



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μελέτη, Σχεδιασμός και Υλοποίηση Μηχανισμών Διαχείρισης Οντοτήτων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΡΦΕΥΣ Γ. ΒΟΥΤΥΡΑΣ

Επιβλέπουσα : Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μελέτη, Σχεδιασμός και Υλοποίηση Μηχανισμών Διαχείρισης Οντοτήτων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΡΦΕΥΣ Γ. ΒΟΥΤΥΡΑΣ

Επιβλέπουσα : Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 24 / 07 / 2018.

.....
Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

.....
Ορφεύς Γ. Βουτυράς

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

Copyright © Ορφεύς Γ. Βουτυράς, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Το όραμα του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι ιδιαίτερα υποσχόμενο, αλλά για να υλοποιηθεί απαιτεί τη σύμπραξη πολλών φορέων, και κυρίως της ερευνητικής κοινότητας, η οποία πρέπει να αντιμετωπίσει προβλήματα που εμπλέκουν όλες σχεδόν τις γνωστικές περιοχές. Σήμερα, η έρευνα για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι ακόμα στα σπάργανα, το τοπίο είναι αρκετά θολό και θα μπορούσαμε να πούμε ότι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων διανύει ίσως την πιο κρίσιμη δεκαετία του.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, σχεδιασμός και υλοποίηση ενός πλαισίου για τη διαχείριση οντοτήτων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος COSMOS, με έμφαση στην απόκτηση και διανομή εμπειρίας εκ μέρους των οντοτήτων και απότερο στόχο την αυτοδιαχείρισή τους.

Αρχικά, γίνεται προσπάθεια διεύθυνσης στο όραμα του Διαδικτύου των Πραγμάτων, με μελέτη των βασικών χαρακτηριστικών του και αναφορά σε όλες εκείνες τις τεχνολογίες που μπορούν να το υποστηρίξουν. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση της τρέχουσας τεχνολογικής κατάστασης και επισημαίνονται οι νέες προκλήσεις και περιοχές έρευνας.

Τέλος, παρουσιάζεται μια εννοιολογική άποψη του προτεινόμενου πλαισίου διαχείρισης οντοτήτων και μια υπόθεση εργασίας για τη διευκρίνιση της λειτουργικότητάς του.

Λέξεις Κλειδιά: Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Αυτοδιαχείριση IoT Οντοτήτων, Έξυπνες Οντότητες, Γνωστικό IoT

Abstract

The vision of the Internet of Things is particularly promising, but its realization requires the involvement of many parts, and mainly of the research community, which should, in turn, encounter problems involving almost all cognitive areas. Today, research on the Internet of Things (IoT) is still in its infancy, the landscape is quite hazy and we could say that the Internet of Things might be going through the most critical decade.

The purpose of this thesis is the study, design and implementation of a framework for managing entities in the Internet of Things, in the context of the European research project COSMOS, with an emphasis on obtaining and sharing of experience on behalf of the entities and ultimate goal that of their self-management.

Initially, there is an attempt to infiltrate in the vision of the Internet of Things by studying its key characteristics and referencing in all the technologies that could support it. Then, there follows a state-of-the-art analysis as well as the identification of new potential challenges and research areas.

Finally, we present a conceptual view of the proposed entities management framework and a case study for the explanation of its functionality.

Key Words: Internet of Things, IoT Self-Management, Smart Objects, Cognitive IoT

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής. Ωστόσο, η πραγματοποίησή της δε θα ήταν εφικτή χωρίς την καθοριστική βοήθεια κάποιων ανθρώπων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια Ε.Μ.Π. και επιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Θεοδώρα Βαρβαρίγου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα τόσο σύγχρονο και ταυτόχρονα ενδιαφέρον αντικείμενο και για την αμέριστη εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Δημοσθένη Κυριαζή για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του, καθώς και τους Δρ. Σπυρίδωνα Γωγουβίτη και Αχιλλέα Μαρινάκη για την άριστη συνεργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αγάπη και στήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ορφεύς Βουτυράς

Ιούλιος 2018

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Ορισμοί για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....	2
1.2	Τα «Πράγματα»	5
1.3	Το όραμα για το IoT	7
1.4	Γενικά Χαρακτηριστικά του IoT	11
1.4.1	Χαρακτηριστικά του δικτύου του IoT	11
1.4.2	Χαρακτηριστικά των Πραγμάτων.....	13
1.5	Πεδία Εφαρμογών του IoT και Οφέλη	17
1.6	Τι θα επακολουθήσει;	21
1.7	Το όραμα του Διαδικτύου του Μέλλοντος	22
2	IoT τεχνολογίες και Προκλήσεις	25
2.1	Τεχνολογίες Ταυτοποίησης.....	25
2.2	Τεχνολογίες Αρχιτεκτονικής.....	30
2.3	Τεχνολογίες Δικτύου.....	32
2.4	Τεχνολογίες Ανακάλυψης Δικτύου.....	33
2.5	Τεχνολογίες Διαχείρισης Σχέσεων Δικτύου	34
2.6	Τεχνολογίες Επικοινωνιών	35
2.7	Τεχνολογίες Ανακάλυψης και Μηχανές Αναζήτησης.....	37
2.8	Τεχνολογία Επεξεργασίας Δεδομένων και Σήματος	40
2.9	Λογισμικό και αλγόριθμοι	42
2.10	Ενδιάμεσο Λογισμικό	43
2.11	Ενημερότητα Συμφραζομένων	44
2.12	Διάχυτη Νοημοσύνη	47
2.13	Αυτόνομος Υπολογισμός (Autonomic Computing)	49
2.14	Τεχνολογία Υπολογιστικού Νέφους.....	52
3	Τρέχουσα Τεχνολογική Κατάσταση	55
3.1	Τεχνολογίες Ταυτοποίησης.....	55

3.2	Τεχνολογίες Αρχιτεκτονικής.....	57
3.3	Υπηρεσιοστραφείς Αρχιτεκτονικές και Υπηρεσίες Ιστού.....	61
3.4	Τεχνολογίες Ανακάλυψης Δικτύου.....	63
3.5	Αυτονομία και Αυτοδιαχείριση	65
3.6	Μεγάλα Δεδομένα.....	69
3.7	Τεχνολογίες Σηματολογικού Ιστού	71
3.8	Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων.....	73
3.9	Έργα που συνεισφέρουν στη διαχείριση IoT οντοτήτων.....	75
4	Προτεινόμενο Πλαίσιο Διαχείρισης IoT Οντοτήτων.....	77
4.1	Βασικές Έννοιες του Πλαισίου.....	78
4.2	Συστατικά Μέρη Πλαισίου και Μηχανισμοί	81
4.2.1	Επίπεδο Εικονικών Οντοτήτων	82
4.2.2	Επίπεδο Αιτήσεων Εφαρμογών	85
4.2.3	Λήψη Αποφάσεων	86
4.2.4	Αξιολόγηση Συνεισφερόντων.....	87
4.2.5	Πρόβλεψη Εξέλιξης Ομάδων ΕΟ	87
4.2.6	Εκτίμηση Εξέλιξης Ομάδων ΕΟ.....	88
4.2.7	Παρακολούθηση Εικονικών Οντοτήτων	88
4.2.8	Αναγνώριση Συμβάντων.....	89
4.2.9	Εκτίμηση Επίδρασης Συμβάντων	90
4.3	Ενδεικτικό Σενάριο Χρήσης Πλαισίου.....	93
	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	99
	Βιβλιογραφία	101

1 ***Εισαγωγή***

Ο όρος *Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT)* άρχισε τη ζωή του ως τίτλος μιας παρουσίασης που έκανε ο Βρετανός πρωτοπόρος της τεχνολογίας Kevin Ashton στην Procter & Gamble (P&G) το 1999. Ο Ashton ανέπτυξε παγκόσμια πρότυπα για την *ταυτοποίηση ραδιοσυχνοτήτων (Radio-Frequency Identification - RFID)* και αργότερα συνεργάστηκε με την P&G για την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στην εφοδιαστική αλυσίδα της [1]. Η έννοια του IoT προωθήθηκε μέσω του Auto-ID Center στο MIT [2]. Στο πρώιμο αυτό στάδιο, το RFID θεωρήθηκε ως προϋπόθεση για το IoT. Αργότερα, ο όρος IoT καθιερώθηκε επισήμως από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU) το 2005 [3].

Ανάλογα με το συνομιλητή ή την πηγή πληροφορίας, διακρίνουμε ότι υπάρχει διαφορετική αντίληψη για το τι εκφράζει ακριβώς το IoT. Ορισμένοι τονίζουν πρώτα και κύρια τις τεχνικές πτυχές του, κάτι που το καθιστά δυσνόητο για τους μη ειδικούς, άλλοι επικεντρώνονται περισσότερο στις χρήσεις και λειτουργίες του, και κάποιοι δημιουργούν ακόμη και σενάρια επιστημονικής φαντασίας. Ωστόσο, όλοι αντιλαμβάνονται το IoT ως ένα παγκόσμιο δίκτυο που θα συνδέει δισεκατομμύρια συσκευές και θα επηρεάσει σημαντικά τη ζωή μας τα αμέσως επόμενα χρόνια. Και σχεδόν όλοι συμφωνούν ότι το IoT θα είναι μια βασική πτυχή του *Διαδικτύου του Μέλλοντος (Future Internet)*.

1.1 Ορισμοί για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Σήμερα, η έρευνα για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι ακόμα στα σπάργανα, το τοπίο είναι αρκετά θολό και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν τυποποιημένοι ορισμοί. Διάφοροι ορισμοί διατυπώνονται από διάφορους ερευνητές και συμπληρώνονται σταδιακά με πιο προχωρημένα χαρακτηριστικά.

Ίσως, σε πρώτη προσέγγιση, η πιο ασφαλής οδός που μπορούμε να ακολουθήσουμε είναι η συμβουλή ορισμών που έχουν προκύψει από προγράμματα μεγάλου βεληνεκούς, τα οποία βασίστηκαν σε διεθνείς συνεργασίες. Ακολουθούν ορισμοί λοιπόν από δύο ευρωπαϊκά προγράμματα πάνω στο πεδίο του IoT που, αν και δεν είναι απαραίτητα «σωστοί» ή πλήρεις, τουλάχιστον είναι αντιπροσωπευτικοί και δίνουν μια πρώτη ιδέα για το αντικείμενο. Τα προγράμματα αυτά είναι το *EpoSS (European Platform on Smart Systems Integration)* που αποτελεί μια *Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Τεχνολογίας (European Technology Platform - ETP)* [4] και το *CASAGRAS (Coordination and Support Action for Global RFID-related Activities and Standardisation)* [5]. Να αναφερθεί σε αυτό το σημείο πως το CASAGRAS έχει ως στόχο την παροχή ενός πλαισίου θεμελιωδών μελετών για να υποστηρίξει την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την παγκόσμια κοινότητα στον καθορισμό και την υποδοχή διεθνών ζητημάτων και εξελίξεων που αφορούν την αναγνώριση ραδιοσυχνότητας (RFID), με ιδιαίτερη αναφορά στο αναδύμενο «Διαδίκτυο των Πραγμάτων», περιμένουμε λοιπόν ο ορισμός που δίνει να είναι αρκετά κατατοπιστικός.

ETP EPoSS

“Το δίκτυο που σχηματίζεται από τα πράγματα / αντικείμενα που έχουν ταυτότητες, εικονικές προσωπικότητες και που λειτουργούν σε έξυπνους χώρους, χρησιμοποιώντας ευφρείς διαπαφές για σύνδεση και επικοινωνία με τους χρήστες, καθώς και κοινωνικά και περιβαλλοντικά πλαίσια.”

CASAGRAS

“Μια παγκόσμια υποδομή δικτύου που συνδέει φυσικά και εικονικά αντικείμενα μέσω της αξιοποίησης δυνατοτήτων σύλληψης δεδομένων και επικοινωνίας. Η εν λόγω υποδομή περιλαμβάνει υπάρχουσες αλλά και αναπτυσσόμενες εξελίξεις στον τομέα του Διαδικτύου (Internet) και των δικτύων. Θα προσφέρει συγκεκριμένη ταυτοποίηση αντικείμενων, αισθητήρες και δυνατότητες σύνδεσης ως βάση για την ανάπτυξη ανεξάρτητων συνεργάσιμων υπηρεσιών και εφαρμογών. Αυτές θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό αυτόνομης συλλογής δεδομένων, μεταφορά συμβάντων, δικτυακή συνδεσιμότητα και διαλειτουργικότητα.”

Τέλος, ένας πιο εκτενής ορισμός του IoT είναι αυτός που δόθηκε από το *CERP - IoT (Cluster of European Research Projects - IoT)* [6]:

“Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του Διαδικτύου του Μέλλοντος και θα μπορούσε να οριστεί ως μια δυναμική παγκόσμια υποδομή δικτύου με δυνατότητες αυτορρύθμισης, η οποία βασίζεται σε πρότυπα και διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και όπου τα φυσικά και εικονικά «πράγματα» έχουν ταυτότητες, φυσικές ιδιότητες και εικονικές προσωπικότητες, χρησιμοποιούν ευφυείς διεπαφές και είναι ενσωματωμένα στο δίκτυο πληροφοριών. Στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, τα «πράγματα» αναμένεται να γίνουν ενεργοί συμμετέχοντες στις επιχειρήσεις και τις κοινωνικές διεργασίες, να έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον με την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών, να έχουν αίσθηση του περιβάλλοντος και να αντιδρούν αυτόνομα σε συμβάντα του πραγματικού / φυσικού κόσμου, επηρεάζοντας τον με την ενεργοποίηση δράσεων και τη δημιουργία υπηρεσιών με ή χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση. Διασυνδέσεις με τη μορφή υπηρεσιών διευκολύνουν αλληλεπιδράσεις με αυτά τα «έξυπνα πράγματα» μέσω του Διαδικτύου, τους υποβάλλουν ερωτήματα και αλλάζουν την κατάστασή τους και τις πληροφορίες που συνδέονται με αυτά, λαμβάνοντας υπόψη θέματα ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής.”

Όλοι οι παραπάνω ορισμοί μάς επιτρέπουν να αποκτήσουμε μια πρώτη εικόνα για το τι είναι το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων».

Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι για τη μετάφραση της φράσης “Internet of Things” δεν υπάρχει ακόμη κάποια συμφωνία στην απόδοση του όρου “Things” στα ελληνικά. Οι δύο επικρατέστεροι όροι που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι «Πράγμα» ή «Αντικείμενο». Θα προτιμήσουμε όμως (και θα προτείνουμε) τον όρο «Πράγμα» από τον όρο «Αντικείμενο», καθώς το «Αντικείμενο» χρησιμοποιείται ως μετάφραση του «object» (βλ. αντικειμενοστραφής [object-oriented] προγραμματισμός). Ο όρος «Αντικείμενο», λοιπόν, έχει ήδη δεσμευτεί σε μεγάλο βαθμό, οπότε, ακόμη και αν ακούγεται πιο «φτωχή» η λέξη «πράγμα», καλύτερα να την προτιμήσουμε.

1.2 Τα «Πράγματα»

Η σημασιολογική προέλευση της έκφρασης «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» αποτελείται από δύο έννοιες: διαδίκτυο και πράγμα, όπου το Διαδίκτυο μπορεί να οριστεί ως το παγκόσμιο δίκτυο των διασυνδεδεμένων δικτύων υπολογιστών, που βασίζεται σε ένα πρότυπο πρωτόκολλο επικοινωνίας, το Internet suite (TCP / IP), ενώ πράγμα είναι κάτι μη επακριβώς προσδιορισμένο. Ως εκ τούτου, σημασιολογικά, Διαδίκτυο των Πραγμάτων σημαίνει ένα παγκόσμιο δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων μοναδικά προσπελάσιμων, με βάση τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Είναι σημαντικό όμως να αποσαφηνίσουμε τον όρο «πράγμα».

Στο φιλοσοφικό του έργο «Κατηγορίες», ο Αριστοτέλης επιδιώκει να ταξινομήσει το σύνολο των λέξεων-εννοιών με τις οποίες περιγράφουμε τον Κόσμο. Αναφέρει τις εξής 10 κατηγορίες: υπόσταση (**οὐσία**), ποσότητα (**ποσόν**), ποιότητα (**ποιόν**), σχέση (**πρός τι**), χώρος (**πού**), χρόνος (**πότε**), θέση (**κεῖσθαι**), κατάσταση (**ἔχειν**), ενέργεια (**ποιεῖν**), πάθημα (**πάσχειν**). Παραδείγματα για κάθε κατηγορία μπορούν να βρεθούν στο πρωτότυπο:

“ὧν κατὰ μηδεμίαν συμπλοκὴν λεγομένων ἕκαστον ἦτοι οὐσίαν σημαίνει ἢ ποσὸν ἢ ποιὸν ἢ πρὸς τι ἢ πού ἢ ποτέ ἢ κείσθαι ἢ ἔχειν ἢ ποιεῖν ἢ πάσχειν. ἔστι δὲ **οὐσία** μὲν ὡς τύπων εἰπεῖν οἶον ἄνθρωπος, ἵππος· **ποσόν** δὲ οἶον δίπηχυ, τρίπηχυ **ποιόν** δὲ οἶον λευκόν, γραμματικόν· **πρὸς τι** δὲ οἶον διπλάσιον, ἥμισυ, μείζον **πού** δὲ οἶον ἐν Λυκείῳ, ἐν ἀγορᾷ **πότε** δὲ οἶον χθές, πέρυσιν **κεῖσθαι** δὲ οἶον ἀνάκειται, κάθηται· **ἔχειν** δὲ οἶον ὑποδέδεται, ὥπλισται· **ποιεῖν** δὲ οἶον τέμνειν, καίειν **πάσχειν** δὲ οἶον τέμνεσθαι, καίεσθαι.”

Φυσικά, αυτός ο διαχωρισμός των εννοιών δεν παρουσιάζεται επειδή είναι απαραίτητα «σωστός» (και σίγουρα όχι επειδή προέρχεται από αρχαίο Έλληνα), καθώς έχουν υπάρξει και άλλα έργα πάνω στο ίδιο αντικείμενο, τα οποία διαφοροποιούνται αρκετά από αυτή την ταξινόμηση (για παράδειγμα, για τον Kant οι κατηγορίες είναι δώδεκα), αλλά επειδή μπορεί να λειτουργήσει ως μια πρώτη βάση για την περιγραφή των «πραγμάτων». Άλλωστε, δεν μας ενδιαφέρει ένας φιλοσοφικά σωστός διαχωρισμός, αλλά ένας πρακτικά λειτουργικός διαχωρισμός. Είναι σημαντικό όμως να αναφέρουμε αυτό το σημείο ούτως ή άλλως, καθώς θα

κληθούμε στη συνέχεια, στα πλαίσια του IoT, να περιγράψουμε τα «Πράγματα» και να παρουσιάσουμε και να ταξινομήσουμε κάποιες βασικές ιδιότητες τους.

Από τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η λέξη πράγμα δεν είναι απαραίτητο να περιορίζεται στα υλικά πράγματα, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και σε εικονικά πράγματα και σε γεγονότα που συνδέονται με αυτά.

Στο πλαίσιο του IoT, ένα «πράγμα» θα μπορούσε να οριστεί ως μια πραγματική / φυσική ή ψηφιακή / εικονική οντότητα με κάποια χαρακτηριστικά, που υπάρχει και κινείται μέσα στο χώρο και το χρόνο, είναι ικανή να εντοπιστεί και γενικά αλληλεπιδρά με το περιβάλλον της. Τα «πράγματα» συνήθως ταυτοποιούνται είτε με ειδικούς αριθμούς αναγνώρισης είτε με ονόματα ή/και διευθύνσεις τοποθεσιών. Όλες οι φυσικές οντότητες (άτομα, ομάδες, κοινότητες, αντικείμενα, προϊόντα) αλλά και οι ψηφιακές (δεδομένα, υπηρεσίες, διαδικασίες) θα συνδέονται με το IoT.

Ως φυσικά πράγματα δεν θεωρούμε μόνον παραδοσιακές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα και υπολογιστές. Με τους αισθητήρες και τις τεχνολογίες προσδιορισμού ραδιοσυχνότητας RFID, όλα μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, συμπεριλαμβανομένων ανθρώπων, αυτοκινήτων, σπιτιών, ιατρικών συσκευών, καταναλωτικών προϊόντων όλων των τύπων κ.τ.λ.

Ήδη σήμερα, ο αριθμός των αντικειμένων που συνδέονται με το Διαδίκτυο υπερβαίνει τα 12 δισεκατομμύρια, και μόνο μια μειοψηφία από αυτά είναι έξυπνα κινητά και υπολογιστές. Το IoT αναμένεται να αυξηθεί σε 100 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές στα επόμενα 5-10 χρόνια.

Τα «πράγματα» στο IoT θα επηρεάζουν το ένα το άλλο ανάλογα με τις λειτουργικές δυνατότητες τους (π.χ. επεξεργαστική υπολογιστική ισχύς, συνδεσιμότητα δικτύου, διαθέσιμη ενέργεια), και με το πλαίσιο στο οποίο λειτουργούν και τις καταστάσεις τους (χρόνος, χώρος κ.τ.λ.), ενώ θα συμμετέχουν ενεργά σε διαφορετικές διαδικασίες.

Εφόσον καλύψαμε τους δύο βασικούς ορισμούς που αφορούν το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων», για λόγους συντομίας θα αναφερόμαστε σε αυτό με τον αγγλικό όρο IoT. Για τα “Things” φυσικά θα συνεχίσουμε να χρησιμοποιούμε τον όρο «Πράγματα».

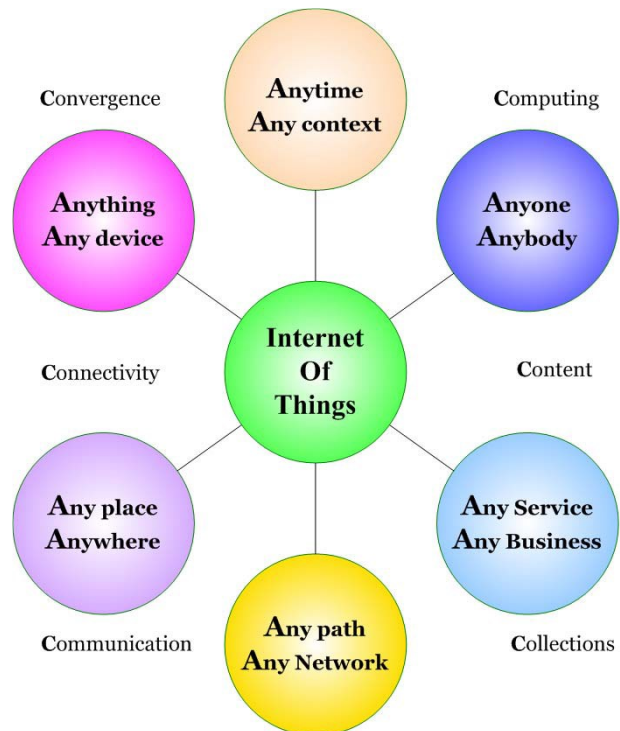
1.3 Το όραμα για το IoT

Από τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει και το όραμα του IoT (άλλωστε, οι περισσότεροι από αυτούς βασίστηκαν πάνω στην περιγραφή του οράματος). Το IoT θα επιτρέπει σε ανθρώπους και πράγματα να συνδεθούν *Οποτεδήποτε, Οπουδήποτε, με Οτιδήποτε και Οποιονδήποτε*, ιδανικά με τη χρήση *Κάθε Διαδρομής / Δικτύου και Κάθε Υπηρεσίας*.

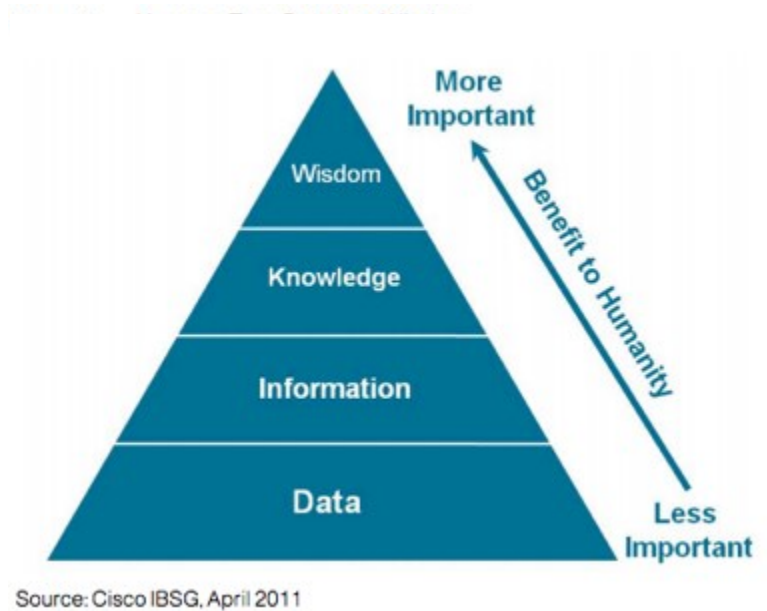
Το IoT είναι μια επικάλυψη των ψηφιακών πληροφοριών πάνω από το φυσικό κόσμο, δηλαδή το IoT αφορά μια συμβιωτική αλληλεπίδραση μεταξύ του πραγματικού / φυσικού και του ψηφιακού / εικονικού κόσμου,

καθώς φυσικές οντότητες έχουν ψηφιακές ομολόγους και εικονική αναπαράσταση. Τα «πράγματα» διαθέτουν *ενημερότητα συμφραζομένων (context –awareness)* και μπορούν να αισθάνονται, να επικοινωνούν, να αλληλεπιδρούν, να ανταλλάσσουν δεδομένα, πληροφορία και γνώση. Ακριβώς όπως υπάρχει επικοινωνία πρόσωπο με πρόσωπο, υπάρχει επικοινωνία *μηχανή με μηχανή (Machine-to-Machine - M2M)*. Το IoT συνδυάζει λοιπόν τον ψηφιακό κόσμο και τον φυσικό κόσμο, φέρνοντας διαφορετικές έννοιες και τεχνικά στοιχεία μαζί (διάχυτα δίκτυα, σμίκρυνση των συσκευών, κινητή επικοινωνία), καθώς και νέα μοντέλα για τις επιχειρηματικές διαδικασίες.

Το IoT θα οδηγήσει σε βελτιστοποίηση διαδικασιών, βελτιστοποίηση κατανάλωσης πόρων και αυτόνομα συστήματα και θα δώσει ώθηση σε εντελώς νέες εφαρμογές. Αν θεωρήσουμε ότι τα πάντα έχουν ή μπορεί να έχουν μέσω αισθητήρων τη δυνατότητα να συνδεθούν στο IoT, μπορούμε να φανταστούμε τους τεράστιους όγκους δεδομένων που θα συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο. Το όραμα του IoT είναι αυτά τα δεδομένα να υφίστανται ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και να μετουσιώνονται σε γνώση. Τα δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν ως πρώτες πληροφορίες που προέρχονται από τους αισθητήρες, ενώ η γνώση είναι πληροφορίες που



ενοποιούνται στο ιστορικό τους πλαίσιο και όχι παροδικά δεδομένα. Για παράδειγμα, η πληροφορία ότι ένας δρόμος είναι σήμερα αποκλεισμένος από ένα μπουτιλιάρισμα αποτελεί γνώση. Αυτή η πληροφορία προέρχεται από την ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων που βρίσκονται μέσα και γύρω από αυτό το συγκεκριμένο δρόμο. Στην ουσία, η γνώση είναι πιο επαναχρησιμοποιήσιμη από τα ακατέργαστα δεδομένα και πιο σταθερή στο χρόνο. Είναι, επίσης, προφανές ότι παρουσιάζει μεγαλύτερη αξία για ένα χρήστη.



Μέσω της χρήσης αλγορίθμων λήψης αποφάσεων σε εφαρμογές λογισμικού, μπορούν να δοθούν σε φυσικά φαινόμενα κατάλληλες ταχείες αποκρίσεις, βασισμένες σε πολύ πρόσφατες πληροφορίες που συλλέγονται σχετικά με φυσικές οντότητες. Μπορεί να αναπτυχθούν νέες υπηρεσίες που βασίζονται σε φυσικά παγκόσμια δεδομένα πραγματικού χρόνου, μπορεί να αποκτηθούν γνώσεις σχετικά με πολύπλοκες διαδικασίες και σχέσεις που θα επιτρέψουν την αντιμετώπιση της υποβάθμισης του περιβάλλοντος (ρύπανση, καταστροφή, υπερθέρμανση του πλανήτη), την παρακολούθηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (υγεία, μετακινήσεις), τη βελτίωση της ακεραιότητας των υποδομών (ενέργεια, μεταφορές) και την αντιμετώπιση ζητημάτων ενεργειακής απόδοσης (έξυπνες μετρήσεις της ενέργειας στα κτίρια, αποδοτική κατανάλωση από τα οχήματα).

Σύμφωνα με αυτό το όραμα και κάνοντας χρήση νοημοσύνης στην υποστήριξη της υποδομής του δικτύου, τα πράγματα θα είναι σε θέση να διαχειρίζονται αυτόνομα τη μεταφορά τους, να εφαρμόζουν πλήρως αυτοματοποιημένες διαδικασίες και, κατά συνέπεια, να βελτιστοποιούν τις διανομές. Θα μπορούν να είναι σε θέση να μαζέψουν την ενέργεια που χρειάζονται, να αυτορρυθμίζονται όταν εκτίθενται σε ένα νέο περιβάλλον, να δείχνουν μια έξυπνη / γνωστική συμπεριφορά όταν έρχονται αντιμέτωπα με άλλα πράγματα και να ασχολούνται απρόσκοπτα με απρόβλεπτες καταστάσεις. Τέλος, θα μπορούν να διαχειρίζονται τη δική τους

αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση, συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος, στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

Η υποδομή του IoT θα επιτρέπει συνδυασμούς με έξυπνα αντικείμενα (π.χ. ασύρματοι αισθητήρες, κινητά, ρομπότ), τεχνολογίες δικτύων αισθητήρων και ανθρώπινα όντα, χρησιμοποιώντας διαφορετικά αλλά διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας με αποτέλεσμα ένα δυναμικό, πολυτροπικό και ετερογενές δίκτυο που θα μπορεί να αναπτυχθεί ακόμη και σε δυσπρόσιτους ή απομακρυσμένους χώρους (εξέδρες πετρελαίου, ορυχεία, δάση, σήραγγες κ.τ.λ.) ή και υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης ή επικίνδυνες καταστάσεις (π.χ. σεισμοί, πυρκαγιές, πλημμύρες, περιοχές ραδιενεργούς ακτινοβολίας).

Σε αυτή την υποδομή, αυτές οι διαφορετικές οντότητες ή «πράγματα» θα ανακαλύπτουν και θα εξερευνούν η μία την άλλη και θα μαθαίνουν να επωφελούνται η καθεμιά από τα δεδομένα της άλλης, συγκεντρώνοντας πόρους και ενισχύοντας δραστικά το πεδίο εφαρμογής και την αξιοπιστία των υπηρεσιών που προκύπτουν.

Εφαρμογές, υπηρεσίες, ενδιάμεσο λογισμικό, δίκτυα και καταληκτικά σημεία θα συνδέονται δομικά με εντελώς νέους τρόπους. Αναγνωρίζοντας ότι αρχικά θα υπάρχουν εμπορικές και φυσικές προκλήσεις για την ίδρυση της παγκόσμιας, πανταχού παρούσας δυνατότητας σύνδεσης δικτύου και ότι αρχικά πολλά πράγματα μπορεί να έχουν περιορισμένη ικανότητα να εμπλακούν σε 2-way συνδεσιμότητα δικτύου, είναι σημαντικό το αρχιτεκτονικό σχέδιο για το IoT να υποστηρίζει τεχνικές αμφίδρομης και αποτελεσματικής προσωρινής αποθήκευσης και συγχρονισμού δεδομένων, καθώς και καταληκτικά σημεία για εικονικές αναπαραστάσεις των συνδεδεμένων πραγμάτων και συσκευών, οι οποίες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της θέσης και της κατάστασής των πραγμάτων, καθώς και για την αποστολή αιτήσεων και οδηγιών σε αυτά.

Συνεπώς, το IoT θα δημιουργήσει ένα δυναμικό δίκτυο με δισεκατομμύρια ή τρισεκατομμύρια ασύρματα αναγνωρίσιμα «πράγματα» που θα επικοινωνούν μεταξύ τους και θα ενσωματώνουν τις εξελίξεις του *Διάχυτου Υπολογισμού (Pervasive Computing)*, του *Πανταχού Παρόντος Υπολογισμού (Ubiquitous Computing)* και της *Διάχυτης Νοημοσύνης (Ambient Intelligence)*.

Με αφορμή την αναφορά στις δύο τελευταίες έννοιες, θα πρέπει να διαχωρίσουμε τα διαφορετικά επίπεδα του οράματος:

- ÷ τα πάντα μπορούν να αναγνωριστούν και να ταυτοποιηθούν.
- ÷ τα πάντα μπορούν να συνδεθούν στο Διαδίκτυο και να χρησιμοποιηθούν.
- ÷ υπάρχει πλήρης αντίληψη του περιβάλλοντος από τα πράγματα.
- ÷ όλες οι οντότητες του IoT μπορούν να αλληλεπιδράσουν έξυπνα μεταξύ τους, καθώς και με το περιβάλλον τους.
- ÷ όλο το δίκτυο του IoT είναι πλήρως αυτόνομο και χρειάζεται να του δίνουμε απλώς εντολές υψηλού επιπέδου και να ορίζουμε τους στόχους του.

Το όραμα διαμορφώθηκε λοιπόν σταδιακά και σήμερα έχει καταλήξει στο τελευταίο επίπεδο, που εν ολίγοις προϋποθέτει τα προηγούμενα. Επειδή αυτή η εξέλιξη πάντως δεν γίνεται από όλους τους ερευνητές αντιληπτή ή δεν παρουσιάζεται ξεκάθαρα, πάρα πολύ συχνά υπάρχει μια σύγχυση στην οργάνωση του τρόπου ανάλυσης που πρέπει να ακολουθηθεί για τη μελέτη του IoT. Θα δούμε ότι για τα διαφορετικά επίπεδα του οράματος, έχουν αναπτυχθεί και ξεχωριστές τεχνολογίες, συχνά ανεξάρτητες μεταξύ τους, που όμως μπορούν και πρέπει να συνδυαστούν.

1.4 Γενικά Χαρακτηριστικά του IoT

1.4.1 Χαρακτηριστικά του δικτύου του IoT

Υψηλά επίπεδα ετερογένειας:

Παρατηρούνται πολύ υψηλά επίπεδα ετερογένειας τόσο στα πλαίσια α) των φυσικών πραγμάτων όσο και στα πλαίσια β) των φυσικών δικτύων.

Τα πράγματα, από τεχνικής άποψης, έχουν διαφορετικές δυνατότητες σε επίπεδο υλικού (από συσκευές περιορισμένων πόρων μέχρι υπολογιστές) και λογισμικού και αξιοποιούν διαφορετικές προσεγγίσεις επικοινωνίας (από διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας μέχρι διαφορετικές περιοχές στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων). Να τονίσουμε πάντως πως η ετερογένεια, πέρα από το τεχνικό επίπεδο, παρουσιάζεται και σε μια άλλη διάσταση, λόγω των διαφορετικών πεδίων εφαρμογής διάφορων συσκευών, δηλαδή, λόγω της ύπαρξης διαφορετικών στόχων που επιτελούν οι συσκευές, διαφορετικών λειτουργιών και σκοπών χρήσης.

Αντίστοιχος διαχωρισμός των φυσικών δικτύων υπάρχει και στα δύο επίπεδα. Ενδεικτικά δίκτυα από τα οποία μπορούμε να βρούμε θεμελιώδεις διαφορές είναι τα WAN, LAN, PAN, τα Δίκτυα (Κινητής) Τηλεφωνίας και τα *Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων & Ενεργοποιητών (Wireless Sensor & Actuator Networks - WSAN)*.

Μεγάλες Κλίμακες:

Εφόσον μια βασική προϋπόθεση της υλοποίησης του IoT είναι η διασύνδεση όσο το δυνατόν περισσότερων πραγμάτων στο Διαδίκτυο, το IoT θα κληθεί να διαχειριστεί έναν υπερβολικά μεγάλο αριθμό πραγμάτων και τεράστιες ποσότητες δεδομένων (*Big Data*). Προκύπτουν λοιπόν τρεις βασικές προκλήσεις/παράγοντες:

i. Μέγεθος: Προβλέπεται πως μέχρι το 2020, 50-100 δισεκατομμύρια συσκευές θα είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο. Το IoT θα πρέπει να διευκολύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των αντικειμένων. Οι αριθμοί θα αυξάνονται συνεχώς χωρίς να μειώνονται. Παράλληλα με τον αριθμό των αντικειμένων θα αυξάνεται και ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων και των

υπηρεσιών. Προκύπτουν λοιπόν σημαντικά ζητήματα όπως αυτά του αποθηκευτικού χώρου και της επαρκούς (συνολικής) υπολογιστικής ισχύος.

ii. Χρόνος: Το IoT θα πρέπει να μπορεί να χειρίζεται δισεκατομμύρια παράλληλα και ταυτόχρονα συμβάντα (*events*), λόγω του τεράστιου αριθμού των αλληλεπιδράσεων. Επίσης, η επεξεργασία τεράστιων όγκων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο θα είναι απαραίτητη.

iii. Χώρος: Η ακριβής γεωγραφική θέση ενός αντικειμένου θα είναι κρίσιμης σημασίας καθώς η θέση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην *ενημερότητα συμφραζομένων* (*context-awareness*). Όταν ο αριθμός των αντικειμένων μεγαλώνει, η παρακολούθηση γίνεται μια βασική προϋπόθεση. Οι αλληλεπιδράσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις θέσεις τους, το περιβάλλον τους, καθώς και την παρουσία άλλων οντοτήτων (π.χ. αντικείμενα και άνθρωποι). Ο παράγοντας αυτός θα μπορούσε να συσχετιστεί με αυτόν της *κινητικότητας* (*mobility*) των οντοτήτων, των κόμβων και των δικτύων.

Πολυπλοκότητα:

Τα εικονικά ή φυσικά δίκτυα των πραγμάτων θα παρουσιάζουν πολλές διαφορετικές τοπολογίες, με τεράστιους αριθμούς διασυνδέσεων, διαφορετικής φύσης, που θα πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς. Πέρα όμως από τη θεωρητική ανάλυση του δικτύου, ο παράγοντας της ετερογένειας φυσικά καθιστά το δίκτυο ακόμη πιο πολύπλοκο.

Δυναμικότητα και Επεκτασιμότητα:

Το δίκτυο όχι μόνο θα είναι μεγάλο σε κλίμακα και ιδιαίτερα πολύπλοκο, αλλά, καθώς θα μεγαλώνει, θα αλλάζει συνεχώς. Νέα πράγματα θα εντάσσονται σε αυτό, άλλα θα απομακρύνονται, ενώ οι διασυνδέσεις των πραγμάτων, τόσο σε φυσικό και ιδιαίτερα σε εικονικό επίπεδο, θα αλλάζουν με ταχείς ρυθμούς, καθώς θα δημιουργούνται δυναμικές ομάδες και συνδυασμοί που θα μεταβάλλονται και θα έχουν «πτητική» φύση.

1.4.2 Χαρακτηριστικά των Πραγμάτων

Με βάση τα διαφορετικά επίπεδα που εντοπίστηκαν στο όραμα του IoT, τα πράγματα αποκτούν και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Πρέπει να είναι Έξυπνα, Κοινωνικά και Αυτόνομα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι διάφορες ομάδες στις οποίες συγκεντρώνονται τα κύρια χαρακτηριστικά των πραγμάτων. Να σημειωθεί ότι καθεμιά από τις ομάδες αυτές προϋποθέτει τις προηγούμενες της.

1 – Θεμελιώδη χαρακτηριστικά πραγμάτων:

- μπορεί να αποτελούν και οντότητες του πραγματικού κόσμου ή να είναι αποκλειστικά εικονικές οντότητες.
- έχουν ταυτότητα, καθώς υπάρχουν μέσα για την αυτόματη αναγνώρισή τους.
- σέβονται την ιδιωτική ζωή και την ασφάλεια γενικότερα, καθώς και την ασφάλεια των άλλων «πραγμάτων» ή των ατόμων με τα οποία αλληλεπιδρούν.
- χρησιμοποιούν πρωτόκολλα για να επικοινωνούν μεταξύ τους και με την υποδομή.
- συμμετέχουν στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του πραγματικού / φυσικού, του ψηφιακού και του εικονικού κόσμου.

2 – Κοινά χαρακτηριστικά πραγμάτων:

- μπορούν να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες που λειτουργούν ως διεπαφές με τα «πράγματα».
- θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους για πόρους και υπηρεσίες και θα υπόκεινται σε επιλεκτικές πιέσεις.
- μπορεί να έχουν αισθητήρες, με αποτέλεσμα να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους.

3 – Χαρακτηριστικά κοινωνικών πραγμάτων:

- μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, με υπολογιστικές συσκευές και με ανθρώπους.
- μπορούν να συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ομάδες ή δίκτυα.
- μπορούν να ξεκινήσουν επικοινωνία.

4 – Χαρακτηριστικά αυτόνομων πραγμάτων:

- μπορούν να κάνουν πολλές εργασίες αυτόνομα.
- μπορούν να διαπραγματευτούν, να κατανοήσουν και να προσαρμοστούν στο περιβάλλον τους.
- μπορούν να εξάγουν πρότυπα από το περιβάλλον ή να μάθουν από άλλα «πράγματα».
- μπορούν να λάβουν αποφάσεις με τις συλλογιστικές τους ικανότητες.
- μπορούν να εξελιχθούν επιλεκτικά και να διαδώσουν πληροφορίες.

5 – Χαρακτηριστικά πραγμάτων ικανών για αυτο-αναπαραγωγή ή έλεγχο:

- μπορούν να δημιουργήσουν, να διαχειριστούν και να καταστρέψουν άλλα «πράγματα».

1.4.3 Χαρακτηριστικά μιας Αρχιτεκτονικής του IoT

Έχοντας εντοπίσει τα βασικά χαρακτηριστικά που θα διέπουν το IoT γενικά και τις ιδιότητες των πραγμάτων μέσα σε αυτό ειδικά, μπορούμε να κάνουμε ένα πρώτο βήμα για την αναγνώριση κάποιων θεμελιωδών ιδιοτήτων που θα μπορούσε να έχει μια αρχιτεκτονική η οποία προορίζεται να υλοποιήσει (έστω και σε κάποιο βαθμό) εφαρμογές IoT. Η αρχιτεκτονική του IoT λοιπόν που θέλουμε να παρουσιάσουμε στην εργασία αυτή πρέπει:

- να είναι **συμπαγής**: πρέπει να μπορεί να «χωρέσει» ακόμη και σε ενσωματωμένες συσκευές με πάρα πολύ λίγους πόρους και δυνατότητες.
- να μπορεί να διαχειριστεί **Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)**: τα μεταδεδομένα και η πληροφορία που περιμένουμε να συγκεντρώνονται από εφαρμογές του IoT είναι μεγάλα σε όγκο και ποικιλία.
- να είναι **προς τα πίσω συμβατή (backwards compatible)**: θα ήταν πολύ εύκολο να εγκαταλείψουμε τις συσκευές και τις τεχνολογίες πάνω στις οποίες πρέπει να γίνει περισσότερη έρευνα για να ενσωματωθούν στο IoT και να επικεντρωθούμε σε νέες συσκευές, ειδικά σχεδιασμένες για την αξιοποίησή τους από το IoT (συμβατές δηλαδή με το IoT εκ κατασκευής). Με αυτό τον τρόπο όμως, αποκλείουμε τον τεράστιο αριθμό των συσκευών που ήδη υπάρχουν και κυρίως, την έρευνα που έχει γίνει σε άλλους τομείς.
- να επικεντρώνεται στο **περιεχόμενο (content oriented)**: η αξιοποίηση και διαχείριση του περιεχομένου που εμπεριέχεται στις οντότητες του IoT θα πρέπει να είναι η βασική μέριμνα της αρχιτεκτονικής.
- να είναι **γνωστική (cognitive)**: να μπορεί να αξιολογήσει παρούσες καταστάσεις και να αντιδρά στο περιβάλλον (μηχανισμοί Τεχνητής Νοημοσύνης, αλγόριθμοι συλλογιστικής).
- να υποστηρίζει σε μεγάλο βαθμό το σχηματισμό δικτύων ως **υπηρεσίες ('service-like' networks)**.

- να έχει ως βάση τις **κοινωνικές αλληλεπιδράσεις**: οι οντότητες θα πρέπει να είναι κοινωνικές. Αυτή είναι και η βασική καινοτομία του *COSMOS*: η αξιοποίηση της εμπειρίας των πραγμάτων και άλλων κοινωνικών χαρακτηριστικών. Σχετικές ιδέες για τη διαμόρφωση μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής μπορούμε να πάρουμε από τους τομείς της κοινωνικής δικτύωσης.
- να υιοθετεί **αποκεντρωμένη** (*decentralised*) και **κατανεμημένη** (*distributed*) διαχείριση: τα χαρακτηριστικά του IoT για υψηλές κλίμακες (ως προς το μέγεθος, την ποσότητα κ.τ.λ.) και χαμηλούς χρόνους δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν από μια συγκεντρωτική προσέγγιση.
- να διέπεται από **αυτονομία** (*autonomous*) και **αυτοδιαχείριση** (*self-managment*): χαρακτηριστικά όπως η αυτορρύθμιση, η αυτοβελτίωση, η αυτοθεραπεία, η αυτοπροστασία, η αυτοοργάνωση κ.ά. είναι από τα βασικά στοιχεία των πραγμάτων και της υποδομής γενικότερα που θα μας επιτρέπουν να παρεμβαίνουμε στο σύστημα όσο το δυνατόν λιγότερο.

1.5 Πεδία Εφαρμογών του IoT και Οφέλη

Εφαρμογές:

Σε πρώτο επίπεδο, η έννοια του IoT προσεγγίζεται μέσα από τα διάφορα παραδείγματα εφαρμογών στα οποία μπορεί να διεισδύσει. Πρόκειται για εφαρμογές που αφορούν όλα τα πεδία δραστηριοποίησής μας. Ήδη, σε όλους αυτούς τους τομείς, υπάρχουν εφαρμογές που είναι στην κατεύθυνση του IoT. Οι λεγόμενες «έξυπνες» εφαρμογές - έξυπνο σπίτι, έξυπνη πόλη, έξυπνο αυτοκίνητο, έξυπνη οικιακή συσκευή, έξυπνη κάρτα - για να αναφέρουμε μερικές - υπάρχουν και εξελίσσονται. Πρόκειται όμως για εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί μεμονωμένα και δίνουν λύσεις αποσπασματικές. Η υλοποίηση του IoT θα κάνει δυνατή τη βελτιστοποίηση, την ενσωμάτωση και ολοκλήρωσή τους.

Οι IoT εφαρμογές διακρίνονται κυρίως σε τρεις κατηγορίες με βάση την εστίασή τους: **βιομηχανία, κοινωνία, περιβάλλον**. Στο πλαίσιο της βιομηχανίας, ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής του IoT αφορούν τη διαχείριση της παραγωγικής αλυσίδας, τις μεταφορές και τη μέριμνα (logistics), την αεροδιαστημική και αεροναυπηγική, καθώς και την αυτοκινητοβιομηχανία. Στο πλαίσιο της κοινωνίας έχουμε εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες, την ιατρική τεχνολογία, τα «έξυπνα κτίρια», τα μέσα ενημέρωσης και ψυχαγωγίας. Τέλος, ορισμένες εφαρμογές στα πλαίσια του περιβάλλοντος αφορούν τη γεωργία και κτηνοτροφία, την ανακύκλωση, τη διαχείριση φυσικών καταστροφών, την παρακολούθηση του περιβάλλοντος.

Οι Asin και Gascon [7] αναφέρουν 54 τομείς εφαρμογής σύμφωνα με δώδεκα κατηγορίες: έξυπνες πόλεις, έξυπνο περιβάλλον, έξυπνο νερό, ευφυή συστήματα μέτρησης, ασφάλεια και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, εμπόριο, μέριμνα, βιομηχανικός έλεγχος, έξυπνη γεωργία, έξυπνη κτηνοτροφία, οικιακοί αυτοματισμοί, e-υγεία.

Στην αγορά των επιχειρήσεων, γνωστή εφαρμογή αποτελεί η χρήση αισθητήρων για την παρακολούθηση RFID ετικετών που τοποθετούνται στα προϊόντα τα οποία διακινούνται μέσω των εφοδιαστικών αλυσίδων, βελτιώνοντας έτσι τη διαχείριση των αποθεμάτων και μειώνοντας το κεφάλαιο κίνησης και το κόστος αποθήκευσης.

Στον τομέα της υγείας, αισθητήρες παρέχουν δυνατότητες για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς και τα συμπτώματα του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο και με σχετικά χαμηλό κόστος, επιτρέποντας στους γιατρούς να διαγνώσουν τη νόσο και να προχωρήσουν στη βέλτιστη συνταγογράφηση.

Οφέλη:

Τα δυνητικά οφέλη από την IoT υλοποίηση είναι τεράστια, τόσο για ιδιώτες όσο και για επιχειρήσεις. Μερικές από τις πιο ελπιδοφόρες εφαρμογές περιλαμβάνουν: τη βελτίωση της διαχείρισης της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας, την ανίχνευση πλαστών προϊόντων, την αυτοματοποίηση της παραγωγής, τα έξυπνα σπίτια και συσκευές, τη βελτίωση της ολοκληρωμένης διαχείρισης της υγείας.

Το Ίντερνετ των πραγμάτων θα φέρει απτά επιχειρηματικά οφέλη, όπως υψηλής ανάλυσης διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και προϊόντων, βελτιωμένο κύκλο ζωής προϊόντων και καλύτερη συνεργασία μεταξύ των επιχειρήσεων. Πολλά από αυτά τα οφέλη επιτυγχάνονται μέσω της χρήσης μοναδικού αναγνωριστικού για μεμονωμένα πράγματα μαζί με υπηρεσίες αναζήτησης και ανακάλυψης, επιτρέποντας σε κάθε πράγμα να αλληλεπιδρά ξεχωριστά, δημιουργώντας μια δική του ιστορία ζωής όσον αφορά τις δραστηριότητες και τις αλληλεπιδράσεις του στην πάροδο του χρόνου.

Βελτιωμένες δυνατότητες αισθητήρων και συσκευών θα επιτρέψουν επίσης η επιχειρηματική λογική να εκτελείται στα άκρα ενός δικτύου, επιτρέποντας σε κάποιες υπάρχουσες επιχειρηματικές διαδικασίες να αποκεντρωθούν προς όφελος της απόδοσης, της επεκτασιμότητας και της τοπικής λήψης αποφάσεων. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι για έξυπνη λήψη αποφάσεων με βάση τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υγείας των ασθενών ή την κατάσταση των οχημάτων, προκειμένου να ανιχνευτούν τα πρώτα σημάδια προβλημάτων ή επιδείνωσης μιας κατάστασης.

Η πιο απαιτητική χρήση του IoT περιλαμβάνει την ταχεία, σε πραγματικό χρόνο ανίχνευση των απρόβλεπτων συνθηκών και τις στιγμιαίες αντιδράσεις που καθοδηγούνται από αυτοματοποιημένα συστήματα. Αυτό το είδος της λήψης αποφάσεων της μηχανής μιμείται τις ανθρώπινες αντιδράσεις, αν και σε πολύ αυξημένα επίπεδα απόδοσης. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, για παράδειγμα, επιταχύνεται η ανάπτυξη συστημάτων που μπορούν να ανιχνεύσουν επικείμενες συγκρούσεις και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα. Ορισμένες βασικές εφαρμογές, όπως τα συστήματα αυτόματης πέδησης, είναι διαθέσιμα σε high-end αυτοκίνητα.

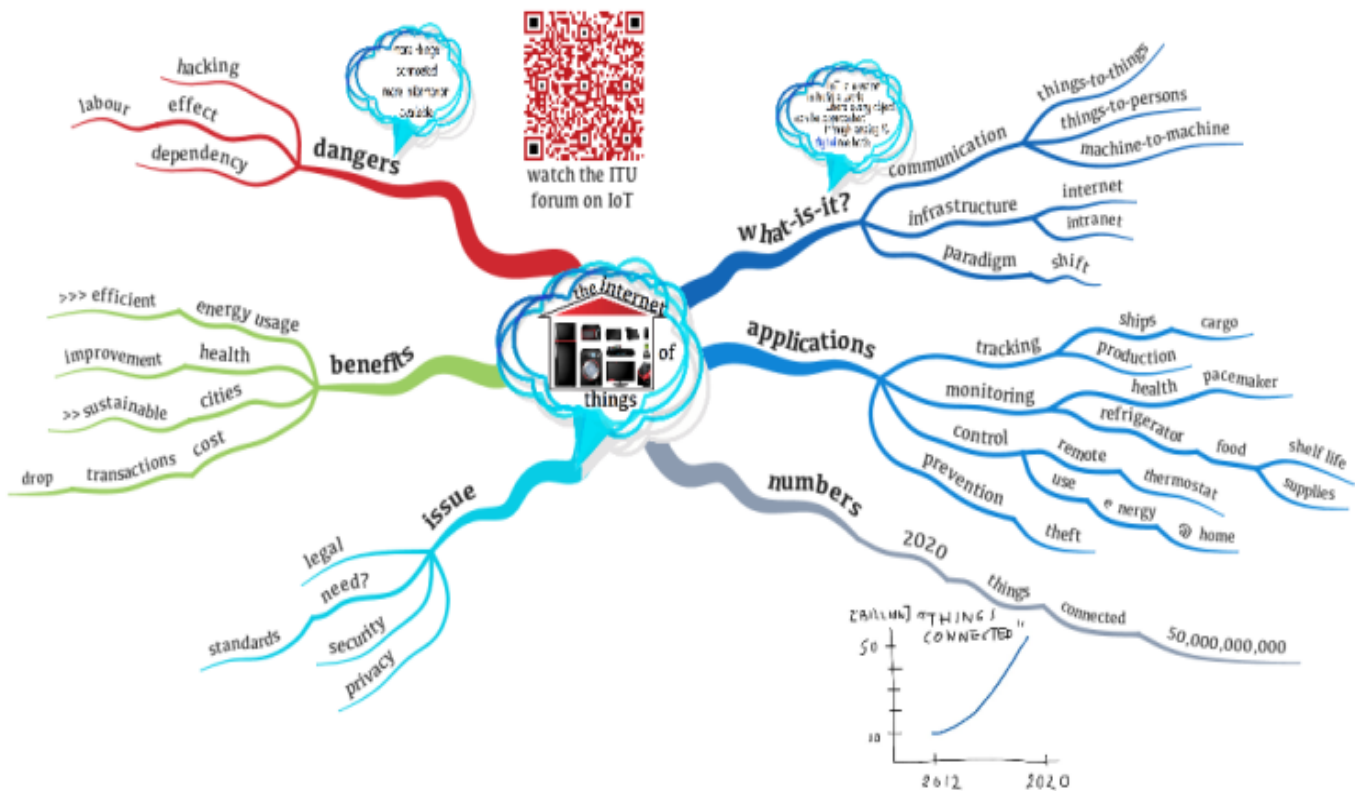
Το IoT ανοίγει νέα σύνορα για τη βελτίωση των διαδικασιών. Ορισμένες βιομηχανίες, όπως η χημική παραγωγή, εγκαθιστούν λεγεώνες αισθητήρων για να πετύχουν πολύ μεγαλύτερη αναλυτικότητα στην παρακολούθηση. Αυτοί οι αισθητήρες τροφοδοτούν με δεδομένα ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι οποίοι με τη σειρά τους τα αναλύουν και στη συνέχεια στέλνουν σήματα σε ενεργοποιητές που προσαρμόζουν τις διαδικασίες, τροποποιώντας για παράδειγμα μίγματα συστατικών, θερμοκρασίες ή πιέσεις. Αισθητήρες και ενεργοποιητές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αλλαγή της θέσης ενός φυσικού αντικειμένου καθώς κινείται κάτω από μια γραμμή συναρμολόγησης, διασφαλίζοντας ότι φθάνει σε εργαλειομηχανές σε βέλτιστη θέση (μικρές αποκλίσεις στη θέση μπορούν να μπλοκάρουν ή ακόμα και να καταστρέψουν τα μηχανικά εργαλεία). Αυτή η βελτιωμένη διαδικασία επιτρέπει σημαντικές μειώσεις στα παραγόμενα απόβλητα, το ενεργειακό κόστος και την ανθρώπινη παρέμβαση.

Δικτυωμένοι αισθητήρες και αυτοματοποιημένοι μηχανισμοί ανατροφοδότησης μπορούν να αλλάξουν τα πρότυπα χρήσης για τους περιορισμένους πόρους, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας και του νερού, επιτρέποντας συχνά πιο δυναμική τιμολόγηση. Οργανισμοί Κοινής Ωφελείας, για παράδειγμα, αναπτύσσουν «έξυπνους» μετρητές που παρέχουν σε οικιακούς και βιομηχανικούς πελάτες οπτικές απεικονίσεις που παρουσιάζουν τη χρήση της ενέργειας και τις δαπάνες παροχής τους σε πραγματικό χρόνο. Η παραδοσιακή οικιακή τιμολόγηση, σταθερή τιμή ανά κιλοβατώρα χρέωσης, αποκρύπτει το γεγονός ότι το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει σημαντικά τη διάρκεια της ημέρας. Με τιμές βάσει της ώρας χρήσης και καλύτερη ενημέρωση, οι οικιακοί καταναλωτές θα μπορούσαν να κλείσουν τα κλιματιστικά ή να μην χρησιμοποιήσουν πλυντήρια πιάτων κατά τις ώρες αιχμής. Οι εμπορικοί πελάτες μπορούν να μετατοπίσουν τις διαδικασίες και την παραγωγή που απαιτούν υψηλής έντασης ενέργεια από

τις υψηλές τιμές περιόδους αιχμής της ζήτησης ενέργειας σε χαμηλές τιμές εκτός των ωρών αιχμής.

Τα κέντρα δεδομένων, τα οποία είναι μεταξύ των ταχύτερα αναπτυσσόμενων τομέων της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας, αρχίζουν να υιοθετούν τεχνικές διαχείρισης ενέργειας που συνδέονται με την ανατροφοδότηση πληροφοριών. Η κατανάλωση ενέργειας είναι συχνά το ήμισυ του συνολικού κόστους ζωής μιας τυπικής εγκατάστασης, αλλά οι περισσότεροι διαχειριστές δεν διαθέτουν μια λεπτομερή εικόνα των προτύπων ενεργειακής κατανάλωσης.

Επιστήμονες σε άλλες βιομηχανίες δοκιμάζουν σμήνη ρομπότ που διατηρούν εγκαταστάσεις ή καθαρίζουν τοξικά απόβλητα, και υπό μελέτη συστήματα στον τομέα της άμυνας που θα συντονίζουν τις κινήσεις ομάδων μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Ενώ τέτοια αυτόνομα συστήματα θα αποτελέσουν πρόκληση για την ανάπτυξη και τελειοποίηση, υπόσχονται σημαντικά κέρδη στον τομέα της ασφάλειας και του κόστους. Αυτά τα πειράματα θα μπορούσαν επίσης να παρακινήσουν νέες ιδέες για το πώς να αντιμετωπιστούν προκλήσεις σε αφιλόξενα φυσικά περιβάλλοντα που είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο.



1.6 Τι θα επακολουθήσει;

Το IoT είναι πολλά υποσχόμενο, ωστόσο πολλά είναι και τα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν πριν τα IoT συστήματα γίνουν ευρέως αποδεκτά. Οι προκλήσεις είναι σε πολλά επίπεδα. Είναι επιχειρηματικές, πολιτικές και ασφαλώς τεχνικές. Όσοι υιοθέτησαν νωρίς το IoT θα πρέπει να αποδείξουν ότι τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα που καθοδηγούνται από αισθητήρες δημιουργούν υπεραξία. Ομάδες του κλάδου της βιομηχανίας και κυβερνητικές ρυθμιστικές αρχές θα πρέπει να μελετήσουν τους κανόνες για την προστασία των δεδομένων και την ασφάλεια, ιδίως όσον αφορά τις χρήσεις που αγγίζουν ευαίσθητες πληροφορίες των καταναλωτών. Τα νομικά πλαίσια ευθύνης για τις κακές αποφάσεις των αυτοματοποιημένων συστημάτων θα πρέπει να θεσπίζονται από τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και τους αναλυτές κινδύνου σε συνεργασία με τους ασφαλιστές. Από την πλευρά της τεχνολογίας, το κόστος των αισθητήρων και ενεργοποιητών πρέπει να πέσει σε επίπεδα που θα επιτρέψει εκτεταμένη χρήση τους. Οι δικτυακές τεχνολογίες και τα πρότυπα που τις υποστηρίζουν πρέπει να εξελιχθούν σε σημείο που τα δεδομένα θα μπορούν να ρέουν ελεύθερα μεταξύ αισθητήρων, υπολογιστών και ενεργοποιητών. Λογισμικό για τη συγκέντρωση και ανάλυση των δεδομένων, καθώς και γραφικές τεχνικές απεικόνισης πρέπει να βελτιωθούν σε σημείο που τεράστιοι όγκοι δεδομένων να μπορούν να απορροφηθούν από φορείς λήψης αποφάσεων ή να συντεθούν για να καθοδηγήσουν πιο σωστά αυτοματοποιημένα συστήματα.

Μέσα στις εταιρείες, μεγάλες αλλαγές στη πληροφοριακά πρότυπα θα έχουν συνέπειες για τις οργανωτικές δομές, καθώς και για τον τρόπο που λαμβάνονται οι αποφάσεις, που γίνεται η διαχείριση και σχεδιάζονται οι διαδικασίες. Η ανάπτυξη προϊόντων, για παράδειγμα, θα πρέπει να αντανακλά πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για τη λήψη και ανάλυση πληροφοριών .

Οι εταιρείες θα πρέπει να αρχίσουν να λαμβάνουν μέτρα και να προετοιμάζονται για αυτές τις αλλαγές χρησιμοποιώντας τις νέες τεχνολογίες για τη βελτιστοποίηση των επιχειρηματικών διαδικασιών, εκεί όπου οι παραδοσιακές προσεγγίσεις δεν έχουν φέρει ικανοποιητικές αποδόσεις. Η αποδοτική κατανάλωση ενέργειας και βελτιστοποίηση διαδικασιών είναι καλοί στόχοι για αρχή. Πειράματα με τις αναδυόμενες τεχνολογίες θα πρέπει να διεξάγονται σε εργαστήρια ανάπτυξης και σε μικρής κλίμακας πιλοτικές δοκιμές, και καταξιωμένες εταιρείες μπορούν να αναζητήσουν συνεργασίες με καινοτόμους προμηθευτές τεχνολογίας που δίνουν IoT λύσεις.

1.7 Το όραμα του Διαδικτύου του Μέλλοντος

Το όραμα του Διαδικτύου του Μέλλοντος βασίζεται σε τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας και θεωρεί τη συγχώνευση δικτύων υπολογιστών, του *Διαδικτύου των Μέσων (Internet of Media - IoM)*, του *Διαδικτύου των Υπηρεσιών (Internet of Service - IoS)* και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT) σε μια κοινή παγκόσμια πληροφοριακή πλατφόρμα ενιαίων δικτύων και δικτυωμένων «πραγμάτων».

Το IoS έχει όραμα την ανάπτυξη υπηρεσιών σε μεγάλη κλίμακα, έτσι ώστε οι υπηρεσίες να βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα μιας επιχείρησης π.χ. διαφορετικές επιχειρησιακές μονάδες, πληροφοριακά δίκτυα, ή ακόμα και να τρέχουν απευθείας σε συσκευές και μηχανήματα εντός της εταιρείας. Πρόκειται λοιπόν για συστατικό βασισμένο σε λογισμικό το οποίο θα πρέπει να διανέμεται μέσω διαφορετικών δικτύων και Internet. Η έρευνα για SOA, Web / Enterprise 3.0/X.0, Enterprise Interoperability, Service Web, Grid Services και Semantic Web θα αντιμετωπίσει σημαντικά κομμάτια του IoS παζλ, ενώ θα βελτιώσει τη συνεργασία ανάμεσα σε παρόχους και καταναλωτές υπηρεσιών.

Το IoM θα αντιμετωπίσει τις προκλήσεις στην επεκτάσιμη κωδικοποίηση βίντεο και στη 3D επεξεργασία βίντεο, δυναμικά προσαρμοσμένων στις συνθήκες του δικτύου, κάτι που θα δώσει έναυσμα για καινοτόμες εφαρμογές, όπως μαζικά multiplayer παιχνίδια για κινητά, ψηφιακό κινηματογράφο και εικονικοί κόσμοι, θέτοντας νέους τύπους απαιτήσεων κυκλοφορίας σε αρχιτεκτονικές κινητών δικτύων.

Αυτό το μελλοντικό δίκτυο των δικτύων θα πρέπει να σχεδιαστεί με δημόσιες / ιδιωτικές υποδομές και θα μπορεί να επεκταθεί και να βελτιωθεί δυναμικά από τα «πράγματα» τα οποία συνδέονται το ένα με το άλλο. Στην πραγματικότητα, η IoT επικοινωνία θα γίνεται όχι μόνο μεταξύ των ανθρώπων αλλά και μεταξύ των ανθρώπων και του περιβάλλοντός τους.

Η επικοινωνία θα παρατηρηθεί περισσότερο μεταξύ τερματικών σταθμών και κέντρων δεδομένων (π.χ. κέντρα δεδομένων στο σπίτι, υπολογισμός στο νέφος κ.λπ.) παρά μεταξύ κόμβων όπως στα σημερινά δίκτυα. Ανάπτυξη της ικανότητας αποθήκευσης σε όλο και χαμηλότερο κόστος θα έχει ως αποτέλεσμα την τοπική διαθεσιμότητα των περισσότερων

πληροφοριών που απαιτούνται από ανθρώπους ή αντικείμενα. Αυτό, σε συνδυασμό με τις βελτιωμένες δυνατότητες επεξεργασίας, θα κάνει τα τερματικά να αποκτήσουν έναν κύριο ρόλο στην επικοινωνία.

Τερματικά θα είναι σε θέση να δημιουργήσουν ένα τοπικό δίκτυο επικοινωνίας και μπορεί να χρησιμεύουν ως γέφυρα μεταξύ δικτύων επικοινωνίας, επεκτείνοντας έτσι, ιδιαίτερα σε αστικά περιβάλλοντα, τη συνολική δυναμικότητα υποδομής. Αυτό θα καθορίσει πιθανώς μια διαφορετική άποψη για τις αρχιτεκτονικές δικτύου. Το μελλοντικό διαδίκτυο θα εμφανίζει υψηλά επίπεδα ετερογένειας, καθώς τελειώς διαφορετικά πράγματα από άποψη λειτουργικότητας, τεχνολογίας και πεδίων εφαρμογής αναμένεται να ανήκουν στο ίδιο περιβάλλον επικοινωνίας.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

2

IoT τεχνολογίες και Προκλήσεις

2.1 Τεχνολογίες Ταυτοποίησης

Στο όραμα του IoT, τα πράγματα έχουν μια ψηφιακή ταυτότητα που περιγράφεται από μοναδικά αναγνωριστικά και προσδιορίζεται με ένα ψηφιακό όνομα, ενώ οι σχέσεις μεταξύ των πραγμάτων μπορούν να καθοριστούν στο ψηφιακό πεδίο.

Η λειτουργία της ταυτοποίησης είναι η αντιστοίχιση ενός μοναδικού αναγνωριστικού ή (*Unique ID - UID*) σε μια οντότητα, έτσι ώστε να την κάνει χωρίς αμφιβολία αναγνωρίσιμη και ανακτήσιμη. Τα UIDs μπορεί να κατασκευαστούν ως ενιαία ή να προκύψουν από μια συλλογή χαρακτηριστικών τέτοιων που ο συνδυασμός των τιμών τους να είναι μοναδικός.

Ένα μοναδικό αναγνωριστικό για ένα αντικείμενο μπορεί να μεταφραστεί σε ένα μόνιμο όνομα που του εκχωρείται για όλη του τη ζωή. Ωστόσο, το IoT θα αντιμετωπίσει την ανάγκη να φιλοξενήσει πολλαπλά αναγνωριστικά ανά αντικείμενο, καθώς και τροποποιήσεις των εν λόγω αναγνωριστικών. Για παράδειγμα, πολλά αντικείμενα θα έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό που τους έχει ανατεθεί από τον κατασκευαστή τους. Ορισμένα μπορεί να έχουν διευθύνσεις δικτύου (όπως IPv6 διευθύνσεις), καθώς και παροδικά τοπικά αναγνωριστικά μέσα σε παροδικές ad-hoc ομάδες αντικειμένων.

Αντικείμενα μπορεί επίσης να έχουν αισθητήρες και ενεργοποιητές φυσικά συνδεδεμένους με αυτά, με καθένα από αυτούς τους αισθητήρες και ενεργοποιητές να είναι επίσης μεμονωμένα προσπελάσιμος. Τα αναγνωριστικά τους μπορεί να κατασκευαστούν ως επεκτάσεις της ταυτότητας του αντικειμένου ή ίσως να συσχετίζονται με το αναγνωριστικό του αντικειμένου μέσω μιας αναζήτησης σε ένα μητρώο (*registry*).

Πολλά αντικείμενα μπορεί να είναι σύνθετα αντικείμενα ή προϊόντα που αποτελούνται από τμήματα που ανταλλάσσονται κατά τη φάση της χρήσης ή κατά τη διάρκεια ζωής του αντικειμένου. Αυτά τα μέρη μπορούν επίσης να έχουν τα δικά τους μοναδικά αναγνωριστικά και είναι σημαντικό ότι μοντέλα πληροφοριών για το IoT επιτρέπουν αλλαγές του αναγνωριστικού, αλλαγές των ρυθμίσεων και των συσχετίσεων μεταξύ αναγνωριστικών, τόσο όσον αφορά την παρακολούθηση των αλλαγών σε σχέσεις γονέα-παιδιού, όσο και σε σχέσεις παλιό-νέο (π.χ. όταν εγκαθίσταται ένα νέο τμήμα για να αντικαταστήσει ένα παλιό μέρος που είναι φθαρμένο ή ελαττωματικό).

Περαιτέρω παραδείγματα των συσχετίσεων μεταξύ αναγνωριστικών περιλαμβάνουν την κατανομή των μεγάλων ποσοτήτων χύμα προϊόντος (π.χ. μια συγκεκριμένη παρτίδα προϊόντος διατροφής) σε έναν αριθμό μεμονωμένων προϊόντων ή συσκευασιών για σκοπούς λιανικής πώλησης, ανασυσκευασίας και εκ νέου ετικετοποίησης των προϊόντων, τη συναρμολόγηση συστατικών, εξαρτημάτων και ανταλλακτικών για το σχηματισμό σύνθετων προϊόντων και σετ, όπως τα ιατρικά κ.ά.

Συνδυασμοί πραγμάτων θα δημιουργήσουν συστήματα αναγνώρισης «γενεαλογικού δέντρου», όπου τα μέρη και τα συστατικά που έχουν ενσωματωθεί στα σύνθετα προϊόντα, όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οχήματα και κτίρια, έχουν πολλά διαφορετικά στοιχεία, καθένα με το δικό του μοναδικό αναγνωριστικό και ιστορία ζωής.

Με την ανάθεση σε κάθε πράγμα που συμμετέχει στο IoT μιας μοναδικής ταυτότητας ή δυνητικά πολλών μοναδικών ταυτοτήτων, κάθε πράγμα είναι ξεχωριστό και έχει τα δικά του χαρακτηριστικά, τη δική του ιστορία ζωής και διαδρομή πληροφοριών, τη δική του δομή ροής μέσω του πραγματικού κόσμου και τη δική του αλληλουχία αλληλεπιδράσεων με άλλα

πράγματα. Είναι σημαντικό ότι τέτοια αποκλειστικά αναγνωριστικά για τα πράγματα μπορεί να είναι παγκοσμίως μοναδικά και μπορεί να έχουν σημαντική συνοχή και μακροζωία (ιδανικά για τη ζωή του πράγματος), ανεξάρτητα από την τρέχουσα θέση του πράγματος ή την τρέχουσα σύνδεση δικτύου που έχει στη διάθεσή του, ώστε να είναι δυνατόν να συγκεντρωθούν πληροφορίες σχετικά με αυτό, ακόμη και όταν οι πληροφορίες ανήκουν σε διαφορετικές οντότητες και είναι κατακερματισμένες σε ένα μεγάλο αριθμό βάσεων δεδομένων και πληροφοριακών συστημάτων.

Πολλά πράγματα μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι (τουλάχιστον κατά τη στιγμή της δημιουργίας τους) σχεδόν πανομοιότυπα αντίγραφα το ένα του άλλου, ίσως ανήκουν στον ίδιο τύπο προϊόντος και μοιράζονται έναν αριθμό ιδιοτήτων που είναι κοινές σε όλα τα στιγμιότυπα μέσα στην ίδια κατηγορία. Συχνά, ένα αίτημα ή μια εντολή για ένα συγκεκριμένο πράγμα μπορεί να μην ορίζει πάντα το ακριβές μοναδικό αναγνωριστικό που πρέπει να ανακτηθεί. Αντί αυτού, το αίτημα μπορεί να ικανοποιηθεί με κάθε πράγμα που είναι μέλος μιας συγκεκριμένης κατηγορίας. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό το IoT να μπορεί να υποστηρίξει μοναδικά αναγνωριστικά με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατόν να αναφερθούμε σε μια συγκεκριμένη κατηγορία/κλάση πραγμάτων, καθώς και σε επιμέρους πράγματα μέσα σε αυτή, προκειμένου να μπορέσουμε να ανακτήσουμε ή να αναφερθούμε σε πληροφορίες και υπηρεσίες σε επίπεδο κλάσης που προβλέπονται για την κατηγορία/κλάση των πραγμάτων, καθώς και τις πληροφορίες και τις υπηρεσίες που παρέχονται για κάθε πράγμα ξεχωριστά σε σειριακό επίπεδο.

Είναι επίσης σημαντικό οι πολίτες, οι επιχειρήσεις και άλλοι οργανισμοί να μπορούν να κατασκευάσουν μοναδικά αναγνωριστικά για τα πράγματα τόσο εύκολα, οικονομικά και αυτόνομα, όπως μπορούν να δημιουργήσουν μοναδικά αναγνωριστικά για τις σελίδες web και άλλους πόρους του internet, εξασφαλίζοντας παράλληλα ότι δεν υπάρχουν δύο οντότητες που μπορούν να ισχυρίζονται ότι είναι ο επίσημος δημιουργός του ίδιου μοναδικού αναγνωριστικού.

Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν βάσιμοι λόγοι για τους οποίους το IoT θα πρέπει επίσης να υποστηρίξει «αδιαφανή» αναγνωριστικά και ψευδώνυμα στα οποία η εσωτερική δομή της ιεραρχίας δεν θα είναι άμεσα εμφανής. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν μη εξουσιοδοτημένα μέρη είναι σε θέση να διαβάσουν πληροφορίες της κατηγορίας/κλάσης (π.χ. είδος προϊόντος ή τύπος αντικειμένου), καθώς θα μπορούσε να τεθεί σε κίνδυνο η προστασία της

ιδιωτικής ζωής του πολίτη ή η ασφάλεια των εφοδιαστικών αλυσίδων, υποβάλλοντας την κατηγορία/κλάση σε στοχευμένη επίθεση, με βάση ό,τι αποκαλύπτει το αναγνωριστικό για τα πράγματα τα οποία φοριούνται ή μεταφέρονται. Θα μπορούσε να υπάρξει ένα αδιαφανές αναγνωριστικό ονομάτων που δεν θα είναι μέρος της ιεραρχικής δομής ονομάτων και δεν θα αποκαλύπτει καμία απολύτως πληροφορία σχετικά με το αντικείμενο που ταυτοποιεί. Για παράδειγμα, αυτό θα μπορούσε να έχει εφαρμογές στο μονοσήμαντο προσδιορισμό του φαρμάκου που παίρνει ένας ασθενής, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται τεχνολογίες ασύρματης ταυτοποίησης που διαθέτουν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας της ιδιωτικής ζωής.

Πολλοί τομείς της βιομηχανίας έχουν ήδη αρχίσει ανάθεση μοναδικών ταυτοτήτων σε αντικείμενα και σημαντικές επενδύσεις έχουν γίνει σε συστήματα πληροφοριών και συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με διάφορα είδη πραγμάτων, χρησιμοποιώντας αυτά τα υπάρχοντα μοναδικά αναγνωριστικά ως κλειδιά για την αναζήτηση και ανάκτηση αυτών των πληροφοριών. Τέτοια καθιερωμένα UUIDs είναι δύσκολο να εκτοπιστούν και είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή ανάπτυξή του, η τεχνολογία IoT να μπορεί να υποστηρίξει τα υφιστάμενα UUIDs, με χρήση μεθόδων χαρτογράφησης, όπου είναι απαραίτητο. Απαιτείται διαλειτουργικότητα μεταξύ των εφαρμογών που χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα απόδοσης μοναδικού αναγνωριστικού.

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι τα αναγνωριστικά μπορούν να αναφέρονται σε ονόματα και διευθύνσεις, αλλά επειδή μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές διευθύνσεις πληροφοριών και υπηρεσιών που σχετίζονται με ένα μεμονωμένο πράγμα, είναι ίσως πιο χρήσιμο να διασφαλιστεί ότι σε κάθε πράγμα δίνεται ένα μοναδικό όνομα και να χρησιμοποιούνται μηχανισμοί αναζήτησης και υπηρεσίες παραπομπής για την απόκτηση διευθύνσεων πληροφοριών και υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που παρέχονται έγκυρα από το δημιουργό του πράγματος και εκείνων που συνεισφέρονται από άλλους που αλληλεπιδρούν με αυτό σε κάποια στιγμή της ζωής του. Στην περίπτωση ύπαρξης πολλαπλών αναγνωριστικών για ένα αντικείμενο που οφείλεται σε διάφορους λόγους, είναι απαραίτητο ένα σύστημα μετάφρασης της ταυτότητας των δεδομένων και ένας δυναμικός έλεγχος συμβατότητας / διαλειτουργικότητας.

Επιπλέον, είναι σημαντικό ότι τα αναγνωριστικά δεν περιορίζονται από τις τρέχουσες επιλογές της τεχνολογίας για την αποθήκευση και την επικοινωνία μοναδικών αναγνωριστικών ή

τρέχοντες περιορισμούς τους, δεδομένου ότι θα πρέπει να αναμένουμε ότι η τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων θα εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου και οι τρέχοντες περιορισμοί, όπως εκείνοι που αφορούν τη χωρητικότητα της μνήμης που διατίθεται για τα αναγνωριστικά, θα γίνουν πιο χαλαροί.

2.2 Τεχνολογίες Αρχιτεκτονικής

Το IoT χρειάζεται μια ανοιχτή αρχιτεκτονική που να εξασφαλίζει κλιμάκωση, επεκτασιμότητα και να μεγιστοποιεί τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των ετερογενών συστημάτων και των κατανεμημένων πόρων, συμπεριλαμβανομένων των παρόχων και των καταναλωτών των πληροφοριών και υπηρεσιών, είτε πρόκειται για ανθρώπινα όντα, λογισμικό, έξυπνα αντικείμενα ή συσκευές.

Τα πρότυπα αρχιτεκτονικής θα πρέπει να αποτελούνται από σαφώς καθορισμένα αφηρημένα μοντέλα δεδομένων, διεπαφές και πρωτόκολλα με συγκεκριμένες δεσμεύσεις σε ουδέτερες τεχνολογίες, όπως οι *XML Υπηρεσίες Ιστού (Web-Services)*, προκειμένου να υποστηρίξουν την ευρύτερη δυνατή ποικιλία λειτουργικών συστημάτων και γλωσσών προγραμματισμού.

Η αρχιτεκτονική θα πρέπει να έχει σαφώς καθορισμένα και διακριτά επίπεδα, προκειμένου να προωθήσει μια ανταγωνιστική αγορά λύσεων, χωρίς να εγκλωβίζει οποιονδήποτε χρήστη στη χρησιμοποίηση μιας μονολιθικής στοίβας από έναν και μόνο πάροχο λύσεων. Η IoT αρχιτεκτονική θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να είναι ανθεκτική στη διατάραξη του φυσικού δικτύου και θα πρέπει επίσης να προβλέπει ότι πολλοί από τους κόμβους θα είναι κινητοί, μπορεί να έχουν διαλείπουσα συνδεσιμότητα και μπορεί να χρησιμοποιούν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές για να συνδεθούν.

Οι IoT κόμβοι μπορεί να χρειαστεί να σχηματίζουν δυναμικά και αυτόνομα ομότιμα δίκτυα με άλλους κόμβους, είτε τοπικά είτε εξ αποστάσεως, και αυτό θα πρέπει να υποστηριχθεί μέσω μιας αποκεντρωμένης κατανεμημένης προσέγγισης αρχιτεκτονικής, με υποστήριξη για σημασιολογική αναζήτηση, ανακάλυψη και ομότιμη δικτύωση. Προβλέποντας τους τεράστιους όγκους δεδομένων που μπορεί να παραχθούν, είναι σημαντικό η αρχιτεκτονική να περιλαμβάνει επίσης μηχανισμούς για κίνηση νοημοσύνης και δυνατότητες για φιλτράρισμα, αναγνώριση προτύπων, μηχανική μάθηση και λήψη αποφάσεων προς τα άκρα του δικτύου, προκειμένου να επιτρέπει κατανεμημένη και αποκεντρωμένη επεξεργασία των πληροφοριών, είτε κοντά στο σημείο όπου παράγονται τα δεδομένα ή εξ αποστάσεως στο νέφος (*Cloud*). Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός θα πρέπει επίσης να κάνει δυνατή την επεξεργασία, τη δρομολόγηση, την

αποθήκευση και ανάκτηση των *συμβάντων* (*Events*) και να επιτρέπει αποσυνδεδεμένες λειτουργίες (π.χ. όπου η σύνδεση στο δίκτυο μπορεί να είναι μόνο διαλείπουσα).

Αποτελεσματική προσωρινή αποθήκευση, προ-εντοπισμός θέσης και συγχρονισμός των αιτήσεων, ενημερώσεις και ροές δεδομένων πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία της αρχιτεκτονικής. Με την ανάπτυξη και τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής με όρους ανοικτών προτύπων, μπορούμε να αναμένουμε αυξημένη συμμετοχή από τους παρόχους λύσεων όλων των μεγεθών και μια ανταγωνιστική αγορά που ωφελεί τους τελικούς χρήστες.

2.3 Τεχνολογίες Δικτύου

Το IoT απαιτεί εξελίξεις στην τεχνολογία δικτύου που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του οράματος να φτάσει στα αντικείμενα του φυσικού κόσμου και να τα φέρει στο διαδίκτυο. RFID, ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας και *ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSNs)* επιτρέπουν κάτι τέτοιο, ενώ για παράδειγμα το IPv6, με τον ενισχυμένο χώρο διευθύνσεων που προσφέρει, μπορεί να επιτρέψει όλα τα πράγματα να είναι συνδεδεμένα και να παρακολουθούνται. Το IP παρέχει σήμερα το πρωτόκολλο για την υλοποίηση εφαρμογών IoT. Περισσότερη έρευνα απαιτείται για την τεχνολογία IP και τελικά την ανάπτυξη διάφορων μετα-IP πρωτοκόλλων βελτιστοποιημένων για IoT, συμβατών και διαλειτουργικών με τις υπάρχουσες IP τεχνολογίες.

Η IoT αρχιτεκτονική χρειάζεται να χτιστεί πάνω σε μια δομή δικτύου που ενσωματώνει ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες με ένα διαφανή και απρόσκοπτο τρόπο. Οι ασύρματες τεχνολογίες δικτύων έχουν αποκτήσει μεγαλύτερη έμφαση από τις ενσύρματες, λόγω της ικανότητάς τους να παρέχουν διακριτική επικοινωνία χωρίς καλώδια. Αποτελούν δε τον κυρίαρχο τομέας έρευνας όταν συνδυάζονται με τεχνολογίες συλλογής στοιχείων που χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση του περιβάλλοντος και αντικειμένων. Σε αυτό το πλαίσιο, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υπόσχονται χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους παρακολούθηση και δικτύωση αντικειμένων, κάτι που αποτελεί θεμελιώδη τεχνολογία για την εξέλιξη προς ένα πραγματικά ενσωματωμένο και αυτόνομο IoT.

Στο IoT η ασφάλεια, η κλιμάκωση, η επεκτασιμότητα και συμβατότητα πλατφόρμων μεταξύ διαφορετικών δικτυωμένων συστημάτων θα είναι ουσιαστικής σημασίας. Στο πλαίσιο αυτό, οι τεχνολογίες δικτύου πρέπει να προσφέρουν λύσεις μείωσης του κόστους ώστε να πετύχουν τη βιωσιμότητα της σύνδεσης σχεδόν των πάντων στο δίκτυο.

Νέες αρχιτεκτονικές κλιμάκωσης, σχεδιασμένες ειδικά για τις επικοινωνίες των πανταχού παρόντων δικτύων αισθητήρων θα επιτρέψουν δίκτυα με δισεκατομμύρια συσκευές. Βελτιώσεις στις τεχνικές για ασφαλή και αξιόπιστα πρωτόκολλα ασύρματων επικοινωνιών θα επιτρέψουν εφαρμογές κρίσιμων αποστολών για WSN που βασίζονται σε ασύρματα αναγνωρίσιμες συσκευές.

2.4 Τεχνολογίες Ανακάλυψης Δικτύου

Στο ΙοΤ, το φυσικό και εικονικό δίκτυο θα αλλάζει δυναμικά και θα εξελίσσεται συνεχώς, ενώ τα πράγματα θα διαθέτουν διαφορετικούς βαθμούς αυτονομίας. Νέα «πράγματα» θα προστίθενται και οι υπάρχουσες δικτυακές τοπολογίες θα μετακινούνται. Έτσι, είναι απαραίτητοι αυτόματοι μηχανισμοί ανακάλυψης και δυνατότητες χαρτογράφησης για τη διαχείριση του δικτύου και τη συνολική διαχείριση της επικοινωνίας. Χωρίς αυτούς, οι δυνατότητες διαχείρισης δικτύου δεν μπορεί να κλιμακωθούν, να είναι ακριβείς ή αποτελεσματικές, δεδομένου ότι πρέπει να εκχωρούνται αυτόματα ρόλοι σε συσκευές που βασίζονται στο ευφυές ταίριασμα, παρά σε προκαθορισμένα πρότυπα και χαρακτηριστικά. Χρειάζονται συστήματα παρακολούθησης επιδόσεων που θα βασίζονται σε ρόλους και ιδιότητες, θα ξεκινούν, θα σταματούν, θα διαχειρίζονται και θα προγραμματίζουν τη διαδικασία ανακάλυψης και θα κάνουν αλλαγές σε οποιονδήποτε ρόλο ή προφίλ παρακολούθησης σε οποιαδήποτε στιγμή ή θα δημιουργούν νέο προφίλ όταν απαιτείται.

Οι μηχανισμοί ανακάλυψης δίνουν τη δυνατότητα μη προρυθμισμένης αλληλεπίδρασης μεταξύ των συσκευών, όσον αφορά διευθύνσεις ή καταληκτικά σημεία υπηρεσιών και επιτρέπουν την δυναμική κατά το χρόνο εκτέλεσης διαμόρφωση των συνδέσεων. Αυτό επιτρέπει στις δυναμικά κινητές συσκευές να σχηματίζουν ομάδες συνεργασίας και να προσαρμόζονται στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

2.5 Τεχνολογίες Διαχείρισης Σχέσεων Δικτύου

Το IoT απαιτεί διαχείριση δικτύων που περιέχουν δισεκατομμύρια ετερογενή «πράγματα» και στα οποία υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία συσκευών από άποψη λογισμικού, ενδιάμεσου λογισμικού και υλικού. Οι τεχνολογίες διαχείρισης δικτύου καλύπτουν μια ευρεία περιοχή θεμάτων, όπως ασφάλεια, επιδόσεις και αξιοπιστία.

Στη διαχείριση του δικτύου εμπλέκονται καταναμημένες βάσεις δεδομένων, αποθετήρια (*repositories*), αυτόματη σταθμοσκόπηση (*polling*) των συσκευών δικτύου και σε πραγματικό χρόνο γραφικές απεικονίσεις των μεταβολών της τοπολογίας του δικτύου και της κυκλοφορίας. Η υπηρεσία διαχείρισης δικτύου χρειάζεται μια ποικιλία από εργαλεία, εφαρμογές και συσκευές για να βοηθήσει τον έλεγχο και τη συντήρηση των δικτύων που συμμετέχουν στις εφαρμογές IoT.

Παρόμοια με τις κοινωνικές υπηρεσίες δικτύου που ανθούν σήμερα στο διαδίκτυο, θα υπάρξει ανάγκη τα πράγματα να διαμορφώνουν σχέσεις το ένα με το άλλο πάνω στα δίκτυα. Αυτές οι σχέσεις μπορεί να είναι τυπικές και επίσημες, όπως η ένταξη μέλους σε μια ομοσπονδία, ή θα μπορούσαν να είναι χαλαρές συμμαχίες που προκύπτουν μετά από ένα περιστατικό ή συμβάν.

Με πολλές εφαρμογές του IoT και του IoS να διακινούνται σε μια καταναμημένη απρόσκοπτη αρχιτεκτονική, ο μελλοντικός διαχειριστής εφαρμογών πρέπει να παρακολουθεί πολλά περισσότερα στοιχεία πέρα από την υποδομή. Το IoT πρέπει να ενσωματώσει τη διαχείριση κυκλοφορίας και συμφόρησης. Έτσι θα αισθάνεται και θα διαχειρίζεται ροές πληροφοριών, θα εντοπίζει συνθήκες υπερχειλίσης και θα υλοποιεί διατήρηση πόρων για κρίσιμες ροές δεδομένων. Οι τεχνολογίες διαχείρισης του δικτύου θα πρέπει να έχουν εις βάθος ορατότητα των υποκείμενων απρόσκοπτων δικτύων που εξυπηρετούν, των εφαρμογών και υπηρεσιών και να ελέγχουν τις διαδικασίες που τρέχουν σε αυτά, ανεξάρτητα από συσκευή, πρωτόκολλο κ.λπ. Αυτό θα απαιτήσει ταυτοποίηση ξαφνικών υπερφορτώσεων στο χρόνο απόκρισης υπηρεσιών και λύσεις, παρακολούθηση IoT και web εφαρμογών και ταυτοποίηση τυχόν επιθέσεων από χάκερ και απομακρυσμένη σύνδεση και διαχείριση όλων των «πραγμάτων» που εμπλέκονται σε συγκεκριμένες εφαρμογές από απομακρυσμένα κέντρα «έκτακτης ανάγκης» .

2.6 Τεχνολογίες Επικοινωνιών

Στο Ίντερνετ των Πραγμάτων θέματα που σχετίζονται με την τεχνολογία της επικοινωνίας και πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι τα εξής:

- ÷ Επικοινωνία που επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε «πράγματα» και ανάμεσα σε «πραγμάτα» και διαδίκτυο.
- ÷ Επικοινωνία με αισθητήρες για την καταγραφή και την εκπροσώπηση του φυσικού κόσμου στο ψηφιακό κόσμο.
- ÷ Επικοινωνία με ενεργοποιητές που εκτελούν ενέργειες στο φυσικό κόσμο που έχουν προκληθεί στον ψηφιακό κόσμο.
- ÷ Επικοινωνία με μονάδες κατανεμημένης αποθήκευσης για τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες και συστήματα αναγνώρισης και εντοπισμού.
- ÷ Επικοινωνία για την αλληλεπίδραση με τους ανθρώπους στο φυσικό κόσμο.
- ÷ Επικοινωνία και επεξεργασία για την παροχή εξόρυξης δεδομένων και υπηρεσιών.
- ÷ Επικοινωνία για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας στον φυσικό κόσμο και την παρακολούθηση.
- ÷ Επικοινωνία για αναγνώριση που θα παρέχει μοναδική ταυτοποίηση φυσικών αντικειμένων στο ψηφιακό κόσμο.

Στο IoT, το φάσμα των επιλογών συνδεσιμότητας θα αυξηθεί εκθετικά και οι προκλήσεις της επεκτασιμότητας, διαλειτουργικότητας και της διασφάλισης της απόδοσης των επενδύσεων για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων θα παραμένουν. Στο πλαίσιο αυτό, οι ανάγκες επικοινωνίας θα αλλάξουν και θα απαιτηθούν νέες αρχιτεκτονικές που θα λάβουν μέριμνα για τις ανάγκες σύνδεσης των αναδυόμενων συσκευών. Το φάσμα συχνοτήτων θα πρέπει να προσαρμοστεί στις νέες απαιτήσεις εύρους ζώνης.

Ένας χώρος εκτεταμένου σχεδιασμού περιπλέκει την ανάπτυξη IoT εφαρμογών με διάφορους τρόπους. Κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί πως ο σχεδιασμός για το πιο περιοριστικό σημείο στο χώρο σχεδιασμού (π.χ. ελάχιστες ικανότητες «πράγματος», μεγάλη κινητικότητα) θα

μπορούσε να είναι μια λύση. Ωστόσο, συχνά δεν υπάρχει τέτοιο παγκόσμιο «ελάχιστο» και θα είναι επιθυμητό να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών των διαφόρων σημείων στο χώρο του σχεδιασμού. Αυτό συνεπάγεται ότι καμιά μεμονωμένη πλατφόρμα υλικού και λογισμικού δεν θα είναι επαρκής να υποστηρίξει ολόκληρο το χώρο του σχεδιασμού και όλα τα ετερογενή συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν.

Ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι:

- ÷ ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα επικοινωνίας
- ÷ φάσμα επικοινωνίας και κατανομή συχνοτήτων
- ÷ λογισμικό ραδιοεπικοινωνιών (SDRs)
- ÷ ενεργειακά αποδοτικά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων με δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ πρωτοκόλλων (υβρίδια όπως ZigBee - 6LoWPAN - WiFi)

2.7 Τεχνολογίες Ανακάλυψης και Μηχανές Αναζήτησης

Το IoT θα αποτελείται από πολλούς κατανεμημένους πόρους, όπως αισθητήρες και ενεργοποιητές, καθώς και πηγές πληροφόρησης και αποθετήρια. Είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν τεχνολογίες για την αναζήτηση και την ανακάλυψη αυτών των πόρων ανάλογα με τις δυνατότητές τους (π.χ. τύπος αισθητήρα / ενεργοποιητή, υπηρεσίες που προσφέρονται), τη θέση τους ή/και πληροφορίες που μπορούν να παρέχουν.

Πληροφορίες και υπηρεσίες για τα πράγματα θα είναι κατακερματισμένες σε πολλές οντότητες και μπορεί να παρέχονται σε επίπεδο-τάξης (δηλαδή κοινές πληροφορίες και υπηρεσίες για όλες τις περιπτώσεις των πραγμάτων της ίδιας κατηγορίας), ή σε επίπεδο-σειριακό (δηλαδή για ένα μεμονωμένο πράγμα), καθώς και να παρέχονται έγκυρα από το δημιουργό του πράγματος ή με συνεισφορά άλλων οντοτήτων, όπως αυτών που έχουν αλληλεπιδράσει με ένα μεμονωμένο πράγμα σε κάποια φάση της ζωής του.

Το IoT απαιτεί την ανάπτυξη υπηρεσιών αναζήτησης / παραπομπής για να συνδέονται τα πράγματα σε τέτοιες πληροφορίες και υπηρεσίες και να υποστηρίζεται η ασφαλής πρόσβαση σε αυτές, κατά τρόπο που να σέβεται την ιδιωτική ζωή των ατόμων και το απόρρητο των επιχειρηματικών πληροφοριών, έτσι ώστε το ταίριασμα ανάμεσα σε αιτούντες και παρόχους υπηρεσιών πληροφοριών να μπορεί να βασίζεται σε σχέσεις εμπιστοσύνης.

Καθώς ένα πράγμα κινείται μέσα από τον πραγματικό κόσμο συναντάει νέα περιβάλλοντα. Τα «έξυπνα» πράγματα και άλλοι *πράκτορες (agents)* που έχουν τον έλεγχο των πραγμάτων θα απαιτήσουν μηχανισμούς αναζήτησης προκειμένου να ανακαλύψουν τι δυνατότητες είναι διαθέσιμες μέσα στο τοπικό περιβάλλον του πράγματος. Αυτές οι δυνατότητες ενδέχεται να περιλαμβάνουν διαθεσιμότητα αισθητήρων και ενεργοποιητών, διεπαφές επικοινωνίας δικτύου, ευκολίες για τον υπολογισμό και την επεξεργασία των δεδομένων σε πληροφορίες, καθώς και ευκολίες για περαιτέρω μεταφορά, χειρισμό, φυσική επεξεργασία ή ειδοποίηση του χειριστή σχετικά με τα προβλήματα.

Τα πράγματα μπορεί επίσης να απαιτήσουν δυνατότητα να ανακαλύπτουν την ύπαρξη και την ταυτότητα ομότιμων πραγμάτων μέσα στο περιβάλλον τους, προκειμένου να διαπραγματευθούν

για κοινούς στόχους (όπως κοινές απαιτήσεις για μεταφορές και προορισμούς, ειδικές απαιτήσεις χειρισμού ή αποθήκευσης π.χ. μέσα σε συγκεκριμένα εύρη θερμοκρασίας), καθώς και για τον εντοπισμό και την επίλυση των συγκρούσεων και την επίτευξη αποτελεσματικών, συνεργατικών και διακριτικών λύσεων με τους ομολόγους τους για συνεγκατάσταση και από κοινού μεταφορά, ειδικά όταν σκοπεύουν να αλληλεπιδράσουν με ενεργοποιητές στο τοπικό τους περιβάλλον ή ζητούν μεταφορά. Οι αιτούντες των πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων των εικονικών ομολόγων των πραγμάτων, θα πρέπει συχνά να είναι σε θέση να παρακολουθούν τη θέση των πραγμάτων. Οι τοποθεσίες μπορεί να εκφράζονται ως αφηρημένες ή «λογικές» περιοχές, ίσως και μέσα σε μια ιεραρχία ή ομοσπονδία ιεραρχικών θέσεων (βαθμοί εγγύτητας;). Μπορεί επίσης να εκφράζονται ως 3-διαστάσεων συντεταγμένες επίγειων χωρικών θέσεων.

Υπηρεσίες αναζήτησης και ανακάλυψης θα χρησιμοποιηθούν επομένως όχι μόνο από ανθρώπινους φορείς, αλλά επίσης από λογισμικό εφαρμογών και αυτόνομων ευφυών αντικειμένων, προκειμένου να βοηθηθεί η συλλογή πληροφοριών από πολλούς οργανισμούς και περιοχές, καθώς και για να ανακαλυφθεί τι υποδομή περιβάλλοντος διατίθεται για την υποστήριξη έξυπνων αντικειμένων όσον αφορά τις ανάγκες τους για μεταφορά και χειρισμό, θέρμανση / ψύξη, επικοινωνία δικτύου, επεξεργασία δεδομένων κ.ά.

Το IoT θα απαιτήσει επίσης τη δυνατότητα για τα πράγματα ή τις οντότητες που είναι υπεύθυνες για αυτά να κάνουν ισχυρισμούς σχετικά με την κατάσταση ενός αντικειμένου κατά τέτοιο τρόπο ώστε άλλα πράγματα και άλλες οντότητες να μπορούν να ανακαλύψουν αυτούς τους ισχυρισμούς σχετικά με την κατάσταση του κάθε αντικειμένου ή την κατηγορία στην οποία ανήκει. Για παράδειγμα, ένας ισχυρισμός θα μπορούσε να γίνει για ένα συμβάν σχετικά με ένα μεμονωμένο πράγμα, όπως αν έχει πουληθεί, καταστραφεί, χαθεί, βρεθεί, μαρκαριστεί για ανάκληση ή αν έχει επιστραφεί. Οι ισχυρισμοί θα μπορούσαν επίσης να γίνουν για μια τάξη πραγμάτων, όπως σχόλια, αξιολογήσεις, προτάσεις, χρήσιμες συμβουλές ή διαθεσιμότητα νέων υπηρεσιών, ενημερώσεων και επεκτάσεων / δυνατοτήτων για τα πράγματα, όπως λογισμικό ή firmware. Επιπλέον, ισχυρισμοί μπορούν να γίνουν σχετικά με την ταυτότητα ενός πράγματος ή τη σχέση του με άλλα πράγματα, όπως ισχυρισμοί για την ύπαρξη ομοτίμου στο πλαίσιο μιας ομοσπονδίας πραγμάτων.

Οι υπηρεσίες αναζήτησης και ανακάλυψης διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη χαρτογράφηση μεταξύ των πραγματικών οντοτήτων, όπως τα φυσικά αντικείμενα, και στη συναρμολόγηση των ψηφιακών και εικονικών ομολόγων τους από ένα πλήθος από θραύσματα πληροφοριών που ανήκουν και παρέχονται από διαφορετικούς φορείς. Θα απαιτηθούν οικουμενικοί μηχανισμοί ελέγχου ταυτότητας από κοινού με μηχανισμούς ελέγχου πρόσβασης που θα επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες των πόρων να περιορίσουν αυτούς που μπορούν να ανακαλύψουν τις πηγές τους ή τη σχέση μεταξύ των πόρων τους και μιας συγκεκριμένης οντότητας, όπως ένα μοναδικά ταυτοποιημένο φυσικό αντικείμενο.

Για την αποτελεσματική αναζήτηση και την ανακάλυψη, τα μεταδεδομένα και η σημασιολογική σήμανση των πληροφοριών θα είναι πολύ σημαντική και υπάρχουν μεγάλες προκλήσεις όσον αφορά την εξασφάλιση ότι μεγάλοι όγκοι πληροφορίας, που δημιουργούνται αυτόματα, μπορεί να είναι αξιόπιστοι χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Θα είναι επίσης σημαντικό τα δεδομένα επίγειας χαρτογράφησης να είναι διαθέσιμα και να διασταυρώνονται με λογικές θέσεις, όπως ταχυδρομικούς κώδικες και τοπωνύμια και οι μηχανισμοί αναζήτησης και ανακάλυψης να είναι σε θέση να χειριστούν κριτήρια που αφορούν έννοιες της γεωμετρίας θέσης, όπως χωρική αλληλεπικάλυψη και διαχωρισμός.

Λύσεις που βασίζονται στο DPWS (Devices Profile for Web) χρησιμοποιούν το WS-discovery, ενώ υπάρχουν ήδη αρκετά κατάλληλα πρωτόκολλα όπως το UDDI για web services που θα μπορούσαν να επεκταθούν.

Ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι:

- ÷ η ανακάλυψη οντοτήτων χρησιμοποιώντας κατανεμημένα αποθετήρια
- ÷ η χαρτογράφηση των πραγματικών, ψηφιακών και εικονικών οντοτήτων
- ÷ η συμπλήρωση και αξιοποίηση των επίγειων δεδομένων χαρτογράφησης
- ÷ η ανάπτυξη οικουμενικών μηχανισμών ελέγχου ταυτότητας

2.8 Τεχνολογία Επεξεργασίας Δεδομένων και Σήματος

Στο πλαίσιο του IoT, οι συσκευές που λειτουργούν στην άκρη του δικτύου εξελίσσονται από ενσωματωμένα συστήματα σε κυβερνοφυσικά (*cyber physical*) πράγματα και πράγματα που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες του ιστού (*web enabled*), τα οποία ενσωματώνουν υπολογιστικές, φυσικές και γνωστικές διεργασίες. Γνωστικές συσκευές, ενσωματωμένοι υπολογιστές και δίκτυα θα παρακολουθούν και θα ελέγχουν τις φυσικές διεργασίες, με βρόχους ανατροφοδότησης, όπου φυσικές διεργασίες θα επηρεάζουν τους υπολογισμούς και τις γνωστικές διαδικασίες και αντιστρόφως. Αυτή η σύγκλιση φυσικού υπολογισμού και γνωστικών συσκευών (ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, κινητά τηλέφωνα, ενσωματωμένα συστήματα, ενσωματωμένοι υπολογιστές, μικρο-ρομπότ κ.λπ.) και του Διαδικτύου παρέχει νέες σχεδιαστικές δυνατότητες και προκλήσεις και απαιτεί νέα έρευνα για την τεχνολογία δεδομένων και επεξεργασίας σήματος.

Ένα τυπικό χαρακτηριστικό των κυβερνοφυσικών πραγμάτων και των πραγμάτων που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες του ιστού θα είναι η ετερογένεια των μοντέλων συσκευών, της επικοινωνίας και των γνωστικών ικανοτήτων. Η ανομοιογένεια αυτή αφορά διαφορετικά μοντέλα εκτέλεσης, μοντέλα επικοινωνίας (σύγχρονης / ασύγχρονης) και χρονοπρογραμματισμένων διαδικασιών πραγματικού χρόνου.

Ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν αφορούν τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα, την ανακάλυψη και σύνθεση υπηρεσιών, την κοινοχρησία δεδομένων, τη διάδοση και συνεργασία, τους αυτόνομους πράκτορες, την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής.

Πρότυπα όπως τα OASIS XML και Universal Business Language χρησιμοποιούνται για την επίτευξη διαλειτουργικότητας. Διαφορετικοί φορείς σε διάφορους τομείς έχουν συνειδητοποιήσει τη χρησιμότητα της XML ως βασικής γλώσσας για την τυποποίηση των επιχειρηματικών αντικειμένων. Κάθε τομέας βιομηχανίας αναπτύσσει πρότυπα XML για τον συγκεκριμένο κλάδο. Η βασική ιδέα είναι να εκφράσουν την εμπιστοσύνη, τη διαδικασία, τη ροή εργασίας και άλλα δεδομένα όσον αφορά τη σημασιολογία με όρους XML. Αυτά τα λεξιλόγια XML στη συνέχεια δημοσιεύονται ως γενικευμένοι *Ορισμοί Τύπων Εγγράφων* (*Document Type Definition - DTD*) ή XML Schema για αξιοποίηση από τα μέλη του αντίστοιχου

κλάδου της βιομηχανίας. Δεδομένου ότι όλα τα μέλη ακολουθούν το ίδιο DTD ή σχήμα, επιτυγχάνεται η σημασιολογική διαλειτουργικότητα.

Τα International Standard for Metadata Registries (ISO/IEC 11179) και Core Component (CC) αποσκοπούν στην υποστήριξη της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας μεταξύ των δομημένων δεδομένων που εκφράζεται με τη χρήση διαφορετικών σχημάτων και λεξικών δεδομένων από λεξιλόγια, παρέχοντας σε παγκόσμιο επίπεδο μοναδικά αναγνωριστικά παραπομπής για τα στοιχεία δεδομένων που είναι σημασιολογικά ισοδύναμα, ακόμη και αν έχουν διαφορετικά ονόματα σε διαφορετικά πρότυπα σήμανσης XML.

Η ebXML είναι μια από άκρο σε άκρο στοίβα με στόχο την προτυποποίηση B2B συνεργασιών. Η στοίβα του ebXML προέρχεται από τις θεμελιώδεις αρχές της Ηλεκτρονικής Ανταλλαγής Δεδομένων (Electronic Data Interchange - EDI), της υφιστάμενης de facto τεχνολογίας για τη διεξαγωγή του ηλεκτρονικού επιχειρείν μεταξύ πολλαπλών επιχειρηματικών εταιρίων.

Τέλος, W3C πρότυπα, όπως τα DAML (**D**ARPA **A**gent **M**arkup **L**anguage), RDF (**R**esource **D**escription **F**ramework) και OWL (**O**ntology **W**orking **L**anguage) είναι χρήσιμα για την παροχή σημασιολογικής βάσης σε δυναμικές καταστάσεις που αφορούν δυναμική ανακάλυψη επιχειρήσεων και υπηρεσιών.

2.9 Λογισμικό και αλγόριθμοι

Μία από τις προκλήσεις στη δημιουργία IoT εφαρμογών έγκειται στην έλλειψη ενός κοινού οδηγού που να υποδεικνύει πώς μπορεί το λογισμικό στα διαφορετικά περιβάλλοντα να συνδυαστεί για να λειτουργήσει σε ένα σύνθετο σύστημα και πώς μπορεί να οικοδομηθεί μια συνεκτική εφαρμογή από μια μεγάλη συλλογή άσχετων τμημάτων λογισμικού. Έρευνα και ανάπτυξη εστιάζουν στον *υπηρεσιοστραφή υπολογισμό (Service Oriented Computing - SOC)* για την ανάπτυξη κατανεμημένων και ομόσπονδων εφαρμογών για την υποστήριξη διαλειτουργικής M2M και «πράγμα» προς «πράγμα» αλληλεπίδρασης μέσω ενός δικτύου. Αυτό βασίζεται στα πρωτόκολλα διαδικτύου και στην κορυφή του ορίζει νέα πρωτόκολλα για να περιγράψει και να διευθυνσιοδοτήσει το στιγμιότυπο της υπηρεσίας. Ο υπηρεσιοστραφής υπολογισμός οργανώνει χαλαρά τις υπηρεσίες ιστού και το καθιστά ένα εικονικό δίκτυο.

Ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν:

- ÷ κατανεμημένο αυτοπροσαρμοζόμενο λογισμικό για αυτοβελτιστοποίηση, αυτοδιαμόρφωση, αυτοθεραπεία.
- ÷ βιο-εμπνευσμένοι αλγόριθμοι (π.χ. αυτό-οργάνωση) και θεωρία παιγνίων (για να ξεπεραστούν οι κίνδυνοι τραγωδία των κοινών και να υπάρχει αντίδραση σε κακόβουλους κόμβους)
- ÷ τεχνικές αυτοδιαχείρισης για να ξεπεραστεί η αυξανόμενη πολυπλοκότητα
- ÷ μηχανισμοί διανομής κωδικών πρόσβασης για αυξημένη ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής
- ÷ λειτουργικά συστήματα και εφαρμογές με ενημερότητα συμφραζομένων

2.10 Ενδιάμεσο Λογισμικό

Το IoT χρειάζεται να υποστηριχτεί από λύσεις ενδιάμεσου λογισμικού (*middleware*). Ενδιάμεσο είναι το λογισμικό που βρίσκεται ανάμεσα στο δικτυωμένο λειτουργικό σύστημα και την εφαρμογή και παρέχει επαναχρησιμοποιήσιμες λύσεις σε συχνά εμφανιζόμενα προβλήματα όπως η ετερογένεια, η διαλειτουργικότητα, η ασφάλεια, η αξιοπιστία. Οι περισσότερες λύσεις ενδιάμεσου λογισμικού ή αρχιτεκτονικές έχουν σχεδιαστεί για να διευκολύνουν εφαρμογές σε απομονωμένα πεδία.

Η επικοινωνία ανάμεσα σε διαφορετικές λύσεις είναι κάτι που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Στο IoT δεν θα υπάρχει κεντρικό σημείο ελέγχου. Έτσι, διαφορετικά ενδιάμεσα λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα θα επιστρατευτούν για να συνδεθούν σε αισθητήρες, να συλλέξουν και να μοντελοποιήσουν συμφραζόμενα και να πάρουν αποφάσεις επί αυτών. Επομένως, χρειάζονται μοντέλα συσχέτισης των διάφορων λύσεων που να επιτρέπουν μια ολιστική προσέγγιση στην υλοποίηση του IoT.

2.11 Ενημερότητα Συμφραζομένων

Όπως είδαμε, τα χαρακτηριστικά ενός αυτόνομου συστήματος βασίζονται στην *ενημερότητα συμφραζομένων* (*context awareness*). Αρχικά, ως συμφραζόμενα ορίστηκαν οι πληροφορίες για τη θέση και την ταυτότητα ανθρώπων και αντικειμένων, καθώς επίσης και οι αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτές. Αργότερα, ως συμφραζόμενα θεωρήθηκε οτιδήποτε είχε να κάνει με τη θέση, το περιβάλλον, την ταυτότητα και τον χρόνο ενός χρήστη. Σύμφωνα με τους Abowd and Mynatt [8], οι ελάχιστες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για καταλάβουμε τα συμφραζόμενα είναι το Ποιος, Τι, Πού, Πότε, Γιατί - τα πέντε Ws (Who, What, Where, When, Why). Μια πιο ακριβής και σαφής διατύπωση για τον όρο συμφραζόμενα λέει ότι: «Συμφραζόμενα είναι οποιαδήποτε πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσει την κατάσταση μιας οντότητας. Μια οντότητα είναι ένα πρόσωπο, τόπος ή αντικείμενο που θεωρείται σχετικό με την αλληλεπίδραση ενός χρήστη και μιας εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένων του χρήστη και της εφαρμογής.»

Ένα σύστημα είναι ενήμερο των συμφραζομένων αν χρησιμοποιεί τα συμφραζόμενα για να προσφέρει σχετικές πληροφορίες ή/και υπηρεσίες στο χρήστη, όπου η σχετικότητα εξαρτάται από το έργο του χρήστη. Η ενημερότητα συμφραζομένων μπορεί να προσδιοριστεί σε τρία επίπεδα που βασίζονται στην αλληλεπίδραση με το χρήστη.

1. Προσαρμογή: Επιτρέπει στους χρήστες να ορίσουν στο σύστημα τις προτιμήσεις τους, τις συμπάθειές τους και τις προσδοκίες τους, με το χέρι. Για παράδειγμα, οι χρήστες μπορούν να ρυθμίσουν την επιθυμητή θερμοκρασία στο περιβάλλον ενός έξυπνου σπιτιού όπου το σύστημα θέρμανσης μπορεί να διατηρήσει την καθορισμένη θερμοκρασία σε όλους τους χώρους.

2. Παθητική ενημερότητα συμφραζομένων: Το σύστημα ελέγχει συνεχώς το περιβάλλον και προσφέρει τις κατάλληλες επιλογές στους χρήστες ώστε να μπορούν να αναλάβουν δράσεις. Για παράδειγμα, όταν ένας χρήστης εισέρχεται σε ένα σούπερ μάρκετ, το κινητό του τηλέφωνο τον ειδοποιεί με μια λίστα εκπωτικών προϊόντων που αξίζει να εξετάσει.

3. Ενεργητική ενημερότητα συμφραζομένων: Το σύστημα συνεχώς και αυτόνομα παρακολουθεί την κατάσταση και ενεργεί αυτόνομα. Για παράδειγμα, εάν οι ανιχνευτές καπνού και αισθητήρες

θερμοκρασίας ανιχνεύσουν μια πυρκαγιά σε ένα δωμάτιο στο περιβάλλον ενός έξυπνου σπιτιού, το σύστημα ειδοποιεί αυτόματα την πυροσβεστική υπηρεσία, καθώς και τον ιδιοκτήτη του.

Οι πιο δημοφιλείς τεχνικές μοντελοποίησης συμφραζομένων είναι:

- ÷ *Κλειδί-Τιμή (Key-Value-Pairs Models)*: μοντελοποιεί την πληροφορία ως ζεύγη κλειδί-τιμή σε διάφορες μορφές όπως αρχεία κειμένου και αρχεία δυαδικά.
- ÷ *Σύστημα Σήμανσης (Markup Scheme Models)*: μοντελοποιεί τα δεδομένα χρησιμοποιώντας ετικέτες- τα συμφραζόμενα αποθηκεύονται μέσα στις ετικέτες.
- ÷ *Γραφική (Graphical Models)*: μοντελοποιεί τα συμφραζόμενα με σχέσεις. Παραδείγματα αποτελούν οι *Unified Modelling Language (UML)* and *Object Role Modelling (ORM)*.
- ÷ *Αντικειμενοστραφής (Object Oriented Models)*: μοντελοποιεί τα δεδομένα χρησιμοποιώντας ιεραρχίες κλάσεων και σχέσεις σύμφωνα με το αντικειμενοστραφές παράδειγμα.
- ÷ *Βασισμένη στη λογική (Logic-based Models)*: Για την αναπαράσταση της πληροφορίας που αφορά τα συμφραζόμενα χρησιμοποιούνται γεγονότα, εκφράσεις και κανόνες.
- ÷ *Βασισμένη στην οντολογία (Ontology Based Models)*: Τα συμφραζόμενα οργανώνονται σε οντολογίες χρησιμοποιώντας σημασιολογικές τεχνολογίες.
- ÷ *Σχεσιακή (Relational Models)*: Χρησιμοποιεί «καθαρή» τεχνολογία βάσεων δεδομένων για κινητές εφαρμογές (mobile DB). Οι πληροφορίες φιλτράρονται σύμφωνα με τα συμφραζόμενα της εφαρμογής. Βασίζεται σε μια παραδοχή κλειστού- κόσμου
- ÷ *Υβριδική (Hybrid Models)*. Σήμερα θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική. Συνδυάζει διαφορετικές τεχνικές μοντελοποίησης για διαφορετικούς σκοπούς.

Ανάμεσα στις διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης, η τεχνική που βασίζεται σε οντολογίες έχει εξέχουσα θέση. Οι οντολογίες προσφέρουν μια εκφραστική γλώσσα για την αναπαράσταση σχέσεων και συμφραζομένων, επιτρέπουν το διαμοιρασμό γνώσης και αποσυνδέουν τη γνώση από την εφαρμογή και τον κώδικα. Επιτρέπουν το διαμοιρασμό πληροφορίας με κοινά κατανοητή δομή ανάμεσα σε ανθρώπους ή πράκτορες λογισμικού και το διαχωρισμό της γνώσης τομέα από τη λειτουργική γνώση, ενώ κάνουν δυνατή την επαναχρησιμοποίηση της γνώσης και την εξαγωγή γνώσης υψηλού επιπέδου.

Στο IoT, λόγω της δυναμικής του, οι λύσεις ενδιάμεσου λογισμικού πολλές φορές θα χρειαστεί να υποστηρίξουν εφαρμογές που δεν είναι καν γνωστές κατά το χρόνο σχεδιασμού του ενδιάμεσου λογισμικού. Οι οντολογίες είναι ένα καλό εργαλείο για την ενσωμάτωση/ολοκλήρωση της γνώσης.

Σε αυτά τα πλαίσια, έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές *συλλογιστικής συμφραζομένων* (*context reasoning*). Οι πιο δημοφιλείς συλλογιστικές τεχνικές είναι οι εξής έξι: επιβλεπόμενη μάθηση, μάθηση χωρίς επίβλεψη, κανόνες, ασαφής λογική, οντολογική συλλογιστική και πιθανολογική συλλογιστική.

2.12 Διάχυτη Νοημοσύνη

Η *Διάχυτη Νοημοσύνη* (*Ambient Intelligence - AmI*) αποτελεί σχετικά νέα τεχνολογία και είναι αποτέλεσμα της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης για συνεχή και πανταχού διαθέσιμη πρόσβαση σε πληροφορίες και ηλεκτρονικές υπηρεσίες. Τεχνολογίες υπολογιστών και δικτύων πλήρως ενσωματωμένες στο περιβάλλον έχουν ανάγκη να αντιληφθούν τις ανθρώπινες επιθυμίες και απαιτήσεις και να ανταποκριθούν έγκαιρα σε αυτές. Ο απώτερος στόχος είναι η πλήρης ενσωμάτωση των AmI τεχνολογιών στο καθημερινό περιβάλλον με «αόρατο» τρόπο. Η τεχνολογία δεν αναδεικνύεται αλλά κρύβεται, μέχρι τελικά να εξαφανιστεί. Σε έναν έξυπνο χώρο του μέλλοντος θα μπορούμε να διακρίνουμε πολύ λιγότερα τεχνολογικά αντικείμενα από ό,τι σήμερα.

Σύμφωνα με τον ορισμό των Zelkha και Epstein [9]:

«Η ιδέα της διάχυτης νοημοσύνης βασίζεται στον πανταχού παρόντα υπολογισμό, στην κατασκευή προφίλ, την ενημερότητα συμφραζομένων και το σχεδιασμό ανθρωποκεντρικής αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή και χαρακτηρίζεται από συστήματα και τεχνολογίες που είναι:

- ÷ *ενσωματωμένα (embedded): πολλές δικτυωμένες συσκευές ενσωματωμένες στο περιβάλλον.*
- ÷ *ενήμερα συμφραζομένων (context aware): αυτές οι συσκευές μπορούν να αναγνωρίζουν εσάς και την κατάστασή σας.*
- ÷ *εξατομικευμένα (personalized): μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες σας.*
- ÷ *προσαρμοστικά (adaptive): μπορούν να αλλάξουν σε απάντησή σας.*
- ÷ *προνοητικά (anticipatory): μπορούν να προβλέψουν τις επιθυμίες σας χωρίς συνειδητή διαμεσολάβηση.»*

Τα χαρακτηριστικά της διάχυτης νοημοσύνης όπως προκύπτουν από διάφορους ορισμούς περιλαμβάνουν: ευαισθησία (Sensitivity), απόκριση (Response), προσαρμοστικότητα (Adaptivity), διαφάνεια (Transparency), πανταχού παρουσία (Ubiquity) και ευφυία (Intelligence).

Η διάχυτη νοημοσύνη είναι στενά συνδεδεμένη με το μακροπρόθεσμο όραμα ενός ευφυούς συστήματος παροχής υπηρεσιών στο οποίο οι τεχνολογίες θα είναι σε θέση να αυτοματοποιήσουν μια πλατφόρμα που ενσωματώνει τις απαιτούμενες συσκευές για την τροφοδότηση ενήμερων συμφραζομένων, εξατομικευμένων, προσαρμοστικών και προληπτικών υπηρεσιών [10].

2.13 Αυτόνομος Υπολογισμός (*Autonomic Computing*)

Ο αυτόνομος υπολογισμός είναι ένας όρος που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την IBM το 2001 για να περιγράψει τα υπολογιστικά συστήματα που έχουν ως χαρακτηριστικό τους την αυτοδιαχείριση. Η IBM έχει ορίσει τέσσερις βασικές ιδιότητες για τα αυτόνομα συστήματα. Πρόκειται για τις ιδιότητες αυτορρύθμιση, αυτοθεραπεία, αυτοβελτιστοποίηση και αυτοπροστασία.

Ο αυτόνομος υπολογισμός στοχεύει να παρέχει στον τελικό χρήστη ένα σύστημα πολύ αξιόπιστο, με μηδενικό κόστος συντήρησης και ταυτόχρονα να παρέχει μια διαφανή διεπαφή σε πολύπλοκες υποδομές.

Ένα αυτόνομο υπολογιστικό σύστημα μπορεί να είναι μια συλλογή από αυτόνομα συστατικά, τα οποία μπορούν να διαχειριστούν τις εσωτερικές τους συμπεριφορές και τις σχέσεις τους με άλλα συστατικά σύμφωνα με πολιτικές υψηλού επιπέδου. Οι αρχές που διέπουν όλα αυτά τα συστήματα έχουν συνοψιστεί ως οκτώ καθοριστικά χαρακτηριστικά [11]:

1. Αυτορρύθμιση: ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει δυναμικά τους πόρους του με βάση την κατάσταση του και την κατάσταση του περιβάλλοντος εκτέλεσής του.
2. Αυτοθεραπεία: ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει να γνωρίζει τα πιθανά προβλήματα και πρέπει να έχει την ικανότητα να αυτορρυθμίζεται για να συνεχίσει να λειτουργεί ομαλά.
3. Αυτοβελτιστοποίηση: ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύσει μείωση των επιδόσεων στις συμπεριφορές του συστήματος και έξυπνα να εκτελεί λειτουργίες αυτοβελτιστοποίησης.
4. Αυτοπροστασία: ένα αυτόνομο σύστημα είναι επιρρεπές σε επιθέσεις και ως εκ τούτου πρέπει να είναι ικανό να ανιχνεύει και να προστατεύει τους πόρους του από εσωτερικές και εξωτερικές επιθέσεις και να διατηρεί τη συνολική ασφάλεια και ακεραιότητα του συστήματος.
5. Αυτογνωσία: το σύστημα πρέπει να γνωρίζει τον εαυτό του και να έχει επίγνωση της κατάστασής του και των συμπεριφορών του.

6. Ενημερότητα συμφραζομένων: ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει να είναι ενήμερο για το περιβάλλον εκτέλεσής του και να είναι σε θέση να αντιδρά σε αλλαγές του.
7. Ανοικτό: ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει να είναι φορητό σε πολλαπλές αρχιτεκτονικές υλικού και λογισμικού, και κατά συνέπεια, θα πρέπει να βασίζεται σε πρότυπα και ανοικτά πρωτόκολλα και διεπαφές.
8. Προνοητικό: ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει, στο βαθμό που μπορεί, τις ανάγκες και τις συμπεριφορές του και αυτές του περιβάλλοντός του, και να είναι σε θέση να διαχειριστεί τον εαυτό του προκαταβολικά.

Δείγμα συμπεριφοράς αυτόνομου συστήματος αποτελεί η εγκατάσταση λογισμικού όταν ανιχνεύει ότι αυτό λείπει (αυτορρύθμιση), η επανεκκίνηση ενός στοιχείου που παρουσίασε βλάβη (αυτοθεραπεία), η προσαρμογή του τρέχοντος φόρτου εργασίας όταν παρατηρείται αύξηση της παραγωγικής ικανότητας (αυτοβελτιστοποίηση) και η απομάκρυνση πόρων, εάν διαπιστώσει ότι αυτοί βρίσκονται σε κίνδυνο από εξωτερικές επιθέσεις (αυτοπροστασία).

Ο αυτόνομος υπολογισμός είναι μια εξελικτική διαδικασία και αποτελείται από πέντε επίπεδα. Τα επίπεδα αυτά είναι:

1. Βασικό: Το βασικό επίπεδο αντιπροσωπεύει το σημείο εκκίνησης όπου ένας σημαντικός αριθμός των συστημάτων πληροφορικής βρίσκονται σήμερα. Κάθε στοιχείο του συστήματος διαχειρίζεται ανεξάρτητα από διαχειριστές συστήματος που το εγκαθιστούν, το παρακολουθούν και το ενισχύουν όταν απαιτείται.
2. Διαχείρισης (managed): Σε αυτό το επίπεδο, οι τεχνολογίες διαχείρισης συστημάτων χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών από ετερογενή συστήματα σε μια ενοποιημένη άποψη, μειώνοντας το χρόνο που χρειάζεται ο διαχειριστής για να συλλέξει και να συνθέσει τις πληροφορίες.
3. Πρόβλεψης (Predictive): Στο επίπεδο αυτό, νέες τεχνολογίες εισάγονται που παρέχουν συσχέτιση μεταξύ των διάφορων στοιχείων του συστήματος. Το ίδιο το σύστημα μπορεί να αρχίσει να αναγνωρίζει μοτίβα, να προβλέπει τη βέλτιστη διαμόρφωση και να παρέχει

συμβουλές σχετικά με το τι πορεία δράσης θα πρέπει να λάβει ο διαχειριστής. Καθώς οι τεχνολογίες αυτές βελτιώνονται, οι άνθρωποι θα εκοικειωθούν με τις συμβουλές και την προβλεπτική ικανότητα του συστήματος.

4. Προσαρμογής (Adaptive): Το προσαρμοστικό επίπεδο επιτυγχάνεται όταν τα συστήματα, όχι μόνο μπορούν να παρέχουν συμβουλές σχετικά με δράσεις, αλλά μπορούν να εκτελέσουν αυτόματα τις σωστές ενέργειες με βάση τις πληροφορίες που έχουν στη διάθεσή τους σχετικά με το τι συμβαίνει στο σύστημα.

5. Αυτονομίας (Autonomic): Τέλος, το επίπεδο πλήρους αυτονομίας θα επιτευχθεί όταν η λειτουργία του συστήματος διέπεται από τις επιχειρηματικές πολιτικές και στόχους. Οι χρήστες αλληλεπιδρούν με το σύστημα για να παρακολουθούν τις επιχειρηματικές διαδικασίες ή/και να αλλάζουν τους στόχους.

2.14 Τεχνολογία Υπολογιστικού Νέφους

Το υπολογιστικό νέφος (*cloud computing*) [12], [13] είναι χτισμένο στην κορυφή μιας εικονικής υποδομής που αποτελείται από συστατικά υπολογισμού, αποθήκευσης και δικτύου. Υπάρχει μια ποικιλία από διαφορετικά μοντέλα υπηρεσιών που αντιπροσωπεύουν το υπολογιστικό νέφος, όπως τα SaaS, IaaS, PaaS, και υπάρχουν πολλά βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν το «σύννεφο», όπως ευελιξία, επεκτασιμότητα, αυτοματοποίηση και κατά απαίτηση (on-demand) παροχή υπηρεσιών.

Η έννοια του IoT συνδέεται στενά με τον διαρκώς αυξανόμενο αριθμό των πραγμάτων που, εκτός του ότι περιέχουν εσωτερικούς αισθητήρες και επεξεργαστές, είναι επίσης άμεσα συνδεδεμένα με το διαδίκτυο, με συνεχή ροή δεδομένων σε απευθείας σύνδεση. Θα μπορούσαμε να έχουμε παιχνίδια που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ανεξάρτητα, γραφεία που όταν χρειάζεται παραγγέλνουν αυτόματα νέες προμήθειες χωρίς τη δική μας παρέμβαση, ακόμη και αισθητήρες στα ρούχα ή στο σώμα μας που στέλνουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για την υγεία μας στο γιατρό μας. Αυτό το είδος της M2M επικοινωνίας βρίσκεται στο επίκεντρο του IoT.

Για να αποκτήσει το IoT πλήρη δυναμική ωστόσο, το υπολογιστικό νέφος έχει θεμελιώδη σημασία. Η όλη ιδέα πίσω από τα συνδεδεμένα αντικείμενα είναι ότι τα δεδομένα που συλλέγουν, ως επί το πλείστον, μεταδίδονται σε απευθείας σύνδεση, έτσι ώστε οι εφαρμογές να μπορούν να τα συγκεντρώσουν, να τα αναλύσουν και να δράσουν πάνω σε αυτά αποτελεσματικά. Το νέφος είναι το φυσικό σπίτι για αυτές τις εφαρμογές.

Αν σκεφτούμε ότι όλα τα καθημερινής χρήσης αντικείμενά μας εφοδιασμένα με κάθε είδους αισθητήρα θα μπορούν να συνδεθούν, αντιλαμβανόμαστε ότι ο αριθμός των σημείων δεδομένων που θα δημιουργηθεί είναι συγκλονιστικός. Το IoT χρειάζεται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που σχετίζονται με την παραγωγή δεδομένων, τόσο από άποψη όγκου όσο και από άποψη ταχύτητας. Τεράστιοι όγκοι δεδομένων που δημιουργούνται θα πρέπει να αποθηκευτούν και να αναλυθούν, ενώ οι αισθητήρες παράγουν πολύ περισσότερα δεδομένα και σε πολύ υψηλότερο ποσοστό από ό,τι οι περισσότερες εμπορικές εφαρμογές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι λύσεις που βασίζονται στο νέφος είναι θεμελιώδους σημασίας.

Το νέφος μάς παρέχει τη δυνατότητα να αποκτήσουμε δυναμικά αποθηκευτικούς πόρους, καθώς οι ανάγκες μας αυξάνονται, και να το κάνουμε αυτό με αυτοματοποιημένο τρόπο, έτσι ώστε η ανθρώπινη παρέμβαση να μην είναι πλέον απαραίτητη. Μας δίνει επίσης πρόσβαση σε εικονική αποθήκευση και άρα πρόσβαση σε μια τεράστια δεξαμενή αποθηκευτικών πόρων, πέρα από οτιδήποτε θα μπορούσαμε να έχουμε σε τοπικό επίπεδο.

Το δεύτερο πρόβλημα με όλα αυτά τα στοιχεία είναι το πώς θα γίνει η επεξεργασία τους. Η μια λύση είναι η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, για κάθε σημείο δεδομένων και από κάθε διαφορετικό αντικείμενο. Η δεύτερη είναι η εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας από τη συλλογή όλων των διαθέσιμων σημείων δεδομένων και η συσχέτιση με την πληροφορία από διαφορετικά αντικείμενα να προσθέσει πραγματική αξία στα αποθηκευμένα δεδομένα.

Ενώ η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο φαίνεται αρκετά απλή, στην πραγματικότητα δεν είναι. Δημιουργούνται ροές δεδομένων σε ρυθμούς μη προβλέψιμους που με τη σειρά τους δεν επιτρέπουν πρόβλεψη για υποδομές επεξεργασίας. Και βέβαια, αν κάνουμε πρόβλεψη με βάση τα φορτία αιχμής, μεγάλο μέρος της υποδομής θα πάει χαμένη.

Στη δεύτερη περίπτωση, για να εξάγουμε πληροφορίες από τα αποθηκευμένα δεδομένα θα πρέπει να βοηθηθούμε από τις λύσεις μεγάλων δεδομένων (Big Data) που διαθέτουμε ή που θα διαθέτουμε.

Το νέφος είναι μοναδικά κατάλληλο για να χειριστεί και τα δύο προβλήματα. Στην πρώτη περίπτωση, ο υπολογισμός νέφους επιτρέπει τη δυναμική κατανομή των πόρων επεξεργασίας, επιτρέποντας σε μια εφαρμογή που χρειάζεται να αναλύσει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, να χειριστεί όλες τις ποσότητες δεδομένων και να βελτιστοποιήσει τις δαπάνες υποδομής. Στη δεύτερη, το νέφος πηγαίνει χέρι-χέρι με τις λύσεις Big Data, για τους ίδιους ακριβώς λόγους. Έτσι, ενώ το IoT μπορεί να αλλάξει τη συνολική αρχιτεκτονική του νέφους, το νέφος όπως το γνωρίζουμε σήμερα είναι απαραίτητο για να ενεργοποιήσει αυτή την αλλαγή.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

3

Τρέχουσα Τεχνολογική Κατάσταση

Τα μέτωπα έρευνας για να μπορέσει να γίνει πραγματικότητα το IoT είναι ανοικτά σε όλα τα επίπεδα. Βασικά θέματα που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν έχουν να κάνουν με την αρχιτεκτονική, η οποία θα πρέπει να αντιμετωπίσει το IoT ως παγκόσμιο πολύπλοκο σύστημα, συνεχώς επεκτάσιμο και εξελίξιμο σε μέγεθος, χώρο και χρόνο, το οποίο ενσωματώνει διάχυτη νοημοσύνη και είναι αυτόνομο.

3.1 Τεχνολογίες Ταυτοποίησης

Στο υφιστάμενο διαδίκτυο, η ταυτοποίηση συνήθως επιτυγχάνεται μέσω ιεραρχικών δομών αναγνωριστικών στις οποίες κάθε βαθμίδα της ιεραρχίας είναι υπεύθυνη μόνο για τη διασφάλιση της μοναδικότητας ανάμεσα στα μέλη της προηγούμενης βαθμίδας. Γνωστά παραδείγματα τέτοιων ιεραρχικά δομημένων αναγνωριστικών περιλαμβάνουν τους τηλεφωνικούς αριθμούς, URIs, ονόματα κεντρικών υπολογιστών Διαδικτύου και επιμέρους τομέων, ψηφιακά αναγνωριστικά αντικειμένων κ.λπ. Ίσως ορισμένες κατηγορίες «πραγμάτων» θα έχουν το δικό τους χώρο ονομάτων , όπως το World Wide Web.

Επιπλέον, όπως αναφέρεται στο πρότυπο ISO 15459, υπάρχουν πολλαπλές αρχές έκδοσης καθιερωμένων ονομάτων και είναι σημαντικό το Διαδίκτυο των Πραγμάτων να αναγνωρίζει τη νόμιμη, αλλά μη αποκλειστική συμμετοχή στην κατασκευή μοναδικών αναγνωριστικών για τα πράγματα και να βοηθά στη διαχείριση εξουσιοδότησης της μοναδικότητας των αναγνωριστικών που δημιουργούνται από τα μέλη τους, καθένα από τα οποία κερδίζει έτσι την αυτονομία για να δημιουργήσει μοναδικά αναγνωριστικά στο δικό του χώρο ονομάτων. Θα πρέπει επίσης να είναι δυνατόν για οποιονδήποτε να χρησιμοποιήσει ενιαία αναγνωριστικά πόρων (URIs) ως μοναδικά αναγνωριστικά για τα πράγματα.

Το IPv6 αρχικά σχεδιάστηκε για την αντιμετώπιση του προβλήματος εξάντλησης των διευθύνσεων στο Διαδίκτυο. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται μερικώς τα τελευταία χρόνια με χρήση ιδιωτικών δικτύων όπου χρησιμοποιούνται εσωτερικές επαναχρησιμοποιούμενες διευθύνσεις και μικρός αριθμός εξωτερικών μοναδικών δημόσιων διευθύνσεων IPv4, σε συνδυασμό με την τεχνική *μετάφρασης διευθύνσεων (Network Address Translation - NAT)*. Ωστόσο, η χρήση της τεχνικής NAT αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα του δικτύου και των εφαρμογών και παρεμποδίζει τη λειτουργία αρκετών υπηρεσιών και εφαρμογών που σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν με τη λογική χρήσης δημόσιων διευθύνσεων στις συσκευές του Διαδικτύου. Το IPv6 είναι βελτιωμένο με νέες δυνατότητες *διευθυνσιοδότησης (addressing)*, αυτορρύθμισης παραμέτρων επικοινωνίας (*autoconfiguration*), διευκόλυνσης της κινητικότητας (*mobility*), ασφάλειας από-άκρη-σε-άκρη, *ποιότητας υπηρεσίας (QoS)*, *πολυεκπομπής (multicast)* κ.ά.

3.2 Τεχνολογίες Αρχιτεκτονικής

Η IoT-A έχει δημιουργήσει ένα “*Architectural Reference Model*” (IoT ARM) [14] ως κοινή βάση για το IoT. Πρόκειται για μια κοινή δομή και οδηγίες που έχουν να κάνουν με τις βασικές πτυχές ανάπτυξης, χρήσης και ανάλυσης IoT συστημάτων. Τα έργα IoT-i [15] και CASAGRAS2 [16] συνεργάζονται για την εξέλιξη αυτού του μοντέλου.

Οι αρχιτεκτονικές που έχουν εμφανιστεί κατά καιρούς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την οπτική που τις αντιμετωπίζουμε. Δεν υπάρχει κοινό σχήμα κατηγοριοποίησης που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις περιπτώσεις.



Κάποια αρχιτεκτονικά στύλ είναι τα ακόλουθα:

(i) Εικονικοποίηση Δικτύου (Network Virtualization - NV)

Χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει υποκείμενα επίπεδα του δικτύου με ενιαίο τρόπο, με στόχο μια εφαρμογή υψηλού επιπέδου. Παραδείγματα αποτελούν τα *VPNs* (*Virtual Private Networks*) και τα ομότιμα (*peer-to-peer-P2P*) δίκτυα.

Σχετικά έργα: Το έργο *FP7 4WARD* [17] περιλαμβάνει λύσεις εικονοποίησης δικτύου για την ενδοδικτυακή διαχείριση, γενική συνδεσιμότητα και αντικείμενα πληροφορίας με επίκεντρο το περιεχόμενο. Το έργο *MAGNET* [18] προσφέρει εικονοποίηση δικτύου, τόσο στο επίπεδο 2 όσο και στο επίπεδο 3, ενώ το έργο *ITEA2 usenet* [19] επικεντρώνεται στην εικονοποίηση δικτύου για μηχανή-προς-μηχανή (M2M) επικοινωνία. Στο *VPAN* δημιουργούνται δίκτυα επικάλυψης

αυτοοργάνωσης και αυτοσυντήρησης που παρέχουν ένα θωρακισμένο και έμπιστο περιβάλλον για δικτυακές εφαρμογές οι οποίες μοιράζονται κοινά συμφραζόμενα.

Παρόλο που η Εικονοποίηση Δικτύου παρουσιάζει παρουσιάζει το εξαιρετικό πλεονέκτημα ότι αντιμετωπίζει σε μεγάλο βαθμό την ετερογένεια του δικτύου, έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Καταρχάς, πέρα από το γεγονός ότι δεν έχει ακόμη αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα επεκτάσιμη αρχιτεκτονική, δεδομένου ότι η δημιουργία ενός δικτύου επικάλυψης είναι συχνά δύσκολη και χρονοβόρα, συχνά, οι τεχνικές είναι υπερβολικά πολύπλοκες και αναποτελεσματικές για εφαρμογή σε ενσωματωμένες συσκευές περιορισμένων πόρων.

(ii) Αρχιτεκτονικές με επίκεντρο τη Βάση Δεδομένων (Database Centric Architectures):

Κρύβουν την ετερογένεια των υποκείμενων δικτύων, επιτρέποντας μόνον την πρόσβαση στο δίκτυο πληροφοριών με χρήση λειτουργιών βάσης δεδομένων.

Το έργο *SENSEI* [20] αναπτύσσει ένα ολιστικό πλαίσιο για μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη διαλειτουργικών δικτύων αισθητήρων και ενεργοποιητών (WS&AN), σε συνδυασμό με καθολικές διεπαφές για την προσπέλασή τους. Λύνει την αδυναμία πρόσβασης συσκευών χαμηλών πόρων, συλλέγοντας όλα τα δεδομένα από τις συσκευές και κάνοντας τα διαθέσιμα σε μια βάση δεδομένων κεντρικά προσβάσιμη.

Παρόλα αυτά, το *SENSEI* και άλλα παρόμοια έργα δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι ακολουθούν αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική. Αυτή η προσέγγιση έτσι οδηγεί συχνά σε σημαντική επιβάρυνση του δικτύου.

(iii) Αρχιτεκτονικές με επίκεντρο το Περιεχόμενο (Content Centric Architectures):

Επικεντρώνονται στην περιγραφή των πληροφοριών που ανταλλάσσονται μεταξύ των δικτύων. Ένα σχετικό έργο που εντάσσεται σε αυτή την κατηγορία είναι το *SensorGrid4Env* [21], το οποίο εστιάζει στην ανάπτυξη ενός σημασιολογικού επιπέδου ενδιάμεσου λογισμικού και επιτρέπει την ανακάλυψη και τη συγχώνευση πηγών πληροφορίας που βασίζονται σε αισθητήρες, ροές δεδομένων και στατικά δεδομένα.

(iv) Προσεγγίσεις Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Computing Approaches)

Προσπαθούν να μεταφέρουν εντατικές εργασίες πόρων σε πιο ικανούς κόμβους. Τυπικά, ο

υπολογισμός νέφους μπορεί να προσφέρει υποδομές, πλατφόρμες ή λογισμικό ως υπηρεσία σε λιγότερο ικανές συσκευές.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας αποτελεί το *VISION Cloud* [22], το οποίο προσφέρει αποθήκευση βασισμένη σε νέφος, βελτιστοποιημένη διανομή υπηρεσιών αποθήκευσης δεδομένων υψηλής έντασης και προσπέλαση με κέντρο το περιεχόμενο, χρησιμοποιώντας πλούσια μεταδεδομένα για να μοντελοποιήσει τα πράγματα και τις σχέσεις τους.

(v) Υπηρεσιοστραφείς Αρχιτεκτονικές (Service Oriented Architectures - SOAs)

Χρησιμοποιούν χαλαρά συνδεδεμένες οντότητες λογισμικού που υλοποιούν μια ενιαία λογισμική λειτουργία. Αυτές οι υπηρεσίες λογισμικού συνδυάζονται δυναμικά για να σχηματίσουν ad hoc εφαρμογές. Τέτοιες αρχιτεκτονικές ακολουθούνται από προγράμματα όπως το SOCRADES [23], το iCore [24] και το Hydra [25]. Ορισμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση υπηρεσιοστραφούς αρχιτεκτονικής είναι οι ML, SOAP, Web Services και BPEL.

(vi) Αρχιτεκτονικές που στρέφονται γύρω από υπηρεσίες δικτύου (Network-Service Oriented Architectures).

Ταυτοποιούν πρωτόκολλα δικτύου ως υπηρεσίες. Ενδεικτικά, το *IDRA* του έργου SPITFIRE [26] επιτρέπει την άμεση σύνδεση μεταξύ των ετερογενών αντικειμένων στο IoT. Εφαρμόζει διάφορες δικτυακές λειτουργίες την κάθε μια σε ένα απλό, τυποποιημένο, ανεξάρτητο-τεχνολογίας συστατικό που ονομάζεται «υπηρεσία δικτύου». Το έργο SPITFIRE στοχεύει στην ενοποίηση των IoT και WoT (Web of Things- Ιστός των Πραγμάτων).

(vii) Αρθρωτές Προσεγγίσεις (Modular Approaches):

Η στοίβα πρωτοκόλλων χωρίζεται σε διαφορετικά τμήματα που μπορούν να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν νέα πρωτόκολλα δικτύου με διαφορετικές λειτουργικότητες. Ως εκ τούτου, οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν εύκολα να ενσωματώσουν τις νέες τεχνολογίες δικτύου, ενημερώνοντας ένα μοναδικό τμήμα. Σπονδυλωτά πλαίσια, όπως το *SNA*, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό νέων επιπέδων δικτύου .

Σχετικό έργο αποτελεί το *NewArch* [27] το οποίο περιγράφει τον τρόπο που μπορεί να

δημιουργηθεί μια ευέλικτη αρχιτεκτονική όπου διαφορετικοί ρόλοι μπορούν να συνδυαστούν δυναμικά κατά το χρόνο εκτέλεσης για να σχηματίσουν «σφρούς» που μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες του δικτύου.

3.3 Υπηρεσιοστραφείς Αρχιτεκτονικές και Υπηρεσίες Ιστού

Οι SOA προσεγγίσεις παραδοσιακά χρησιμοποιήθηκαν για να συνδυάσουν τη λειτουργικότητα ανάμεσα σε «βαριά» πληροφοριακά συστήματα. Οι υπηρεσίες ιστού (*Web Services - WS*) είναι συνιστώσες λογισμικού ανεξάρτητες από πλατφόρμα και υλοποίηση - βασίζονται σε ανοιχτά πρότυπα -που μπορούν να:

- ÷ περιγραφούν με τη χρήση μιας γλώσσας περιγραφής υπηρεσιών (π.χ. WSDL).
- ÷ δημοσιευτούν σε μητρώο υπηρεσιών (π.χ. UDDI).
- ÷ ανακαλυφθούν μέσω τυποποιημένων μηχανισμών, είτε κατά το χρόνο εκτέλεσης είτε κατά το χρόνο ανάπτυξης.
- ÷ κληθούν μέσω μιας *API (Application Programming Interface)*, συνήθως πάνω από δίκτυο.
- ÷ συντεθούν με άλλες υπηρεσίες.

Τα WS-πρότυπα σχεδιάστηκαν για τη σύνδεση σύνθετων και μάλλον στατικών επιχειρησιακών εφαρμογών. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση να εφαρμοστούν σε ενσωματωμένες συσκευές. Το όραμα είναι οι συσκευές να παρέχουν τη λειτουργικότητά τους μέσω SOAP-based web services (WS) ή RESTful APIs έτσι ώστε να μπορούν να αλληλεπιδρούν δυναμικά με άλλες συσκευές ή και με επιχειρησιακές εφαρμογές. Το θέμα είναι ότι η υλοποίηση των WS-προτύπων στις συσκευές δεν είναι κάτι εύκολο, λόγω των περιορισμένων πόρων τους. Επομένως χρειάζεται μια σημαντική απλοποίηση, βελτιστοποίηση και προσαρμογή των SOA εργαλείων και προτύπων.

Ωστόσο, οι RESTful υπηρεσίες οι οποίες είναι πιο ελαφριές και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη απλότητα (βέβαια με περιορισμούς όσον αφορά πολύπλοκη είσοδο/έξοδο), μπορούν να αξιοποιηθούν στις συσκευές. Η REST τεχνολογία χρησιμοποιεί το HTTP ως πραγματικό πρωτόκολλο εφαρμογών, ενώ για την ταυτοποίηση και την ενθυλάκωση των υπηρεσιών στον ιστό χρησιμοποιεί URIs. Με αυτόν τον τρόπο φέρνει τις υπηρεσίες στο φυλλομετρητή. Παραδοσιακά, η REST χρησιμοποιήθηκε για την ενσωμάτωση ιστοσελίδων. Λόγω των χαρακτηριστικών της μπορεί να συνεισφέρει αυτό που αναφέρεται ως *Ιστός των Πραγμάτων (Web of Things-WoT)* [28].

Το **WoT** είναι ένα όραμα εμπνευσμένο από το IoT, όπου συσκευές και αντικείμενα, π.χ αντικείμενα που περιέχουν ενσωματωμένες συσκευές ή υπολογιστές, συνδέονται με πλήρη ενσωμάτωση στον ιστό. Παραδείγματα έξυπνων συσκευών και αντικειμένων είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, συσκευές περιβάλλοντος, οικιακές συσκευές κ.ά. Το WoT επαναχρησιμοποιεί τα πρότυπα ιστού (όπως URI, HTTP, REST, RSS, κ.ά.) για να συνδέσει το ραγδαία εξελισσόμενο οικοσύστημα των ενσωματωμένων συσκευών που διεισδύει στα καθημερινά έξυπνα αντικείμενα.

3.4 Τεχνολογίες Ανακάλυψης Δικτύου

Παραδείγματα πρωτοκόλλων για την ανακάλυψη σε επίπεδο LAN είναι τα WS - Discovery (ως μέρος της WS - DD), Bonjour και SSDP (ως μέρος του UPnP).

Το Web Services Dynamic Discovery (WS-Discovery) είναι μια τεχνική προδιαγραφή που ορίζει ένα πρωτόκολλο ανακάλυψης πολυεκπομπής (multicast) για τον εντοπισμό υπηρεσιών σε ένα τοπικό δίκτυο. Όπως υποδηλώνει το όνομα, η πραγματική επικοινωνία μεταξύ των κόμβων γίνεται με τη χρήση προτύπων διαδικτυακών υπηρεσιών, ιδίως SOAP πάνω από UDP.

Το Bonjour είναι ένα σύνολο τεχνολογιών που περιλαμβάνει service discovery, address assignment, και hostname resolution. Εντοπίζει συσκευές όπως εκτυπωτές, άλλους υπολογιστές και τις υπηρεσίες που παρέχουν αυτές οι συσκευές σε ένα τοπικό δίκτυο χρησιμοποιώντας mDNS (multicast Domain Name System).

Το Simple Service Discovery Protocol (SSDP) βασίζεται στην Internet Protocol Suite, είναι η βάση του πρωτοκόλλου ανακάλυψης του Universal Plug and Play (UPnP) και προορίζεται για χρήση σε περιβάλλοντα οικιστικά ή μικρών γραφείων. Δεν χρειάζεται μηχανισμούς ρύθμισης όπως το Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) ή το Domain Name System (DNS), ούτε ειδική στατική ρύθμιση ενός ξενιστή δικτύου. Γενικότερα, το UPnP είναι ένα σύνολο πρωτοκόλλων που έχει στόχο να επιτρέψει σε συσκευές να συνδεθούν άμεσα στο δίκτυο και να απλοποιήσει την ενσωμάτωση δικτύων στα οικιακά (διαμοιρασμός δεδομένων, επικοινωνίες, και ψυχαγωγία) και εταιρικά περιβάλλοντα. Η αρχιτεκτονική UPnP επιτρέπει ομότιμη δικτύωση προσωπικών υπολογιστών, συνδεδεμένων και ασύρματων συσκευών. Είναι μια κατανεμημένη, ανοικτή αρχιτεκτονική βασισμένη σε καθιερωμένα πρότυπα όπως τα TCP/IP, UDP, HTTP και XML και υποστηρίζει δικτύωση μηδενικής διαμόρφωσης. Μια συμβατή με UPnP συσκευή από οποιονδήποτε προμηθευτή μπορεί να μπει δυναμικά σε ένα δίκτυο, να λάβει μια διεύθυνση IP, να ανακοινώσει το όνομά της, να μεταβιβάσει τις δυνατότητές της μετά από αίτηση, και να μάθει για την παρουσία και τις δυνατότητες άλλων συσκευών. Οι εξυπηρετητές DHCP και DNS είναι προαιρετικοί και χρησιμοποιούνται μόνο αν είναι διαθέσιμοι στο δίκτυο. Οι συσκευές μπορούν να εγκαταλείψουν το δίκτυο αυτόματα χωρίς να αφήσουν πίσω κάποια πληροφορία κατάστασης.

Σήμερα υπάρχουν παθητικοί ή δυναμικοί μηχανισμοί ανακάλυψης και οι τεχνολογίες αναπτύσσονται στην κατεύθυνση να υλοποιούν τόσο την ενεργητική όσο και την παθητική ανακάλυψη δυναμικών δεδομένων του δικτύου. Οι υπηρεσίες ανακάλυψης πρέπει ωστόσο να βασίζονται σε μηχανισμούς ελέγχου ταυτότητας για να αντιμετωπίσουν θέματα προστασίας της ιδιωτικής ζωής ή ασφάλειας.

3.5 Αυτονομία και Αυτοδιαχείριση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέραμε τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της αυτοδιαχείρισης, τα οποία τώρα θα τα μελετήσουμε μέσα και από το πρίσμα του IoT-ι, που είναι σε εξέλιξη και ερευνά την αυτόνομη διαχείριση. Η αυτοδιαχείριση συστημάτων θα αποτελέσει βασικό παράγοντα επιτυχίας του IoT. Με την ανάπτυξη του IoT, ο αριθμός των συσκευών που θα απαιτούν ρύθμιση και διαχείριση θα εκτιναχθεί. Οι χρήστες δεν θα είναι σε θέση να ρυθμίσουν και να διαχειριστούν όλες τις συσκευές. Οι περισσότερες συσκευές στο IoT πρέπει να είναι σε θέση να αυτοδιαχειρίζονται.

Σε ορισμένα οράματα, το IoT αντιμετωπίζεται παρόμοια με τα τρέχοντα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων WSN, με μια μεγάλη εξαίρεση. Το IoT θα είναι παντού, σε αντίθεση με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, και το πιο πιθανό θα χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή όλων των ειδών πληροφορίας σχετικά με το φυσικό κόσμο. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από μικρές, σχετικά φθηνές και συνήθως εφοδιασμένες με μπαταρίες συσκευές, που ονομάζονται motes και έχουν μια ραδιο-επαφή για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Τα motes συχνά έχουν μέτριες υπολογιστικές, επικοινωνιακές και αποθηκευτικές δυνατότητες. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι σήμερα η πιο κοντινή προς το IoT τεχνολογία που υπάρχει και εξελίσσεται. Πολλά θέματα που έχουν μελετηθεί για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έδωσαν λύσεις οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν ή να μεταφερθούν σχεδόν απευθείας στο IoT [29], [30].

Αυτοδιαχείριση σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων: Η νοημοσύνη αυτοδιαχείρισης βρίσκεται κυρίως στα motes του WSN. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιοι στόχοι αυτοδιαχείρισης σε επίπεδο δικτύου, όπως η αυτοανακάλυψη και η αυτοοργάνωση. Αυτοανακάλυψη σημαίνει ότι τα motes ψάχνουν υπηρεσίες διαθέσιμες για αυτά αυτόματα. Ένα παράδειγμα υπηρεσίας είναι η δρομολόγηση σε δίκτυα πολλαπλών βημάτων, όπου τα μηνύματα προς και από τα motes που είναι μακριά από τον ελεγκτή του δικτύου δρομολογούνται μέσω άλλων motes τα οποία βρίσκονται κοντά στον ελεγκτή. Στην αυτοοργάνωση, τα motes ρυθμίζουν την λογική τοπολογία του δικτύου για να βελτιώσουν την αξιοπιστία και την επεκτασιμότητα του δικτύου.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που αναπτύχθηκαν για να κάνουν ευκολότερη την ανάπτυξη, εγκατάσταση και συντήρηση των WSNs. Μερικές από αυτές αξιοποιούνται στα γενικότερα πλαίσια της υλοποίησης της ιδέας της αυτοδιαχείρισης και είναι:

A. Εικονικές μηχανές:

Υπάρχουν κάποιες εικονικές μηχανές που έχουν σχεδιαστεί να τρέχουν σε WSN motes, για παράδειγμα οι Mat'e και SwissQM [31]. Οι εικονικές μηχανές σε WSN προσφέρουν πιο ευέλικτες μεθόδους ανάπτυξης και εγκατάστασης, επιτρέποντας εύκολες ενημερώσεις του λογισμικού των motes. Η εικονική μηχανή που εκτελεί τον κώδικα της εφαρμογής έχει πλήρη γνώση της κατάστασης της εφαρμογής. Επίσης, η εικονική μηχανή μπορεί να τροποποιήσει τον κώδικα της εφαρμογής κατά την εκτέλεσή της. Έτσι, αν η εικονική μηχανή είναι αρκετά έξυπνη, μπορεί να προσαρμόζει τη συμπεριφορά των εφαρμογών όταν χρειάζεται. Με εικονικές μηχανές είναι επίσης δυνατό να κάνουμε δυναμικά επαναρύθμιση της εφαρμογής που εκτελείται. Η χρήση των εικονικών μηχανών είναι συνήθως πιο δαπανηρή σε πόρους από τη χρήση του εγγενούς κώδικα, λόγω των υπερφορτώσεων στον υπολογισμό που προκαλείται από την εικονική μηχανή.

B. Δυναμική ρύθμιση:

Δυναμική επαναρύθμιση συστήματος μπορεί να επιτευχθεί με αντικατάσταση του λογισμικού της εφαρμογής ή με τροποποίηση των ρυθμίσεων του on-the-fly. Μία μέθοδος αντικατάστασης μιας εφαρμογής από ένα mote είναι να χρησιμοποιήσουμε δυναμική σύνδεση και φόρτωση για να αλλάξουμε τα απαιτούμενα τμήματα της εφαρμογής. Παραδοσιακά, το μεγαλύτερο μέρος των ρυθμίσεων είναι hardcoded στην δυαδική εικόνα της εφαρμογής, η οποία θα πρέπει να αντικατασταθεί εάν είναι επιθυμητή μια αλλαγή. Η αντικατάσταση της δυαδικής εικόνας είναι δαπανηρή λειτουργία όσον αφορά τη χρήση των πόρων.

Αν η λογική της εφαρμογής διαχωρίζεται από τις ρυθμίσεις της, είναι ευκολότερο να αντικαταστήσουμε μόνο τα τμήματα που χρειάζονται για την αλλαγή της συμπεριφοράς της εφαρμογής, εάν η επιθυμητή μεταβολή στην συμπεριφορά είναι αρκετά μικρή ώστε η παλιά λογική της εφαρμογής να μπορεί να χειριστεί τη νέα συμπεριφορά επίσης. Η αντικατάσταση των ρυθμίσεων είναι επίσης φθηνότερη λειτουργία όσον αφορά τη χρήση των πόρων από ό,τι η αντικατάσταση ολόκληρης δυαδικής εικόνας. Απαιτείται υποστήριξη για δυναμικές αλλαγές των

ρυθμίσεων του συστήματος έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να προσαρμοστεί στις νέες συνθήκες.

Ένα σύστημα που έχει τη δυνατότητα επαναρρύθμισης αποτελεί το σημείο εκκίνησης για την ανάπτυξη αυτοδιαχειριζόμενων συστημάτων που μπορεί να ρυθμίσουν τη λειτουργία τους αυτόματα αποκρινόμενων σε αλλαγές του περιβάλλοντός τους.

Γ. Σύστημα παρακολούθησης:

Το σύστημα μπορεί να παρακολουθείται τόσο ως προς το υλικό όσο και ως προς το λογισμικό. Η κεντρική ιδέα είναι η ανίχνευση ανεπιθύμητων συμβάντων στο σύστημα. Με την παρακολούθηση του λογισμικού είναι δυνατό να ανιχνευτούν διάφορα σφάλματα λογισμικού που προκαλούν ανεπιθύμητη συμπεριφορά, όπως η αποτυχία να τεθεί η CPU σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας για εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης, μπορεί να παρακολουθείται η υγεία του υλικού. Συνήθως παρακολουθείται με αυτοδιαγνωστικά τεστ που εκτελούνται κατά την εκκίνηση του συστήματος και ενδεχομένως σε τακτά χρονικά διαστήματα, όταν το σύστημα είναι σε πλήρη λειτουργία. Τα αυτοδιαγνωστικά τεστ γίνονται με την εκτέλεση κάποιων ειδικών προτύπων δοκιμών και μετρούν τις επιπτώσεις τους στο σύστημα με ειδικούς ανιχνευτές υλικού. Τα προβλήματα που διαπιστώνονται αναφέρονται στον ελεγκτή του δικτύου. Σε ένα αυτόνομο σύστημα, το σύστημα θα προσπαθήσει επίσης να διορθώσει ή να απομονώσει, εάν δεν είναι δυνατή η διόρθωση, προβλήματα. Το σύστημα θα απαιτήσει επίσης κάποιους αισθητήρες για την παρακολούθηση της περιβάλλοντος για να πετύχει πλήρη αυτοδιαχείριση.

Η απομακρυσμένη επαναρρύθμιση υποστηρίζεται από κάποια λειτουργικά συστήματα σχεδιασμένα για ενσωματωμένες συσκευές. Ένα από τα πιο ελπιδοφόρα μικρολειτουργικά συστήματα για περιορισμένες συσκευές είναι το Contiki [32]. Παρέχει μια πλήρη στοίβα IP (IPv4 και IPv6), υποστηρίζει ένα τοπικό σύστημα αρχείων flash και διαθέτει μεγάλη κοινότητα ανάπτυξης και ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων ανάπτυξης.

Συστήματα όπως τα Contiki, SOS και Impala είναι κατάλληλα για WSNs και υποστηρίζουν δυναμική φόρτωση τμημάτων για να ρυθμίζουν εφαρμογές on-the-fly. Αρκετά πρωτόκολλα επικοινωνίας που υποστηρίζουν ενημερώσεις λογισμικού on-the-fly έχουν προταθεί για τα WSNs. Ένα από αυτά επιτρέπει διανομή δυαδικών αποτυπωμάτων μνήμης πάνω από WSN-συσκευές, ενώ στη συνέχεια αντιμετωπίζονται θέματα επεκτασιμότητας θεωρώντας συνθήκες θορύβου σε WSN υψηλότερης πυκνότητας.

Αυτορρύθμιση σε SOA συστήματα

Ένα αυτορρυθμιζόμενο σύστημα προσαρμόζεται αυτόματα στο περιβάλλον του και στις ανάγκες του χρήστη. Στη δεύτερη περίπτωση, η αυτορρύθμιση χρειάζεται κάποια πληροφορία από το χρήστη, ωστόσο, ο καθορισμός των απαιτήσεων θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απλός και διαισθητικός για το χρήστη.

Στο πλαίσιο του IoT Service Orchestration, υπάρχουν δυο είδη συστατικών που προσφέρουν τη δυνατότητα αυτορρύθμισης. Το πρώτο είδος είναι οι ίδιες οι υπηρεσίες. Χρειάζεται να υπάρξουν μηχανισμοί που να επιτρέπουν στις υπηρεσίες να εγγράφουν τις δυνατότητές τους στην υποδομή ανάλυσης της υπηρεσίας. Στον παραδοσιακό SOC, οι πιο σημαντικές παράμετροι είναι: είσοδος/έξοδος προ- και μετα-συνθήκες της υπηρεσίας, καθώς και μη λειτουργικές ιδιότητες όπως κόστος, ασφάλεια κ.ά. Στο IoT χρειάζεται να προστεθούν περισσότερες ιδιότητες, όπως γεωγραφική περιοχή υπηρεσίας, ενεργειακοί και επικοινωνιακοί περιορισμοί.

Το δεύτερο και πιο απαιτητικό είδος αυτορρύθμισης λαμβάνει χώρα στο επίπεδο της *ενορχήστρωσης υπηρεσιών (service orchestration)*. Εδώ ο χρήστης καθορίζει ένα υψηλό επιπέδου αίτημα υπηρεσίας και επαφίεται στη *μηχανή ενορχήστρωσης (orchestration engine)* να ανακαλύψει το σύνολο των υπηρεσιών που μπορούν ίσως να εξυπηρετήσουν το αίτημα, να επιλέξει την πιο κατάλληλη και να μοχλεύσει και να παρακολουθήσει την εκτέλεσή της. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει μοναδική τέτοια υπηρεσία πολλαπλές υπηρεσίες πρέπει να συνδυαστούν με έναν ημι-αυτόματο ή πλήρως αυτόματο τρόπο. Σε περίπτωση που οι επιλεγμένες υπηρεσίες γίνουν μη διαθέσιμες ή επέλθει βλάβη και πάλι θα χρειαστεί αυτορρύθμιση για την επιλογή εναλλακτικών.

Οι Liu, Thanheiser και Schmeck [33] προτείνουν ένα SOA reference architecture που εξοπλίζει κάθε SOA υπηρεσία με μια μονάδα Παρατηρητή/Ελεγκτή (Observer/Controller - O/C). Οι O/C μονάδες παρατηρούν την ίδια την υπηρεσία όσο και το περιβάλλον της. Βάσει των παρατηρήσεων και των προκαθορισμένων πολιτικών η συμπεριφορά της υπηρεσίας μπορεί να ελεγχθεί ώστε να αντιδρά σε αλλαγές του εωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντός της.

3.6 Μεγάλα Δεδομένα

Τα *μεγάλα δεδομένα* (*Big Data*) περιγράφηκαν από τον Gartner [34] με τη χρήση του «3Vs» μοντέλου (Volume, Velocity, Variety), ως δεδομένα που έχουν μεγάλο όγκο, ταχύτητα και ποικιλία. Τα IoT δεδομένα σίγουρα πληρούν αυτά τα κριτήρια.

Τα Big Data περιλαμβάνουν δομημένα, ημιδομημένα και μη δομημένα δεδομένα. Δομημένα είναι τα δεδομένα που μορφοποιούνται για χρήση σε ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων. Τα ημιδομημένα και μη δομημένα δεδομένα περιλαμβάνουν όλους τους τύπους αμορφοποίητων δεδομένων, όπως περιεχόμενο πολυμέσων και κοινωνικών δικτύων. Τα μεγάλα δεδομένα επίσης προέρχονται από αισθητήρες και ενεργοποιητές ενσωματωμένους σε φυσικά αντικείμενα όπως αυτά που εμπλέκονται στο IoT. Τεχνικές αποθήκευσης δεδομένων που χρησιμοποιούνται για μεγάλα δεδομένα περιλαμβάνουν NAS και αποθήκευση βασισμένη σε αντικείμενα. Η NAS χρησιμοποιεί συσκευές αποθήκευσης συνδεδεμένες σε δίκτυο. Ομάδες συσκευών συνδεδεμένες σε διαφορετικά δίκτυα στη συνέχεια δημιουργούν συμπλέγματα. Τα συστήματα τα βασισμένα σε αντικείμενα κατανέμουν σετ αντικειμένων πάνω από ένα κατανεμημένο σύστημα αποθήκευσης.

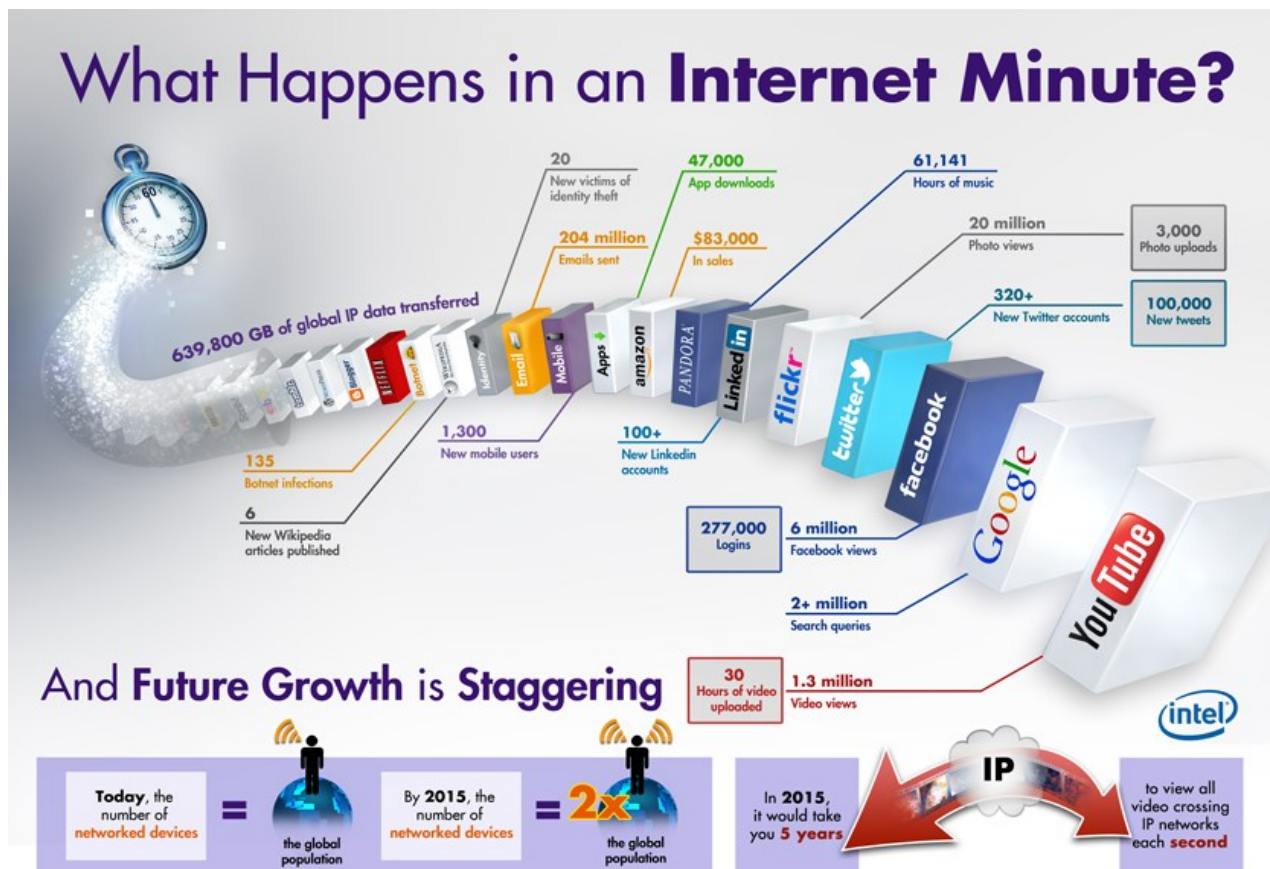
Το Hadoop [35] είναι ένα πλαίσιο λογισμικού ανοικτού κώδικα για την αποθήκευση και μεγάλης κλίμακας επεξεργασία συνόλων δεδομένων σε συστάδες υλικού. Το Hadoop χρησιμοποιείται για μη δομημένα και ημιδομημένα δεδομένα, ακολουθώντας το παράδειγμα Map Reduce, εντοπίζει όλα τα σχετικά δεδομένα και στη συνέχεια επιλέγει μόνο εκείνα που απαντούν άμεσα στην *ερωταπόκριση* (*query*).

Τα NoSQL συστήματα και βάσεις δεδομένων, είναι μια ευρεία ομάδα συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων που το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η μη τήρηση του μοντέλου RDBMS (Relational Database Management System). Τα NoSQL συστήματα, κατά κύριο λόγο, είναι βελτιστοποιημένα ώστε να ανακτούν και να επισυνάπτουν δεδομένα. Η μειωμένη ευελιξία του χρόνου εκτέλεσης σε σύγκριση με συστήματα SQL (δηλαδή με τα RDBMS) αντισταθμίζεται από τη σημαντική αύξηση στην απόδοση (και την επεκτασιμότητα) για ορισμένα μοντέλα δεδομένων. Τα δεδομένα θα μπορούσαν να είναι δομημένα, αλλά αυτό είναι στην πραγματικότητα ασήμαντο καθώς αν κάτι έχει ουσιαστική σημασία στα NoSQL συστήματα,

αυτό είναι η ικανότητα να αποθηκεύουν και να ανακτούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων, «διαφορώντας» για τις σχέσεις μεταξύ των στοιχείων αυτών.

Οι NoSQL βάσεις διακρίνονται στις εξής κατηγορίες: 1) οι Key-values Stores (Dynamo και SimpleDB), 2) οι Column Family Stores (Cassandra και BigTable), 3) οι Document Databases (CouchDB και MongoDB) και 4) οι Graph Databases (Neo4J).

Κάποιες NoSQL πλατφόρμες επιτρέπουν την χρήση RESTful μοντέλων διεπαφής με τα δεδομένα, ενώ άλλες παρέχουν query APIs. Υπάρχουν κάποια εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την διαχείριση πολλαπλών NoSQL βάσεων δεδομένων, τα οποία προσπαθούν κυρίως να διαχειριστούν NoSQL βάσεις της ίδιας κατηγορίας. Ένα από αυτά (και πιο γνωστό) είναι το SPARQL, που απευθύνεται σε graph databases.



3.7 Τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού

Οι οντολογικές γλώσσες επιτρέπουν στο χρήστη να γράψει μια σαφή και επίσημη εννοιολογική θεώρηση για κάποιον τομέα γνώσης. Οι κυριότερες απαιτήσεις είναι μια καλά ορισμένη σύνταξη, μια μεθοδική σημασιολογία, αποτελεσματική συλλογιστική υποστήριξη, επαρκής εκφραστική ισχύς και εκφραστική ευκολία [36], [37].

Η τεχνολογία XML

Μία από τις σημαντικότερες τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται η ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού είναι η XML (eXtensible Markup Language). Η XML επιτρέπει τη δημιουργία νέων ετικετών και άρα τη δημιουργία μιας αυθαίρετης δομής εγγράφων, αλλά δεν προσφέρει καμιά πληροφορία σχετικά με τη σημασία αυτής της δομής.

Η τεχνολογία RDF

Μία άλλη σημαντική τεχνολογία είναι η RDF (Resource Description Framework). Η σημασία της δομής που προσθέτουν οι χρήστες στα έγγραφα τους, αντίθετα με την XML, εκφράζεται μέσω της RDF κωδικοποιημένη σε σύνολα τριάδων. Κάθε τριάδα μπορεί να παρομοιαστεί με το υποκείμενο, το ρήμα και το αντικείμενο μιας στοιχειώδους πρότασης. Οι βασικές έννοιες του μοντέλου δεδομένων RDF είναι οι πόροι (resources), οι ιδιότητες (properties) και οι δηλώσεις (statements). Κάθε πόρος έχει και ένα URI, δηλαδή έναν προσδιοριστή ο οποίος χαρακτηρίζει μοναδικά αυτόν τον πόρο. Οι ιδιότητες είναι ένας ειδικός τύπος πόρων, καθώς περιγράφουν σχέσεις μεταξύ πόρων. Κάθε ιδιότητα έχει μια συγκεκριμένη σημασία, ορίζει τις επιτρεπόμενες τιμές της, τους τύπους των πόρων που μπορεί να περιγράψει, καθώς και τις σχέσεις της με άλλες ιδιότητες. Στην RDF, οι ιδιότητες χαρακτηρίζονται επίσης από URIs.

Το Σύστημα RDFS

Η RDF Schema (RDFS) είναι μια επέκταση της RDF με σκοπό την περιγραφή λεξιλογίων RDF. Το σύστημα κλάσεων και ιδιοτήτων της RDF Schema είναι παρόμοιο με το αντίστοιχο των αντικειμενοστραφών γλωσσών προγραμματισμού. Ωστόσο, αντί να ορίζει μια κλάση με βάση τις ιδιότητες που θα έχουν τα στιγμιότυπα της (instances), ορίζει τις ιδιότητες με βάση τις κλάσεις των πόρων στους οποίους αυτές αναφέρονται.

Παράλληλα με την ανάπτυξη των RDF και RDF Schema, έγιναν και κάποιες άλλες προσπάθειες ανάπτυξης οντολογικών γλωσσών, όπως για παράδειγμα η MCF (Meta Content Framework), η SHOE (Simple HTML Ontology Extensions, University of Maryland), η XOL (Ontology Exchange Language) η αμερικάνικη DAML-ONT (DARPA Agent Markup Language), η ευρωπαϊκή OIL (Ontology Interchange Language) και κυρίως, ο συνδυασμός των δύο τελευταίων, DAML+OIL. Η DAML+OIL με τη σειρά της θεωρήθηκε ως αφετηρία για το W3C προκειμένου να οριστεί η OWL, η γλώσσα η οποία σκοπεύει να προτυποποιηθεί και να γίνει ευρέως αποδεκτή ως οντολογική γλώσσα του Σημασιολογικού Ιστού.

Η Γλώσσα Οντολογιών Ιστού OWL

Η Γλώσσα Οντολογιών Ιστού OWL (Web Ontology Language) είναι μια γλώσσα για τον ορισμό οντολογιών του Ιστού και τη δημιουργία στιγμιοτύπων τους. Μια οντολογία της OWL μπορεί να περιλαμβάνει περιγραφές κλάσεων, ιδιοτήτων και τα στιγμιότυπά τους.

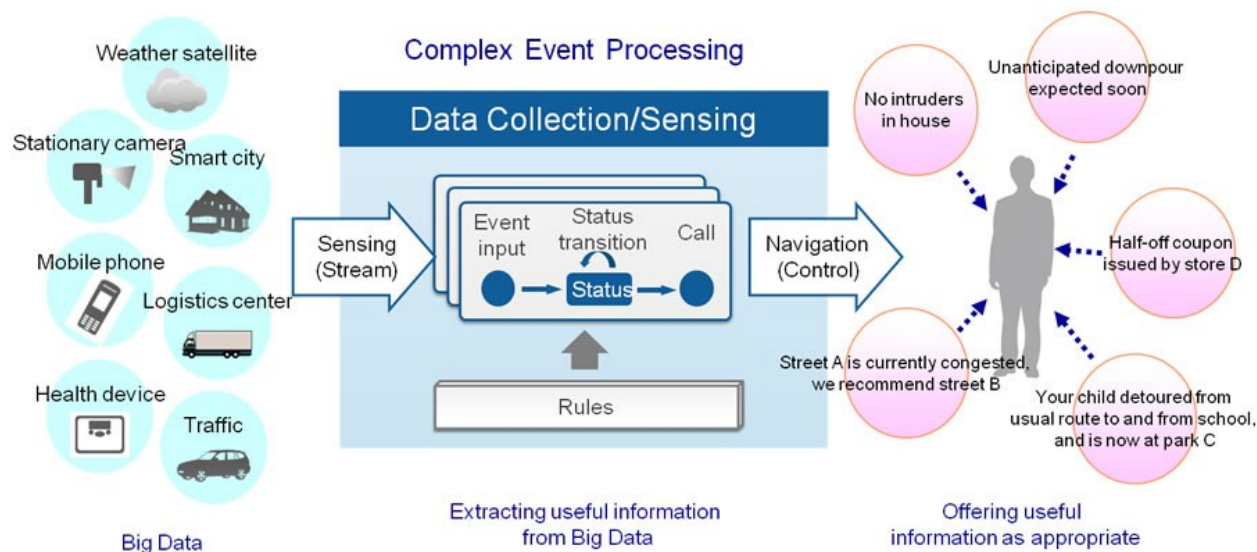
Η OWL συγκεντρώνει όλα τα πλεονεκτήματα και τις απαιτήσεις που χρειάζεται να έχει μια οντολογική γλώσσα, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ευρέως ως πρότυπο για το Σημασιολογικό Ιστό. Μεταξύ των απαιτήσεων που πρέπει να πληροί μια οντολογική γλώσσα, περιλαμβάνονται η εκφραστική ισχύς, καθώς και η επαρκής συλλογιστική υποστήριξη, δύο απαιτήσεις οι οποίες δεν μπορούν να εκπληρωθούν ταυτόχρονα. Για τον λόγο αυτό η OWL περιλαμβάνει τις τρεις ακόλουθες υπογλώσσες με διαφορετική εκφραστικότητα: OWL Full, OWL DL και OWL Lite.

Η κοινότητα του Σημασιολογία Υπηρεσιών Ιστού (Semantics Web Services-SWS), έχει αναπτύξει αρκετά μοντέλα για την περιγραφή γενικών υπηρεσιών ιστού. Προσεγγίσεις όπως η OWL-S και WSMO χρησιμοποιούν οντολογίες βάσει των οποίων παρέχονται τυπικές περιγραφές των Web Services για την αυτοματοποίηση της ανακάλυψης, κλήσης και σύνθεσης των εν λόγω υπηρεσιών. Τα μοντέλα υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται στο SWS παρακολουθούν εκ του σύνεγγυς το μοντέλο των Web Services με μια υπηρεσία να αποτελείται από έναν αριθμό λειτουργιών που έχουν εισόδους, εξόδους, προϋποθέσεις, αποτελέσματα κ.λπ.. Από τη σκοπιά της αρχιτεκτονικής λογισμικού, το SWS μπορεί να θεωρηθεί ως ένας σύνθετος σύνδεσμος μεταξύ μιας υπηρεσίας και των καταναλωτών της. Εσωτερικά, η υποδοχή βασίζεται σε οντολογίες για το ταίριασμα αιτημάτων του καταναλωτή με τις διαθέσιμες υπηρεσίες, για να εξασφαλιστεί η εννοιολογική συμβατότητα των μηνυμάτων κ.λπ.

3.8 Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων

Η επεξεργασία συμβάντων είναι μια μέθοδος παρακολούθησης και ανάλυσης ροών πληροφοριών (δεδομένων) για τα πράγματα που συμβαίνουν (events) και άντλησης συμπερασμάτων από αυτά. Επεξεργασία σύνθετων συμβάντων ή CEP (Complex Event Processing) είναι η επεξεργασία συμβάντων που συνδυάζει δεδομένα από πολλαπλές πηγές για να συνάγει συμβάντα ή μοτίβα που δείχνουν πιο πολύπλοκες συνθήκες. Ο στόχος του CEP είναι να εντοπίσει σημαντικά συμβάντα (όπως ευκαιρίες και απειλές) και να απαντήσει σε αυτά το συντομότερο δυνατό.

Τα συμβάντα αυτά μπορεί να επέρχονται μεταξύ διάφορων επιπέδων ενός οργανισμού, όπως παραγγελίες ή κλήσεις εξυπηρέτησης πελατών ή μπορεί να είναι ειδήσεις, μηνύματα κειμένου, μηνύματα κοινωνικών μέσων, αναφορές για την κυκλοφορία, δελτία καιρού, ή άλλα είδη δεδομένων. Ένα συμβάν μπορεί επίσης να οριστεί ως μια «αλλαγή κατάστασης», όταν μια μέτρηση υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο χρόνου, θερμοκρασίας κ.ά



Τα περισσότερα από τα δεδομένα που παράγονται από τις διάφορες πηγές περιλαμβάνουν, το λιγότερο, μια χρονοσήμανση για να μαρκάρουν το χρόνο ανίχνευσης ή αναφοράς τους. Ανάμεσα σε αυτά τα ακατέργαστα δεδομένα υπάρχουν δομικές και χρονικές σχέσεις. Λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτές τις σχέσεις, μπορούμε να εξάγουμε νέα εμπλουτισμένη πληροφορία, αυτό που ονομάζουμε σύνθετα συμβάντα. Για παράδειγμα, η αναπαράσταση αντικειμένου ενός

αυτοκινήτου θα μπορούσε να αναφέρει περιοδικά και ανώνυμα την τρέχουσα θέση και ταχύτητά του. Αυτή η απλή πληροφορία στις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρησιμεύει και πολύ. Αν όμως συνδυαστεί η πληροφορία από όλα τα αντικείμενα μιας ορισμένης περιοχής, μπορεί να ανιχνευτεί ένα πιθανό μποτιλιάρισμα ή ατύχημα σε κάποιο συγκεκριμένο τμήμα του δρόμου. Το CEP επομένως είναι κατάλληλο για γρήγορη προεπεξεργασία και αυτόματη παραγωγή ενημερότητας συμφραζομένων [38].

3.9 Έργα που συνεισφέρουν στη διαχείριση IoT οντοτήτων

Διάφορα έργα έχουν αντιμετωπίσει το θέμα της διαχείρισης σε IoT εφαρμογές.

Το ASPIRE [39] είναι μια ανοικτή πλατφόρμα RFID ενδιάμεσου λογισμικού που δίνει λύσεις σε ανάπτυξη δομών μέριμνας, κατασκευών και εμπορίου.

Το PECES [40] διευκολύνει την ανάπτυξη νέων μηχανισμών συντονισμού και κάνει δυνατό τον αυτόματο σχηματισμό δυναμικών ομάδων συνεργαζόμενων συσκευών.

Το SENSEI [20] αναπτύσσει ένα ολιστικό πλαίσιο για την μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση διαλειτουργικών δικτύων αισθητήρων και ενεργοποιητών, με καθολικές διεπαφές για την προσπέλασή τους.

Το iCore δουλεύει στην κατεύθυνση καθιέρωσης προτύπων για διαχείριση και έλεγχο.

Τέλος, μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί και στα προγράμματα που υλοποιήθηκαν αποκλειστικά για τον πειραματικό έλεγχο IoT μεγάλης κλίμακας στα πλαίσια ολόκληρων πόλεων, όπως το SmartSantander και το OUTSMART [41].

Αυτή η σελίδα είναι σκόπιμα λευκή.

4

Προτεινόμενο Πλαίσιο Διαχείρισης

IoT Οντοτήτων

Η παρούσα μελέτη υλοποιείται στα πλαίσια του προγράμματος COSMOS (Cultivate resilient smart **O**bjects for Sustainable city applicati**O**nS). Το COSMOS στοχεύει στην υποστήριξη εφαρμογών σε έξυπνες πόλεις, επιτρέποντας σε IoT συστήματα να αναπτύξουν πλήρως τη δυναμική τους. Το COSMOS θα δώσει τη δυνατότητα στα «πράγματα» να εξελίσσονται και να δρουν με πιο αυτόνομο τρόπο. Μετά την ολοκλήρωσή του, προβλέπεται να δοκιμαστεί στα πλαίσια διάφορων εφαρμογών στις πόλεις της Μαδρίτης και του Λονδίνου.

Στόχος αυτής της μελέτης είναι η πρόταση ενός πλαισίου για τη διαχείριση και το συντονισμό των IoT οντοτήτων, με έμφαση σε μηχανισμούς αυτονομίας και απόκτησης γνώσης, που αξιοποιούν κυρίως καινοτόμα κοινωνικά χαρακτηριστικά των οντοτήτων αυτών.

Πιο αναλυτικά, το πλαίσιο αφορά έξυπνες οντότητες που έχουν τη δυνατότητα να αυτοδιαχειρίζονται και να μαθαίνουν. Αυτό το επιτυγχάνουν με την αξιοποίηση μιας νέας τους ιδιότητας, της εμπειρίας (experience-XP).

4.1 Βασικές Έννοιες του Πλαισίου

Για να μπορέσουμε να αρχίσουμε να στήνουμε σταδιακά τη δομή του πλαισίου μας, θα πρέπει πρώτα να εντοπίσουμε όλες τις οντότητες που θα μπορούσαν να «κατοικούν» σε αυτό σε ψηφιακό/εικονικό επίπεδο. Πριν δηλαδή μελετήσουμε τους βασικούς μηχανισμούς του, είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε τις οντότητες οι οποίες θα αλληλεπιδρούν με, θα αξιοποιούνται από και θα αξιοποιούν το ΙοΤ.

Στον φυσικό κόσμο μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις εξής οντότητες οι οποίες μας ενδιαφέρουν: πράγματα, άνθρωποι, εφαρμογές και συμβάντα. Όλες αυτές οι οντότητες πρέπει με κάποιον τρόπο να αντιπροσωπεύονται άμεσα ή έμμεσα στο ΙοΤ. Επιπλέον, ο εικονικός κόσμος που θα κατασκευάσουμε δεν αποκλείεται να εμπεριέχει εντελώς δικές του οντότητες.

Φυσικές Οντότητες (ΦΟ):

Λέγοντας φυσική οντότητα εννοούμε:

- μια πραγματική συσκευή, όπως ένας αισθητήρας ή ενεργοποιητής
- ένα σύνολο/ομάδα φυσικών πραγμάτων, όπως ένα λεωφορείο με όλους τους αισθητήρες και τις συσκευές του ή
- ένα δίκτυο φυσικών πραγμάτων, όπως ένα WSN δίκτυο.

Η διαφοροποίηση του συνόλου/ομάδας με το δίκτυο βασίζεται στο γεγονός ότι στην δεύτερη περίπτωση, και οι ίδιοι οι σύνδεσμοι (με την γενική έννοια, όχι απαραίτητα μόνο σε φυσικό επίπεδο) των πραγμάτων μας ενδιαφέρουν, κάτι που δεν ισχύει για την πρώτη.

Εικονικές Οντότητες (ΕΟ):

Τα πράγματα μπορούν να αντιπροσωπεύονται στο ΙοΤ από εικονικές οντότητες (ΕΟ από εδώ και στο εξής). Οι ΕΟ είναι εικονικές αναπαραστάσεις φυσικών οντοτήτων που αποκρύπτουν την υποκείμενη τεχνολογική ετερογένεια. Πιο συγκεκριμένα, μια εικονική οντότητα είναι τα υπολογιστικά στοιχεία ή τα στοιχεία δεδομένων που αναπαριστούν μια φυσική οντότητα.

Ομάδες Εικονικών Οντοτήτων (ΟΕΟ):

Μια εικονική οντότητα μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα σύνολο ή δίκτυο άλλων εικονικών οντοτήτων, οπότε έχουμε μια Ομάδα Εικονικών Οντοτήτων (ΟΕΟ). Προσθέτοντας ένα υψηλότερο επίπεδο (αυτό του εικονικού κόσμου), η ιεραρχία και ο τρόπος με τον οποίο σχηματίζονται ομάδες οντοτήτων εξελίσσεται. Δηλαδή, μπορεί να έχουμε μια εικονική οντότητα ενός δικτύου εικονικών οντοτήτων, που κάθε μία από αυτές αντιπροσωπεύει ένα φυσικό δίκτυο! Το ενδιαφέρον είναι ότι αναλόγως με τις εφαρμογές, μπορούμε να προσθέτουμε όσα επίπεδα θέλουμε και να σχηματίζουμε συνεχώς νέες εικονικές οντότητες που θα εκπροσωπούν ένα σύνολο εικονικών οντοτήτων που βρίσκονται ένα επίπεδο πιο χαμηλά.

Τα διάφορα επίπεδα εικονικών οντοτήτων, από τα «πρωτογενή» έως τα υψηλότερα, θα πρέπει να έχουν την ίδια μορφή (ίδια μοντελοποίηση), ώστε το σύστημα να συμπεριφέρεται σε όλα με τον ίδιο τρόπο. Ωστόσο, θα υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους. Μπορεί να γίνει ολόκληρη μελέτη πάνω στο αν οι εικονικές οντότητες υψηλότερου επιπέδου με κάποιον τρόπο θα συγκεντρώνουν όλα τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες των συστατικών τους, σχηματίζοντας κάτι εντελώς καινούργιο μέσα από μια έξυπνη διαδικασία, ή απλώς θα εμπεριέχουν μια λίστα των εικονικών οντοτήτων που συγκεντρώνουν και απλώς θα αποθηκεύουν τις σχέσεις μεταξύ εικονικών οντοτήτων χαμηλότερου επιπέδου.

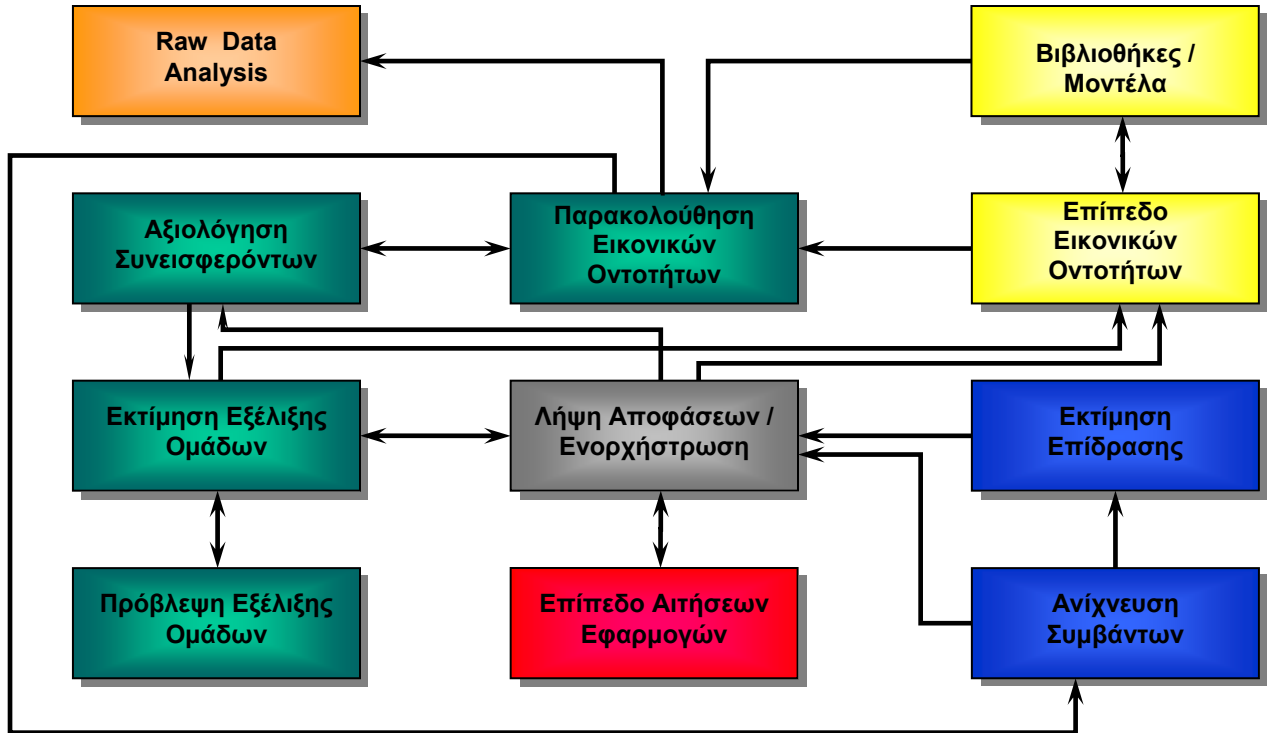
Τύποι αναπαράστασης οντοτήτων

Μπορούμε να έχουμε δύο τύπους αναπαράστασης, την άμεση και την έμμεση αναπαράσταση. Στην άμεση έχουμε «ένα προς ένα» αντιστοίχιση μιας ΦΟ με μια ΕΟ, ενώ στην έμμεση πολλές ΦΟ αντιπροσωπεύονται από μία ΕΟ (φυσικά θα πρέπει να έχει κάποιο νόημα η ομαδοποίησή τους), οπότε θα εκπροσωπούνται έμμεσα από τα χαρακτηριστικά της.

Μια επιπόλαιη ίσως προσέγγιση θα ήταν όλες οι ΦΟ να αναπαρίστανται από ΕΟ, ακόμη και οι αισθητήρες. Με αυτή την έννοια, δεν θα υπάρχουν παθητικές ΦΟ και φαίνεται πιο εύκολο να προκύπτουν νέες εφαρμογές, αφού οι «πρωτογενείς» ΕΟ δεν θα εξαρτώνται από κάποια προηγούμενη εφαρμογή. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να παρουσιαστεί μεγάλο πρόβλημα σε επίπεδο κλιμάκωσης από την υπερβολική παραγωγή μεταδεδομένων και την υπερφόρτωση των πόρων.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν, πως σε ένα σημαντικό βαθμό η τρέχουσα τεχνολογική κατάσταση σε επίπεδο υλοποίησης επηρεάζει το αν θα αποφασίσουμε την ένα προς ένα αναπαράσταση ή όχι.

4.2 Συστατικά Μέρη Πλαισίου και Μηχανισμοί



Virtual Entity-related	Application-related
Network-related	Raw Data-related
External Events-	Decision/Coordination

Εννοιολογική άποψη πλαισίου.

4.2.1 Επίπεδο Εικονικών Οντοτήτων

Το επίπεδο εικονικών οντοτήτων περιλαμβάνει τη σημασιολογία των ΕΟ και τα στιγμιότυπα των ΕΟ.

α) Σημασιολογία ΕΟ:

Οι ΕΟ ορίζονται με χρήση οντολογιών. Κάθε οντολογία περιέχει πληροφορία που έχει να κάνει με την περιγραφή των οντοτήτων και περιλαμβάνει:

- όνομα και μοναδικό αναγνωριστικό (UID)
- κατηγοριοποίηση / κατάταξη της ΦΟ που βασίζεται στο πεδίο εφαρμογών της (π.χ. κατηγορία: διαχείριση αποβλήτων.αισθητήρας.θερμοκρασία).
- ιδιότητες της ΦΟ, όπως κατασκευαστικά στοιχεία, πόροι (π.χ. CPU, RAM, χρόνος ζωής μπαταρίας), τοποθεσία στην οποία βρίσκεται και καταστάσεις, όπως το αν η ΦΟ είναι συνδεδεμένη με το διαδίκτυο με κάποιον άμεσο/έμμεσο τρόπο.
- στοιχειώδεις λειτουργίες της ΦΟ (ειδικά για ενεργοποιητές) π.χ. μια λάμπα είναι είτε "on" ή "off", τυχόν μετρήσεις που παρέχει η ΦΟ (π.χ. η τιμή της θερμοκρασίας που μετριέται από έναν αισθητήρα) και οι υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει η ΕΟ. Ένα απαραίτητο στοιχείο σε αυτό το επίπεδο είναι η ύπαρξη μητρώων υπηρεσιών.
- εμπειρία (XP): πληροφορία που αφορά τις ενέργειες που εκτέλεσαν οι ΕΟ με την εμφάνιση διαφορετικών συμβάντων π.χ. όταν η θερμοκρασία του χώρου ξεπέρασε τους 25 βαθμούς, σταμάτησε η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης.
- κοινωνικά χαρακτηριστικά όπως:
 - ÷ ποιος είναι ο διαχειριστής/ιδιοκτήτης της ΦΟ.
 - ÷ επίπεδο προσβασιμότητας στην οντότητα.
 - ÷ αν η ΦΟ χρησιμοποιείται ήδη από μια εφαρμογή, ποια είναι αυτή η εφαρμογή και ποιος είναι ο διαχειριστής ή ο χρήστης της.
 - ÷ η αξιοπιστία της ΦΟ και η εξέλιξη της αξιοπιστίας της, π.χ. χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς από μια εφαρμογή σε πέντε από οκτώ φορές / οι τελευταίες τρεις διαδοχικές φορές ήταν επιτυχείς.

- ÷ συνδέσεις/σχέσεις με άλλες ΦΟ και ΕΟ, π.χ. «φίλοι», γεωκοινωνικό δίκτυο, ομάδες στις οποίες ανήκει.
- ÷ χρονολόγιο/ημερολόγιο της οντότητας, π.χ. από ποιες εφαρμογές χρησιμοποιήθηκε τις τελευταίες επτά μέρες.

Μπορούμε να πάρουμε ιδέες για επιπλέον ιδιότητες, μελετώντας διάφορες εφαρμογές. Για παράδειγμα, μια εικονική οντότητα που αναπαριστά ένα δίκτυο εικονικών οντοτήτων μπορεί να εμπεριέχει ως ιδιότητα χαρακτηριστικά του δικτύου όπως η πολυπλοκότητά του.

Δεν θα επικεντρωθούμε παραπάνω στο επίπεδο των χαρακτηριστικών. Το μοντέλο διαχείρισης των οντοτήτων είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητο από το σχηματισμό της οντολογίας. Να τονιστούν ωστόσο τρία πράγματα:

- a) Είναι απαραίτητο να έχουμε μια γενική ιδέα του τι θα μπορούσε να προστεθεί ως ιδιότητα μιας εικονικής οντότητας, αφού μπορεί να δώσει πολλές ιδέες για λύσεις στο μέρος της διαχείρισης.
- b) Η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνεται αν κατανοήσουμε πως για να επιτευχθεί η αυτονομία που ζητάμε, πολλά από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, όπως το XP, είναι απαραίτητα ή έστω μια πολύ καλή ιδέα.
- c) Μια στοιχειώδης ανάλυση σαν αυτή που ακολουθήσαμε είναι απαραίτητη για να συνειδητοποιήσουμε τι επιπλέον οντότητες μπορεί να προκύψουν στο μέρος της διαχείρισης.

Στιγμιότυπα ΕΟ:

Τα στιγμιότυπα προκύπτουν από την οντολογία και αφορούν τις «ζωντανές» ΕΟ που τρέχουν σε πραγματικό χρόνο και αλληλεπιδρώντας ενημερώνονται συνεχώς και με τη σειρά τους, ενημερώνουν το Μητρώο ΕΟ.

Μητρώο ΕΟ:

Το μητρώο ΕΟ περιέχει πληροφορία για όλες τις ΕΟ που υπάρχουν στο σύστημα. Η πληροφορία αυτή περιγράφει τις συσχετίσεις μεταξύ των ΕΟ με τα αντίστοιχα δεδομένα τους. Κάθε ΕΟ αναγνωρίζεται από ένα Uniform Resource Identifier (URI).

Μητρώο Ομάδων Εικονικών Οντοτήτων:

Περιέχει πληροφορία που αφορά τις ΟΕΟ, πώς διασυνδέονται και ποια είναι η κατάσταση και οι παράμετροι των αιτήσεων εφαρμογής από τις οποίες προέκυψαν. Επιπλέον, το μητρώο κρατάει την αξιολόγηση των ΟΕΟ από τους χρήστες βάσει της απόδοσής τους.

Εμπειρία (experience-XP):

Ένα σύνολο κανόνων που συσχετίζουν υφιστάμενες καταστάσεις μιας οντότητας με ενέργειες που πρέπει να γίνουν ή έχουν γίνει. Αυτοί οι κανόνες:

- ÷ είτε εισάγονται από χρήστες
- ÷ είτε φτάνουν στην οντότητα με διάδοση από άλλες οντότητες (αυτονομία σε συλλογικό επίπεδο)
- ÷ είτε σχηματίζονται από την οντότητα με trial & error (στοιχείο εξυπνάδας και αυτονομίας σε «ατομικό» επίπεδο)

Το XP είναι ένα καινούργιο χαρακτηριστικό που εισάγεται και αποτελεί το βασικό καινοτόμο κομμάτι του COSMOS. Η βασική ιδέα που οι οντότητες μπορούν να συνεργάζονται και να ανταλλάζουν εμπειρία, λειτουργώντας έτσι με αυτόνομο τρόπο, χωρίς να απαιτείται περαιτέρω παρέμβαση από εξωτερικό χρήστη.

Το XP αξιοποιείται, είτε για διάδοση και αφορά την αυτονομία, είτε αξιοποιείται κεντρικά από τη μονάδα Λήψης Αποφάσεων όταν πρόκειται να εκτελεστεί μια νέα εφαρμογή. Στην περίπτωση της XP διάδοσης, έχουμε την αξιολόγηση του XP από άλλες ΕΟ ή το ίδιο το σύστημα, καθώς και σχηματισμό νέου XP ή αναθεώρηση του. Για παράδειγμα, αν δεν ξέρουμε τις σωστές τιμές για ένα XP (π.χ. πόσο πρέπει να παραμένει σε λειτουργία ένας αισθητήρας κάτω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία) τότε εισάγονται κάποιες αρχικές εκτιμήσεις ως τιμές και στο τέλος «επιβιώνουν» και διαδίδονται οι πιο σωστές τιμές. Η μορφή του XP λοιπόν είναι κάποιου κανόνες που αφορούν τη σύνδεση απλών ενεργειών με εξωτερικά ερεθίσματα, συμβάντα κ.τ.λ.

4.2.2 Επίπεδο Αιτήσεων Εφαρμογών

Αυτό το επίπεδο αντιστοιχεί στην έκφραση των αιτήσεων νέων εφαρμογών που προορίζονται για εκτέλεση από το σύστημα.

Ενδεικτικά, η αίτηση μιας εφαρμογής πρέπει / μπορεί να περιλαμβάνει ως είσοδο:

- ÷ τις παραμέτρους που προσδιορίζουν τον στόχο της εφαρμογής και ποιο είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα στο οποίο αποσκοπεί.
- ÷ το ID του διαχειριστή της εφαρμογής, προκειμένου να μπορεί να:
 - προσδιοριστεί σε ποιες ΕΟ έχει πρόσβαση ο διαχειριστής
 - αποφασιστεί ποιος διαχειριστής έχει προτεραιότητα σε ορισμένες ΕΟ (π.χ. εάν ένα άτομο και μια δημοτική υπηρεσία / πόλη χρειάζεται μια δημόσια ΕΟ, θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην υπηρεσία της πόλης).
- ÷ κατάταξη της εφαρμογής (π.χ. «τομέας διαχείρισης αποβλήτων»), προκειμένου να γίνει υπόδειξη στο σύστημα να ψάξει για ορισμένες ΕΟ (επιτάχυνση αναζήτησης).
- ÷ γνωστές ΕΟ ή ΕΟΕ που πρέπει ή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν.

Η αίτηση μπορεί να αποτελεί είτε μια αίτηση πληροφοριών, για Ανάλυση Πρωτογενών Δεδομένων, ή εντολές σε συσκευές (π.χ. «δώσε μου τη θερμοκρασία σε όλα τα δωμάτια σε ένα έξυπνο κτίριο» vs «εάν η θερμοκρασία δωματίου υπερβαίνει τους 25°C, μείωσε τη θερμοκρασία»).

Ο βασικός μηχανισμός που δραστηριοποιείται σε αυτό το επίπεδο είναι η πλήρης ανάλυση της αίτησης μιας εφαρμογής στα βασικά της συστατικά στοιχεία, σε μορφή που μπορεί να αναγνωριστεί από τις υπόλοιπες δομικές μονάδες του συστήματος. Αυτές οι βασικές παράμετροι που εντοπίζονται, προωθούνται στην επόμενη μονάδα, αυτή της Λήψης Αποφάσεων.

4.2.3 Λήψη Αποφάσεων

Η Λήψη Αποφάσεων ενεργοποιείται από το Επίπεδο Αιτήσεων Εφαρμογών και στόχος της είναι να βρεθεί η βέλτιστη σύνθεση των ΕΟ που πληροί τις λειτουργίες που θα φέρουν σε πέρας το αίτημα εφαρμογής. Λαμβάνει ως είσοδο ένα σύνολο διαθέσιμων ΕΟ που έχουν επιλεγθεί από άλλες μονάδες, καθώς και τις στοιχειώδεις παραμέτρους της εφαρμογής που έχουν προσδιοριστεί στο Επίπεδο Αιτήσεων Εφαρμογών και συνθέτει τη βέλτιστη δυνατή ΟΕΟ. Η περιγραφή της νέας ΟΕΟ καταγράφεται στο μητρώο ΟΕΟ, ώστε να είναι διαθέσιμη για μελλοντικές αιτήσεις. Να τονίσουμε πως η περιγραφή αυτή θα περιλαμβάνει και το σύνολο των απαιτήσεων από την εφαρμογή και στοιχεία συνθηκών που επικρατούσαν κατά την υλοποίησή τους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική παραπομπή στην ίδια ΟΕΟ σε περίπτωση που υπάρξει ίδια ή παρόμοια αίτηση εφαρμογής υπό παρόμοιες συνθήκες.

Πιο αναλυτικά, η μονάδα Λήψης Αποφάσεων, αφού λάβει τις παραμέτρους της εφαρμογής, τις προωθεί στην μονάδα Αξιολόγησης Συνεισφερόντων. Έπειτα, λαμβάνει το σύνολο των ΕΟ που έχει επιλεγεί από τη μονάδα Εκτίμηση Εξέλιξης ΟΕΟ και καθορίζει τον κατακερματισμό της (αποκεντρωμένη και κατανεμημένη διαχείριση).

Παράλληλα, η μονάδα αυτή λαμβάνει υπόψη τα συμβάντα που μπορεί να προκύψουν, επιλύει τυχόν συγκρούσεις (π.χ. αποφασίζει ποιος διαχειριστής έχει προτεραιότητα σε ορισμένες ΕΟ), καθώς πολλές εφαρμογές θα ζητούν τις ίδιες οντότητες την ίδια χρονική στιγμή και επιτελεί ενορχήστρωση και συγχρονισμό όλων των υπόλοιπων μονάδων.

Μετά την κάλυψη της αίτησης εφαρμογής, αποστέλλει εντολές και ανατροφοδότηση (όπως στοιχεία για ΧΡ) στις ΕΟ που αξιοποιήθηκαν.

Τέλος, πέρα από την εκτέλεση εξωτερικών εφαρμογών, η μονάδα αυτή στηρίζει την αυτονομία των ΕΟ. Η Λήψη Αποφάσεων λαμβάνει χώρα ακόμη και σε επίπεδο μιας απλής ΕΟ. Αυτό μπορεί να συμβεί για παράδειγμα στην περίπτωση που μια ΕΟ προσπαθεί να πετύχει κάποιο συγκεκριμένο στόχο ο οποίος αποτελεί μέρος των χαρακτηριστικών της. Αναγνωρίζουμε επομένως δύο επίπεδα αυτονομίας. Ένα σε επίπεδο μεμονωμένης ΕΟ και ένα σε «συλλογικό» επίπεδο, δηλαδή σε επίπεδο ΟΕΟ και δικτύου.

4.2.4 Αξιολόγηση Συνεισφερόντων

Η μονάδα Αξιολόγησης Συνεισφερόντων εντοπίζει όλες τις ΟΕΟ, οι οποίες έχουν στην περιγραφή τους στοιχεία παρόμοια με αυτά που εμφανίζονται στη νέα αίτηση εφαρμογής.

Σε περίπτωση που δεν εντοπιστεί τέτοια ΟΕΟ, εντοπίζει όλες τις ΕΟ οι οποίες:

- α) σχετίζονται με το αίτημα εφαρμογής σε επίπεδο ιδιοτήτων που έχουν, υπηρεσιών που προσφέρουν και εμπειρίας που διαθέτουν.
- β) έχουν αρκετά υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας και εμπιστοσύνης.

Η μονάδα Λήψης Αποφάσεων είναι αυτή που υποδεικνύει στην μονάδα Αξιολόγησης Συνεισφερόντων τι είδους ΟΕΟ θα πρέπει να σχηματιστεί. Μια τέτοια ομάδα θα μπορούσε να είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από ΕΟ αισθητήρων θερμοκρασίας και κλιματιστικών γύρω από μια συγκεκριμένη περιοχή για την ρύθμιση της θερμοκρασίας σε ένα σπίτι.

Να ξεκαθαριστεί πως σε αυτό το επίπεδο μάς ενδιαφέρει καθαρά η πληροφορία που αφορά τις ίδιες τις ΕΟ και όχι η πληροφορία που παράγουν. Αν πρόκειται για έναν αισθητήρα δηλαδή, δεν μας ενδιαφέρει η ένδειξή του, αλλά τα χαρακτηριστικά του. Η μονάδα Αξιολόγησης Συνεισφερόντων φιλτράρει τα αποτελέσματα της Παρακολούθησης Εικονικών Οντοτήτων προκειμένου να διευκολύνει και να επισπεύσει την Εκτίμηση Εξέλιξης Ομάδων και την Ανάλυση Πρωτογενών Δεδομένων.

4.2.5 Πρόβλεψη Εξέλιξης Ομάδων ΕΟ

Η μονάδα αυτή προβλέπει τη μελλοντική κατάσταση μιας ομάδας ΕΟ π.χ. διαθεσιμότητα απαιτούμενων ΕΟ. Αυτή η μονάδα είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν εκτελούνται εφαρμογές πολύ μεγάλης κλίμακας που επιστρατεύουν εκατοντάδες ΕΟ και οι ρυθμοί με τους οποίους εισέρχονται ή εξέρχονται από το δίκτυο θα πρέπει να προσδιορίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο.

Επίσης, η Πρόβλεψη Εξέλιξης Ομάδων ΕΟ συνεργάζεται με την Παρακολούθηση ΕΟ ώστε να εκτιμηθούν τα διάφορα μεγέθη που πρέπει να παρακολουθούνται για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση ολόκληρου του δικτύου (π.χ. πρόβλεψη για απότομη αύξηση στους απαιτούμενους πόρους).

4.2.6 Εκτίμηση Εξέλιξης Ομάδων ΕΟ

Η μονάδα Εκτίμησης Εξέλιξης Ομάδων είναι αυτή που παρακολουθεί και συνεισφέρει στην δημιουργία κάθε ΟΕΟ ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, παράγει τη βέλτιστη, ως προς τη λειτουργικότητα, υποομάδα της ομάδας που έχει προκύψει από την Αξιολόγηση Συνεισφερόντων (φιλτράρισμα ΕΟ / δεσμών που δεν χρειάζονται), λαμβάνοντας υπόψη την Πρόβλεψη Εξέλιξης Ομάδων.

Φιλτράρει τα αποτελέσματα της Αξιολόγησης Συνεισφερόντων ώστε να επιταχυνθεί η Λήψη Αποφάσεων και η Ανάλυση Πρωτογενών Δεδομένων.

Αξιολογεί εάν το σύστημα θα είναι σε θέση να εκπληρώσει τις απαιτήσεις των εφαρμογών, από άποψη πόρων / συσκευών, με βάση την παρακολούθηση, τα συμβάντα που ανιχνεύθηκαν και την εμπειρία που έχει συγκεντρωθεί. Τη βέλτιστη υποομάδα την προωθεί στην μονάδα Λήψης Αποφάσεων/Ενορχήστρωσης, η οποία αποφασίζει για τυχόν κατακερματισμό της και καθορίζει την τελική μορφή των απαιτούμενων ΟΕΟ.

Τέλος, η μονάδα Εκτίμησης Εξέλιξης Ομάδων είναι αυτή που παρακολουθεί συνεχώς την εξέλιξη όλου του ΙοΤ εικονικού Δικτύου.

4.2.7 Παρακολούθηση Εικονικών Οντοτήτων

Η μονάδα αυτή έχει ως βασική λειτουργία την ανάλυση και αναπαράσταση των δεσμών μεταξύ των ΕΟ για το σύνολο του ΙοΤ, συμπλέγματα αυτού (π.χ. έξυπνα κτίρια) και για κάθε εφαρμογή ξεχωριστά.

Η παρακολούθηση του συνόλου του IoT είναι απαραίτητη, ακόμη και αν δεν υπάρχουν Αιτήσεις Εφαρμογών, καθώς η ανάγκη για Αναγνώριση Συμβάντων και Αξιολόγηση της Εξέλιξης του δικτύου για τη «συντήρηση του συστήματος» παραμένει. Δεν θα πρέπει δηλαδή η παρακολούθηση να γίνεται μόνο κατά απαίτηση (on-demand). Θέλουμε να γνωρίζουμε στοιχεία, όπως η συνδεσιμότητα του δικτύου, η διαθεσιμότητα πόρων, η αξιοπιστία του συστήματος, προβλήματα δικτύου (π.χ. υπερφόρτωση).

Ενδεικτικά, ορισμένα βασικά μεγέθη που θα πρέπει να μετρούνται σχετικά με το δίκτυο είναι: χρόνος απόκρισης, διαθεσιμότητα, χρόνος λειτουργίας, συνέπεια, αξιοπιστία, απόδοση, πολυπλοκότητα κ.ά.

Επίσης, η μονάδα αυτή είναι ο βασικός υπεύθυνος για την παρακολούθηση του κοινωνικού δικτύου των ΕΟ. Η παρακολούθηση αυτή μπορεί να γίνεται με βάση κοινωνικά χαρακτηριστικά όπως:

- ÷ φυσικές συνδέσεις (π.χ. LAN), εγγύτητα (π.χ. γεωκοινωνικά δίκτυα),
- ÷ εμπιστοσύνη και εξέλιξη της εμπιστοσύνης,
- ÷ χαρτογράφηση του δικτύου των ΕΟ στο κοινωνικό δίκτυο των χρηστών και διαχειριστών τους

Η μονάδα αυτή, τροφοδοτώντας τη μονάδα Αξιολόγησης Συνεισφερόντων και τη μονάδα Εξέλιξης Ομάδων επιταχύνει το σχηματισμό νέων ΟΕΟ.

4.2.8 Αναγνώριση Συμβάντων

Αναγνωρίζει εξωτερικά συμβάντα, αναλύοντας ορισμένες ιδιότητες και πληροφορίες ΕΟ (π.χ. αν η θερμοκρασία που μετράται με αισθητήρες κοντινούς μεταξύ τους υπερβεί απότομα τους 60 °C αυτό θα μπορούσε να δείξει το εξωτερικό συμβάν «φωτιά»). Παραδείγματα είναι τα συμβάντα «κίνηση», «βροχή», «σεισμός», «διακοπή ρεύματος».

Αναλόγως με την κλίμακα των συμβάντων, έχουμε συμβάντα πρώτου και δεύτερου επιπέδου. Στο πρώτο επίπεδο έχουμε εξωτερικά γεγονότα σχετικά με μια μεμονωμένη ΕΟ (π.χ. ένα «δωμάτιο», ένα «λεωφορείο») όπως «φωτιά», «τρακάρισμα». Στο δεύτερο επίπεδο έχουμε προσδιορισμό εξωτερικών συμβάντων που αφορούν μια ολόκληρη ομάδα ΕΟ (π.χ. «όλα τα δωμάτια του κτιρίου», «όλα τα λεωφορεία της πόλης») όπως «σεισμός», «κίνηση». Φυσικά, το δεύτερο επίπεδο εκφυλίζεται σε περίπτωση που η ανίχνευση γίνεται στα πλαίσια μιας ΟΕΟ.

Στη μονάδα Λήψης Αποφάσεων, τα εξωτερικά συμβάντα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Επίσης, ορισμένα γεγονότα μεγάλης σημασίας (π.χ. δεν υπάρχει ρεύμα σε σημαντικές συσκευές νοσοκομείου), όταν ανιχνεύονται θα πρέπει να διαβιβάζονται στη Λήψη Αποφάσεων αμέσως, χωρίς να περάσουν από τη μονάδα Εκτίμησης Επίδρασης Συμβάντων. Αυτή η λειτουργία μπορεί να παρομοιαστεί με τα σήματα από τα οποία εξαρτώνται τα ανθρώπινα αντανακλαστικά (χωρίς να περιμένουν μια εντολή από τον εγκέφαλο).

Με βάση τα παραπάνω, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός μητρώου συμβάντων στο οποίο θα μπορούν να ανατρέχουν μηχανισμοί CEP που θα αποτελούν την ανίχνευση νέων συμβάντων. Μετά τον εντοπισμό τους, τα συμβάντα θα πρέπει να ενσωματώνονται στην εμπειρία των ΕΟ που τα αφορούν.

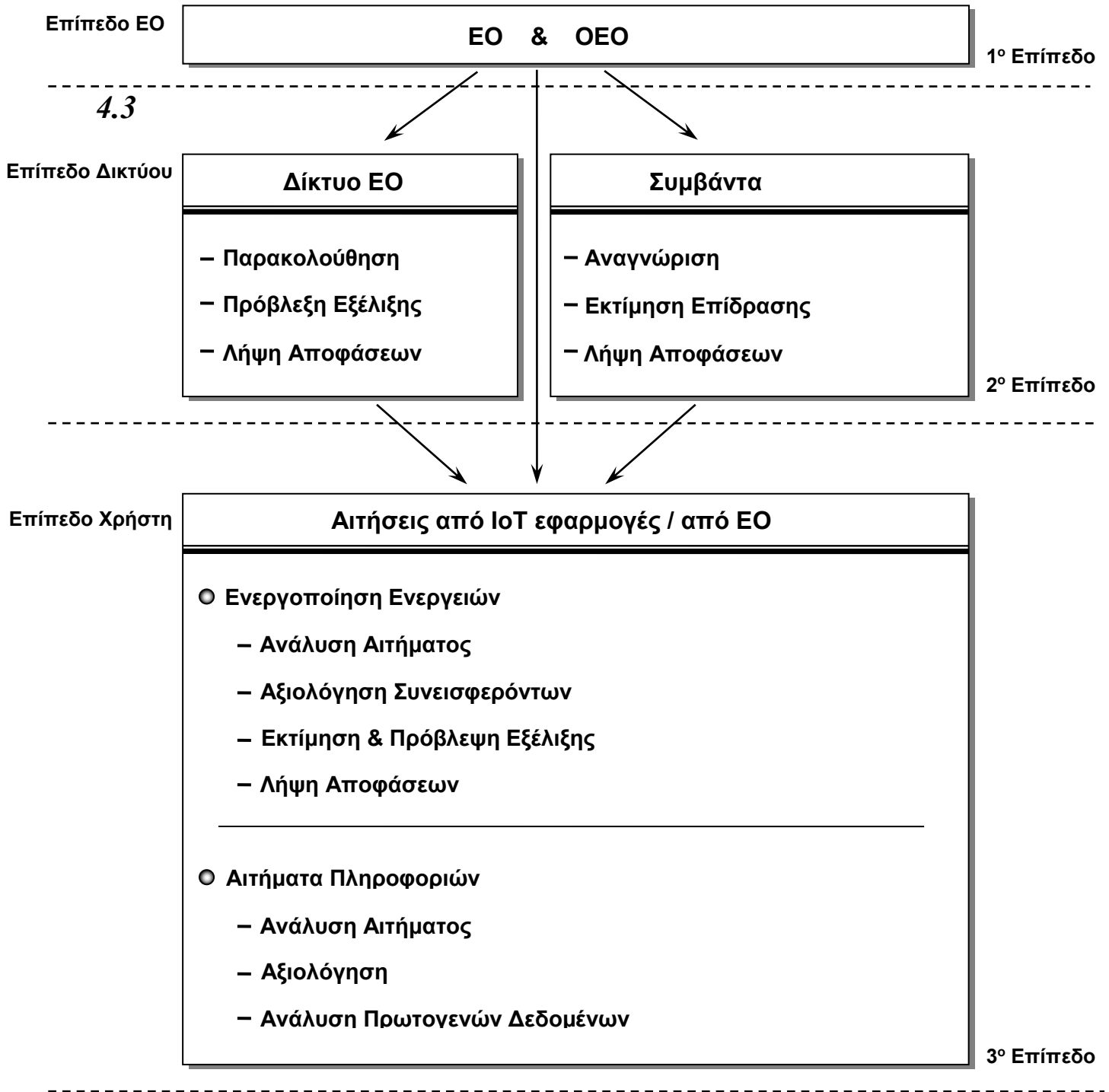
Υπάρχουν δύο τρόποι να ανιχνευτούν συμβάντα. Είτε ψάχνοντας «επιφανειακά» στο επίπεδο αλληλεπίδρασης και παρακολούθησης των εικονικών οντοτήτων, είτε κάνοντας ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων. Φυσικά, μπορούν να τρέχουν δύο μηχανισμοί παράλληλα.

4.2.9 Εκτίμηση Επίδρασης Συμβάντων

Η μονάδα αυτή εκτιμά τον αντίκτυπο ενός εξωτερικού συμβάντος και εντοπίζει περισσότερες λεπτομέρειες που αφορούν το συμβάν αυτό, στοιχεία όπως η τοποθεσία, οι ΕΟ που επηρεάζονται κ.τ.λ. Για παράδειγμα, αν η Αναγνώριση Συμβάντων εντοπίσει το συμβάν «φωτιά», το στοιχείο αξιολόγησης των επιπτώσεων θα βρει την κλίμακα της φωτιάς, πότε ξεκίνησε, αν είναι ανεξέλεγκτη, ποιες περιοχές βρίσκονται σε κίνδυνο κ.λπ. Φιλτράρει τα αποτελέσματα της Αναγνώρισης Συμβάντων, έτσι ώστε μόνο τα σημαντικά γεγονότα να

φτάνουν στην Λήψη Αποφάσεων. Εκτιμά αν το γεγονός αυτό είναι κάτι έξω από τα συνηθισμένα (π.χ. αυτή η πυρκαγιά θα μπορούσε να είναι υπό έλεγχο από έναν αγρότη που καίει μέρος της γης του, για να γίνει πιο γόνιμη). Ορισμένα γεγονότα, παρόλο που είναι αρκετά σημαντικά, δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Να παρατηρηθεί σε αυτό το σημείο πως η μονάδα αυτή μπορεί να περιέχει μηχανισμούς που θα της επιτρέπουν να μαθαίνει και να αποκτά εμπειρία. Αν ένα συμβάν για παράδειγμα αγνοηθεί (για παράδειγμα η φωτιά του αγρότη) και αυτό αποδειχθεί πως ήταν μια λάθος απόφαση (αφού στη συνέχεια θα ανιχνευθεί το ίδιο συμβάν σε μεγαλύτερη έκταση), θα μπορεί η μονάδα να εντοπίσει αυτό το λάθος και να προσαρμοστεί. Επίσης, σημαντικό θα είναι να μπορεί να αναγνωρίζει σχέσεις μεταξύ διαφορετικών συμβάντων (π.χ. η «βροχή» μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα «κίνηση» ή «αυτοκινητιστικό ατύχημα», ο «σεισμός» μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα «φωτιά»). Αυτού του επιπέδου η ανάλυση θα μπορούσε να επιτευχθεί με την αξιοποίηση Μηχανισμών Τεχνητής Νοημοσύνης.



Λειτουργική άποψη πλαισίου.

4.3 Ενδεικτικό Σενάριο Χρήσης Πλαισίου

Το σενάριο που θα μελετήσουμε αφορά την παρακολούθηση και έλεγχο των αστικών λεωφορείων μιας πόλης με στόχο να βελτιστοποιηθούν διαδρομές, να ανιχνευτούν προβλήματα, σε επίπεδο λεωφορείου ή οδικού δικτύου και να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία αντιμετώπισής τους.

Οι δυο βασικές μορφές πληροφορίας που έχουμε προέρχονται από τα ίδια τα λεωφορεία και από τους φωτεινούς σηματοδότες. Θεωρούμε ότι κάθε λεωφορείο διαθέτει GPS, κεντρική μονάδα ελέγχου και ένα σύστημα που του δίνει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με RESTFul υπηρεσίες ιστού με τον κεντρικό εξυπηρετητή.

Οι διασταυρώσεις είναι εξοπλισμένες με επαγωγικούς βρόχους που λειτουργούν ως αισθητήρες και μετράνε τα οχήματα που περνούν. Ο ελεγκτής, ένας ανά διασταύρωση, συλλέγει τα δεδομένα από τους ανιχνευτές και τα διαβιβάζει σε ένα κεντρικό κόμβο. Ο ρόλος των κεντρικών κόμβων συνίσταται στη συλλογή των δεδομένων κίνησης από τους ελεγκτές και τη διαβίβασή τους στον κεντρικό εξυπηρετητή.

Ο κεντρικός εξυπηρετητής που δέχεται τα δεδομένα από λεωφορεία και σηματοδότες υποστηρίζει RESTFul υπηρεσίες ιστού και διαθέτει NoSQL cluster.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εφαρμογής μπορούμε να ορίσουμε εικονικές οντότητες για τις φυσικές οντότητες:

- ÷ λεωφορεία και ενσωματωμένοι αισθητήρες (θέση, διαδρομή, χρόνοι άφιξης)
- ÷ λεωφορειακές γραμμές (ταξίδι, όλα τα λεωφορεία θέση και κατάσταση)
- ÷ στάσεις λεωφορείων (κατάσταση, θέση και χρόνοι άφιξης λεωφορείου)
- ÷ φωτεινοί σηματοδότες

δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στην επιλογή κοινωνικών χαρακτηριστικών και βέβαια στο χαρακτηριστικό της εμπειρίας XP.

Κάθε οντότητα την περιγράφουμε κάνοντας χρήση μιας τεχνολογίας οντολογιών, για παράδειγμα RDF ή OWL και την αποθηκεύουμε στο μητρώο EO στη NoSQL βάση, που για παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η βάση δεδομένων MongoDB, η οποία τρέχει και ως υπηρεσία στο νέφος.

Οι πληροφορίες που φθάνουν στον εξυπηρετητή θα περνούν από ένα REST επίπεδο, θα αποθηκεύονται στη NonSQL μονάδα και μέσω διαδικασιών ανίχνευσης των μεταβολών στα δεδομένα της βάσης δεδομένων, θα ενεργοποιούνται τα συμβάντα που συνδέονται με αυτές τις αλλαγές.

Όλες οι φυσικές οντότητες που υπάρχουν ή προστίθενται στο δίκτυο αντιπροσωπεύονται από στιγμιότυπα αντίστοιχων εικονικών οντοτήτων οι οποίες όπως είδαμε παίζουν καθοριστικό ρόλο στο προτεινόμενο πλαίσιο. Οι EO αποθηκεύονται στο μητρώο EO και έχουμε δυνατότητα να αλληλεπιδράσουμε με την πληροφορία τους χρησιμοποιώντας μια γλώσσα ερωταποκρίσεων, για παράδειγμα την SPARQL για RDF.

Ας μελετήσουμε πιο αναλυτικά την ακόλουθη περίπτωση. Έστω ότι ένα λεωφορείο παθαίνει βλάβη. Θα πρέπει να ανιχνευθεί η βλάβη ως συμβάν και να ξεκινήσουν οι διαδικασίες που θα αντιμετωπίσουν το πρόβλημα. Ας θεωρήσουμε ότι η αντίδραση σε αυτό το συμβάν θέλουμε να είναι η αντικατάσταση ενός λεωφορείου με ένα παραπλήσιό του και η αποστολή ενός οχήματος οδικής βοήθειας.

Αρχικά, θα πρέπει να γίνει αναγνώριση του συμβάντος «βλάβη». Υπεύθυνη για αυτή τη λειτουργία είναι η μονάδα Αναγνώρισης Συμβάντων. Ένας τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να ανιχνευθεί αυτό το συμβάν είναι να αξιοποιήσουμε το μητρώο της EO του λεωφορείου και να ελέγξουμε αν το λεωφορείο παραμένει στην ίδια θέση για κάποιο χρονικό διάστημα ή αν έχει σβήσει η μηχανή του.

Αφού γίνει η αναγνώριση του συμβάντος, προχωράμε στην περαιτέρω αξιολόγησή του. Υπεύθυνη για αυτή τη λειτουργία είναι η Εκτίμηση Επίδρασης Συμβάντων. Η μονάδα αυτή:

- α) θα επιβεβαιώσει αν όντως υπάρχει κάποια βλάβη ή πρόκειται για κάποιο άλλο συμβάν ή «λάθος συναγερμό». Ένα άλλο συμβάν με παρόμοια χαρακτηριστικά θα μπορούσε να είναι για παράδειγμα η περίπτωση που το λεωφορείο τράκαρε, χτύπησε κάποιον πεζό ή έπεσε σε κίνηση. Οι περιπτώσεις αυτές θα μπορούσαν να αποκλειστούν σχετικά εύκολα. Για παράδειγμα, το αν υπάρχει κίνηση ή όχι θα μπορούσε να επιβεβαιωθεί από την κατάσταση άλλων οχημάτων ή τις ενδείξεις των κοντινών φαναριών.
- β) θα ανιχνεύσει την έκταση του συμβάντος. Θα μελετήσει δηλαδή αν το ίδιο συμβάν παρατηρείται και σε άλλα κοντινά οχήματα ή αν υπάρχουν κάποια άλλα σχετικά συμβάντα στη γύρω περιοχή.
- γ) θα προσδιορίσει αν έχει μεγάλη σημασία αυτό το συμβάν βρίσκοντας επιπλέον στοιχεία γύρω από αυτό. Για παράδειγμα, αν το λεωφορείο είναι εκτός υπηρεσίας, αν έχει επιβάτες, αν το ίδιο δρομολόγιο το έχουν και άλλα λεωφορεία με αποτέλεσμα ο κόσμος να εξυπηρετείται στις στάσεις πολύ σύντομα.

Όταν ανιχνευτεί το συμβάν και προσδιοριστούν κάποιες παράμετροί του, η ΕΟ του λεωφορείου αναζητά αν διαθέτει εμπειρία (XP) που να προσδιορίζει ποια είναι η απόκριση σε ένα τέτοιο συμβάν.

Αν δεν διαθέτει αυτή την εμπειρία, η ΕΟ αναζητά στον κύκλο της (π.χ. στους «φίλους» της) αν υπάρχουν άλλες ΕΟ με διαθέσιμη κάποια σχετική εμπειρία. Σε περίπτωση που εντοπιστεί μια τέτοια ΕΟ, τότε λαμβάνει χώρα «διαμοιρασμός εμπειρίας» και ενεργοποιούνται όσες διαδικασίες προβλέπονται από αυτή την εμπειρία. Έτσι επιτυγχάνεται άμεση αυτονομία.

Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατός ο διαμοιρασμός εμπειρίας, οι απαιτήσεις και οι συνθήκες που έχουν προκύψει από την Εκτίμηση Επίδρασης Συμβάντων προωθούνται ως είσοδος στη μονάδα Λήψης Αποφάσεων, όπως θα συνέβαινε και στην περίπτωση που υπήρχε ένα νέο αίτημα εφαρμογής, και ξεκινά η διαδικασία κατασκευής μιας ΟΕΟ με αποκλειστικό στόχο την αντιμετώπιση του συμβάντος. Η Λήψη Αποφάσεων καταρχάς αναγνωρίζει από τα δεδομένα που έλαβε ως είσοδο τι στοιχεία πρέπει να αξιοποιήσει ώστε να δοθεί λύση στο πρόβλημα. Αναγνωρίζει δηλαδή τι τύπου πρέπει να είναι οι ΕΟ που θα αξιοποιήσει (π.χ. εκτός από λεωφορεία, θα πρέπει να αναζητήσει και στάσεις και άλλες σχετικές οντότητες), ποιες υπηρεσίες

πρέπει να περιέχουν κ.τ.λ. Αυτά τα στοιχεία τα στέλνει στη συνέχεια στη μονάδα Αξιολόγησης Συνεισφερόντων.

Η μονάδα Αξιολόγησης Συνεισφερόντων:

- α) αναζητά αν υπάρχουν ΟΕΟ που δημιουργήθηκαν από ίδια είσοδο (ίδιες απαιτήσεις και ίδιες συνθήκες) ή έστω παρόμοια. Αν ναι, στέλνει στη Λήψη Αποφάσεων τις ΟΕΟ για αξιολόγηση και αυτή με τη σειρά της χρησιμοποιεί μια ή κάποιες από αυτές (στο σύνολό τους ή μέρος αυτών) ή ζητά νέες ΕΟ από την Αξιολόγηση Συνεισφερόντων. Κατά την επιλογή ΟΕΟ λαμβάνεται υπόψιν και η αξιολόγηση που έχουν δεχτεί αυτές από χρήστες ή από το σύστημα.
- β) αν δεν υπάρχουν τέτοιες ΟΕΟ, βρίσκει όλες τις σχετικές ΕΟ με βάση τη φύση τους (τι ΕΟ μας ενδιαφέρουν), τις ιδιότητές τους (π.χ. τη θέση τους), και την εμπειρία που διαθέτουν, την αξιοπιστία και την τυχούσα κοινωνική σχέση με την ΕΟ του λεωφορείου που έχει πάθει βλάβη.

Η μονάδα Αξιολόγησης Εξέλιξης λειτουργεί παράλληλα με την Αξιολόγηση Συνεισφερόντων και εκτιμά αν οι διαθέσιμοι πόροι είναι επαρκείς. Έπειτα, φιλτράρει όσα στοιχεία δεν απαιτούνται από λειτουργική άποψη και κρατά όσο γίνεται τις πιο αξιόπιστες ΕΟ. Με λίγα λόγια, «πετάει» όσα στοιχεία θεωρήσει με ανάλυση γράφων πως δεν σχετίζονται με την εφαρμογή ή δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν. Για παράδειγμα, μπορεί να εκτιμήσει αν ένας δρόμος κάθετος σε αυτόν που έγινε η βλάβη μας ενδιαφέρει ή όχι αναλύοντας το δίκτυο όλων των ΕΟ δρόμων της γύρω περιοχής.

Αυτή η φιλτραρισμένη ομάδα προωθείται στη Λήψη Αποφάσεων όπου γίνεται η τελική επιλογή των ΟΕ που θα αξιοποιηθούν και λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός της τελικής ΟΕΟ (ή των τελικών ΟΕΟ) που θα πρέπει να σχηματιστεί. Σε αυτήν αποθηκεύονται οι συνθήκες/απαιτήσεις δημιουργίας της για μελλοντική χρήση και αξιολόγηση.

Αυτή η τελική ΟΕΟ αποτελείται από:

- ÷ ένα λεωφορείο ή λεωφορεία που θα κληθούν να αντικαταστήσουν το λεωφορείο που υπέστη βλάβη ή/και να παραλάβουν τους επιβάτες από το σημείο που έχει σταματήσει το λεωφορείο.
- ÷ ένα όχημα οδικής βοήθειας που θα ρυμουλκήσει ή θα επισκευάσει το λεωφορείο.

- ÷ φανάρια που θα μπορούσαν να επιταχύνουν την προσέλευση των οχημάτων αυτών.
- ÷ στάσεις που θα αξιολογήσουν αργότερα αν οι επιβάτες εξυπηρετήθηκαν

Βλέπουμε πως αντί να υπάρξει μια ΟΕΟ θα μπορούσαν να σχηματιστούν περισσότερες. Οι νέες ΟΕΟ καταγράφονται στο μητρώο ΟΕΟ.

Τέλος, κάθε ΟΕΟ λειτουργεί αυτόνομα αναλόγως με το πώς έχει «προγραμματιστεί» (τι στόχοι της έχουν δοθεί) ή συνεργάζεται με την Λήψη Αποφάσεων η οποία στέλνει όλες τις εντολές που απαιτούνται στις ΕΟ. Επίσης, αποστέλλεται ανάδραση στις ΕΟ όπως ΧΡ στο λεωφορείο ή και τις άλλες ΕΟ που συμμετείχαν, ενώ οι ΕΟ που συνεργάστηκαν ανανεώνουν τις διασυνδέσεις τους, προσθέτοντας στους «φίλους» τους τις υπόλοιπες ΕΟ.

Αργότερα, αν το ίδιο λεωφορείο (ή ένας φίλος του) αντιμετωπίσει το ίδιο πρόβλημα σε παρόμοιες συνθήκες, η ΕΟ του θα ενεργοποιήσει αυτόματα την ΟΕΟ που έχει ήδη σχηματιστεί, ανακαλώντας την παλιά του εμπειρία.

Αυτή η σελίδα είναι σκόπιμα λευκή.

Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Με την παρούσα εργασία έγινε μια κατά το δυνατόν πλήρης μελέτη όλων των τεχνολογιών που αφορούν τη διαχείριση IoT οντοτήτων, προκειμένου να υπάρξει μια βάση για την εισαγωγή σε μια νέα αρχιτεκτονική βασισμένη σε εικονικές οντότητες. Η αρχιτεκτονική αυτή στηρίζεται στην ανάπτυξη εικονικών οντοτήτων με νέα κοινωνικά χαρακτηριστικά που κάνουν δυνατή την αυτονομία του δικτύου και των ίδιων των εικονικών οντοτήτων. Επιπλέον, μηχανισμοί αξιοποιούν αυτές τις νέες οντότητες, με αποτέλεσμα να γίνεται δυνατή η ανίχνευση εξωτερικών συμβάντων, η σύνθεση νέων υπηρεσιών για την κάλυψη αιτήσεων εφαρμογών, καθώς και η αυτονομία του δικτύου. Χαρακτηριστικά, όπως η εμπειρία, επιτρέπουν αφενός στις εικονικές οντότητες να ανταλλάσσουν γνώση και να δρουν μόνες τους, χωρίς να απαιτείται επιπλέον ανθρώπινη παρέμβαση, και αφετέρου στις λειτουργικές μονάδες του πλαισίου να υλοποιούν σύνθετες εφαρμογές και να αποκτούν γνωστική φύση.

Το πλαίσιο που παρουσιάσαμε αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση για την υλοποίηση του COSMOS. Η μελλοντική εργασία θα περιλαμβάνει πιο λεπτομερή σχεδίαση των λειτουργικών μονάδων που παρουσιάστηκαν, ίσως και αναθεωρημένη, καθώς και την ανάπτυξη μιας πλήρους οντολογίας για τις εικονικές οντότητες και τις ομάδες εικονικών οντοτήτων, με πιο αυστηρή παρουσίαση των κοινωνικών τους χαρακτηριστικών όπως η εμπειρία, οι στόχοι κ.τ.λ. Βασική έρευνα θα πρέπει να γίνει πάνω στη μορφή και τη λειτουργικότητα αυτών των χαρακτηριστικών, καθώς και στην ανάπτυξη νοημοσύνης στις διάφορες λειτουργικές μονάδες. Φυσικά, το τελικό στάδιο δεν είναι άλλο παρά η υλοποίηση του πλαισίου και η δοκιμή του σε πραγματικές συνθήκες.

Αυτή η σελίδα είναι σκόπιμα λευκή.

Βιβλιογραφία

- [1] K. Ashton, “That ‘internet of things’ thing in the real world, things matter more than ideas,” RFID Journal, June 2009,
<http://www.rfidjournal.com/article/print/4986>
- [2] D. L. Brock, “The electronic product code (epc) a naming scheme for physical objects,” Auto-ID Center, White Paper, January 2001,
<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/MIT-AUTOID-WH-002.pdf>
- [3] International Telecommunication Union, “Itu internet reports 2005: The internet of things,” International Telecommunication Union, Workshop Report, November 2005,
http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/pol/SPOL-IR.IT-2005-SUM-PDF-E.pdf
- [4] EPoSS. (2011). The Internet of Things- EPoSS,
<http://www.smart-systems-integration.org/public/internet-of-things>.
- [5] Casagras Newsletter, February 2009,
<http://www.rfidglobal.eu/userfiles/documents/CASAGRAS26022009.pdf>
- [6] CERP-IoT (2011). Strategic Research Agenda,
http://ec.europa.eu/information_society/policy/rfid/documents/in_cerp.pdf
- [7] A. Asin and D. Gascon, “50 sensor applications for a smarter world,” Libelium Comunicaciones Distribuidas, Tech. Rep., 2012,
http://www.libelium.com/top_50_iot_sensor_applications_ranking/pdf
- [8] G. D. Abowd, A. K. Dey, P. J. Brown, N. Davies, M. Smith, and P. Steggles, “Towards a better understanding of context and context-awareness,” in Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, ser. HUC '99. London, UK: Springer-Verlag, 1999, pp. 304–307,
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=647985.743843>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Ambient_intelligence#CITEREFZelkhaEpstein1998
- [10] <https://www.rocq.inria.fr/arles/index.php/past-research-projects/58--wsami-a-middleware-infrastructure-for-ambient-intelligence-based-on-web-services->
- [11] Self-management in Internet of Things Timo Toyry Aalto University,
<https://wiki.aalto.fi/download/attachments/59704179/toyry-self-management.pdf?version=1&modificationDate=1324369262000>

- [12] S. Patidar, D. Rane, and P. Jain, “A survey paper on cloud computing,” in Advanced Computing Communication Technologies (ACCT), 2012 Second International Conference on, jan. 2012, pp. 394–398,
<http://dx.doi.org/10.1109/ACCT.2012.15>
- [13] M. Zhou, R. Zhang, D. Zeng, and W. Qian, “Services in the cloud computing era: A survey,” in Universal Communication Symposium IUCS), 2010 4th International, oct. 2010, pp. 40–46,
<http://dx.doi.org/10.1109/IUCS.2010.5666772>
- [14] Internet of Things Architecture (2011),
<http://www.iot-a.eu/public>
- [15] IoT-I (2012),
<http://www.iot-i.eu>
- [16] <http://iot-casagras.org/panel/welcome-casagras2>
- [17] www.4ward-project.eu/
- [18] <https://magnet-project.eu/>
- [19] <https://itea3.org/>
- [20] SENSEI (2008),
<http://www.sensei-project.eu>
- [21] www.sensorgrid4env.eu/index.php/home
- [22] VISION Cloud Project (2012), <http://www.visioncloud.eu/>
- [23] www.socrates.eu/
- [24] <http://www.iot-icore.eu/>
- [25] www.project-hydra.net/
- [26] SPITFIRE, 2010 <http://www.spitfire-project.eu>
- [27] David Clark, Karen Sollins, John Wroclawski, Dina Katabi, Joanna Kulik, Xiaowei Yang, Robert Braden, Ted Faber, Aaron Falk, Venkata Pingali, Mark Handley, Noel Chiappa, New Arch: Future Generation Internet Architecture - FINAL TECHNICAL REPORT,
<http://www.isi.edu/newarch/iDOCS/final.finalreport.pdf>
- [28] <http://cis.k.hosei.ac.jp/~jianhua/course/ubi/Lecture11.pdf>

- [29] A. R. Da Rocha, F. C. Delicato, J. N. de Souza, D. G. Gomes, and L. Pirmez, "A semantic middleware for autonomic wireless sensor networks," in Proceedings of the 2009 Workshop on Middleware for Ubiquitous and Pervasive Systems, ser. WMUPS '09. New York, NY, USA: ACM, 2009, pp. 19–25,
<http://doi.acm.org/10.1145/1551693.1551697>
- [30] F. Neto and C. Ribeiro, "Dynamic change of services in wireless sensor network middleware based on semantic technologies," in Autonomic and Autonomous Systems (ICAS), 2010 Sixth International Conference on, march 2010, pp. 58–63,
<http://dx.doi.org/10.1109/ICAS.2010.17>
- [31] <http://ebooks.quality3.org/v/virtual-sensor-network-s106/>
- [32] www.contiki-os.org/
- [33] Lei Liu, Stefan Thanheiser, Hartmut Schmeck, A Reference Architecture for Self-organizing Service-Oriented Computing,
http://www.researchgate.net/publication/220826611_A_Reference_Architecture_for_Self-organizing_Service-Oriented_Computing
- [34] Gartner Hype Cycle for Cloud Computing, 2011,
http://cmapsconverted.ihmc.us/rid=1JZJKBR35-2C5G28T-ZNM/hype_cycle_for_cloud_computi_214915.pdf
- [35] Hadoop, <http://hadoop.apache.org/>
- [36] P. Hitzler, M. Krtzsch, and S. Rudolph, Foundations of Semantic Web Technologies. Chapman & Hall/CRC, 2009,
http://www.semantic-web-book.org/page/Foundations_of_Semantic_Web_Technologies
- [37] D. Allemang and J. Hendler, Semantic Web for the Working Ontologist, Second Edition: Effective Modeling in RDFS and OWL, 2nd ed. Morgan Kaufmann, 2011,
<http://mkp.com/news/semantic-web-for-the-working-ontologist-2ndedition-effective-modeling-in-rdfs-and-owl-by-dean-allemang-jameshendler>
- [38] Atos Smart Objects Lab Complex Event Processor (2012),
http://forge.fiware.eu/plugins/mediawiki/wiki/fiware/index.php/Backend_Things_Management_-_SOL_CEP_User_and_Programmers_Guide
- [39] ASPIRE (2011),
<http://wiki.aspire.ow2.org/xwiki/bin/view/Main.Documentation/AspireRfidArchitecture>
- [40] PECES (2008), <http://www.ict-peces.eu>
- [41] OUTSMART (2011), <http://www.fi-ppp-outsmart.eu>