a reasonable range"}]}

Ενημέρωση των ιδιοτήτων με δείκτη ποιότητας 200:

**Μέθοδος:** PUT

**Διεύθυνση:**

`http://localhost/istsos/wa/istsos/services/demo/dataqualities/200`

**Σώμα αιτήματος:** {"name": "reasonable", "description": "the value is in a statistical range"}

**Απόκριση:** {"message": "Update successful", "success": true}

Εισαγωγή ενός νέου δείκτη ποιότητας:

**Μέθοδος:** POST

**Διεύθυνση:**

`http://localhost/istsos/wa/istsos/services/demo/dataqualities`

**Σώμα αιτήματος:** {"code": 201, "name": "correct", "description": "the value is correct and manually checked"}

**Απόκριση:** {"message": "New element added", "success": true}

Διαγραφή ενός δείκτη ποιότητας με κωδικό 201:

**Μέθοδος:** DELETE

**Διεύθυνση:**

`http://localhost/istsos/wa/istsos/services/demo/dataqualities/201`

**Σώμα αιτήματος:** { }

**Απόκριση:** {"message": "Element successfully deleted", "success": true}

Ακολουθούν παραδείγματα χρήσιμων αιτημάτων στη διεπαφή REST του συστήματος IstSOS:

**Λήψη παρατηρήσεων μέσω WA REST**

[http://localhost/istsos/wa/istsos/services/demo/operations/getobservation/offering/s/temporary/procedures/T\\_AEGINA/observedproperties/temperature/eventtime/20150521T00:00:00+02:00/20150528T00:00:00+02:00](http://localhost/istsos/wa/istsos/services/demo/operations/getobservation/offering/s/temporary/procedures/T_AEGINA/observedproperties/temperature/eventtime/20150521T00:00:00+02:00/20150528T00:00:00+02:00)

**Λήψη λίστας με τα στιγμιότυπα υπηρεσίας του συστήματος IstSOS**

<http://localhost/istsos/wa/istsos/services>

**Λήψη λίστας με τις διαδικασίες που ανήκουν σε κάποια συγκεκριμένη υπηρεσία**

<http://localhost/istsos/wa/istsos/services/demo/procedures/operations/getlist>

Τέλος η διεπαφή WA προσφέρει λειτουργίες για την εκτέλεση γενικών λειτουργιών όπως αξιολόγηση κατάστασης υπηρεσίας ή έλεγχος σύνδεσης στη βάση δεδομένων.

### 3.9 Η διεπαφή διαχείρισης του συστήματος IstSOS

Η διεπαφή διαχείρισης του συστήματος IstSOS (wainterface) έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχεται ένα φιλικό περιβάλλον προς το χρήστη για τη δημιουργία και γενικώς τη διαχείριση υπηρεσιών IstSOS. Η διεπαφή διαθέτει μενού πρόσβασης σε διάφορες ενότητες και μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά συγκεκριμένων εννοιών με τα οποία ενεργοποιούνται διαφορετικά καρτέ.

Οι διαθέσιμες ενότητες είναι: εξυπηρετητής (server), υπηρεσίες (services) και προβολή δεδομένων (data viewer). Όταν έχει επιλεγεί η ενότητα «εξυπηρετητής» η διεπαφή εμφανίζει μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά για πρόσβαση στις ακόλουθες δυνατότητες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.9 :

(1) Γενικές Πληροφορίες (About): παρέχει πληροφορίες σχετικά με την εγκατεστημένη έκδοση του IstSOS, τις διαθέσιμες ενημερώσεις, νέα και γενικές πληροφορίες για το σύστημα IstSOS, συνδέσμους προς τεκμηρίωση, λίστα αλληλογραφίας και το αποθετήριο κώδικα (code repository).

(2) Κατάσταση (Status): εδώ ο διαχειριστής έχει μια επισκόπηση των εγκατεστημένων υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των καταχωρημένων Χαρακτηριστικών Στοιχείων Ενδιαφέροντος (FeatureOfInterest), Προσφορών (Offerings), Διαδικασιών (Procedures) και Παρατηρούμενων ιδιοτήτων (ObservedProperties). Επιπλέον εμφανίζεται η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών με τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων και των αιτημάτων (GetCapabilities, DescribeSensor, GetObservation, GetFeatureOfInterest, InsertObservation και RegisterSensor).

(3) Βάση δεδομένων (Database): φόρμα για ρύθμιση και έλεγχο της προεπιλεγμένης σύνδεσης IstSOS στη βάση δεδομένων PostgreSQL/PostGIS.

(4) Πάροχος υπηρεσιών (Service provider): φόρμα για τον ορισμό πληροφοριών του παρόχου υπηρεσιών όπως όνομα, επαφές, διεύθυνση κ.α..

(5) Ταυτοποίηση υπηρεσίας (Service identification): φόρμα για τον ορισμό των πληροφοριών υπηρεσίας όπως λέξεις-κλειδιά, τέλη πρόσβασης, αρχή κ.α..

(6) Συστήματα συντεταγμένων (Coordinate systems): φόρμα για τον καθορισμό του προεπιλεγμένου συστήματος συντεταγμένων το οποίο θα χρησιμοποιείται για αποθήκευση των χωρικών γεωμετριών καθώς και για τον ορισμό και άλλων υποστηριζόμενων συστημάτων αναφοράς. Επιπλέον για τον καθορισμό URN της ανατολικής και βόρειας κατεύθυνσης καθώς και υψομέτρου.

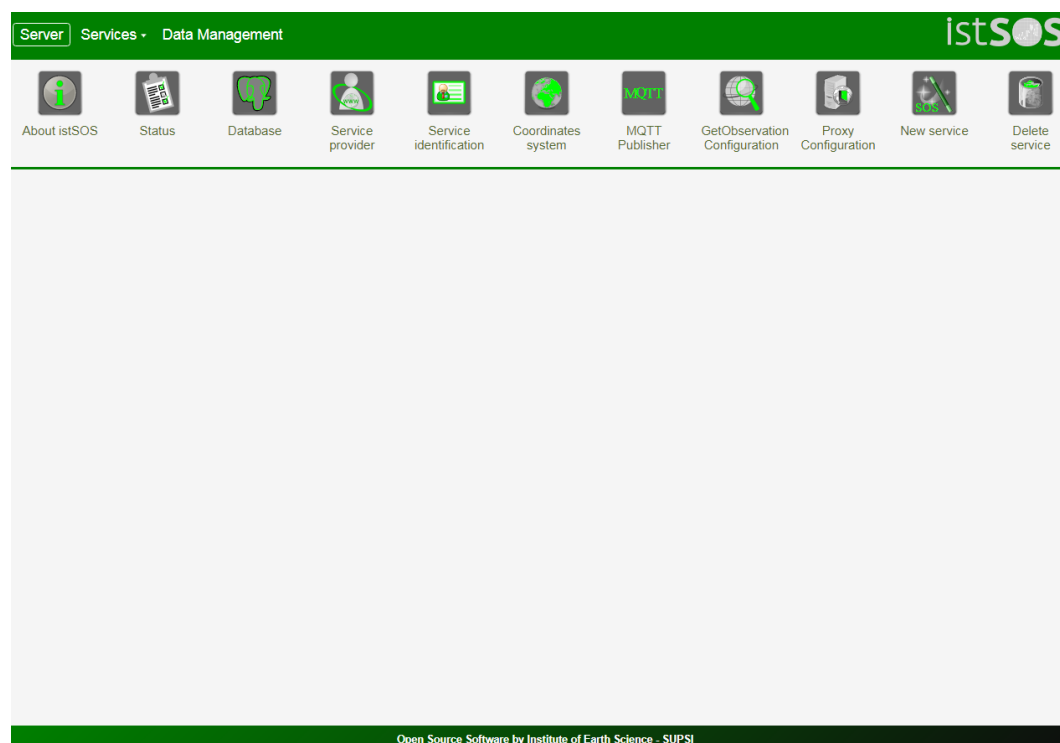
(7) Ρυθμίσεις σχετικές με το αίτημα GetObservation: φόρμα για τον καθορισμό των μέγιστων ωρών αιτήματος δεδομένων, δεικτών ποιότητας και τιμών που χρησιμοποιούνται σε περίπτωση ελλειπών δεδομένων π.χ. σε αιτήματα συνάθροισης και για προεπιλογή.

(8) Διαμόρφωση εξυπηρετητή μεσολάβησης (proxy configuration): ο σύνδεσμος προς την υπηρεσία IstSOS προσβάσιμος από τον Ιστό. Αυτή η διεύθυνση URL χρησιμοποιείται από την walib για επικοινωνία με την istsoslib έτσι ώστε για παράδειγμα όταν υποβάλλεται ένα αίτημα εισαγωγής αισθητήρα μέσω της διεπαφής

RESTful ο κώδικας walib δημιουργεί ένα αίτημα SOS RegisterSensor σε XML και το προωθεί στην υπηρεσία IstSOS στη διεύθυνση που καθορίζεται εδώ.

(9) Νέα υπηρεσία (New service): εδώ ο διαχειριστής έχει πρόσβαση σε έναν οδηγό (wizard) για τη δημιουργία μιας νέας υπηρεσίας.

(10) Διαγραφή υπηρεσίας (Delete service): από αυτό το πλαίσιο ο διαχειριστής μπορεί να διαγράψει μια υπάρχουσα υπηρεσία. Σημειώνεται ότι όλες οι σχετιζόμενες πληροφορίες όπως διαδικασίες και παρατηρήσεις διαγράφονται οριστικά.



**Σχήμα 3.9** Διεπαφή διαχείρισης του IstSOS – Ενότητα Server

Η ενότητα Υπηρεσίες (Services) επιτρέπει την επιλογή μιας υπάρχουσας υπηρεσίας. Ένα πρώτο σύνολο δυνατοτήτων αφορά τα αντικείμενα που ήταν διαθέσιμα όπως στην ενότητα του εξυπηρετητή δηλαδή η βάση δεδομένων, ο πάροχος υπηρεσιών, η ταυτοποίηση υπηρεσίας, το σύστημα συντεταγμένων και η διαμόρφωση του αιτήματος GetObservation. Το δεύτερο σύνολο κουμπιών έχει ως εξής:

(1) Προσφορές (Offerings): εδώ οι καταχωρημένες διαδικασίες μπορούν να συσχετιστούν με προσφορές σύμφωνα με τις προτιμήσεις του διαχειριστή. Σημειώνεται ότι οι προσφορές είναι υποχρεωτικές στην παράμετρο του αιτήματος getObservation και έτσι μπορούν να χρησιμοποιούνται για να επιτρέπεται ή να αποτρέπεται η πρόσβαση σε παρατηρήσεις.

(2) Διαδικασίες (Procedures): απαριθμούνται οι καταχωρημένες διαδικασίες και παρέχονται σύνδεσμοι για τροποποίηση των σχετικών μεταδεδομένων (sensorML) καθώς και για τη διαγραφή των διαδικασιών.

(3) Νέα διαδικασία (New procedure): προσφέρεται μια φόρμα για την εγγραφή μιας νέας διαδικασίας. Μετά την εισαγωγή των απαιτούμενων δεδομένων η wa δημιουργεί ένα αίτημα RegisterSensor το οποίο προωθείται στην υπηρεσία IstSOS. Εκεί πραγματοποιείται έλεγχος των υποχρεωτικών παραμέτρων.

(4) Παρατηρούμενες ιδιότητες (Observed Properties): επιτρέπει την καταχώριση ορισμών παρατηρούμενων ιδιοτήτων που χρησιμοποιούνται σε νέες διαδικασίες.

(5) Μονάδες μετρήσεων (Unit of measures): επιτρέπει τον καθορισμό μονάδων μετρήσεων που χρησιμοποιούνται από νέες διαδικασίες.

(6) Ποιότητα δεδομένων (Data quality): επιτρέπει την καταχώριση ορισμών δεικτών ποιότητας.

Διατίθεται και ένα τρίτο στοιχείο η προβολή δεδομένων (data viewer) για απεικόνιση των δεδομένων αλλά δεν κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί το στοιχείο αυτό για τους σκοπούς αυτής της εργασίας. Σημειώνεται απλώς ότι σε αυτή την ενότητα παρέχονται: πρόσβαση, εργαλεία επεξεργασίας και απεικόνισης σε χάρτη και διάγραμμα των παρατηρήσεων.

### **3.10 Αποστολή και λήψη δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων προς και από την υπηρεσία του συστήματος IstSOS**

#### **3.10.1 Αποστολή δεδομένων**

Όπως φανερώνεται από την αρχιτεκτονική του συστήματος IstSOS μέσω εφαρμογής Client υφίστανται οι εξής τρόποι αποστολής δεδομένων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων στο σύστημα με τους αντίστοιχους τύπους δεδομένων:

- 1) Μέσω της διεπαφής OGC SOS αποστολή δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων σε μορφή XML κωδικοποίησης.
- 2) Μέσω της διεπαφής WA-REST αποστολή δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων σε μορφή JSON κωδικοποίησης.

#### **3.10.1 Λήψη δεδομένων**

Υφίστανται 4 βασικές δυνατότητες λήψης των δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων από την υπηρεσία IstSOS που είναι οι εξής:

- 1) XML (OGC SOS)
- 2) CSV (OGC SOS)
- 3) JSON (OGC SOS)
- 4) JSON (WA-REST)



## Κεφάλαιο 4

### Ανάπτυξη εφαρμογής -παραγωγού και καταναλωτή- Ιστού αισθητήρων

#### 4.1 Στόχος υλοποίησης

Όπως έγινε κατανοητό από τα προηγούμενα κεφάλαια ο Ιστός αισθητήρων επιτρέπει την εξώθηση δεδομένων παρατηρήσεων από τα συστήματα αισθητήρων στην παγκόσμια προσβάσιμη πληροφοριοδομή του Διαδικτύου με τέτοιο τρόπο ώστε άνθρωποι και μηχανές να έχουν εύκολη πρόσβαση για διάθεση και κατανάλωση των δεδομένων αυτών. Η εύκολη πρόσβαση συντελείται σε μια πρώτη φάση βάση τυποποιημένων διεπαφών εφαρμογής (OGC SOS) και κωδικοποιήσεων δεδομένων (SensorML και O&M).

Για διερεύνηση και ανάδειξη των παραπάνω δηλ. από την όψη των διαδικασιών της διεπαφής πρόσβασης και των κωδικοποιήσεων των δεδομένων αναπτύχθηκε εφαρμογή -παραγωγού και καταναλωτή- Ιστού αισθητήρων αξιοποιώντας διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα.

Συγκεκριμένα για το κομμάτι του παραγωγού αντλούνται τα διαθέσιμα δεδομένα από αρχεία κειμένου με διαδικασία συντακτικής ανάλυσης (parsing) τα οποία στη συνέχεια υφίστανται διάφορες απαραίτητες μετατροπές και στοιχειοθετούνται σε αντικείμενα δεδομένων. Στη συνέχεια πριν αποσταλούν στην υπηρεσία Ιστού αισθητήρων δομούνται οι κατάλληλες κωδικοποιήσεις όπως απαιτείται από τα πρότυπα. Στο κομμάτι του καταναλωτή αντλούνται τα διαθέσιμα πλέον στον Ιστό μετεωρολογικά δεδομένα και απεικονίζονται σε χάρτη καθώς και κατασκευάζονται διαγράμματα αιτούμενων χρονοσειρών.

#### 4.2 Τα αρχικώς διαθέσιμα δεδομένα και η διαδικασία parsing

Εφόσον δεν διατίθενται τα δεδομένα σε κατάλληλη τυποποιημένη μορφή από τα διάφορα συστήματα αισθητήρων είναι αναγκαία, πριν τη διάθεση τους στον Ιστό αισθητήρων, η μετατροπή αυτών σε κατάλληλες κωδικοποιήσεις, όπως καθορίζεται από τα πρότυπα.

Στην εργασία αυτή τα μετεωρολογικά δεδομένα αντλήθηκαν από τον ιστότοπο <http://\meteo.gr> και ήταν διαθέσιμα αρχικώς σε αρχεία κειμένου σε μορφή δεδομένων μηνιαίας σύνοψης. Συγκεκριμένα έγιναν διαθέσιμες δύο λιγάκι διαφορετικές στη δομή της σύνταξης μορφές δεδομένων. Ενδεικτικά οι δύο αυτές μορφές αρχείων μετεωρολογικών δεδομένων φαίνονται ακολούθως (Αίγινα – 1<sup>η</sup> ενδεικτική μορφή και Σφακιά –2<sup>η</sup> ενδεικτική μορφή):

# 1<sup>η</sup> ενδεικτική μορφή:

(Αρχείο δεδομένων: aegina.txt)

## MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JAN. 2021

NAME: Aegina CITY: STATE:  
 ELEV: 7 m LAT: 37° 44' 53" N LONG: 23° 26' 37" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	13.5	15.9	16:00	11.2	23:20	4.8	0.0	0.0	4.5	29.0	0:10	W
2	13.5	16.1	14:50	11.3	8:00	4.8	0.0	5.0	2.7	19.3	22:30	ENE
3	16.3	18.7	14:40	14.2	4:00	2.1	0.0	2.4	8.7	33.8	2:10	SSE
4	16.1	18.6	12:10	13.3	00:00	2.3	0.0	6.4	11.7	48.3	15:00	SSE
5	13.7	16.4	15:20	11.3	8:10	4.7	0.0	0.0	5.3	32.2	0:30	SW
6	14.1	17.1	14:00	11.1	7:30	4.3	0.0	0.0	3.7	24.1	16:20	SSE
7	14.9	17.7	16:20	12.7	3:00	3.4	0.0	0.0	3.1	32.2	13:00	SW
8	16.5	20.5	15:10	12.8	6:50	2.1	0.3	0.0	3.9	25.7	18:50	SE
9	18.3	22.1	12:40	16.5	23:10	0.6	0.6	0.0	6.8	33.8	6:20	SSE
10	18.6	22.9	13:10	14.7	2:50	1.0	1.3	0.0	6.1	35.4	16:30	SSE
11	21.8	25.6	13:30	17.4	0:10	0.0	3.4	0.0	8.0	33.8	23:10	SSE
12	18.4	22.0	12:30	14.3	00:00	0.9	1.1	0.8	13.5	46.7	22:20	SSE
13	13.8	15.5	12:50	12.7	7:00	4.6	0.0	0.0	20.1	57.9	12:50	WNW
14	11.2	13.2	16:30	8.7	7:30	7.1	0.0	0.2	12.9	67.6	6:20	W
15	9.1	13.7	1:00	6.9	7:10	9.3	0.0	0.0	13.5	54.7	4:50	N
16	6.7	8.6	0:20	5.0	12:00	11.7	0.0	7.0	13.7	38.6	22:00	NNW
17	4.2	6.3	15:00	2.2	7:30	14.2	0.0	0.0	13.4	33.8	6:40	N
18	4.9	6.0	11:50	3.1	0:10	13.4	0.0	0.2	11.4	40.2	11:50	N
19	5.7	8.7	12:10	3.9	6:30	6.7	0.0	0.0	6.4	19.3	2:30	NNW
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
-----												
	13.2	25.6	11	2.2	17	97.9	6.6	22.0	8.9	67.6	14	SSE

Max >= 32.0: 0  
 Max <= 0.0: 0  
 Min <= 0.0: 0  
 Min <= -18.0: 0  
 Max Rain: 7.01 ON 16/01/21  
 Days of Rain: 7 (> .2 mm) 4 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)  
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

## 2η ενδεικτική μορφή

(Αρχείο δεδομένων: Sfakia.txt)

### MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JAN. 2021

NAME: Sfakia ELEV: 770 m LAT: 35deg 12min LONG: 24deg 06min

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		HIGH	TIME	LOW	TIME	MAX RH	MIN RH	RAIN	AVG WIND		DOM DIR
	TEMP	TEMP								SPEED	HIGH	
01	9.2	13.1	15:40	6.0	02:00	93	61	5.8	1.6	16.1	08:40	N
02	10.8	13.3	14:30	6.6	01:40	91	56	0.0	1.8	22.5	13:10	ESE
03	12.4	14.7	14:10	9.9	05:30	88	48	0.0	4.1	41.8	21:30	ENE
04	11.5	12.6	00:50	6.9	23:50	97	69	0.2	5.9	38.6	00:20	NNE
05	7.6	11.8	15:20	3.4	04:50	96	59	0.0	4.2	19.3	00:40	N
06	8.1	11.3	12:20	5.5	03:40	91	77	0.0	2.1	17.7	11:30	N
07	8.9	12.1	15:20	5.5	06:00	93	83	0.0	1.4	11.3	10:50	N
08	9.6	13.4	12:40	5.8	06:10	93	77	0.0	2.2	14.5	02:50	N
09	13.0	15.9	14:00	10.0	00:00	92	64	1.8	1.4	17.7	22:50	N
10	16.9	22.2	13:00	12.3	04:30	79	41	0.0	3.2	17.7	22:40	N
11	16.9	20.1	12:40	14.0	02:50	66	42	0.0	1.7	22.5	09:20	N
12	13.6	16.5	00:30	10.5	21:50	93	57	0.0	1.1	33.8	23:30	N
13	9.9	13.1	13:40	7.5	23:30	81	46	0.4	10.5	51.5	01:50	WNW
14	7.5	10.3	12:30	4.0	20:10	79	31	3.2	9.8	78.9	10:10	NW
15	9.0	11.8	13:50	4.6	00:00	96	66	15.4	2.8	33.8	00:20	WNW
16	8.2	10.2	16:00	5.1	23:30	96	65	16.0	5.5	45.1	12:50	WNW
17	5.6	7.0	16:10	4.0	01:40	88	36	0.0	11.8	62.8	10:30	NNW
18	4.8	7.9	12:00	1.8	23:00	94	57	25.4	1.4	25.7	10:00	N
19	3.8	6.2	10:10	1.7	02:00	91	53	0.0	2.5	30.6	05:40	N
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
-----												
	9.9	22.2	10	1.7	19	89.3	57.3	68.2	3.9	78.9	14	N

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, η δομή των δύο αυτών ενδεικτικών αρχείων διαφέρει σε ορισμένα σημεία.

Τα αρχεία περιέχουν τα εξής σημαντικά δεδομένα:

### 1η ενδεικτική μορφή

Στην πρώτη γραμμή του αρχείου κειμένου αυτής της μορφής μηνιαίας σύνοψης σημαντική είναι η πληροφορία μηνός-έτους, γιατί αποτελεί μέρος της χρονικής ταυτότητας-σήμανσης των δεδομένων παρατηρήσεων του αρχείου. Για την ακρίβεια η μορφή διατυπώνεται ως εξής: μήνας με τρία γράμματα, στίξη, κενό και έτος με 4 ψηφία: **JAN. 2021**. Ακολουθώντας στο πάνω τμήμα του αρχείου περιέχονται δεδομένα που αφορούν τον σταθμό καταγραφής: όνομα τόπου, πόλη, κράτος, υψόμετρο, γεωγραφικό μήκος και πλάτος: NAME: **Aegina** CITY: <κενό>, STATE: <κενό>, ELEV: **7 m**, LAT: **37° 44' 53" N** LONG: **23° 26' 37" E**. Ακολουθεί γραμμή με παράθεση

ονομάτων των μετρούμενων μεγεθών και μονάδων μετρήσεων: **TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)**, έπειτα τα ονόματα πεδίων μεγεθών (DAY, MEAN TEMP, HIGH... κοκ) και ακολούθως ένα οριοθετημένο από συνεχείς παύλες (----...-- ) μπλοκ δεδομένων ημερησίων τιμών παρατηρήσεων μετεωρολογικών δεδομένων για ορισμένες ημέρες του μήνα για τις οποίες έχει συντελεστεί η καταγραφή δηλ. ως την ημέρα προμήθειας του αρχείου.

Κάθε εγγραφή κειμένου εντός του μπλοκ των διαχωριστικών παυλών περιέχει σε γραμμική παράθεση δεδομένα παρατηρήσεων με τη σειρά: ημέρα του μήνα (DAY), μέση θερμοκρασία (MEAN TEMP), υψηλότερη θερμοκρασία στη διάρκεια της ημέρας (HIGH), χρονική στιγμή υψηλότερης θερμοκρασίας (TIME), χαμηλότερη θερμοκρασία στη διάρκεια της ημέρας (LOW), χρονική στιγμή χαμηλότερης θερμοκρασίας (TIME), βαθμοήμερες θέρμανσης (HEAT DEG DAYS), βαθμοήμερες ψύξης (COOL DEGDAYS), βροχόπτωση (RAIN), μέση ταχύτητα ανέμου (AVG WIND SPEED), υψηλότερη θερμοκρασία ανέμου (HIGH), χρονική στιγμή υψηλότερης ταχύτητας ανέμου (TIME) και κυριαρχούσα κατεύθυνση ανέμου (DOM DIR). Μετά το τέλος του μπλοκ ακολουθεί μία γραμμή συνοπτικών πληροφοριών ελάχιστων, μεγίστων, μέσων τιμών, επικρατουσών τιμών κοκ. και το αρχείο τελειώνει και με κάποιες άλλες στατιστικές πληροφορίες.

## 2<sup>η</sup> ενδεικτική μορφή

Η 2<sup>η</sup> ενδεικτική μορφή είναι παρόμοια με την 1<sup>η</sup> με κάποιες χαρακτηριστικές διαφορές. Συγκεκριμένα στο πάνω τμήμα του αρχείου περιέχονται τα δεδομένα του σταθμού αισθητήρων στη μορφή όνομα τόπου, υψόμετρο, γεωγραφικές συντεταγμένες π.χ. για το αρχείο Sfakia είναι NAME: **Sfakia**, ELEV: **770 m**, LAT: **35deg 12min**, LONG: **24deg 06min**. Προφανώς η σύνταξη των γεωγραφικών συντεταγμένων διαφέρει από αυτήν της 1<sup>ης</sup> ενδεικτικής μορφής: οι μοίρες επισημαίνονται από το λέκθημα **deg** αντί για το σύμβολο °, τα λεπτά της μοίρας από **min** αντί ' και τα δευτερόλεπτα της μοίρας απουσιάζουν καθώς και ο προσανατολισμός ως ένδειξη της κατεύθυνσης των μετρήσεων E (Ανατολή) και N (Βορράς), απουσιάζουν από το στοιχείο πληροφορίας των γεωγραφικών συντεταγμένων.

Μία επόμενη διαφορά είναι ότι εδώ αντί της καταγραφής τιμών HEAT DEG DAYS, COOL DEG DAYS καταγράφονται τιμές μέγιστης (MAX RH) και ελάχιστης σχετικής υγρασίας (MIN RH). Και τέλος από το αρχείου απουσιάζουν οι «στατιστικές πληροφορίες» που διατίθενται στην 1<sup>η</sup> ενδεικτική μορφή.

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω δυο ενδεικτικές μορφές των αρχείων μηνιαίας σύνοψης δεδομένων παρατηρήσεων των μετεωρολογικών σταθμών εμπεριέχονται δύο διακρισιμες<sup>11</sup> ομάδες δεδομένων. Η πρώτη ομάδα αφορά δεδομένα συστημάτων αισθητήρων (τόπος/περιοχή εγκατάστασης, γεωγραφικές συντεταγμένες, υψόμετρο) και η δεύτερη ομάδα δεδομένα παρατηρήσεων δηλ. της χρονοσειράς καταγραφής (ημερομηνίες, χρονικές σημάνσεις δεδομένων καταγραφής, καταγραφείσες τιμές δεδομένων παρατηρήσεων).

Αυτές οι δύο ομάδες μετά από διαδικασία συντακτικής ανάλυσης (parsing) και διάφορες απαραίτητες μετατροπές απαιτείται να αποδομηθούν από κάθε ενιαίο

---

<sup>11</sup> Η διάκριση γίνεται διότι τα πρότυπα επιβάλλουν των διαχωρισμό των δεδομένων σε δύο κατηγορίες ώστε να δομηθούν περαιτέρω δύο ξεχωριστές κωδικοποιήσεις δεδομένων -δεδομένα συστήματος αισθητήρων και δεδομένα παρατηρήσεων- όπως θα περιγράφει και παρακάτω.

αρχείο δεδομένων μηνιαίας σύνοψης σε δύο ξεχωριστά σύνολα δεδομένων: δεδομένα συστήματος αισθητήρων και δεδομένα παρατηρήσεων. Έτσι στην υλοποίηση που έγινε τα δεδομένα από κάθε αρχείο κειμένου μετά από τη διαδικασία συντακτικής ανάλυσης (parsing) και διάφορες απαραίτητες μετατροπές εντάσσονται σε δύο ξεχωριστές οργανώσεις - αντικειμένων Java:

SensorSystemDataObject και ObservationDataObject/ObservationDataCollection.

Ο διαχωρισμός αυτός αρχικώς έγινε ενστικτωδώς για λόγους οργάνωσης και διαχείρισης της πολυπλοκότητας του κώδικα. Συγκεκριμένα επιδιώχτηκε να ενταχθεί σε κάθε κλάση αντικειμένων δεδομένων λειτουργικότητα που αφορά τα δεδομένα συστημάτων αισθητήρων και τα δεδομένα παρατηρήσεων ξεχωριστά. Έπειτα όμως μέσω αυτών ακριβώς των αντικειμένων δεδομένων θα στοιχειοθετηθούν οι απαιτούμενες ξεχωριστές κωδικοποιήσεις δεδομένων: μια κωδικοποίηση SensorML για κάθε σύστημα αισθητήρων (μετεωρολογικό σταθμό) με τα δεδομένα του συστήματος αισθητήρων και μια κωδικοποίηση O&M που θα περιλαμβάνει τις μετρούμενες τιμές των παρατηρήσεων. Σημειώνεται ότι η τυποποίηση OGC SOS επιβάλλει αυτό τον διαχωρισμό στο μοντέλο δεδομένων.

Για την εργασία της αποδόμησης των εγγραφών κειμένου στα απαραίτητα δεδομένα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως εφαρμόστηκε διαδικασία συντακτικής ανάλυσης (parsing) δεδομένων αρχείου κειμένου. Η συγγραφή του κώδικα περιλαμβάνει αρχικώς την ανάγνωση κάθε διαθέσιμου αρχείου δεδομένων στην συνέχεια parsing και λήψη των χρήσιμων με εφαρμογή μεθόδων κανονικών εκφράσεων. Σημειώνεται ότι η εφαρμογή κανονικών εκφράσεων παρέχει παράλληλα και δυνατότητα ελέγχου εγκυρότητας των αρχείων δεδομένων. Οι εργασίες που ουσιαστικά συντελούνται είναι επικύρωση-ταυτοποίηση περιεχομένων και εξαγωγή τιμών δεδομένων προς κατάλληλες ιδιότητες σε αντικείμενα δεδομένων Java (SensorSystemDataObject και ObservationDataObject/ObservationDataCollection), αφού προηγουμένως έχουν υποστεί τις απαραίτητες μετατροπές.

### **Κανονικές εκφράσεις, πρότυπα και Java**

Οι κανονικές εκφράσεις είναι ένας τρόπος καθορισμού της δομής κειμένου. Τα μέρη ενός αρχείου κειμένου δύναται να περιγράφονται μέσω κανονικών εκφράσεων. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και χειρισμό του περιεχόμενου ενός αρχείου κειμένου. Οι κανονικές εκφράσεις στην Java καθορίζονται και αξιοποιούνται από δύο βασικά στοιχεία που ενσωματώνονται σε δύο κλάσεις. Η πρώτη κλάση είναι το πρότυπο (Pattern) και η δεύτερη ο αντιστοιχιστής (Matcher). Γενικά ένα αντικείμενο Pattern περιγράφει μια μορφή προς αναζήτηση και ένα αντικείμενο Matcher εξετάζει εάν η δομή του κειμένου ταιριάζει (ή ικανοποιεί) αυτό το περιγραφικό πρότυπο [62]. Για παράδειγμα το λέκτημα '\s+' ορίζει ένα πρότυπο το οποίο περιγράφει ένα ή περισσότερα κενά. Έτσι γενικώς μέσω μιας κανονικής έκφρασης δύναται να εντοπίζονται-ταυτοποιούνται εκτυπώσιμοι (π.χ. συμβολοσειρές), αλλά και μη εκτυπώσιμοι χαρακτήρες.

Τα πρότυπα είναι ουσιαστικά περιγραφές που καθορίζονται μέσω κανονικών εκφράσεων. Η δύναμή τους πηγάζει από την ικανότητά τους να περιγράφουν

αφαιρετικά ορισμένα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου<sup>12</sup> αντί να το προσδιορίζουν επακριβώς. Ένα πρότυπο επιτρέπει την περιγραφή των χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου προς αναζήτηση χωρίς ρητή διευκρίνιση του αντικειμένου. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν είναι γνωστά ορισμένα χαρακτηριστικά του αντικειμένου στόχου αλλά είναι άβολο είτε ακόμα και αδύνατο λόγω της απειραριθμίας των θεμάτων να τα καθορίσει κανείς συγκεκριμένα. Για παράδειγμα στην συντακτική ανάλυση ενός εγγράφου ίσως επιθυμεί κανείς να εντοπίσει κάθε λέξη που αρχίζει με κεφαλαίο είτε κάθε λέξη που ξεκινά με το γράμμα Z είτε κάθε λέξη που αρχίζει με κεφαλαίο γράμμα Z ακολουθούμενο από ένα φωνήεν πλην το φωνήεν α. Πολλές φορές δεν μπορεί να γνωρίζει κανείς εκ των προτέρων ακριβώς τις λέξεις προς αναζήτηση για ένα δεδομένο όμως μπορεί να γνωρίζει πώς να περιγράψει ορισμένα χαρακτηριστικά της δομής. Αυτή η περιγραφή συνιστά το πρότυπο. Μπορεί να φανταστεί κανείς τις κανονικές εκφράσεις σαν μια υπόθεση αστυνομικής δράσης. Ένα πρότυπο είναι η περιγραφή των υπόπτων που διαθέτει ο αξιωματικός υπηρεσίας και ο αντιστοιχιστής είναι κάποιος άλλος αξιωματικός ή ο επιθεωρητής ο οποίος συλλαμβάνει και ανακρίνει τους υπόπτους. Ένα πρότυπο μιας κανονικής έκφρασης φανερώνει τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου προς αναζήτηση. Ένα Matcher εξετάζει τα αποτελέσματα εφαρμόζοντας ένα Pattern [62].

Θα μπορούσαν να είχαν εφαρμοστεί και άλλοι τρόποι ανάλυσης κειμένου για λήψη των δεδομένων πέρα από τις κανονικές εκφράσεις ωστόσο για λόγους διερεύνησης μιας γενικότερης αποτελεσματικής διαδικασίας με δυνατότητα εφαρμογής ακόμα και σε διάφορες ακραίες περιπτώσεις ανάλυσης ακατέργαστων, ποικιλόμορφων και σύνθετων δεδομένων προτιμήθηκε και επιλέχθηκε η χρήση κανονικών εκφράσεων σε αυτήν την εργασία. Στην Java ως γνωστών διατίθενται επιπλέον τα εξής εργαλεία για λήψη δεδομένων από αρχεία κειμένου: κλάσεις StringTokenizer, StreamTokenizer, Scanner. Η περιγραφή αυτών όμως βρίσκεται πέρα από τους στόχους αυτής της εργασίας.

Ακολουθως παρατίθενται ορισμένες αξιοσημείωτες κανονικές εκφράσεις-πρότυπα που εφαρμόστηκαν για τη ταυτοποίηση και λήψη των δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων στην υλοποίηση αυτής της εργασίας που είναι οι ακόλουθες:

```
// συλλογή month, year, Name, elev, lat, long
Pattern p1 = Pattern.compile("for\\s+(\\w+)\\.\\s+(\\d\\d\\d\\d)\\s*"
+ "NAME:\\s*(\\w+)\\s*"
+ "CITY:\\s*\\w*\\s*STATE:\\s*\\w*\\s*\\r\\n"
+ "ELEV:\\s*(\\d+)\\sm\\s*"
+ "LAT:\\s*(\\d+)°\\s*(\\d+) '\\s*(\\d*)'\\s*\\w\\s*"
+ "LONG:\\s*(\\d+)°\\s*(\\d+) '\\s*(\\d*)'");

Pattern p2 = Pattern.compile("for\\s+(\\w+)\\.\\s+(\\d\\d\\d\\d)\\s*"
+ "NAME:\\s*(\\w+)\\s*"
+ "ELEV:\\s*(\\d+)\\sm\\s*"
+ "LAT:\\s*(\\d+) deg\\s*(\\d*)min\\s*"
+ "LONG:\\s*(\\d+) deg\\s*(\\d*)min");
```

<sup>12</sup> Στην περίπτωση αυτής της εργασίας περιγράφεται το περιεχόμενο αρχείων κειμένου το οποίο δύναται να αποτελείται από εκτυπώσιμους αλλά και μη εκτυπώσιμους χαρακτήρες π.χ. 'temperature' ή \n, \r κοκ.

```
// Ορισμός προτύπου για Observation Data
p = Pattern.compile("\\s*(\\d+)" +
    "\\s+(-?\\d+\\.\\d+)" +
    "\\s+(-?\\d+\\.\\d+)" +
    "\\s+(\\d+:\\d+)" +
    "\\s+(-?\\d+\\.\\d+)" +
    "\\s+(\\d+:\\d+)" +
    "\\s+(\\d+\\.\\{0,}\\d+\\{0,})" +
    "\\s+(\\d+\\.\\{0,}\\d+\\{0,})" +
    "\\s+(\\d+\\.\\d+)" +
    "\\s+(\\d+\\.\\d+)" +
    "\\s+(\\d+\\.\\d+)" +
    "\\s+(\\d+:\\d+)" +
    "\\s+(\\w+)\\b");
```

Τέτοιου είδους ορισμοί βρίσκονται στον κώδικα ανάπτυξης της εφαρμογής εντός του ορισμού της κλάσης αντικειμένων ParseMeteoDataObject. Για την τεκμηρίωση της εφαρμογής τέτοιου είδους εκφράσεων μπορεί να ανατρέξει κανείς στη βιβλιογραφία [62].

### Βασικές Αναγκαίες Μετατροπές των δεδομένων που έγιναν

α) Μετατροπή γεωγραφικών συντεταγμένων από το **εξηνταδικό σύστημα αρίθμησης** όπως χρησιμοποιείται υπό τροποποιημένη μορφή στην έκφραση-καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων, στο **δεκαδικό σύστημα αρίθμησης**.

π.χ. από **23° 26' 37" E → 23,444**

β) Μετατροπή – σύνθεση χρονικών σημάνσεων στο πρότυπο εκφράσεων χρόνου **ISO 8601**, ένα διεθνές πρότυπο έκφρασης ημερομηνιών και χρόνων σε μορφή τύπου δεδομένων συμβολοσειράς. Η ημερομηνία και ο χρόνος εκφράζονται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8601 ως [64]:

**2021-06-16T20:22:28+00:00**

**2021-08-16T20:22:28.000+00:00**

Το στοιχείο της ζώνης ώρας (timezone) έχει αλλάξει από την έκδοση 2.11 από '+0000' σε '+00:00'. Και οι δυο μορφές όμως ισχύουν σύμφωνα με το πρότυπο ISO-8601.

Κάθε στοιχείο από την παραπάνω μορφή έκφρασης ISO 8601 (ημερομηνία-χρόνος-ζώνη ώρας) πρέπει να υφίσταται σε μια έκφραση ISO 8601. Αυτό ισχύει και για τα σημεία στίξης και τον χαρακτήρα 'T'. Το λέκτημα 'T' δείχνει την έναρξη του στοιχείου της ώρας το οποίο ακολουθεί άμεσα το στοιχείο της ημερομηνίας. Εάν και επιτρέπονται διαφορετικές εκφράσεις η ακόλουθη έκφραση υποστηρίζεται συνήθως:

Πλήρης ημερομηνία συν ώρα, λεπτά και δευτερόλεπτα:

YYYY-MM-DDThh:mm:ss[.mmm]TZD (π.χ. 2020-08-29T10:05:45-02:00)

όπου

YYYY: έτος με 4 ψηφία

MM: μήνας με 2 ψηφία (π.χ. 08=Αύγουστος)

DD: 2 ψηφία για την ημέρα του μήνα (από 01 ως 31)

T: ο χαρακτήρας που δείχνει την έναρξη του στοιχείου του χρόνου

hh: δύο ψηφία για την ώρα (από 00 μέχρι 23)

mm: δύο ψηφία για τα λεπτά (από 00 μέχρι 59)

ss: δύο ψηφία για τα δευτερόλεπτα (από 00 μέχρι 59)

mmm: τρία ψηφία για τα χιλιοστά του δευτερολέπτου (millisecond) (από 000 μέχρι 999)

TZD: προσδιορισμός ζώνης ώρας (Z είτε +hh:mm είτε -hh:mm), τα + και - δείχνουν την απόκλιση της ζώνης ώρας από τον παγκόσμιο χρόνο UTC-Coordinated Universal Time.

Σημειώνεται ότι οι απαραίτητες χρονικές σημάνσεις των δεδομένων παρατηρήσεων προς δόμηση συμβατικών χρονοσειρών όπου η χρονική σήμανση τίθεται σε μορφή iso 8601 συντέθηκαν από δεδομένα του αρχείου – ημερομηνία (μήνας, έτος) όπως γίνεται διαθέσιμη από το αρχείο σε μορφή λ.χ. JAN. 2021, ημερομηνία (ημέρα) που γίνεται διαθέσιμη από το πρώτο πεδίο κάθε εγγραφής δεδομένων παρατηρήσεων και τον χρόνο όπως γίνεται διαθέσιμος λ.χ. σε μορφή 14:32 από περαιτέρω διαθέσιμα πεδία ορισμένων εγγραφών. Σε περιπτώσεις μη διαθεσιμότητας του χρόνου μπορεί να γίνει εικονική επαύξηση βάση κάποιας σύμβασης όπως θα περιγραφεί παρακάτω.

Οι παραπάνω αναφερόμενες μετατροπές φαίνονται στον κώδικα εντός του ορισμού της κλάσης ParseMeteoDataObject.

### 4.3 Πλάνο ανάπτυξης

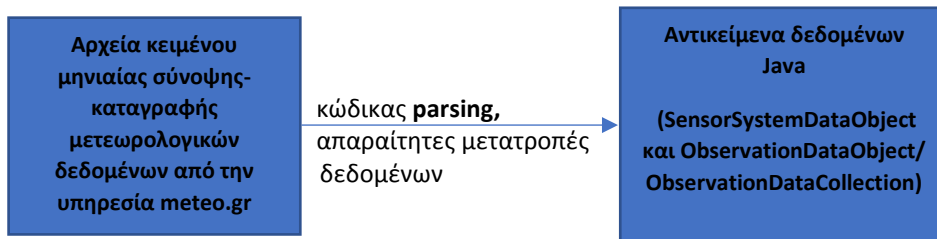
Ο Ιστός αισθητήρων σε αυτή την ανάπτυξη εκπροσωπείται από το σύστημα υπηρεσίας Ιστού αισθητήρων IstSOS που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το σύστημα IstSOS παρέχει μέσω των διεπαφών υπηρεσίας (OGC SOS και WA-service) μεθόδους για διαχείριση δεδομένων αισθητήρων και παρατηρήσεων.

Αρχικά έγινε εγκατάσταση του συστήματος IstSOS και δημιουργήθηκε μέσω της διεπαφής διαχείρισης Ιστού στιγμιότυπο υπηρεσίας (service) με όνομα «meteoservice». Μετά από μια αρχική μελέτη των προδιαγραφών OGC SOS και της αρχιτεκτονικής του συστήματος υπηρεσίας IstSOS για λόγους διερεύνησης διατυπώθηκε πλάνο ανάπτυξης. Το πλάνο προεικάζει τα ακόλουθα βήματα ανάπτυξης:



## 1ο Βήμα:

Ανάγνωση αρχείου κειμένου, parsing και λήψη δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων, ορισμένες απαραίτητες μετατροπές και αποθήκευση σε αντικείμενα δεδομένων Java (`SensorSystemDataObject` και `ObservationDataObject/ObservationDataCollection`). Σημειώνεται ότι η τυποποίηση OGC SOS επιβάλλει τον διαχωρισμό του μοντέλου δεδομένων σε δεδομένα συστήματος αισθητήρων και δεδομένα παρατηρήσεων (Σχήμα 4.1)



**Σχήμα 4.1** Από το ενιαίο αρχείο κειμένου μηνιαίας σύνοψης σε αντικείμενα δεδομένων Java

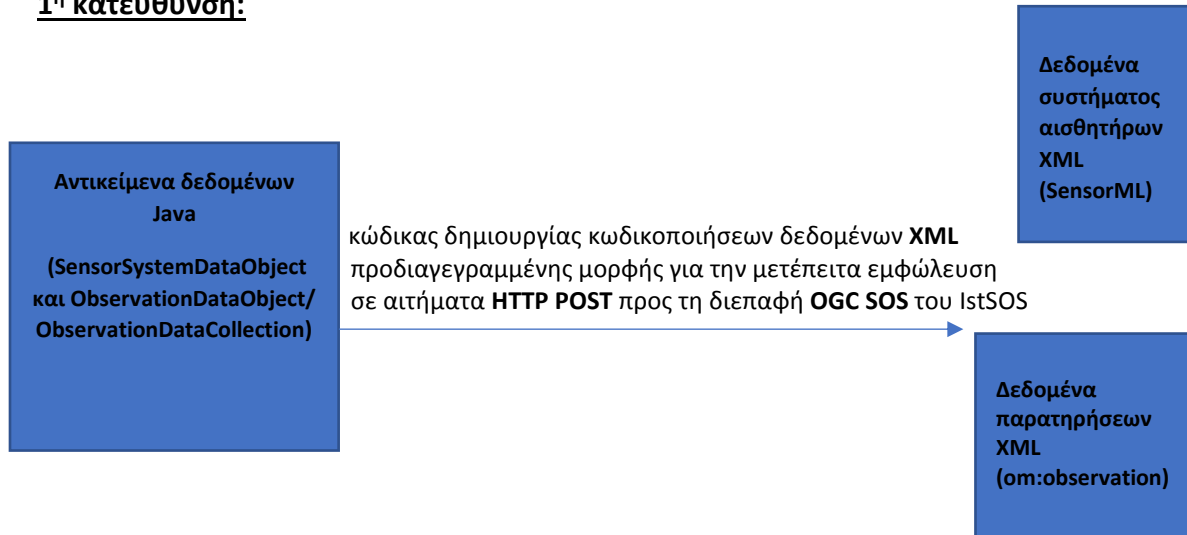
## 2ο Βήμα

Δημιουργία κωδικοποιήσεων δεδομένων XML (περιγραφή SensorML για τα δεδομένα συστήματος αισθητήρα και O&M περιγραφή για τα δεδομένα παρατηρήσεων) για μετέπειτα εμφώλευση σε αιτήματα HTTP POST προς τη διεπαφή OGC SOS του IstSOS (1<sup>η</sup> κατεύθυνση) βλ. Σχήμα 4.2.

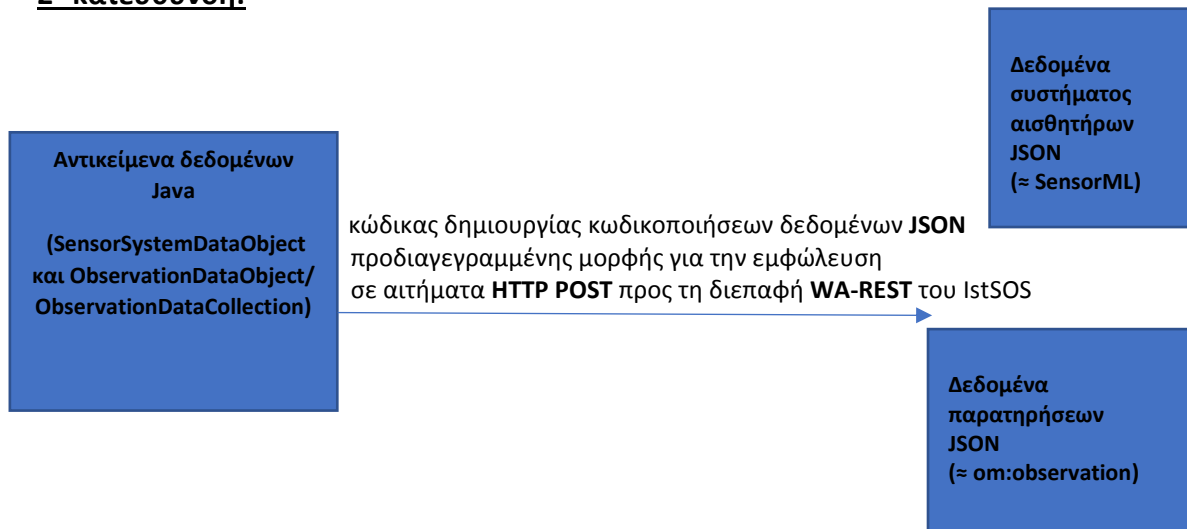
### **EITE**

Δημιουργία κωδικοποιήσεων δεδομένων JSON (περιγραφή παρεμφερή της δομής SensorML για δεδομένα συστημάτων αισθητήρων και περιγραφή παρεμφερή της δομής O&M για δεδομένα παρατηρήσεων) για την μετέπειτα εμφώλευση σε αιτήματα HTTP POST προς τη διεπαφή WA-REST του IstSOS (2<sup>η</sup> εναλλακτική κατεύθυνση) βλ. Σχήμα 4.2.

### 1<sup>η</sup> κατεύθυνση:



### 2<sup>η</sup> κατεύθυνση:

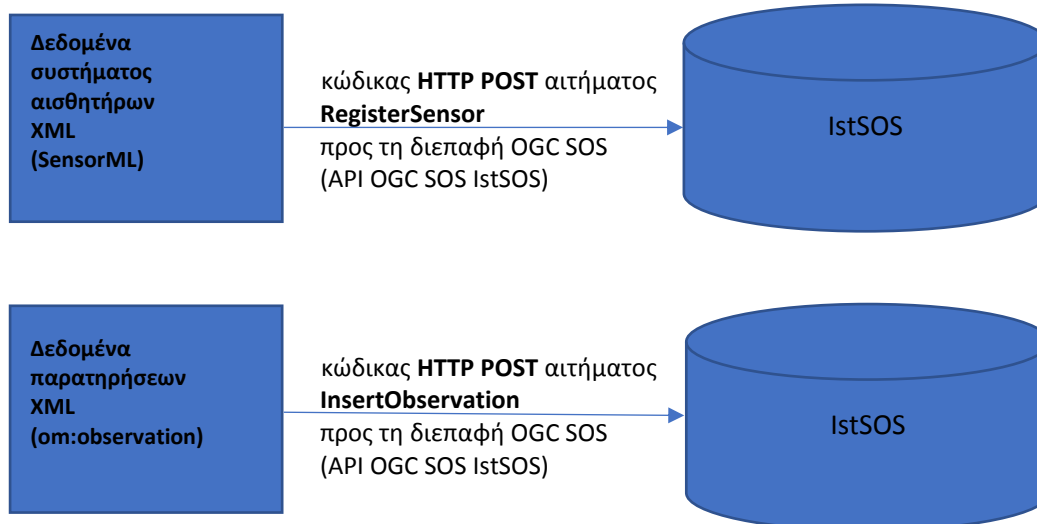


**Σχήμα 4.2** Από τα αντικείμενα δεδομένων JAVA στις απαιτούμενες κωδικοποιήσεις μορφής XML ή JSON

### 3ο Βήμα ανάπτυξης

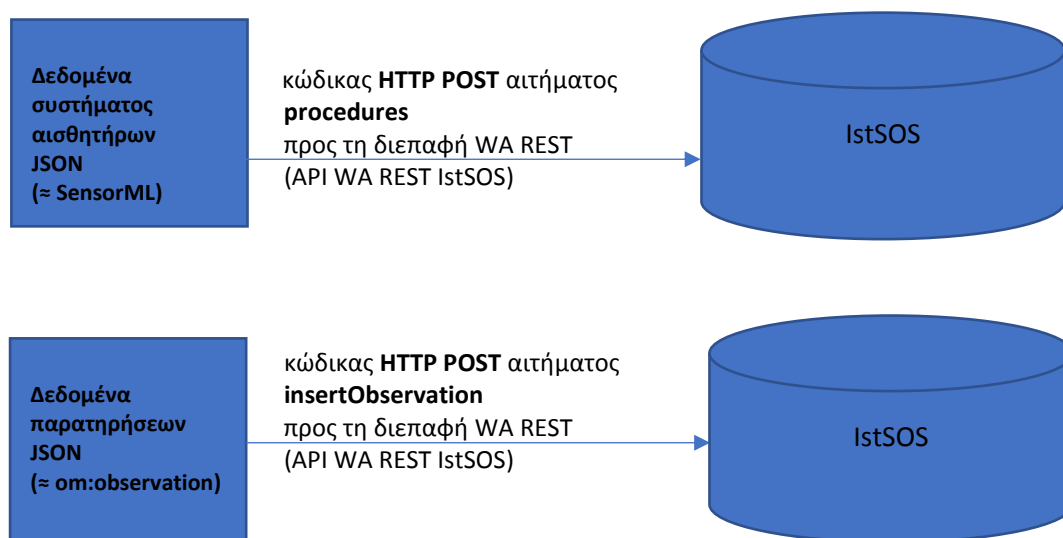
#### 1<sup>η</sup> κατεύθυνση:

Κώδικας HTTP POST αιτημάτων RegisterSensor και InsertObservation προς τη διεπαφή OGC SOS του IstSOS:



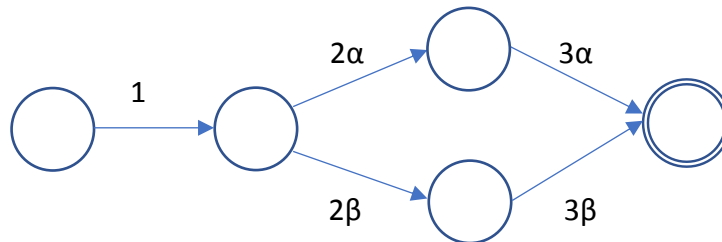
#### 2<sup>η</sup> κατεύθυνση:

Κώδικας HTTP POST αιτημάτων procedures και insertobservation προς τη διεπαφή WA-REST του IstSOS:



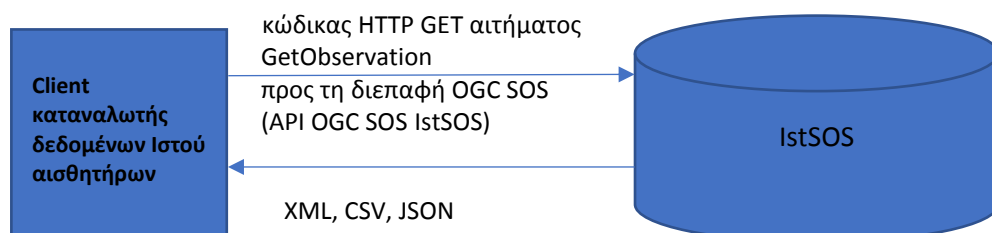
**Σχήμα 4.3** Αιτήματα HTTP POST RegisterSensor και InsertObservation, procedure, insertObservation προς τις διεπαφές OGC SOS και WA REST του IstSOS

Οι συνολικές μεταβάσεις καταστάσεων μέχρι τη διάθεση των δεδομένων στην υπηρεσία IstSOS έχουν ως εξής:



### Παρατηρήσεις:

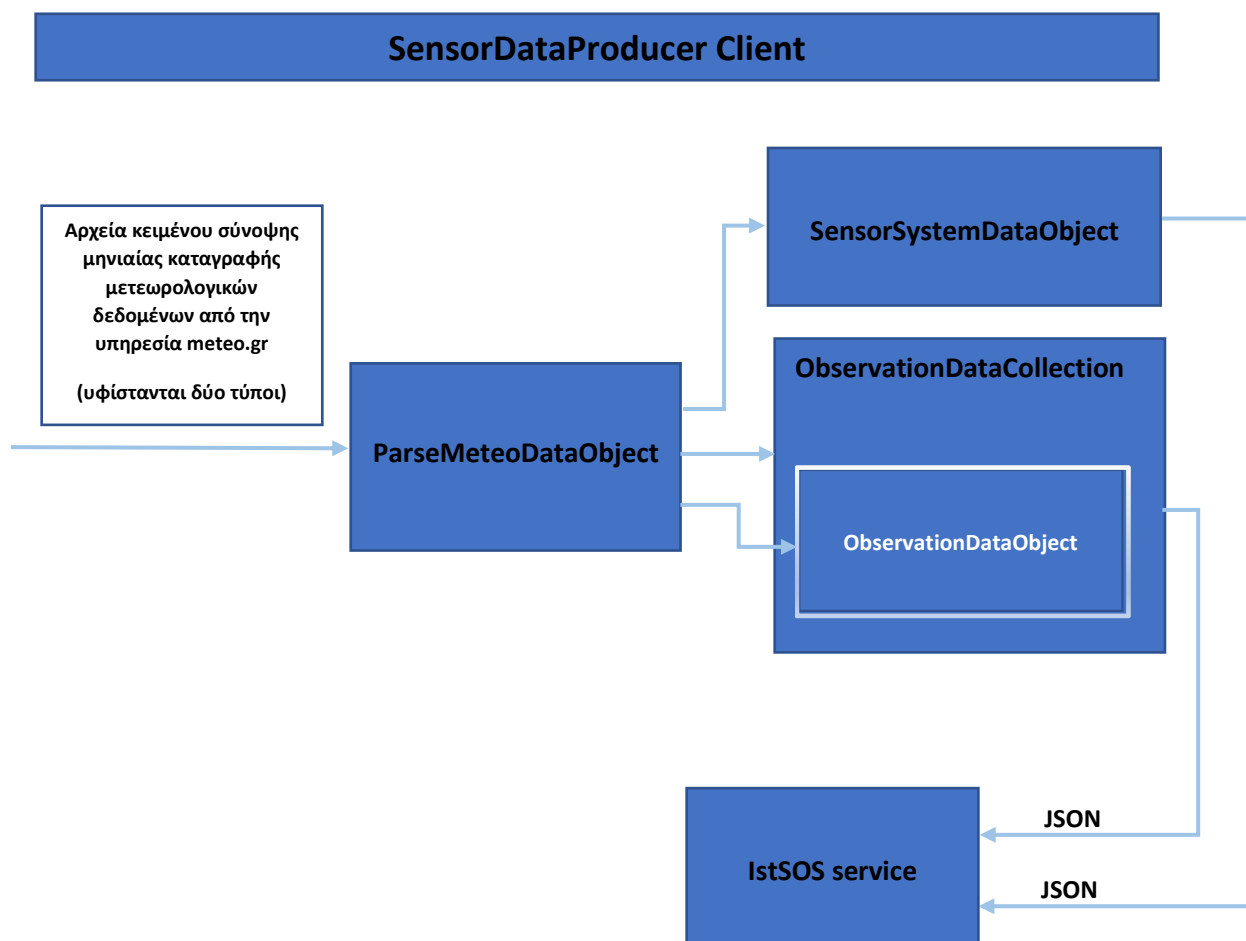
- 1) Στο 2<sup>ο</sup> βήμα μπορεί να ακολουθήσει κανείς μία από τις δύο κατευθύνσεις υλοποίησης. Ακολουθώντας την 1<sup>η</sup> κατεύθυνση έχει κανείς να δημιουργήσει αρχεία XML-κωδικοποιήσεων σύμφωνα με τα πρότυπα SensorML και OM:Observation και ακολούθως να τα επικοινωνήσει με τα διαθέσιμα δεδομένα των αντικειμένων Java του 1<sup>ου</sup> βήματος τα οποία εν κατακλείδι θα αποσταλούν στην υπηρεσία μέσω της διεπαφής OGC SOS (XML), ενώ ακολουθώντας την 2<sup>η</sup> κατεύθυνση έχει κανείς να δημιουργήσει αρχεία JSON-κωδικοποιήσεων σύμφωνα με τα πρότυπα SensorML και OM:Observation και ακολούθως να τα επικοινωνήσει με τα διαθέσιμα δεδομένα των αντικειμένων Java του 1<sup>ου</sup> βήματος τα οποία θα αποσταλούν στην υπηρεσία μέσω της διεπαφής WA REST (JSON).
- 2) Η μετέπειτα άντληση και αξιοποίηση των δεδομένων από την υπηρεσία IstSOS από εφαρμογή Client μπορεί να γίνει μέσω της διεπαφής OGC SOS όπου τα επιθυμητά δεδομένα των παρατηρήσεων δύναται πολύ εύκολα να επιστρέφονται από την υπηρεσία IstSOS σε τρεις εναλλακτικές μορφές αναπαράστασης XML, JSON και CSV. Έπειτα από αυτό το σημείο απομένει ο καθορισμός του Client καταναλωτή δεδομένων (Σχήμα 4.4)



**Σχήμα 4.4** Αρχικό μοντέλο πελάτη-καταναλωτή δεδομένων

#### 4.4 Η αρχιτεκτονική του παραγωγού δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Επιλέγοντας από το προηγούμενο πλάνο υλοποίησης την δεύτερη κατεύθυνση στα βήματα 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> δηλ. διεπαφή WA-REST που συνεπάγεται κωδικοποιήσεις δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και δεδομένων παρατηρήσεων σε μορφή JSON, η αρχιτεκτονική του συστήματος εφαρμογής που υλοποιήθηκε διαμορφώθηκε ως εξής:



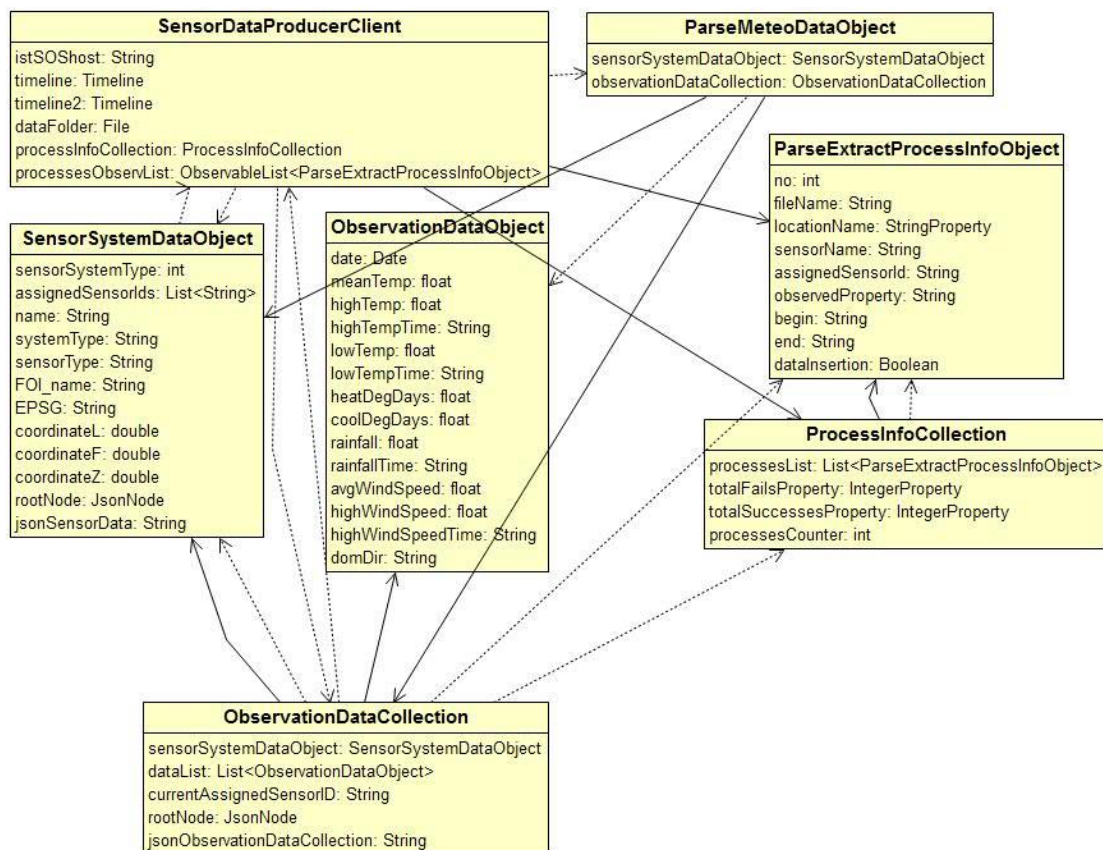
**Σχήμα 4.5** Η αρχιτεκτονική του πελάτη παραγωγού δεδομένων που υλοποιήθηκε

Το αντικείμενο ParseMeteoDataObject περιλαμβάνει διαδικασίες που αναλύουν κάθε αρχείο κειμένου μηνιαίας σύνοψης μετεωρολογικών δεδομένων, επιπλέον ελέγχοντας το για εγκυρότητα και εκτελώντας ορισμένες απαραίτητες μετατροπές και συνθέσεις δεδομένων εγκαθιστούν τα δεδομένα σε κατάλληλες δομές: αντικείμενο SensorSystemDataObject και κάθε εγγραφή δεδομένων παρατηρήσεων

από το αρχείο μηνιαίας σύνοψης σε ξεχωριστό αντικείμενο `ObservationDataObject`. Το σύνολο αντικειμένων `ObservationDataObject` εντάσσεται σε ένα εγκατεστημένο αντικείμενο `ObservationDataCollection`. Το αντικείμενο `SensorSystemDataObject` διαθέτει μεθόδους για τη μετατροπή των δεδομένων συστημάτων αισθητήρων σε κατάλληλη κωδικοποίηση JSON και αποστολή αυτών (μέσω HTTP POST) στην υπηρεσία IstSOS. Όμοια και το αντικείμενο `ObservationDataCollection` για τα δεδομένα παρατηρήσεων.

#### 4.5 Διάγραμμα κλάσεων UML παραγωγού δεδομένων Ιστού αισθητήρων

Για το σκοπό παρουσίασης και περαιτέρω ανάλυσης του κώδικα του παραγωγού δεδομένων Ιστού αισθητήρων όπως υλοποιήθηκε ακολούθως δίνεται το διάγραμμα κλάσεων UML το οποίο κατασκευάστηκε εκ των υστέρων της ανάπτυξης στο περιβάλλον Eclipse μέσω του εργαλείου `objectaid` [Σχήμα 4.6].



Σχήμα 4.6 Διάγραμμα κλάσεων UML του παραγωγού δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Τα αντικείμενα ParseExtractProcessInfoObject και ProcessInfoCollection δημιουργούνται για να φέρουν πληροφορίες των διεργασιών ανάλυσης και εξώθησης δεδομένων στο σύστημα IstSOS. Συγκεκριμένα το αντικείμενο ParseExtractProcessInfoObject φέρει πληροφορίες μιας τρέχουσας διεργασίας που αφορά ένα μεμονωμένο σύστημα αισθητήρα ενός συγκεκριμένου αρχείου δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες αξιοποιούνται για δυναμική εμφάνιση στο χρόνο εκτέλεσης σε γραμμή του στοιχείου διεπαφής χρήστη -πίνακας Tableview-δεδομένων αυτής της τρέχουσας διεργασίας. Σημειώνεται ότι για κάθε αρχείο μετεωρολογικών δεδομένων δημιουργούνται το πολύ τρεις μεμονωμένες διεργασίες που αφορούν τις τρεις ξεχωριστές κωδικοποιήσεις των συστημάτων αισθητήρων συγκεκριμένα αισθητήρες θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου με τις αντίστοιχες κωδικοποιήσεις δεδομένων παρατηρήσεων. Για κάθε μεμονωμένο σύστημα αισθητήρων και τις παρατηρήσεις του δημιουργείται ένα αντικείμενο ParseExtractProcessInfoObject που φέρει τα ακόλουθα δεδομένα: αύξων αριθμός (no), όνομα αρχείου (filename), όνομα τοποθεσίας (locationName), όνομα αισθητήρα (sensorName), εκχωρημένος κωδικός αισθητήρα (assignedSensorId), παρατηρούμενη ιδιότητα (observedProperty), χρόνος έναρξης δεδομένων και χρόνος λήξης (begin, end) καθώς και εάν η μεμονωμένη διεργασία υπήρξε επιτυχής (Boolean dataInsertion).

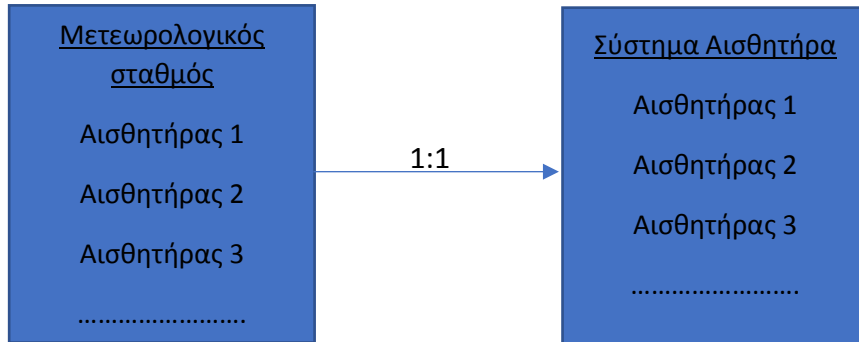
Το αντικείμενο ProcessInfoCollection φέρει πληροφορίες για το τρέχων συνολικό αποτέλεσμα όλων των μέχρι στιγμής επιχειρούμενων διεργασιών. Αυτό συντελεί προς δυναμική εμφάνιση στα στοιχεία διεπαφής κάτω από τον πίνακα πληροφοριών για το σύνολο αυτό: σύνολο αποτυχιών, σύνολο επιτυχιών.

## **4.6 Από το μοντέλο δεδομένων αρχείου μηνιαίας σύνοψης στο μοντέλο δεδομένων της υπηρεσίας IstSOS**

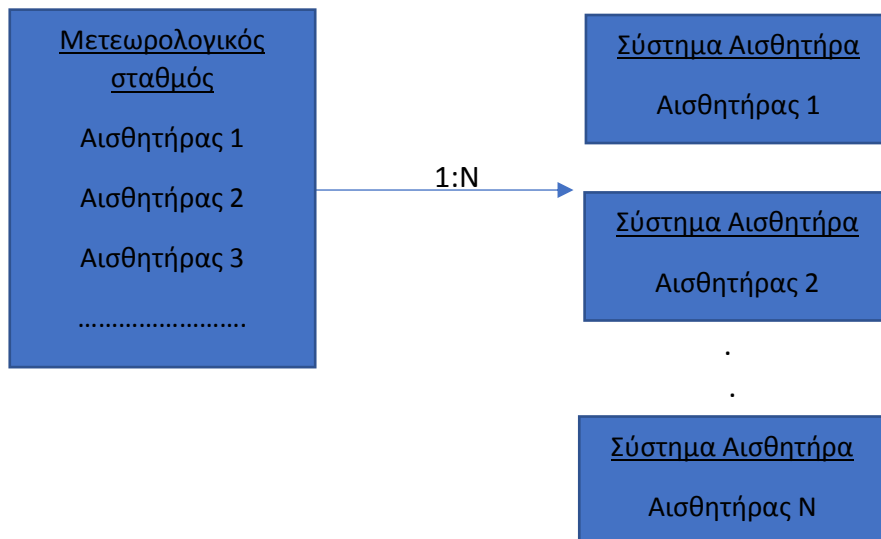
### **4.6.1 Από το μοντέλο δεδομένων αρχείου μηνιαίας σύνοψης στο μοντέλο δεδομένων συστήματος αισθητήρων της υπηρεσίας IstSOS**

Στο μοντέλο δεδομένων συστήματος αισθητήρων προς την υπηρεσία IstSOS που σχεδιάστηκε αντιμετωπίζονται τα συστήματα αισθητήρων ως «μονότιμα». Ο καθένας από τους αισθητήρες του μετεωρολογικού σταθμού αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστό σύστημα δηλ. κάθε μετρούμενο χαρακτηριστικό (θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου κα.) του μετεωρολογικού σταθμού αντιστοιχίζεται σε ένα ξεχωριστό σύστημα αισθητήρα. Έτσι προκύπτει ένα σύνολο συστημάτων αισθητήρα για κάθε μετεωρολογικό σταθμό όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Η τυποποίηση βέβαια επιτρέπει πολυμετάβλητο ή πλειότιμο σύστημα αισθητήρων δηλ. μια διαδικασία που παράγει περισσότερες από μία παρατηρούμενες «τιμές ιδιοτήτων» για κάθε χρονική στιγμή παρατήρησης πράγμα που εναρμονίζεται με τη διαδικασία παραγωγής των δεδομένων ενός μετεωρολογικού σταθμού. Έτσι θα προέκυπτε μία αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία μετεωρολογικού σταθμού-συστήματος αισθητήρων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7. Ωστόσο σε αυτή την περίπτωση για κάθε στιγμιότυπο παρατήρησης με ταυτότητα τη χρονική στιγμή αυτού απαιτούνται από την όψη των δεδομένων όλες οι τιμές των παρατηρούμενων ιδιοτήτων δηλ. πλειότιμες πλειάδες

λ.χ. της μορφής (χρόνος (t), θερμοκρασία (T), υγρασία (H), βροχόπτωση(R)). Όμως εφόσον δεν γίνονται διαθέσιμες από το αρχείο μηνιαίας σύνοψης μετεωρολογικών δεδομένων (meteo.gr) τέτοιου είδους πλειάδες (στιγμιότυπες σχέσεις) η μοντελοποίηση των συστημάτων όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αντιμετωπίστηκε ξεχωριστά: για κάθε μετεωρολογικό σταθμό αντιστοιχίζονται περισσότερα ξεχωριστά μονότιμα συστήματα αισθητήρα δηλ. με απλές (μονές) τιμές ιδιοτήτων [Σχήμα 4.8].



**Σχήμα 4.7** Πλειότιμο σύστημα αισθητήρα, συμβολικά:  $MΣ \rightarrow \Sigma A(A1,A2,\dots,AN)$



**Σχήμα 4.8** Μονότιμα συστήματα αισθητήρα, συμβολικά  $MΣ \rightarrow \Sigma A1,\Sigma A2,\dots, AN$



#### 4.6.2 Από το μοντέλο δεδομένων αρχείου μηνιαίας σύνοψης στο μοντέλο δεδομένων παρατηρήσεων της υπηρεσίας IstSOS

Δεδομένου ότι το μοντέλο δεδομένων παρατηρήσεων στην υπηρεσία IstSOS επιβάλλει χρονοσειρές πλειάδων δεδομένων της μορφής (DateTime, observation\_property\_value) π.χ. (dateTime, temperature ) που αντιστοιχούν σε «μονότιμα» συστήματα αισθητήρων (όπως υλοποιήθηκαν) είτε πλειότιμες πλειάδες της μορφής (DateTime, observation\_property1\_value, observation\_property2\_value, ..., observation\_propertyN\_value) που αντιστοιχούν σε «πλειότιμο» σύστημα π.χ. ένας μετεωρολογικός σταθμός που δίνει κάθε χρονική στιγμή τρεις εξόδους (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, βροχόπτωση) ένα περαιτέρω ερώτημα είναι πώς θα γίνει ο μετασχηματισμός του μοντέλου δεδομένων του αρχείου μηνιαίας σύνοψης στο μοντέλο δεδομένων παρατήρησης της υπηρεσίας IstSOS από την όψη των δεδομένων παρατηρήσεων. Συγκεκριμένα τα ερωτήματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

α) Θα συντηρηθεί η σημασιολογία στα δεδομένα; Π.χ. η θερμοκρασία – σε υψηλή, χαμηλή – είτε θα γίνει μετάπτωση αυτής (της σημασιολογίας) σε απλή και μόνο θερμοκρασία. Δηλαδή εν κατακλείδι θα υφίστανται στη βάση δεδομένων της IstSOS δύο σχέσεις: μια χρονοσειρά απλών θερμοκρασιών είτε δύο ξεχωριστές χρονοσειρές -μίας υψηλών θερμοκρασιών και μίας χαμηλών- ; Για την εργασία αυτή πρόκειται να υιοθετηθεί η μετάπτωση για να διατίθενται σε κάθε χρονικό διάστημα ημέρας περισσότερες από μία παρατηρήσεις θερμοκρασίας. Σημειώνεται ότι το σύστημα IstSOS υποστηρίζει ερωτήματα συνάθροισης (aggregate max, min κοκ) οπότε οι καταχωρούμενες υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας στο διάστημα μιας ημέρας δύναται να αναπαράγονται εύκολα δηλ. αποτελεσματικά (εννοώντας αποδοτικά).

Πέρα από τα δεδομένα παρατηρήσεων της θερμοκρασίας για τις υπόλοιπες παρατηρήσεις που αφορούν τα δεδομένα της σχετικής υγρασίας, βροχόπτωσης, επικρατούσας κατεύθυνσης ανέμου που δεν διατίθενται σε στιγμιότυπο χρόνου μικρότερης αναλυτικής χρονικής υφής από ημέρα (λ.χ. 12/1/2021) λόγω ότι μάλλον κτώνται από «αρχείο σύνοψης» θα επιχειρηθεί πράξη σημασιολογικής «εικονικής» επαύξησης π.χ. για ένα δεδομένο σχετικής υγρασίας από [12/1/2021, 45%] σε [12/1/2021T0:00, 45%]) βάση μίας κατά σύμβαση χρονικής στιγμής, λ.χ. εδώ T0:00 για να προκύψουν εν τέλει συμβατές πλειάδες δομής χρονοσειράς. Αυτό έγινε στην ανάπτυξη του κώδικα στο δεδομένο της βροχόπτωσης όπου καθορίστηκε η ώρα μέτρησης προς το κλείσιμο της ημέρας, στις 23:59:59.

## 4.7 Η διαδικασία κλίσης των παρεχόμενων Web Services της υπηρεσίας IstSOS

Οι υπηρεσίες IstSOS εκτελούνται από τον εξυπηρετητή Ιστού Apache. Ο εξυπηρετητής Ιστού αφού δέχεται τα αιτήματα HTTP τα δρομολογεί στις υπηρεσίες IstSOS και αυτές επιστρέφουν μια αντίστοιχη απόκριση προς το πρόγραμμα πελάτη.

Ο τρόπος πρόσβασης στο σύστημα IstSOS μέσω κώδικα από κάποιο πρόγραμμα πελάτη γίνεται αξιοποιώντας κατάλληλες παρεχόμενες κλίσεις διεπαφών μέσω αιτημάτων στο πρωτόκολλο HTTP που καθορίζονται με κατάλληλες κλάσεις στη Java.

Υφίστανται διάφοροι τρόποι για γίνει αυτή η διενέργεια αιτημάτων μέσω Java. Δύο τρόποι αποτελούν δυνατότητες του πυρήνα της Java και ακολούθως υφίστανται διάφορες εξωτερικές βιβλιοθήκες. Αυτές οι δυνατότητες είναι οι εξής:

### **Πυρήνας Java (CORE JAVA):**

URLConnection

HttpClient

### **Δημοφιλείς βιβλιοθήκες (LIBRARIES):**

ApacheHttpClient

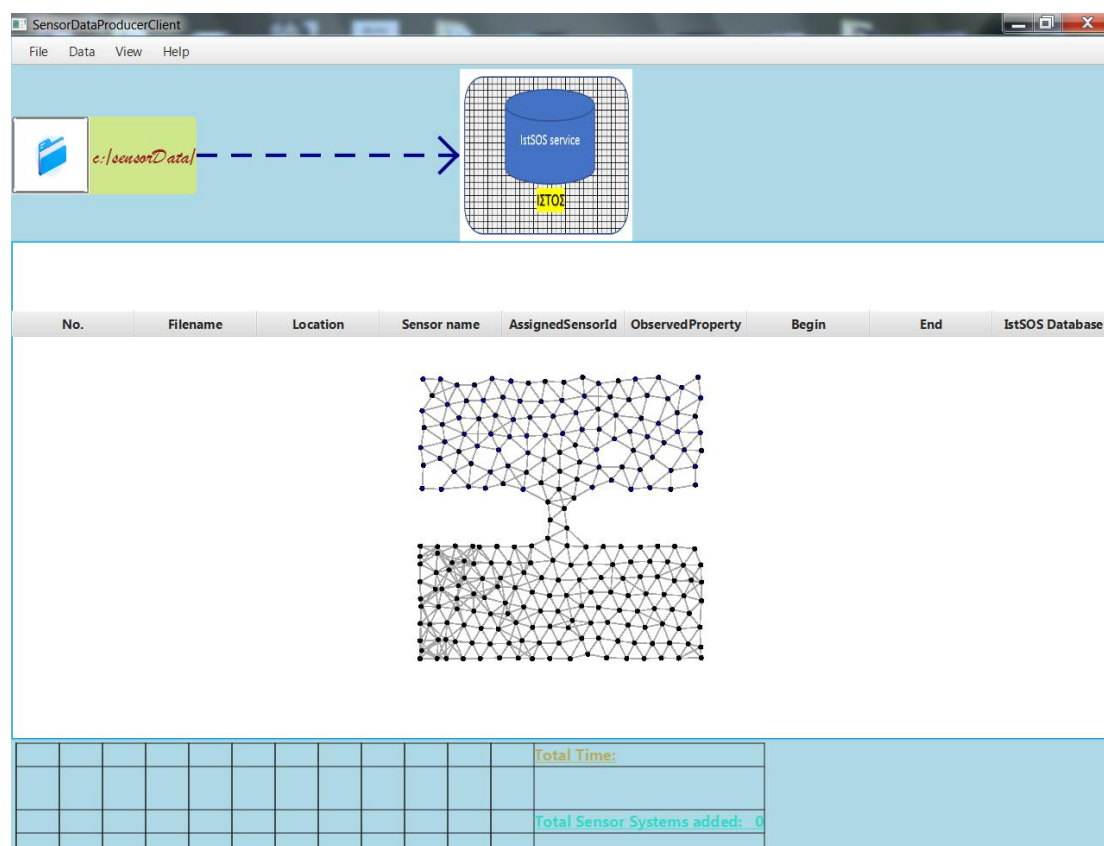
OkHttp

Retrofit

Στον κώδικα αυτής της εργασίας η διαδικασία αυτή έγινε μέσω του αντικειμένου HttpURLConnection που ως γνωστόν έχει προστεθεί στη Java από την έκδοση 1.1. το 1997.

## 4.8 Παραγωγός δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Εκτελώντας το κομμάτι της εφαρμογής SensorDataProducerClient εμφανίζεται η οθόνη που φαίνεται στο Σχήμα 4.9.



**Σχήμα 4.9** Το περιβάλλον της εφαρμογής παραγωγής δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Επιλέγοντας από το μενού File → Data Path ορίζει κανείς τον φάκελο δεδομένων όπου έχουν τοποθετηθεί τα αρχεία κειμένου μηνιαίας σύνοψης των μετεωρολογικών δεδομένων. Στη συνέχεια απλώς με ένα κλικ στο μενού Data → 'Parse&Extract to IstSOS service' μεταφέρονται τα δεδομένα σε στιγμότυπο υπηρεσίας IstSOS που έχει οριστεί στον κώδικα. Συγκεκριμένα για κάθε αρχείο δεδομένων καταχωρούνται στο στιγμότυπο της υπηρεσίας IstSOS meteoservice τρία συστήματα αισθητήρων - θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου και βροχόπτωσης- με τις αντίστοιχες παρατηρήσεις. Κάθε επιχειρούμενη έγκυρη ή άκυρη καταχώρηση δεδομένων επισημαίνεται με την εμφάνιση γραμμής στον πίνακα αντίστοιχου στοιχείου διεπαφής χρήστη. Επιπλέον κάτω από το στοιχείο διεπαφής πίνακα εμφανίζονται σε πραγματικό χρόνο ο συνολικός χρόνος της διαδικασίας, ο αριθμός των συστημάτων

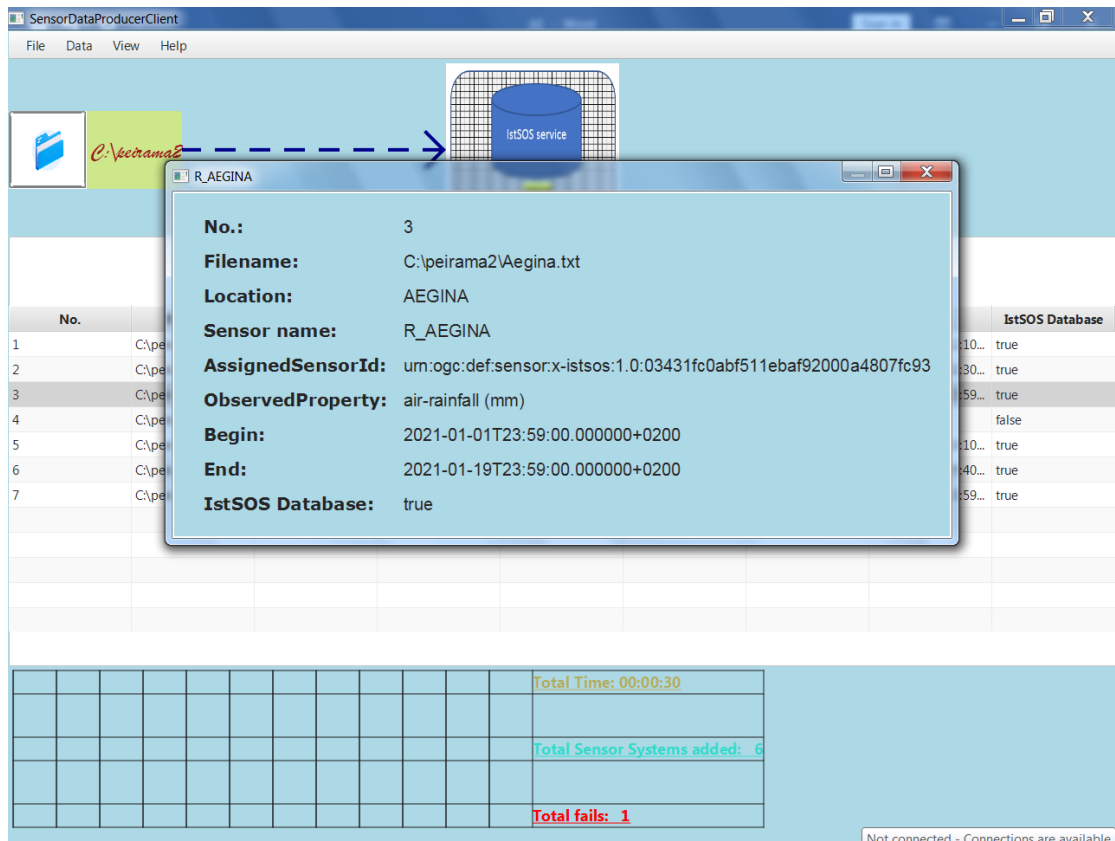
αισθητήρων που καταχωρήθηκαν επιτυχώς και ο αριθμός των αποτυχιών σε περίπτωση μη έγκυρου αρχείου εισόδου (Σχήμα 4.10).

No.	Filename	Location	Sensor name	AssignedSensorId	ObservedProperty	Begin	End	IstSOS Database
1	C:\peirama2\Aegi...	AEGINA	T_AEGINA	urn:ogc:def:sensor...	air-temperature (°C)	2021-01-01T16:00...	2021-01-19T12:10...	true
2	C:\peirama2\Aegi...	AEGINA	WV_AEGINA	urn:ogc:def:sensor...	air-wind-velocity (...)	2021-01-01T00:10...	2021-01-19T02:30...	true
3	C:\peirama2\Aegi...	AEGINA	R_AEGINA	urn:ogc:def:sensor...	air-rainfall (mm)	2021-01-01T23:59...	2021-01-19T23:59...	true
4	C:\peirama2\hola...	-	-	-	-	-	-	false
5	C:\peirama2\Sfaki...	SFAKIA	T_SFAKIA	urn:ogc:def:sensor...	air-temperature (°C)	2021-01-01T02:00...	2021-01-19T10:10...	true
6	C:\peirama2\Sfaki...	SFAKIA	WV_SFAKIA	urn:ogc:def:sensor...	air-wind-velocity (...)	2021-01-01T08:40...	2021-01-19T05:40...	true
7	C:\peirama2\Sfaki...	SFAKIA	R_SFAKIA	urn:ogc:def:sensor...	air-rainfall (mm)	2021-01-01T23:59...	2021-01-19T23:59...	true

									Total Time: 00:00:30
									Total Sensor Systems added: 6
									Total fails: 1

**Σχήμα 4.10** Στιγμιότυπο εκτέλεσης του παραγωγού Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Περαιτέρω με ένα κλικ σε κάθε εμφανιζόμενη γραμμή του πίνακα μπορεί να έχει κανείς εποπτικότερη εμφάνιση των αποτελεσμάτων (Σχήμα 4.11):



**Σχήμα 4.11** Εποπτικότερη μορφή εμφάνισης δεδομένων εκχώρησης

Ας σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης στο System.out της Java εμφανίζονται διάφορες χρήσιμες πληροφορίες όπως οι κωδικοποιήσεις JSON των δεδομένων συστημάτων αισθητήρων και παρατηρήσεων που παράγονται για κάθε αρχείο κ.α. Ενδεικτικά παρατίθενται οι κωδικοποιήσεις JSON δεδομένων συστήματος αισθητήρα και δεδομένων παρατηρήσεων που παρήχθησαν για την περίπτωση του θερμοκρασιακού αισθητήρα για το αρχείο μετεωρολογικών δεδομένων της Αίγινας όπως εμφανίζονται στο System.out:

#### 4.8.1 Κωδικοποίηση JSON συστήματος αισθητήρων

```
{
  "system_id" : "T_AEGINA",
  "system" : "T_AEGINA",
  "description" : "temperature weather station sensor in Aegina",
  "keywords" : "weather, meteorological",
  "identification" : [ {
    "name" : "uniqueID",
    "definition" : "urn:ogc:def:identifier:OGC:uniqueID",
    "value" : "urn:ogc:def:procedure:x-istsos:1.0:T_AEGINA"
  } ],
  "classification" : [ {
    "name" : "System Type",
    "definition" : "urn:ogc:def:classifer:x-istsos:1.0:systemType",
    "value" : "insitu-fixed-point"
  },
  { "name" : "Sensor Type",
    "definition" : "urn:ogc:def:classifer:x-istsos:1.0:sensorType",
    "value" : "Weather station"
  } ],
  "characteristics" : "", "contacts" : [ ], "documentation" : [ ],
  "capabilities" : [ ],
  "location" : {
    "type" : "Feature",
    "geometry" : {
      "type" : "Point",
      "coordinates" : [ "23.443611111", "37.74805555555556", "7.0" ]
    },
    "crs" : {
      "type" : "name",
      "properties" : {
        "name" : "4326"
      }
    }
  },
  "properties" : {"name" : "AEGINA"}
},
"interfaces" : "",
"inputs" : [ ],
"outputs" : [ {
  "name" : "Time",
  "definition" : "urn:ogc:def:parameter:x-istsos:1.0:time:iso8601",
  "uom" : "iso8601",
  "description" : "",
  "constraint" : { }
}, {
  "name" : "air-temperature",
  "definition" : "urn:ogc:def:parameter:x-istsos:1.0:meteo:air:temperature",
  "uom" : "°C",
  "description" : "conversion from resistance to temperature",
  "constraint" : {
    "role" : "urn:ogc:def:classifiers:x-istsos:1.0:qualityIndex:check:reasonable",
    "interval" : [ "-40", "60" ]
  }
} ],
"history" : [ ]}
```

## 4.8.2 Κωδικοποίηση JSON δεδομένων παρατηρήσεων

```
{
  "AssignedSensorId" :
    "urn:ogc:def:sensor:x-istsos:1.0:00964f40abf511ebaa39000a4807fc93",
  "ForceInsert" : "true",
  "Observation" : {
    "name" : "T_AEGINA",
    "samplingTime" : {
      "beginPosition" : "2021-01-01T16:00:00.000000+0200",
      "endPosition" : "2021-01-19T12:10:00.000000+0200"
    },
    "result" : {
      "DataArray" : {
        "elementCount" : "19",
        "values" : [
          [ "2021-01-01T16:00:00.000000+0200", "15.9" ],
          [ "2021-01-01T23:20:00.000000+0200", "11.2" ],
          [ "2021-01-02T14:50:00.000000+0200", "16.1" ],
          [ "2021-01-02T08:00:00.000000+0200", "11.3" ],
          [ "2021-01-03T14:40:00.000000+0200", "18.7" ],
          [ "2021-01-03T04:00:00.000000+0200", "14.2" ],
          [ "2021-01-04T12:10:00.000000+0200", "18.6" ],
          [ "2021-01-04T00:00:00.000000+0200", "13.3" ],
          [ "2021-01-05T15:20:00.000000+0200", "16.4" ],
          [ "2021-01-05T08:10:00.000000+0200", "11.3" ],
          [ "2021-01-06T14:00:00.000000+0200", "17.1" ],
          [ "2021-01-06T07:30:00.000000+0200", "11.1" ],
          [ "2021-01-07T16:20:00.000000+0200", "17.7" ],
          [ "2021-01-07T03:00:00.000000+0200", "12.7" ],
          [ "2021-01-08T15:10:00.000000+0200", "20.5" ],
          [ "2021-01-08T06:50:00.000000+0200", "12.8" ],
          [ "2021-01-09T12:40:00.000000+0200", "22.1" ],
          [ "2021-01-09T23:10:00.000000+0200", "16.5" ],
          [ "2021-01-10T13:10:00.000000+0200", "22.9" ],
          [ "2021-01-10T02:50:00.000000+0200", "14.7" ],
          [ "2021-01-11T13:30:00.000000+0200", "25.6" ],
          [ "2021-01-11T00:10:00.000000+0200", "17.4" ],
          [ "2021-01-12T12:30:00.000000+0200", "22.0" ],
          [ "2021-01-12T00:00:00.000000+0200", "14.3" ],
          [ "2021-01-13T12:50:00.000000+0200", "15.5" ],
          [ "2021-01-13T07:00:00.000000+0200", "12.7" ],
          [ "2021-01-14T16:30:00.000000+0200", "13.2" ],
          [ "2021-01-14T07:30:00.000000+0200", "8.7" ],
          [ "2021-01-15T01:00:00.000000+0200", "13.7" ],
          [ "2021-01-15T07:10:00.000000+0200", "6.9" ],
          [ "2021-01-16T00:20:00.000000+0200", "8.6" ],
          [ "2021-01-16T12:00:00.000000+0200", "5.0" ],
          [ "2021-01-17T15:00:00.000000+0200", "6.3" ],
          [ "2021-01-17T07:30:00.000000+0200", "2.2" ],
          [ "2021-01-18T11:50:00.000000+0200", "6.0" ],
          [ "2021-01-18T00:10:00.000000+0200", "3.1" ],
          [ "2021-01-19T12:10:00.000000+0200", "8.7" ],
          [ "2021-01-19T06:30:00.000000+0200", "3.9" ] ],
        "field" : [ {
          "definition" : "urn:ogc:def:parameter:x-istsos:1.0:time:iso8601",
          "name" : "Time"
        } ],
      }, {
    }, {
```

```

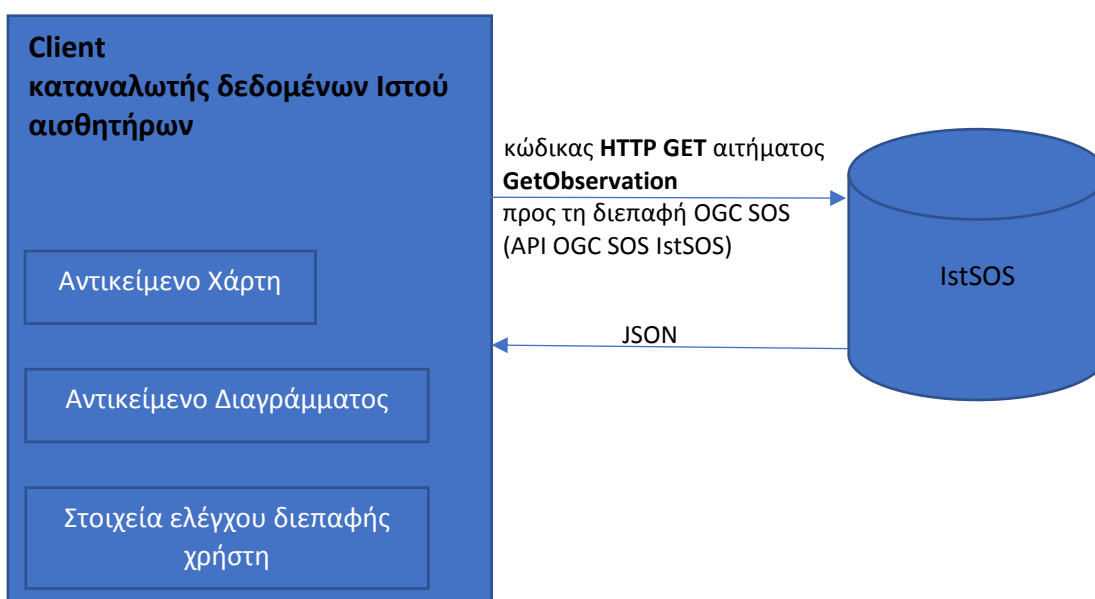
        "definition" : "urn:ogc:def:parameter:x-
istsos:1.0:meteo:air:temperature",
        "name" : "air-temperature",
        "uom" : "°C"
    } ]
}
},
"featureOfInterest" : {
    "name" : "urn:ogc:def:feature:x-istsos:1.0:Point:AEGINA"
},
"observedProperty" : {
    "component" : [ "urn:ogc:def:parameter:x-istsos:1.0:time:iso8601",
"urn:ogc:def:parameter:x-istsos:1.0:meteo:air:temperature" ],
    "CompositePhenomenon" : {
        "dimension" : "2",
        "name" : "timeSeriesOfObservations"
    }
},
"procedure" : "urn:ogc:def:procedure:x-istsos:1.0:T_AEGINA"
}
}
}

```



## 4.9 Η αρχιτεκτονική του καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Η εφαρμογή πελάτη καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε τροφοδοτείται κατ' απαίτηση από διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα που διατίθενται στο στιγμιότυπο υπηρεσίας που δημιουργήθηκε στο σύστημα IstSOS. Συγκεκριμένα με την επιλογή των επιθυμητών δεδομένων από στοιχεία διεπαφής χρήστη εκκινούνται υπολογιστικές διαδικασίες δημιουργίας χαρτογραφικής εμφάνισης καθώς και διαγράμματος χρονοσειρών μετεωρολογικών δεδομένων. Η αρχιτεκτονική του καταναλωτή Ιστού αισθητήρων απεικονίζεται στο Σχήμα 4.12.



**Σχήμα 4.12.** Η αρχιτεκτονική του καταναλωτή Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

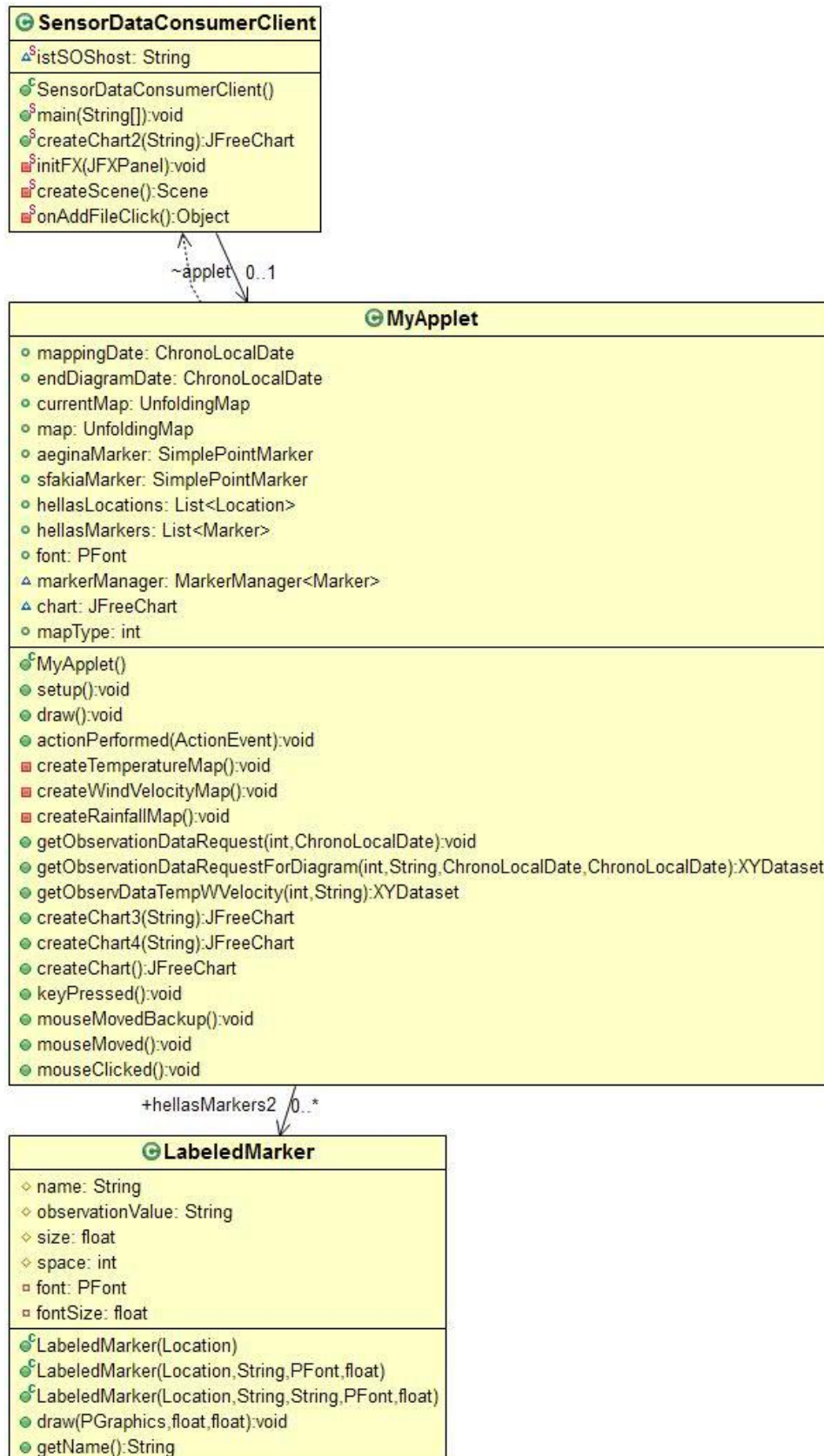
Η υλοποίηση του πελάτη καταναλωτή Ιστού αισθητήρων έγινε σε Java. Ειδικά για την εμφάνιση χάρτη αξιοποιήθηκε το λογισμικό συστατικό βιβλιοθήκης unfoldingmaps το οποίο εντοπίζεται στη διεύθυνση <http://unfoldingmaps.org/>. Η βιβλιοθήκη unfoldingmaps παρέχει λειτουργίες για δημιουργία χαρτογραφικών αναπαραστάσεων με διαδραστικές δυνατότητες και γενικά οπτικοποιήσεων γεωγραφικών δεδομένων στο περιβάλλον της Java. Για δε το διάγραμμα απεικόνισης χρονοσειρών μετεωρολογικών δεδομένων αξιοποιήθηκε η βιβλιοθήκη JFreeChart, η οποία επιτρέπει τη δημιουργία μιας μεγάλης ποικιλίας διαδραστικών και μη διαγραμμάτων. Η βιβλιοθήκη JFreeChart είναι ανοιχτού κώδικα. Περαιτέρω πληροφορίες παρέχονται στη ακόλουθη διεύθυνση:

<https://www.jfree.org/jfreechart/>.

Ο συνδυασμός μιας χαρτογραφικής αναπαράστασης και ενός διαγράμματος χρονοσειρών των φαινομένων που απεικονίζονται από την μια ως απεικονίζοντα στοιχεία στην οθόνη του υπολογιστή δύναται να παρέχουν μια συνολική διεπαφή χρήστη που με κατάλληλα προικισμένες διαδραστικές δυνατότητες και λειτουργίες δύναται να παρέχουν ένα περιβάλλον εξερεύνησης δεδομένων παρατηρήσεων Ιστού αισθητήρων χρήσιμο για πολλές καταστάσεις που χρήζουν τέτοιους είδους αναλυτικές πληροφορίες.

#### **4.10 Διάγραμμα κλάσεων UML καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων**

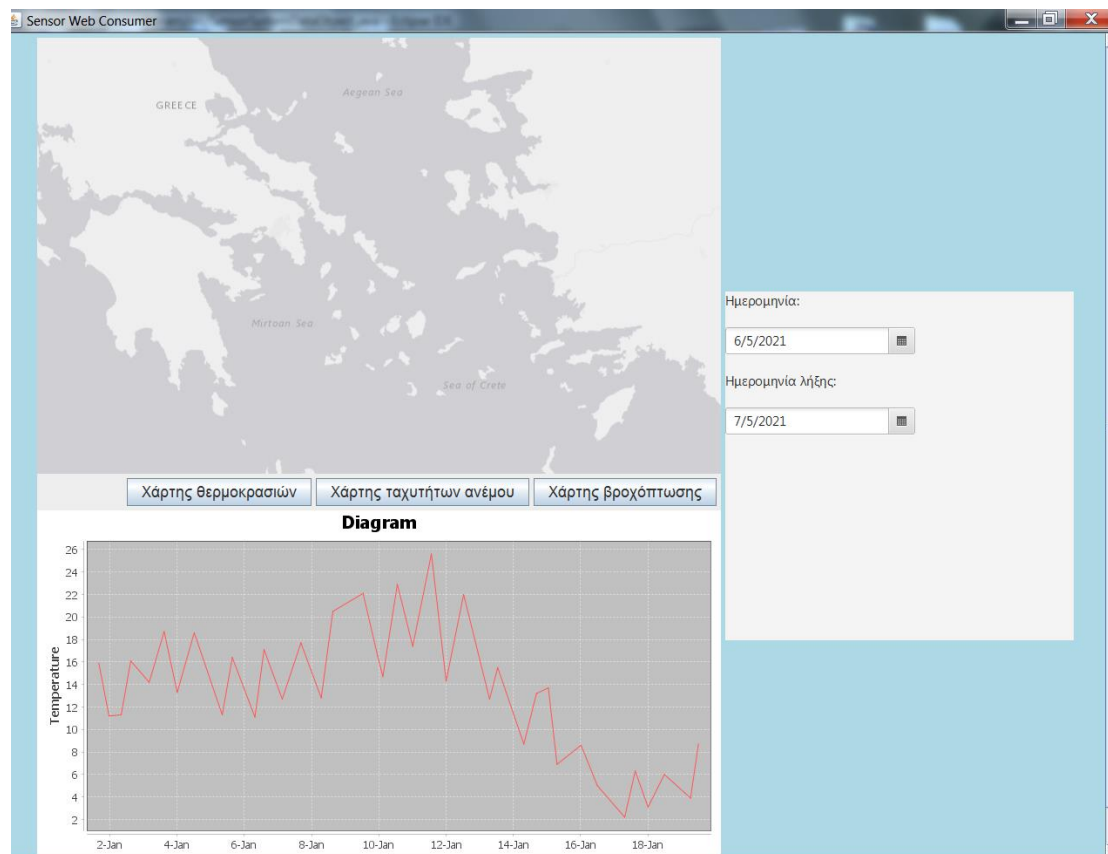
Ακολούθως φαίνεται το διάγραμμα κλάσεων UML του καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων όπως υλοποιήθηκε [Σχήμα 4.13]:



**Σχήμα 4.13** Διάγραμμα κλάσεων UML του καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

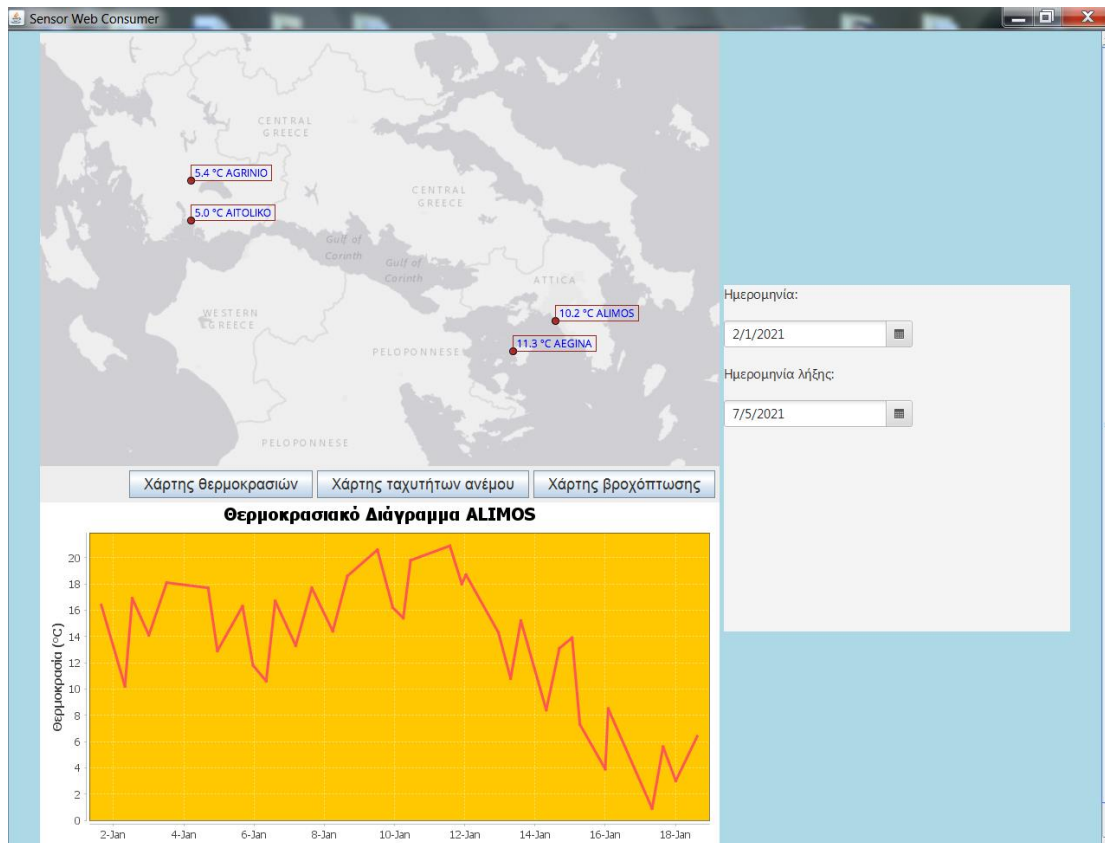
## 4.11 Καταναλωτής δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Εκτελώντας το κομμάτι της εφαρμογής SensorDataConsumerClient εμφανίζεται η οθόνη που φαίνεται στο Σχήμα 4.14.



**Σχήμα 4.14** Το περιβάλλον της εφαρμογής καταναλωτή δεδομένων Ιστού αισθητήρων που υλοποιήθηκε

Επιλέγοντας την ημερομηνία για την οποία υπάρχουν δεδομένα και κλικάροντας στη συνέχεια σε ένα από τα τρία κουμπιά κάτω από το χάρτη, εμφανίζεται χαρτογραφική παράσταση με τις θέσεις των αισθητήρων. Με τοποθέτηση του δείκτη του ποντικιού επί του σημείου του αισθητήρα εμφανίζονται οι μετρούμενες τιμές των αντίστοιχων ιδιοτήτων για κάθε χάρτη ενώ περαιτέρω με αριστερό κλικ εμφανίζεται στο διάγραμμα οπτικοποίηση της χρονοσειράς δεδομένων παρατηρήσεων μέχρι την ημερομηνία η οποία έχει τεθεί στο διαδραστικό στοιχείο 'ημερομηνία λήξης'. Επιπλέον πιέζοντας το κουμπί '1' στο πληκτρολόγιο σταθεροποιούνται οι μετρούμενες τιμές και το όνομα της τοποθεσίας του σταθμού αισθητήρων. Ένα στιγμιότυπο αποτελέσματος αυτής της διαδραστικής διαδικασίας φαίνεται ακολούθως στο Σχήμα 4.15.



**Σχήμα 4.15** Αποτέλεσμα διαδραστικής διαδικασίας του καταναλωτή Ιστού αισθητήρων

## 4.12 Κώδικας εφαρμογής

Ο κώδικας της εφαρμογής που υλοποιήθηκε διατίθεται στον Ιστό στο github repository <https://github.com/egoul2/ProducerAndConsumerClientToIstSOSservice>. Σε αυτόν τον σύνδεσμο βρίσκονται και ορισμένα datasets δηλ. αρχεία κειμένου μηνιαίας σύνοψης της meteo.gr.



## Κεφάλαιο 5

### Συμπεράσματα-Επίλογος

Με υπομονετική πράξη, αφοσίωση και καθολικιστική επίγνωση η πληροφορική τεχνολογία στοιχειωμένη από την περιβόητη φράση του Hilbert “Wir werden wissen wir müssen wissen” επιχειρεί ξανά να χτίσει κάτι ενιαίο καθολικό και συνεπές.

Δίπλα στο πρωτοεκκινηθέν καθολικό παιχνίδι της ανθρωποδιαδραστικής εφαρμογής που τροφοδοτεί τόσο και τόσο τον Ιστό με δεδομένα έφτασε πλέον και η εποχή της έλευσης και επέλασης των μηχανών ίσως ακόμα και με περισσότερο «παραλήρημα». Αυτούσια αυτών αποτυπώματα -αισθητήριων- πράξεων αλλά και -ενεργοποιητικών- προσφορών πυκνώνουν όλο και περισσότερο το γράφημα γειτνίασης του Ιστού κατακλύζοντας με μυριάδες δεδομένα τα συστήματα. Και επιπλέον αναμένεται μια παρόμοια πράξη από κάθε λογής τεχνούργημα και συσκευή.

Η συστημική ολοκλήρωση συστημάτων αισθητήρων και Ιστού αισθητήρων δύναται να παρέχει μοναδικά σύνολα δεδομένων λ.χ. για διαχείριση φυσικών κινδύνων όπως πλημμυρών κ.α. και ο Ιστός Αισθητήρων τα παρέχει με τόσο απτό και αποτελεσματικό τρόπο που δε θα γίνονταν διαθέσιμα με άλλο τρόπο. Το κομμάτι του Ιστού είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί είναι ουσιαστικά αυτό που κοινωνεί τα δεδομένα. Δηλ. τα δεδομένα μεταλαμβάνονται σε όλους τους συμμετέχοντες με την ίδια ευκολία. Τα ανοιχτά πρότυπα με μορφή πρότυπων μοντέλων δεδομένων και διεπαφών εφαρμογών καθιστούν εύκολη τη διάθεση και πρόσβαση σε δεδομένα αλλά και την ενοποίηση αυτών με άλλα δεδομένα. Ενδιαφερόμενοι – πολιτικοί, ερευνητές και άλλοι- θα έχουν ανά πάσα στιγμή πρόσβαση σε σημαντικές, χρονικά έγκυρες και ουσιαστικά αξιοποιήσιμες πληροφορίες.

Για την ανάλυση φυσικών κινδύνων -απαραίτητη διενεργούσα πράξη της πολιτείας προς επιφυλακή και προστασία του περιβάλλοντος και των πολιτών- απαιτούνται δίπλα στα βασικά, περιβαλλοντικά δεδομένα, ιστορικές καταγραφές αλλά και παροχές δεδομένων πραγματικού χρόνου περιβαλλοντικών μεταβλητών, κρίσιμα στοιχεία για τη σωστή μοντελοποίηση, εκτίμηση και πρόβλεψη επικείμενων καταστροφών με τις αναμενόμενες επιπτώσεις τους. Επομένως, η προσβασιμότητα σε δεδομένα παρακολούθησης χωρίς την ανάγκη κουραστικών, επιρρεπών σε σφάλματα και δαπανηρών λειτουργιών ολοκλήρωσης των δεδομένων είναι σίγουρα μια πράξη στόχος που πρέπει να επιδιώκεται. Ο «Ιστός αισθητήρων» στοχεύει στην ανάπτυξη ενός επιπέδου τυπικού προτύπου ολοκλήρωσης ικανού να εναρμονίσει τα πρωτόκολλα και τις διεπαφές των συστημάτων αισθητήρων ώστε να μειωθεί δραστικά το υψηλό κόστος εκτεταμένης προσπάθειας γεφύρωσης μεταξύ πόρων αισθητήρων και εφαρμογών.

Κλείνοντας ο χάρτης σε συνδυασμό με το διάγραμμα χρονοσειρών ιδιοτήτων φαινομένων σαν ενιαία οντότητα κοινωνίας δεδομένων Ιστού αισθητήρων είναι κάτι αρκετά συναρπαστικό. Ο συνδυασμός μιας χαρτογραφικής αναπαράστασης και ενός

διαγράμματος χρονοσειρών φαινομένων που απεικονίζονται από την μια ως απεικονίζοντα στοιχεία στην οθόνη του υπολογιστή δύναται να παρέχουν μια συνολική διεπαφή χρήστη που με κατάλληλα προικισμένες διαδραστικές δυνατότητες και λειτουργίες δύναται να παρέχουν ένα περιβάλλον εξερεύνησης δεδομένων και παρακολούθησης παρατηρήσεων Ιστού αισθητήρων χρήσιμο για πολλές καταστάσεις που χρήζουν τέτοιους είδους αναλυτικές πληροφορίες.

Είθε όλα να διατηρούνται, να αξιοποιούνται και να διακυβεύονται σε ισορροπία με ένα πνεύμα διαφωτισμού και ανθρωποκεντρικής ολοκλήρωσης.



## Βιβλιογραφία

[1] Gardner, Julian W., Vijay K. Varadan, "Microsensors, MEMS and smart devices", John Wiley & Sons, 2001.

[2] Duckham, Matt., "Decentralized Spatial Computing", Springer, 2012.

[3] Steve H.L. Liang, "Sensor networks", John Wiley & Sons, 2017

[4] Μερτίκας, Σ. Π., "Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας", Εκδοτικός Όμιλος Ίων, 1999

[5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_logger](https://en.wikipedia.org/wiki/Data_logger)

[6] Goulimis E.D., Spanaki M., Tsoulos L., "Context-based cartographic display on mobile devices", In LBS & TeleCartography, G. Gartner, Ed. Geowissenschaftliche Mitteilungen, vol. 66, 2003.

[7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Smartphone>

[8] Dust Networks Company website: <http://www.dustnetworks.com/>, 2009.

[9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>

[10] Anna Förster, "Introduction to wireless sensor networks", John Wiley & Sons, 2016

[11] Farooq, M.O., T. Kunz, "Operation Systems for Wireless Sensor Networks: A Survey", Sensors, 2011

[12] Mainwaring, A., D. Culler, J. Polastre, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, New York, ACM, 2002

[13] Tilak, S., N.B. Abu-Ghazaleh, W. Heinzelman, "A Taxonomy of Wireless Micro-sensor Network Models", ACM SIGMONILE Mobile Computing and Communications Review, 2002

[14] Anderson, C., "The long Tail: Why the Future of Business is Selling Less of More", Hyperion, New York, 2006

[15] Heidorn, P.B., "Shedding Light on the Dark Data in the Long Tail of Science", Library Trends, 2008

[16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor\\_web](https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_web)

- [17] Gibbons, P.B., B. Karp, Y. Ke, et al, "Irisner: An Architecture for a Worldwide Sensor Web", IEEE Pervasive Computing, 2003
- [18] Liang S.H.L., A. Croitoru, C.V. Tao, "A Distributed Geospatial Infrastructure for Sensor Web", Computers & Geoscience, 2005
- [19] Corcho, O., R. Garcia-Castro, "Five Challenges for the Semantic Sensor Web", Semantic Web, 2010
- [20] Bröring, A., J. Echterhoff, S. Jirka, et al., "New Generation Sensor Web Enablement", Sensors, 2011
- [21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Big\\_data](https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data)
- [22] Shvachko, K., H.Kuang, S. Radia, R. Chansler, "The Hadoop Distributed File System.", Proceedings of IEEE 26th Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST), 1-10, New York: IEEE, 2010
- [23] Marz, N., J. Warren, "Big Data: Principles and Best Practices of Scalable Real-Time Data Systems", New York: Manning Publications, 2015
- [24] Huang, C.Y., "GeoPubHub: A Geospatial Publish/Subscribe Architecture for the World-Wide Sensor Web", PhD diss., University of Calgary, 2014
- [25] Sheth, A., C. Henson, S.S. Sahoo, "Semantic Sensor Web", IEEE Internet Computing, 2008
- [26] Valentine, D., P. Taylor, I. Zaslavsky, WaterML, "An Information Standard for the Exchange of In-Situ Hydrological Observations", In EGU General Assembly Conference Abstracts, vol 14, 2012
- [27] Jirka, S., A. Bröring, C. Stasch, "Discovery Mechanisms for Sensor Web", Sensors, 2009
- [28] Liang, S.H.L., C.Y. Huang, "GeoCENS: A Geospatial Cyberinfrastructure for the Word Wide Sensor Web", Sensors, 2013
- [29] Rezel, R., S.H.L. Liang, "A Folksonomy Based Recommendation System for the Sensor Web", Proceedings of Web and Wireless Geographical Information Systems, Berlin: Springer, 2011
- [30] Porter, M. E., J.E. Heppelmann, "How Smart, Connected Products Are Transforming Compettion", Harvard Business Review, 2014
- [31] Gubbi, J., R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions", Future Generation Computer Systems, 2013

- [32] Jazayeri, M.A., C.Y. Huang, S.H.L. Liand, “TinySOS: Design and Implementation of Interoperable and Tiny Web Service for the Internet of Things.”, Proceeding of the First ACM SIGSPATIAL Workshop on Sensor Web Enablement, New York, ACM, 2012
- [33] Liang, S.H.L., C.Y. Huang, T. Khalafbeigi, “OGC SensorThings API”, <https://github.com/opengeospatial/sensorthings>, 2015
- [34] <https://en.wikipedia.org/wiki/Folksonomy>
- [35] Bröring, A., J. Echterhoff, S. Jirka, et al., “New Generation Sensor Web Enablement.”, Sensors, 2011.
- [36] Percivall, G., “OGC SWE Implementation Maturity Engineering Report.”, Document OGC, <https://portal.opengeospatial.org/>, 2013
- [37] <https://www.ogc.org/node/698>, περί SWE
- [38] <http://www.opengeospatial.org>
- [39] [https://en.wikipedia.org/wiki/Open\\_Geospatial\\_Consortium](https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Geospatial_Consortium)
- [40] OGC® document: 10-025r1, “Observations and Measurements - XML Implementation”, <http://portal.opengeospatial.org/files/41510> (accessed), 2011
- [41] OGC® document: 15-100r1, “OGC Observations and Measurements – JSON implementation”, <http://www.opengis.net/doc/dp/om-json/>, 2015
- [42] OGC® document: 12-000r2, “OGC SensorML: Model and XML Encoding Standard”, <http://docs.opengeospatial.org/is/12-000r2/12-000r2.html>, Editors: Mike Botts, Alexandre Robin, Eric Hirschorn, 2020
- [43] OGC® document: 12-000, “Model and XML Encoding Standard”, <http://www.opengis.net/doc/IS/SensorML/2.0>, Editor: Mike Botts, 2014
- [44] OGC® document: 17-011r2, “JSON Encoding Rules SWE Common/SensorML”, <http://www.opengis.net/doc/BP/SWE-JSON/1.0>, Editors: Alex Robin, 2018
- [45] OGC® document: 08-094r1, “OGC® SWE Common Data Model Encoding Standard”, <http://www.opengis.net/doc/IS/SWE/2.0>, Editor: Alexandre Robin, 2011
- [46] OGC® document: 12-006, “OGC® Sensor Observation Service Interface Standard”, <http://www.opengis.net/doc/IS/SOS/2.0>, Editors: Arne Bröring (52°North), Christoph Stasch (IfGI), Johannes Echterhoff (iGSI), 2012
- [47] OGC® document: 09-025r2, “OGC® Web Feature Service 2.0 Interface Standard – With Corrigendum” <http://www.opengis.net/doc/IS/wfs/2.0.2>, Editor: Panagiotis (Peter) A. Vretanos, 2014

[48] OGC® document: 09-000, “OGC® Sensor Planning Service Implementation Standard”, <http://www.opengis.net/doc/IS/SPS/2.0>, Editor(s): Ingo Simonis, Johannes Echterhoff, 2011

[49] <https://el.wikipedia.org/wiki/XML>

[50] <https://el.wikipedia.org/wiki/JSON>

[51] Bogunuva Mohanram Balachandar, “Restful Java Web Services, Third Edition: A pragmatic guide to designing and building RESTful APIs using Java”, Packt, 2017

[52] [https://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated\\_values](https://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values)

[53] Tutorial, WORKSHOP “All you need to know to manage your sensor observation with istSOS Exploring the Sensor Observation Service Standard Enhanced by istSOS”,

[54] M. Cannata, M. Antonovic, M. Molinari & M. Pozzoni, istSOS, “a new sensor observation management system: software architecture and a real-case application for flood protection”, Taylor & Francis, 2015

[55] <https://www.supsi.ch/ist>

[56] <http://istsos.org/>

[57] <https://el.wikipedia.org/wiki/PostgreSQL>

[58] <https://en.wikipedia.org/wiki/PostGIS>

[59] [https://el.wikipedia.org/wiki/Apache\\_HTTP](https://el.wikipedia.org/wiki/Apache_HTTP)

[60] [https://en.wikipedia.org/wiki/Mod\\_wsgi](https://en.wikipedia.org/wiki/Mod_wsgi)

[61] <https://en.wikipedia.org/wiki/GDAL>

[62] Mehran Habibi, “Java Regular Expressions: Taming the java.util.regex Engine” , Apress, 2004

[63] [https://el.wikipedia.org/wiki/Εξηνταδικό\\_σύστημα\\_αρίθμησης](https://el.wikipedia.org/wiki/Εξηνταδικό_σύστημα_αρίθμησης)

[64] [https://en.wikipedia.org/wiki/ISO\\_8601](https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_8601)

[65] [https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\\_low\\_energy\\_beacon](https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy_beacon)

[66] <https://el.wikipedia.org/wiki/RFID>