



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών

Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής & Συστημάτων
Πληροφορικής

Ανάπτυξη εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων με σημασιολογική διαλειτουργικότητα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ-ΤΣΑΚΑΝΙΚΑ

Επιβλέπων : Συμεών Παπαβασιλείου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών
Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής & Συστημάτων
Πληροφορικής

Ανάπτυξη εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων με σημασιολογική διαλειτουργικότητα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ-ΤΣΑΚΑΝΙΚΑ

Επιβλέπων : Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22η Μαρτίου 2024

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

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

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024

.....
Βασιλική Παπαγεωργίου-Τσακανίκα

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

Copyright © Βασιλική Παπαγεωργίου-Τσακανίκα, 2024.

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

Η εργασία ερευνά τις δυνατότητες διαλειτουργικότητας στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, αναδεικνύοντας τη σημασία της ανάπτυξης ενός έξυπνου οικοσυστήματος, του οποίου οι συνιστώσες επικοινωνούν και συνεργάζονται απρόσκοπτα. Μέσω της ανάλυσης διάφορων μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων, εστιάζει στη σημασιολογική μετάφραση δύο εξ αυτών, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα εργαλείο που επιτρέπει την εύκολη μετατροπή αντικειμένων μεταξύ των μοντέλων Web of Things και NGS-LD. Συμπερασματικά η σημασιολογική μετάφραση δίνει τη δυνατότητα για ομαλή ενσωμάτωση και επικοινωνία μεταξύ συσκευών που χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα δεδομένων. Η βελτίωση της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών τεχνολογικών οικοσυστημάτων αποδείχθηκε επιτυχής, με την προοπτική επέκτασης και βελτίωσης της προτεινόμενης λύσης για ακόμη καλύτερη συνεργασία και ευελιξία στον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Λέξεις κλειδιά

Σημασιολογική μετάφραση, Μοντέλα του Διαδικτύου των Πραγμάτων, Μοντέλο Web of Things (WoT), Μοντέλο NGS-LD, Διαλειτουργικότητα

Abstract

This thesis explores the interoperability potentials within the Internet of Things (IoT) ecosystem, highlighting the importance of developing a smart ecosystem where components communicate and collaborate seamlessly. Through the analysis of various IoT models, it focuses on the semantic translation of two of them, Web of Things and NGSI-LD, aiming to develop a tool that facilitates easy conversion of objects between the models. It concludes that semantic translation enables smooth integration and communication between devices utilizing different data models. The capability for interoperability among diverse technological ecosystems has been proven successful, with prospects for expanding and improving the proposed solution for greater collaboration and flexibility in the IoT domain.

Key words

Semantic Translation, IoT models, Web of Things (WoT), NGSI-LD, Interoperability, Semantic Interoperability

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κ. Παπαβασιλείου, ο οποίος με ενέπνευσε από τα πρώιμα χρόνια της φοιτητικής μου πορείας και μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστώ με αξιόλογους ανθρώπους.

Ειδική ευγνωμοσύνη οφείλω στους Αναστάσιος Ζαφειρόπουλος και Ελένη Φωτοπούλου για την εξαιρετική συνεργασία κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ προς τους συμφοιτητές και φίλους μου για την παροχή συνεχούς ενθάρρυνσης, την κατανόηση και τη στήριξη που μου πρόσφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Βασιλική Παπαγεωργίου-Τσακανίκα,

Αθήνα, 22η Μαρτίου 2024

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	6
Ευχαριστίες	7
Περιεχόμενα	8
Κατάλογος σχημάτων	11
Κατάλογος πινάκων	12
1. Εισαγωγή	13
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός	13
1.2 Μεθοδολογία και Στόχοι	13
1.3 Οργάνωση Κειμένου	14
2. Μοντέλα διαχείρισης του Διαδικτύου των Πραγμάτων	15
2.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων	15
2.1.1 Μοντέλα του Διαδικτύου των Πραγμάτων	15
2.2 Μοντέλο Web of Things (WoT)	16
2.2.1 Το Μοντέλο	16
2.2.2 Περιγραφή του Αντικειμένου (Thing Description-TD)	16
2.2.3 Αρχιτεκτονική	17
2.3 Μοντέλο NGSI-LD	19
2.3.1 Το Μοντέλο	19
2.3.2 Πληροφοριακό Μοντέλο (Information Model)	19
2.3.3 Αρχιτεκτονική	21
2.3.4 Διεπαφή Διαχείρισης Πληροφορίας Συμφραζομένων (Context Information Management API)	22

2.4	Μοντέλο OneM2M	23
2.4.1	Το Μοντέλο	23
2.4.2	Τυπικές Προδιαγραφές και Αρχιτεκτονική	23
2.4.3	Λειτουργική Αρχιτεκτονική (Functional Architecture)	24
2.4.4	Διαχείριση Δεδομένων (Data Management)	27
2.4.5	Οριζόντια Πλατφόρμα (Horizontal Platform)	27
2.5	Μοντέλο Lightweight M2M (LwM2M)	28
2.5.1	Το Μοντέλο	28
2.5.2	Διαχείριση Συσκευών & Εφαρμογών	28
2.5.3	Αρχιτεκτονική	29
2.5.4	LwM2M Μοντέλο Αντικειμένου (object model)	31
3.	Διαλειτουργικότητα μεταξύ των μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων	33
3.1	Διαλειτουργικότητα	33
3.1.1	Ορισμός και είδη	33
3.1.2	Σημασιολογική Διαλειτουργικότητα	34
3.1.3	Παραδείγματα	35
3.2	Οντολογίες στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων	35
3.3	Αντιστοιχία Οντολογιών και Μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων	36
3.3.1	Οντολογία SSN	36
3.3.2	Οντολογία SAREF	36
3.3.3	Οντολογία OneM2M Base	37
3.3.4	Οντολογία IoT-Lite	37
3.4	Μετάφραση μεταξύ των Οντολογιών	37
3.5	Εργαλεία Χαρτογράφησης Οντολογιών	39
4.	Πειραματικό μέρος	40
4.1	Σκοπος του πειράματος	40
4.2	Βασική δομή	41
4.3	Θεωρητικό υπόβαθρο μεθοδολογίας	42
4.4	Εννοιολογική χαρτογράφηση	42
4.4.1	Αρχείο διαρρύθμισης για το μοντέλο Web of Things	43
4.4.2	Αρχείο διαρρύθμισης για το μοντέλο NGSI-LD	45
4.5	Ανάλυση και Ανάπτυξη Λύσης	48
4.5.1	Γενικές Παραδοχές και Βασικές Ρυθμίσεις	48
4.5.2	Αρχιτεκτονική και Λειτουργικότητα του Εργαλείου Μετάφρασης	50
4.5.3	Διαδικασία Μετάφρασης	52
4.5.4	Αξιολόγηση της Λύσης	55

4.6 Αποτελέσματα	58
5. Συμπεράσματα & Μελλοντικές Επεκτάσεις	59
Βιβλιογραφία	61

Κατάλογος σχημάτων

2.1	Αρχιτεκτονική απομακρυσμένης εφαρμογής του μοντέλου Web of Things [1].	16
2.2	Περιγραφή του Αντικειμένου (Thing Description-TD) [2].	17
2.3	Η Αρχιτεκτονική του Μοντέλου W3C WoT [1].	18
2.4	NGSI-LD Πληροφοριακό Μοντέλο (Information Model) [3].	20
2.5	Αρχιτεκτονική και Αλληλεπιδράσεις του Μοντέλου NGSI-LD [4]	21
2.6	Λειτουργίες Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Layer Functions)[5].	24
2.7	Λειτουργική Αρχιτεκτονική (Functional Architecture)[5].	25
2.8	Η Αρχιτεκτονική του μοντέλου Lightweight M2M [6].	30
2.9	Παράδειγμα των URL του LwM2M	31
4.1	Στιγμιότυπο της δομής του αποθετηρίου GitLab	50
4.2	Στιγμιότυπο του φακέλου semantic_translation στο αποθετήριο GitLab	51
4.3	Παράδειγμα χρήσης της διεπαφής	52
4.4	Παράδειγμα μετάφραση από WoT σε NGSI-LD	53
4.5	Παράδειγμα μετάφραση από NGSI-LD σε WoT	54
4.6	Αποθηκεύουμε το έργο FIWARE Understanding-At-Context	55
4.7	Αρχικοποιούμε την εκτέλεση του εργαλείου	55
4.8	Επικύρωση μοντέλου δεδομένων	56
4.9	Δημιουργία αρχείου context	56
4.10	Αρχείο context	56

Κατάλογος πινάκων

4.1	Περίληψη των υποστηριζόμενων μονάδων μέτρησης	49
-----	---------------------------------------------------------	----

Κεφάλαιο: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να ερευνηθεί τις δυνατότητες που έχουν οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) για διαλειτουργικότητα. Αυτό θα φέρει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη και επέκταση ενός έξυπνου οικοσυστήματος με συνιστώσες που θα επικοινωνούν και θα συνεργάζονται απρόσκοπτα.

Ο τρόπος προσέγγισης που υιοθετήθηκε στην παρούσα εργασία αφορά την μελέτη και ανάλυση διαφόρων μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων, με σκοπό την εκτέλεση σημασιολογικής μετάφρασης δύο εκ αυτών. Κύριο αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου, το οποίο επιτρέπει τη μετατροπή αντικειμένων από το ένα μοντέλο στο άλλο και αντιστρόφως, ενισχύοντας έτσι τη διαλειτουργικότητα και την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών τεχνολογικών οικοσυστημάτων.

1.2 Μεθοδολογία και Στόχοι

Κύριοι πυλώνες της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε είναι η αναγνώριση των μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων, συγκεκριμένα των Web of Things (WoT) και NGS-LD, με στόχο να επιτευχθεί μία σημασιολογική μετάφραση μεταξύ των οντοτήτων που περιγράφονται σε αυτά. Τα μοντέλα διαχείρισης δικτύων προσφέρουν το καθένα μία μοναδική προσέγγιση πάνω στον τρόπο διασύνδεσης αλλά και στην αξιοποίηση των πόρων των συσκευών τους.

Το Web of Things (WoT) επιτρέπει σε πραγματικά αντικείμενα να γίνουν μέρος του διαδικτύου. Χρησιμοποιεί και επεκτείνει τις υπάρχουσες τεχνολογίες του παγκόσμιου ιστού για να απλοποιήσει την διαδικασία ανάπτυξης εφαρμογών ειδικά όταν αυτές καλύπτουν διαφορετικούς τομείς. Επιπλέον προσφέρει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης παγκοσμίως αποδεκτών προτύπων και εργαλείων.

Το NGS-LD έχει σκοπό να διευκολύνει την ανοικτή ανταλλαγή και κοινοποίηση δομημένων πληροφοριών μεταξύ διαφόρων ενδιαφερομένων φορέων. Χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς εφαρμογής για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και αποτελείται από ένα μοντέλο πληροφοριών και μία διεπαφή εφαρμογών (API).

Η σημασιολογική μετάφραση αναφέρεται στη διαδικασία ανταλλαγής και ερμηνείας πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, διατηρώντας τη σημασία των δεδομένων. Αυτό

επιτρέπει την ομαλή ενσωμάτωση και επικοινωνία μεταξύ έξυπνων συσκευών που χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα δεδομένων, όπως συμβαίνει και στα WoT και NGS-LD.

Ο τρόπος με τον οποίο προσπάθησε να επιτευχθεί αυτό, στο πειραματικό μέρος, βασίστηκε στα αρχεία διαρρύθμισης (configuration files) από τα οποία δομούνται τα αντικείμενα των μοντέλων, ή αλλιώς οι οντότητες των έξυπνων συσκευών. Το WoT και το NGS-LD έχουν διαφορετικούς τρόπους δόμησης τέτοιων αρχείων με άλλες απαιτήσεις και πρότυπα, οπότε η σημασιολογική μετάφραση παίρνει τελικά την μορφή μετάφρασης αρχείων διαρρύθμισης. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση έξυπνων συσκευών σε διαφορετικά περιβάλλοντα και πλατφόρμες, ανοίγοντας τον δρόμο για μια πιο ευέλικτη και δυναμική αλληλεπίδραση

1.3 Οργάνωση Κειμένου

Η δομή της εργασίας οργανώνεται αρχίζοντας με το τεχνολογικό υπόβαθρο κάποιων από τα μοντέλα του Διαδικτύου των Πραγμάτων στο Κεφάλαιο 2 και το εννοιολογικό πλαίσιο που χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση της ανάλυσης αυτής της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται εργαλεία και προσεγγίσεις για την επίλυση του ζητήματος της διαλειτουργικότητας στο οικοσύστημα του Διαδικτύου των πραγμάτων.

Το Κεφάλαιο 4 περιγράφει το πειραματικό μέρος την εργασίας. Αρχικά αναλύοντας το πρόβλημα αλλά και την προτεινόμενη λύση και έπειτα επεξηγώντας την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αλλά και τις μεθόδους εκτίμησης των αποτελεσμάτων.

Τέλος το Κεφάλαιο 5 ολοκληρώνει την εργασία με συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις.

Κεφάλαιο: Μοντέλα διαχείρισης του Διαδικτύου των Πραγμάτων

2.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) επικεντρώνεται στις τεχνολογίες σύνδεσης συσκευών στο διαδίκτυο. Πρόκειται για ένα σύστημα από φυσικά αντικείμενα που μπορούν να εντοπιστούν, να παρακολουθηθούν ή/και να ελεγχθούν απομακρυσμένα. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ τους μέσω διαφόρων δικτυακών διεπαφών. Ενσωματώνοντας αυτές τις συσκευές στο παγκόσμιο δίκτυο, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων επιτρέπει την αυτοματοποίηση και την εξατομίκευση πολυάριθμων διαδικασιών, ανοίγοντας νέους δρόμους για την τεχνολογική πρόοδο και τη βελτίωση της καθημερινής ζωής.

Τι είναι όμως αυτό το "πράγμα" για το οποίο μιλάμε; Αυτή η νέα τεχνολογία ασχολείται με ψηφιακά επαυξημένα "πράγματα", αντικείμενα ως μέρος του δικτύου, που αποτελούνται από ένα συνδυασμό αισθητήρων, διεπαφών επικοινωνίας, ενεργοποιητές αλλά και λογισμικό.

Αυτά τα αντικείμενα ή αλλιώς και έξυπνες συσκευές συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον με σκοπό τη μετάδοση τους μέσω του διαδικτύου [7]. Το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία των πληροφοριών από ειδικά ανεπτυγμένες εφαρμογές για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Οι ενέργειες που καταλήγουν αυτές οι εφαρμογές στέλνονται πίσω στα φυσικά αντικείμενα, δηλαδή στις πραγματικές συσκευές, για να εκτελεστούν κατάλληλα. Πρόκειται για μια τεχνολογία με πολλές προεκτάσεις που ολοένα αναπτύσσεται.

2.1.1 Μοντέλα του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Όσο εξερευνούμε περισσότερο τον κόσμο του Διαδικτύου των Πραγμάτων θα παρατηρήσουμε πως έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα διαχείρισης τέτοιων δικτύων. Το καθένα προσφέρει μία μοναδική προσέγγιση πάνω στον τρόπο διασύνδεσης αλλά και στην αξιοποίηση των πόρων τους. Η εξέλιξη αυτών των μοντέλων διαχείρισης είναι κρίσιμη για την επιτυχία αυτής της νέας τεχνολογίας, καθώς οι αυξανόμενες απαιτήσεις για ασφάλεια, αξιοπιστία, και μεγαλύτερη διασυνδεσιμότητα οδηγούν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογικών λύσεων.

Στην επόμενη ενότητα, θα προχωρήσουμε σε μια λεπτομερή ανάλυση μερικών μοντέλων διαχείρισης που έχουν αναπτυχθεί στον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων, εξετάζοντας τις ιδιαιτερότητες, τα πλεονεκτήματα, και τις προκλήσεις που συναντούν.

2.2 Μοντέλο Web of Things (WoT)

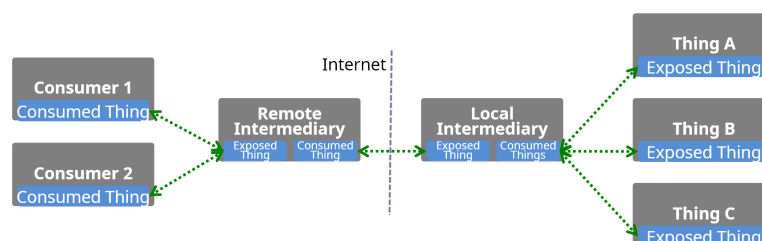
2.2.1 Το Μοντέλο

Το Web of Things (WoT) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει προσεγγίσεις, αρχιτεκτονικά στύλ λογισμικού και μοτίβα προγραμματισμού που επιτρέπουν σε πραγματικά αντικείμενα να γίνουν μέρος του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web). Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε από την Κοινοπραξία του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web Consortium - W3C) [8].

Όσον αφορά την ανάπτυξη εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων, αντιμετωπίζουμε μια ανομοιογένεια στο τεχνολογικό τοπίο, το οποίο περιλαμβάνει ποικίλα συστήματα και υπηρεσίες, από διάφορους προμηθευτές και κατασκευαστές. Αυτή η ποικιλομορφία εκδηλώνεται σε πολλούς τομείς, όπως στα πρωτόκολλα επικοινωνίας, στα μοντέλα δεδομένων αλλά και στις απαιτήσεις ασφάλειας. Ως αποτέλεσμα, η διαδικασία ανάπτυξης χρειάζεται μεγάλη προσπάθεια και οδηγεί σε περιορισμό του πεδίου χρήσης, δηλαδή κάνει τις εφαρμογές πιο εξειδικευμένες.

Το Web of Things στοχεύει στο να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της διάσπασης των εφαρμογών σε μικρότερα, αποσυνδεδεμένα κομμάτια. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση και επέκταση των υπαρχόντων, τυποποιημένων τεχνολογιών του παγκόσμιου ιστού.

Παρέχοντας τυποποιημένα μεταδεδομένα και άλλα επαναχρησιμοποιήσιμα στοιχεία υλοποίησης, το WoT απλοποιεί η διαδικασία ανάπτυξης εφαρμογών πανω στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Αυτή η προσέγγιση ενισχύει την ευελιξία και τη διαλειτουργικότητα, ειδικά για εφαρμογές που καλύπτουν διαφορετικούς τομείς, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης παγκοσμίως αποδεκτών προτύπων και εργαλείων.



Σχήμα 2.1: Αρχιτεκτονική απομακρυσμένης εφαρμογής του μοντέλου Web of Things [1].

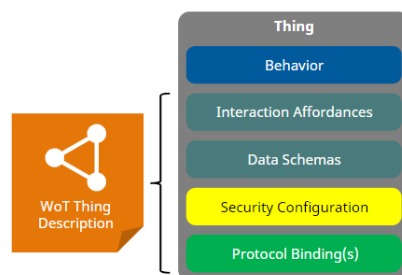
2.2.2 Περιγραφή του Αντικειμένου (Thing Description-TD)

Τώρα που έχουμε εισαγάγει τον όρο "Web of Things" και έχουμε προσεγγίσει τον γενικότερο στόχο του, ας εξετάσουμε τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του. Κατά βάση το WoT είναι η δυνατότητα διαλόγου μεταξύ των συσκευών και του δικτύου, και αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αφαίρεσης σε τρεις βασικές ιδιότητες, συμβάντα και ενέργειες (properties, events, and actions). Κάθε δικτυακή διεπαφή του Διαδικτύου των Πραγμάτων μπορεί να πε-

ριγραφεί με βάση αυτήν την αφαίρεση. Χρησιμοποιώντας αυτήν την αφαίρεση, οι εφαρμογές έχουν ένα κοινό σημείο αναφοράς για τη λήψη των μεταδεδομένων μιας υπηρεσίας καθώς και έναν τρόπο να κατανοήσουν τι δεδομένα παρέχονται και πώς μπορούν να προσπελαστούν.

Τα μεταδεδομένα αυτά, που απαιτούνται για την διαμόρφωση αυτής της κοινής αφαίρεσης, καταγράφονται σε αυτό που ονομάζεται WoT Thing Description (TD) [2], μια κεντρική έννοια στο W3C Web of Things. Είναι η αρχή μιας οντότητας μέρους του Διαδικτύου των Πραγμάτων και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα και τις λειτουργίες της, ποιο πρωτόκολλο χρησιμοποιείται, πώς κωδικοποιούνται και δομούνται τα δεδομένα, και ποιος μηχανισμός ασφαλείας χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πρόσβασης.

Ένα TD εκφράζεται σε JSON-LD μορφή αρχείου και μπορεί να παρέχεται από μια συσκευή ή να φιλοξενείται εξωτερικά σε ένα απομακρυσμένο αποθετήριο. Αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες όπως σημασιολογικούς σχολιασμούς, μεταδεδομένα αντικειμένου, μεταδεδομένα ασφαλείας, ορισμούς διαδραστικών δυνατοτήτων, συνδέσμους προς άλλα έγγραφα. Αυτή η δομημένη προσέγγιση εξασφαλίζει μια συνολική αναπαράσταση του αντικειμένου, διευκολύνοντας την κανονικοποιημένη επικοινωνία και τη συμβατότητα εντός του πλαισίου του Web of Things.



Σχήμα 2.2: Περιγραφή του Αντικειμένου (Thing Description-TD) [2].

2.2.3 Αρχιτεκτονική

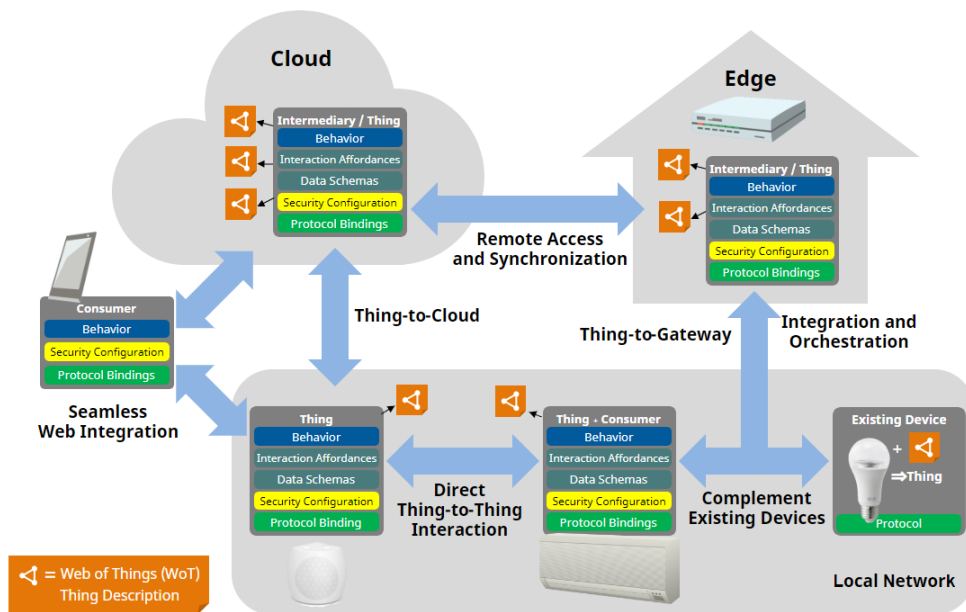
Όταν εξετάζουμε τις αλληλεπιδράσεις στο Επίπεδο Διαδραστικότητας (Interactions Level), βλέπουμε μεταδεδομένα αλληλεπίδρασης, σχήματα JSON καθώς και Συγκεκριμένες Πληροφορίες Πρωτοκόλλου (Concrete Protocol Information).

Κατα κύριο λόγο χρησιμοποιούμε το σχήμα JSON για να περιγράψουμε πώς θα πρέπει να είναι τα δεδομένα αυτών των διαφορετικών αλληλεπιδράσεων. Οι Συγκεκριμένες Πληροφορίες Πρωτοκόλλου, είναι πληροφορίες σταθερές και πρακτικές για την εκάστοτε κατάσταση ή συσκευή. Αποτελούνται από τα πρωτόκολλα, το URI των πόρων, την επιθυμητή λειτουργία WoT (Intended WOT Operation) και το ειδικό λεξιλόγιο πρωτοκόλλου (Protocol Specific Vocabulary). Με τα δύο πρώτα μπορούμε να καθορίσουμε τις λειτουργίες που θέλουμε να περιγράψουμε. Τέλος, το ειδικό λεξιλόγιο πρωτοκόλλου μας επιτρέπει να περιγράψουμε ακριβώς τον τύπο αιτήματος που πρέπει να σταλεί. Αυτή η συνολική προσέγγιση διασφαλίζει σαφήνεια και ακρίβεια εντός του πλαισίου του Web of Things.

Όλοι οι κανόνες διασύνδεσης περιγράφονται στα WoT Binding Templates. Γενικά υποστηρίζεται η ανεξαρτησία από πρωτόκολλα επικοινωνίας και παρέχεται ένας κοινός μηχανισμός για την χρησιμοποίηση συγκεκριμένων από αυτά όπως MQTT, HTTP, CoAP ή Modbus, να απεικονιστούν δηλαδή στην αφαίρεση properties-events-actions του μοντέλου.

Είναι διαθέσιμη μία Προγραμματιστική Διεπαφή Εντολών (Scripting API) η οποία καθορίζει ένα ECMAScript (JavaScript) API που ακολουθεί στενά τις προδιαγραφές του περιγραφής αντικειμένου (WoT Thing Description) και υποστηρίζει και αυτό την αφαίρεση που αναφέρθηκε νωρίτερα (properties-events-actions). Ορίζει την διεπαφή ανάμεσα στις υλοποιήσεις της συμπεριφοράς και ενός διαδραστικού περιβάλλοντος εκτέλεσης του Web of Things, το οποίο βασίζεται σε σενάρια προγραμματισμού. Παρακαλούμε, ωστόσο, να σημειωθεί ότι οι υλοποιήσεις του WoT δεν περιορίζονται σε περιβάλλοντα προγραμματισμού, διεπαφές εντολών για προγραμματισμό σε Java ή C/C++ μπορούν επίσης να προκύψουν.

Το Web of Things παρέχει επίσης κατευθυντήριες γραμμές για την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα, δηλαδή κατευθυντήριες γραμμές με στόχος η ασφαλή υλοποίηση και ρύθμιση των IoT οντοτήτων. Καθώς και μηχανισμούς για την ανακάλυψη Αντικειμένων (Things) στο δίκτυο. Η ανακάλυψη επιτρέπει σε εφαρμογές να εντοπίζουν και να αναγνωρίζουν διαθέσιμα Αντικείμενα, διευκολύνοντας τους προγραμματιστές στη δημιουργία δυναμικών και προσαρμοστικών εφαρμογών IoT. Τέλος υποστηρίζει αρχιτεκτονικές βασισμένες σε συμβάντα. Τα Αντικείμενα μπορούν να δημιουργούν συμβάντα, και οι εφαρμογές μπορούν να εγγραφούν (subscribe) σε αυτά για να λαμβάνουν ενημερώσεις όταν συμβούν συγκεκριμένες συνθήκες ή αλλαγές.



Σχήμα 2.3: Η Αρχιτεκτονική του Μοντέλου W3C WoT [1].

2.3 Μοντέλο NGSI-LD

2.3.1 Το Μοντέλο

Το NGSI-LD αποτελείται από ένα μοντέλο πληροφοριών και μία Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interface - API) για δημοσίευση, υποβολή ερωτημάτων και εγγραφή πληροφοριών που περιγράφουν το περιβάλλον. Έχει σκοπό να διευκολύνει την ανοικτή ανταλλαγή και κοινοποίηση δομημένων πληροφοριών μεταξύ διαφόρων ενδιαφερομένων φορέων. Χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς εφαρμογής για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

Το NGSI-LD έχει εξελιχθεί από το πληροφοριακό μοντέλο NGSI v2 του FIWARE, για να υποστηρίξει καλύτερα τα συνδεδεμένα δεδομένα αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρει η δομή δεδομένων JSON-LD. Τα συνδεδεμένα δεδομένα αποτελούνται από τις σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων τους γράφους ιδιοτήτων και σημασιολογίας τους. Αυτή η πρωτοβουλία πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα του “ETSI ISG CIM” και αναγνωρίστηκε με το όνομα NGSI-LD [9]. Το ακρωνύμιο NGSI σημαίνει “Next Generation Service Interfaces” (Διεπαφές Υπηρεσιών Επόμενης Γενιάς), ενώ το LD (Linked Data) είναι λόγω της χρήσης του JSON-LD.

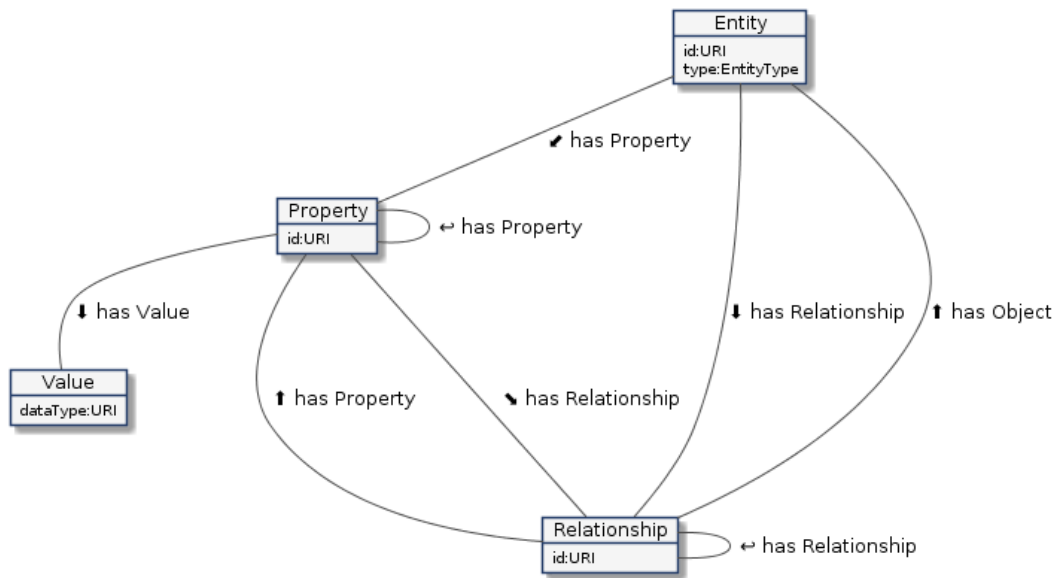
Οι κύριες δομές του NGSI-LD είναι οι Οντότητες, οι Ιδιότητες και οι Σχέσεις, ή αλλιώς Entity, Property και Relationship [10]. Οι οντότητες στο πλαίσιο του NGSI-LD μπορούν να λειτουργήσουν ως αντικείμενα ιδιοτήτων ή σχέσεων. Οι ιδιότητες αντιπροσωπεύουν τον συνδυασμό χαρακτηριστικής και σχετικής τιμής. Επιπλέον, οι σχέσεις επιτρέπουν τον σχηματισμό συνδέσεων μεταξύ παραδειγμάτων, χρησιμοποιώντας συνδεδεμένα δεδομένα. Οι ιδιότητες και οι σχέσεις μπορούν να λειτουργήσουν ως αντικείμενο άλλων ιδιοτήτων ή σχέσεων στο πλαίσιο του πληροφοριακού μοντέλου NGSI-LD. Συνεπώς, δεν υπάρχουν μεταδεδομένα για τα χαρακτηριστικά, αλλά μόνο “ιδιότητες των ιδιοτήτων” (properties of properties) ή “ιδιότητες των σχέσεων” (“properties of relationships). Δεν αναμένεται να υπάρχουν άπειρα γραφήματα, και στην πράξη θα συμβεί μόνο ένα ή δύο επίπεδα “αλυσίδωσης” ιδιοτήτων ή σχέσεων. Οι NGSI-LD οντότητες αναπαρίστανται χρησιμοποιώντας το JSON-LD [11], ένα μορφότυπο σειριοποίησης (serialization format) βασισμένο σε JSON για συνδεδεμένα δεδομένα. Το βασικό πλεονέκτημα του JSON-LD είναι ότι προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης των όρων JSON σε URIs, επιτρέποντας τη χρήση λεξιλογίων για τον καθορισμό όρων με σαφήνεια.

2.3.2 Πληροφοριακό Μοντέλο (Information Model)

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του πληροφοριακού μοντέλου του NGSI-LD [3] θα τα εντοπίσουμε στην αναπαράσταση του Μοντέλου Γράφου Ιδιοτήτων (Property Graph Model) που είναι ένας κατευθυνόμενος γράφος που βοηθά στην αναπαράσταση των ιδιοτήτων.

Οι οντότητες (Entities) είναι πληροφορίες από αντικείμενα πραγματικού κόσμου. Κάθε οντότητα αναγνωρίζεται μοναδικά με ένα IRI (Διεθνές Αναγνωριστικό Πόρου - Internationalized Resource Identifier) και χαρακτηρίζεται από έναν ή περισσότερους τύπους οντοτήτων.

Οι ιδιότητες (Properties) ή αλλιώς κόμβοι του γράφου, έχουν τη μορφή αυθαίρετων ζευγαριών κλειδιού-τιμής (key-value pairs). Τα κλειδιά είναι αλφαριθμητικά χαρακτήρων και οι



Σχήμα 2.4: NGSI-LD Πληροφοριακό Μοντέλο (Information Model) [3].

τιμές είναι αυθαίρετοι τύποι δεδομένων.

Οι σχέσεις (Relationships) ή αλλιώς οι κατευθυνόμενες ακμές του γράφου, παριστάνουν σχέσεις μεταξύ οντοτήτων, ιδιοτήτων ή και άλλων ιδιοτήτων και έχουν πάντα ένα αναγνωριστικό, έναν κόμβο εκκίνησης και έναν κόμβο προορισμού.

Το μετα-μοντέλο NGSI-LD καθορίζει επίσημα αυτές τις θεμελιώδεις έννοιες (Οντότητες, Σχέσεις, Ιδιότητες) με βάση το RDF/RDFS/OWL [12] και μερικώς με βάση το JSON-LD. Παρέχει μια δομημένη βάση για την αναπαράσταση και την οργάνωση των δεδομένων.

Το NGSI-LD σχεδιάστηκε να είναι ευέλικτο και επεκτάσιμο, επιτρέποντας την προδιαγραφή διαφόρων τύπων οντοτήτων. Οι χρήστες μπορούν να ορίζουν τους δικούς τους τύπους, και τυποποιημένες οντότητες καθορίζονται συνεργατικά μέσω προγραμμάτων όπως το Smart Data Models Program [13].

Η αναπαράσταση τιμών (values) στο NGSI-LD μπορεί να αποτελείται από τυποποιημένες τιμές JSON (πχ string, number, true ή false, objects, arrays), τυποποιημένες τιμές JSON-LD (δηλαδή ένα string που περιγράφει την τιμή μαζί με έναν τύπο βασισμένο στους τύπους XSD ή γενικότερα ένα IRI), ή δομημένες τιμές JSON-LD (πχ ένα σετ, μία λίστα ή ένα language-tagged string, δηλαδή κείμενο με πληροφορίες για τη γλώσσα στην οποία είναι γραμμένο).

Ο ορισμός τύπου στο NGSI-LD είναι κλάσεις OWL που είναι υποκλάσεις είτε των κλάσεων Οντότητας, Σχέσης, Ιδιότητας ή Τιμής NGSI-LD. Ενώ το NGSI-LD προκαθορίζει μερικούς τύπους, οι χρήστες μπορούν να ορίσουν επιπλέον τύπους.

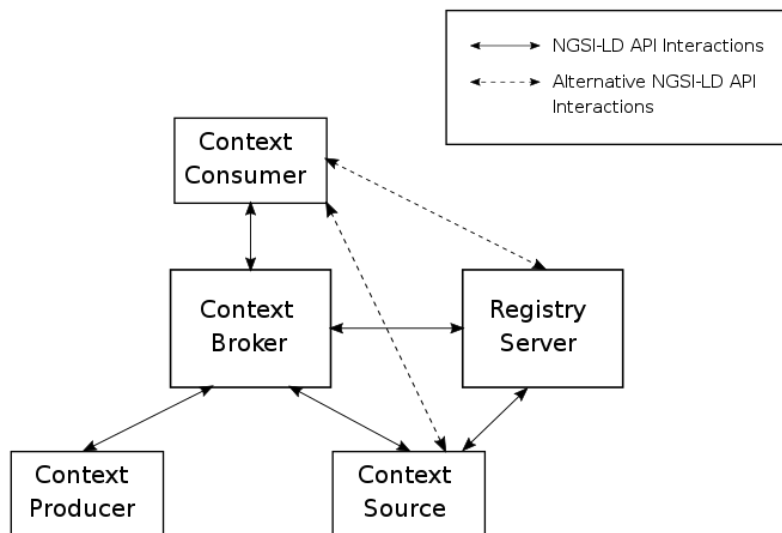
Η προδιαγραφή του πληροφοριακού μοντέλου περιλαμβάνει μια οντολογία διασταύρωσης πεδίου που καθορίζει βασικές δομές που σχετίζονται με χαρακτηριστικά χώρου, χρόνου ή συστατικής σύνθεσης των οντοτήτων.

Συνοπτικά, το NGSI-LD παρέχει ένα τυποποιημένο και ευέλικτο πλαίσιο για την αναπαρά-

σταση και την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τις οντότητες σε μία μορφή συνδεδεμένων δεδομένων, καθιστώντας το ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων και το ευρύτερο οικοσύστημά του. Στοχεύει στη διευκόλυνση της διαλειτουργικότητας και της συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων φορέων.

2.3.3 Αρχιτεκτονική

Στα πλαίσια του NGS-LD, οι βασικοί όροι συνδέονται με την αρχιτεκτονική που διαμορφώνεται για τη διαχείριση πληροφοριών κατάστασης. Ένα καίριο στοιχείο είναι ο Διαμεσολαβητής Καταστάσεων (Context Broker), υπεύθυνος για την επεξεργασία δεδομένων κατάστασης. Τόσο οι Καταναλωτές Καταστάσεων (Context Consumers) όσο και οι Παραγωγικοί Καταστάσεων (Context Producers) αλληλεπιδρούν με αυτόν, διευκολύνοντας την αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών στο περιβάλλον του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Επιπλέον, ο Διακομιστής Καταλόγου (Registry Server) έχει ρόλο της διατήρησης ενός καταλόγου διαθέσιμων οντοτήτων και υπηρεσιών του NGS-LD.



Σχήμα 2.5: Αρχιτεκτονική και Αλληλεπιδράσεις του Μοντέλου NGS-LD [4]

Ένας Καταναλωτής Καταστάσεων (Context Consumer) είναι ένα component ή μία εφαρμογή που ανακτά και χρησιμοποιεί πληροφορίες κατάστασης από έναν Διαμεσολαβητή Καταστάσεων (Context Broker) ή άλλη πηγή. Οι Καταναλωτές Καταστάσεων ενδιαφέρονται για συγκεκριμένα δεδομένα κατάστασης για να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις, να πυροδοτούν ενέργειες ή να εμφανίζουν πληροφορίες στους χρήστες.

Ένας Παραγωγός Καταστάσεων (Context Producer) είναι μία συνιστώσα ή μία συσκευή που δημιουργεί ή παράγει πληροφορίες κατάστασης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει διάφορους αισθητήρες, έξυπνες συσκευές, συστήματα που παρακολουθούν και συλλέγουν δεδο-

μένα σχετικά με το περιβάλλον, αντικείμενα ή οντότητες. Οι παραπάνω παρέχουν πληροφορίες στο συνολικό σύστημα διαχείρισης καταστάσεων.

Μια Πηγή Καταστάσεων (Context Source) είναι η προέλευση ή η αρχική πηγή πληροφοριών κατάστασης. Μπορεί να είναι μια φυσική συσκευή, ένας αισθητήρας, μια εφαρμογή λογισμικού ή οποιαδήποτε οντότητα που δημιουργεί δεδομένα σχετικά με την κατάσταση. Οι Πηγές Καταστάσεων είναι συχνά συνώνυμες με τους Παραγωγούς Καταστάσεων (Context Producer).

Ένας Διαμεσολαβητής Καταστάσεων (Context Broker) είναι απαραίτητος για να μπορεί το σύστημα να αντιληφθεί τις καταστάσεις (context-aware). Λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ των Παραγωγών Καταστάσεων (Context Producers), δηλαδή τις πηγές πληροφοριών κατάστασης, και των Καταναλωτών Καταστάσεων (Context Consumers), αντίστοιχα τις εφαρμογές ή υπηρεσίες που χρειάζονται πληροφορίες κατάστασης. Ο Διαμεσολαβητής Καταστάσεων διαχειρίζεται την αποθήκευση, ανάκτηση και διάδοση πληροφοριών κατάστασης. Επιτρέπει στους Καταναλωτές Καταστάσεων (Context Consumers) να ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική και έγκαιρη πρόσβαση σε σχετικά δεδομένα.

Ένας Διακομιστής Καταλόγου (Registry Server) είναι ένα component που διατηρεί ένα registry ή ένα κατάλογο διαθέσιμων υπηρεσιών, οντοτήτων ή πόρων εντός ενός συστήματος ή δικτύου. Στο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και των context-aware συστημάτων, ένας Διακομιστής Καταλόγου μπορεί να παρακολουθεί τους Δημιουργούς Καταστάσεων (Context Producers), τους Καταναλωτές Καταστάσεων (Context Consumers) ή άλλες υπηρεσίες, παρέχοντας ένα κεντρικό σημείο για να μπορούν να γίνει ο εντοπισμός και οι εγγραφές.

2.3.4 Διεπαφή Διαχείρισης Πληροφορίας Συμφραζομένων (Context Information Management API)

Η διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API) του NGSI-LD παρέχει ένα τυποποιημένο και ευέλικτο τεχνολογικό πλαίσιο για τη διαχείριση και ανταλλαγή πληροφοριών κατάστασης σε μία μορφή συνδεδεμένων δεδομένων, υποστηρίζοντας τη διαλειτουργικότητα σε ποικίλα οικοσυστήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Αρχικά ακολουθεί ένα σχεδιασμό τηρώντας τις αρχές της Αναπαραστατικής Μεταφοράς Κατάστασης (Representational State Transfer - REST). Αυτός ο σχεδιασμός προωθεί την επεκτασιμότητα, την απλότητα και ένα μοντέλο επικοινωνίας χωρίς κατάσταση (stateless). Επιπλέον, επιτρέπει τη δημιουργία, ανάγνωση, ενημέρωση και διαγραφή οντοτήτων και των σχετικών πληροφοριών κατάστασης τους, υποστηρίζει με άλλα λόγια τις βασικές λειτουργίες CRUD (Create, Read, Update, Delete). Η διεπαφή του NGSI-LD είναι επικεντρωμένη στις οντότητες επιτρέποντας στους πελάτες να λαμβάνουν ενημερώσεις πραγματικού χρόνου όταν συμβούν συγκεκριμένες αλλαγές στις πληροφορίες κατάστασης. Ειδοποιήσεις αποστέλλονται στους συνδρομητές όταν σημαντικά γεγονότα λαμβάνουν χώρα. Τέλος περιλαμβάνει χαρακτηριστικά ασφαλείας για την προστασία της ακεραιότητας και της εμπιστευτικότητας των πληροφοριών κατάστασης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πιστοποίηση, εξουσιοδότηση και ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας.

2.4 Μοντέλο OneM2M

2.4.1 Το Μοντέλο

Το oneM2M [14] είναι ένα παγκόσμιο συνεργατικό εγχείρημα από 8 κύριους οργανισμούς: ARIB (Ιαπωνία), ATIS (Ηνωμένες Πολιτείες), CCSA (Κίνα), ETSI (Ευρώπη), TTA (ΗΠΑ), TSDSI (Ινδία), TTA (Κορέα) και TTC (Ιαπωνία). Ο σκοπός του οργανισμού είναι να δημιουργήσει ένα παγκόσμιο τεχνολογικό πρότυπο διαλειτουργικότητας όσων αφορά την αρχιτεκτονική, τις προδιαγραφές των διεπαφών και της ασφάλειας. Αυτό έχει στόχο τόσο τις τεχνολογίες Μηχανής προς Μηχανή (Machine-to-Machine - M2M) όσο και τις τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων, βασισμένο σε απαιτήσεις από και για τα μέλη του.

Οι τυποποιημένες προδιαγραφές που παράχθηκαν από το oneM2M δίνουν την δυνατότητα σε ένα εικονικό οικοσύστημα να υποστηρίξει μία μεγάλη γκάμα εφαρμογών και υπηρεσιών. Κάποιες από αυτές περιλαμβάνουν έξυπνες πόλεις, έξυπνα δίκτυα, αυτοματισμό στο σπίτι, δημόσια ασφάλεια και υγεία. Σημαντικό είναι ότι αυτήν η τεχνολογία είναι ανεξάρτητη από τη συνδεσιμότητα ή τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται, έχει σχεδιαστεί για να είναι μια μακροπρόθεσμη λύση για την ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Ως πρωτοπορία το one M2M προσφέρει μία κοινή πρότυπη πλατφόρμα που μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικά αυτόνομα έξυπνα δικτυακά τμήματα, έτσι ώστε οι διάφοροι τομείς να συγκλίνουν και οι αγορές του Διαδικτύου των Πραγμάτων να αναπτυχθούν με δυνατότητα διαλειτουργικότητας. Παρέχει το δικό του ενδιάμεσο λογισμικό και μία διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API) έτσι ώστε οι προγραμματιστές να εστιάζουν στην λογική της ανάπτυξης των εφαρμογών τους και όχι στο να υλοποιούν τις κοινές και τετριμμένες συναρτήσεις όπως διαχείριση δεδομένων, ομαδική πρόσβαση, διαχείριση συσκευών, τοποθεσία.

Είναι ανεξάρτητα από τον τρόπο μεταφοράς δεδομένων πάνω στο Πρωτόκολλο Internet (IP). Μπορεί να λειτουργήσει με διάφορες μεθόδους μεταφοράς δεδομένων πάνω στο Internet Protocol, όπως HTTP, WebSocket με TCP/IP αλλά και CoAP, MQTT με TCP/IP ή UDP/IP.

Η συνεργασία με άλλα συστήματα και συσκευές αποτελεί κρίσιμο στοιχείο στο εξελισσόμενο πλαίσιο διασυνεργασία (interworking) εντός του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Αυτό στοχεύει στο να αποτρέψει την ανάγκη για τη δημιουργία εντελώς νέων μοντέλων διασυνεργασία, κάνοντας τη διαδικασία πιο αποδοτική και ευέλικτη. Η ανάπτυξη λύσεων προγραμματισμού για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων οδηγεί σε βελτιωμένες υπηρεσίες αλλά και τη διάθεση εξωτερικών διεπαφών, διευρύνοντας τελικά τις δυνατότητες του έξυπνου οικοσυστήματος και επιτρέποντας τη σύνδεση μεταξύ διαφορετικών στοιχείων.

2.4.2 Τυπικές Προδιαγραφές και Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του μοντέλου oneM2M [5] είναι παρόμοια με ένα καταναμημένο λειτουργικό σύστημα για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Έχει την μορφή ενός ενδιάμεσου στρώματος υπηρεσιών που αποτελείται από μία σουίτα κοινών λειτουργιών (Common Service Functions, CSFs). Το μεσολογισμικό στρώμα υπηρεσιών βρίσκεται ανάμεσα στις εφαρμογές και το στρώμα επικοινωνίας/ συνδεσιμότητας. Οι κοινές λειτουργίες (CSFs) είναι προσβάσι-

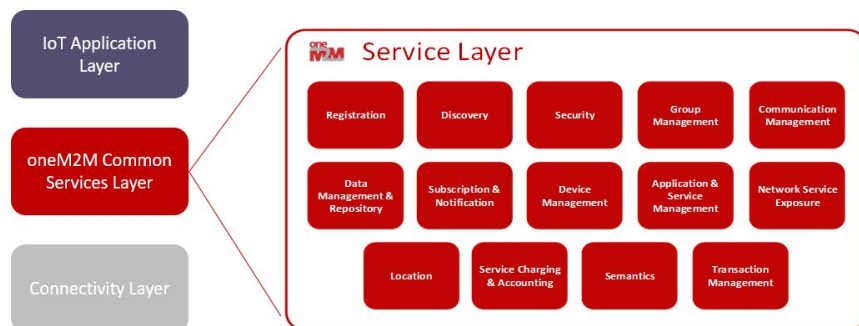
μες από τις εφαρμογές και τις έξυπνες συσκευές μέσω ενός RESTful API.

Το επίπεδο υπηρεσίας στο oneM2M ή/και οι εφαρμογές μπορούν να βρίσκονται σε συσκευές εδάφους και αισθητήρες, σε πύλες και σε εφαρμογές στο backend ή στον νέφος. Αυτό υποστηρίζει τη συνεργατική νοημοσύνη σε καταναμημένα συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Το επίπεδο υπηρεσίας (Service Layer) του oneM2M υλοποιείται συνήθως ως επίπεδο λογισμικού. Βρίσκεται μεταξύ των έξυπνων εφαρμογών και των μηχανημάτων υπολογιστών, επεξεργασίας ή επικοινωνίας που αντιστοιχεί στο επίπεδο συνδεσιμότητας. Η αποθήκευση, η επεξεργασία και η μεταφορά δεδομένων στο επίπεδο συνδεσιμότητας γίνονται συνήθως πάνω από το πρωτόκολλο IP. Ωστόσο, το oneM2M υποστηρίζει επίσης μεταφορές εκτός του IP πρωτοκόλλου μέσω δια συνεργαζόμενους πληρεξουσίου (interworking proxies).

Επιπροσθέτως παρέχει λειτουργίες που χρειάζονται συχνά στις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Μέχρι σήμερα, οι προδιαγραφές του oneM2M καλύπτουν δεκατέσσερις τέτοιες λειτουργίες. Οι προγραμματιστές μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν προοδευτικά για τις εφαρμογές τους, ξεκινώντας με τις συχνότερα απαιτούμενες, όπως η διαχείριση συσκευών, η εγγραφή και η ασφάλεια. Πιο πολύπλοκες εφαρμογές μπορούν να ενσωματώσουν χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν τη σημασιολογική αλληλουχία και τις υπηρεσίες τοποθεσίας, για παράδειγμα.

Το oneM2M ακολουθεί έναν δρόμο με προοδευτική πρότυποποίησης. Αυτό επιτρέπει την προσαρμογή μελλοντικών απαιτήσεων και την ανάπτυξη νέων τέτοιων κοινών λειτουργιών.



Σχήμα 2.6: Λειτουργίες Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Layer Functions)[5].

2.4.3 Λειτουργική Αρχιτεκτονική (Functional Architecture)

Τα πρότυπα του oneM2M περιλαμβάνουν μια οριζόντια αρχιτεκτονική στη μορφή ενός μοντέλου τριών επιπέδων που αποτελείται από τις εφαρμογές, τις υπηρεσίες και το δίκτυο.

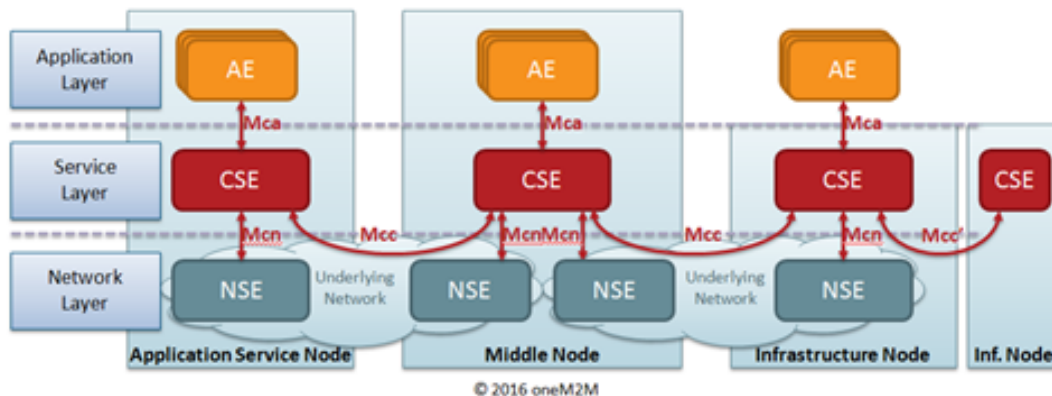
Η Οντότητα Εφαρμογής (Application Entity - AE) είναι μια οντότητα στο Επίπεδο Εφαρμογών που υλοποιεί την λογική της εφαρμογής. Κάθε κομμάτι αυτού του κώδικα μπορεί να βρίσκεται σε πολλούς κόμβους και/ή περισσότερες από μία φορές σε έναν μόνο κόμβο. Κάθε εκτελέσιμο κομμάτι αυτής της λογικής ονομάζεται "Οντότητα Εφαρμογής" (Application Entity, AE) και αναγνωρίζεται με ένα μοναδικό αναγνωριστικό (AE-ID).

Η Οντότητα Κοινών Υπηρεσιών (Common Services Entity - CSE) αντιπροσωπεύει την υλοποίηση ενός συνόλου "κοινών λειτουργιών" του Επιπέδου Υπηρεσίας του oneM2M. Περιέχει μια συλλογή λειτουργιών που καθορίζονται από το oneM2M και οι οντότητες εφαρμογών AE μπορούν να χρησιμοποιήσουν. Κάθε μία από αυτές αναγνωρίζεται με ένα μοναδικό αναγνωριστικό (CSE-ID).

Η Οντότητα Υπηρεσιών Δικτύου (Underlying Network Services Entity - NSE) παρέχει υπηρεσίες από το ανωτέρω δίκτυο προς τις οντότητες κοινών υπηρεσιών (CSE).

Οι Οντότητες Εφαρμογής (AE) φιλοξενούνται σε κόμβους (π.χ., εταιρικός διακομιστής, συσκευή). Αυτοί οι κόμβοι μπορεί να είναι εικονικοί ή φυσικό μηχανήμα. Οι AE επικοινωνούν μεταξύ τους αποστέλλοντας αιτήματα σε μια Οντότητα Κοινών Υπηρεσιών (CSE), η οποία με την σειρά της δρομολογεί το αίτημα στον στόχο AE παρέχοντας υπηρεσίες με βάση το αίτημα. Οι CSE φιλοξενούνται σε εικονικούς ή φυσικούς κόμβους. Μια AE και μια CSE μπορούν να μοιράζονται τον ίδιο κόμβο (π.χ., συσκευή).

Είναι δυνατή η ενεργοποίηση της αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των συστημάτων oneM2M και των συστημάτων που δεν ανήκουν στο oneM2M μέσω ενός δια συνεργαζόμενου πληρεξουσίου ή αλλιώς IPE (Interworking Proxy Entity). Αυτός είναι μία εξειδικευμένη AE (Application Entity) που επιτρέπει στο oneM2M να αλληλεπιδρά με οποιοδήποτε σύστημα που δεν ανήκει στο oneM2M, με ασφάλεια. Βασίζεται στη δυνατότητα αντιστοίχισης μη-oneM2M μοντέλων δεδομένων σε πόρους του oneM2M.



Σχήμα 2.7: Λειτουργική Αρχιτεκτονική (Functional Architecture)[5].

Οι κόμβοι oneM2M

Το oneM2M έχει καθορίσει ένα σύνολο κόμβων, λογικές οντότητες αναγνωρίσιμες στο σύστημα oneM2M. Οι κόμβοι oneM2M περιλαμβάνουν συνήθως CSEs και / ή AEs. Για τον ορισμό του τύπου των κόμβων το oneM2M ξεχωρίζει τον Τομέα του Πεδίου (Field Domain) και τον Τομέα της Υποδομής (Infrastructure Domain). Στο πεδίο συγκαταλέγονται αισθητήρες, ενεργοποιητές, συγκροτητές και πύλες ενώ στην υποδομή διακομιστές (servers) και εφαρμογές σε μεγαλύτερους υπολογιστές.

Ο Κόμβος Εξυπηρέτησης Εφαρμογής (Application Service Node - ASN) περιλαμβάνει μια CSE και τουλάχιστον μια ΑΕ, βρίσκεται στον Τομέα του Πεδίου. Ένας ASN θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε συσκευές με περιορισμένους πόρους αλλά και σε ισχυρά μηχανήματα.

Ο Διακεκριμένος Κόμβος Εφαρμογής (Application Dedicated Node - ADN) περιλαμβάνει τουλάχιστον μια ΑΕ αλλά όχι CSE, βρίσκεται στον Τομέα του Πεδίου. Ένας ADN συνήθως θα υλοποιείται σε μια συσκευή με περιορισμένους πόρους.

Ο Μεσαίος Κόμβος (Middle Node - MN) περιλαμβάνει μια CSE, ίσως και ΑΕ, βρίσκονται στον Τομέα του Πεδίου. Συνήθως ένας MN είναι μέσα σε M2M gateways. Οι MN χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μιας ιεραρχικής δομής όπως λογικού δένδρου.

Ο Κόμβος Υποδομής (Infrastructure Node - IN) περιλαμβάνει μια CSE, ίσως και ΑΕ. Υπάρχει ακριβώς ένας IN στον Τομέα της Υποδομής ανά oneM2M πάροχο.

Non-oneM2M Node (NoDN): Ο Κόμβος non-oneM2M δεν περιέχει οντότητες oneM2M (ούτε ΑΕ ούτε CSE). Συνήθως, τέτοιοι κόμβοι θα φιλοξενούν ορισμένες non-oneM2M υλοποιήσεις IoT ή legacy τεχνολογίες που μπορούν να συνδεθούν στο σύστημα oneM2M μέσω IPEs.

Σημεία Αναφοράς (Reference Points)

Η λειτουργική αρχιτεκτονική oneM2M καθορίζει τα ακόλουθα Σημεία Αναφοράς:

Mca: Σημείο αναφοράς για την επικοινωνία μεταξύ μιας οντότητας εφαρμογής ΑΕ και μίας οντότητας κοινών υπηρεσιών CSE. Αυτές οι ροές επιτρέπουν στην ΑΕ να χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες/ λειτουργικότητες που υποστηρίζονται από την CSE και στην CSE να επικοινωνεί με την ΑΕ. Οι παραπάνω δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται στον ίδιο κόμβο.

Mcc: Σημείο αναφοράς για την επικοινωνία μεταξύ δύο οντότητες κοινών υπηρεσιών CSEs. Αυτές οι ροές επιτρέπουν σε μια CSE να χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από μια άλλη CSE.

Mcn: Σημείο αναφοράς για την επικοινωνία μεταξύ μιας οντότητας κοινών υπηρεσιών CSE και της οντότητας υπηρεσιών δικτύου NSE. Αυτές οι ροές επιτρέπουν στην CSE να χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες υποστηριζόμενες από την NSE. Ενώ το oneM2M Επίπεδο Υπηρεσιών είναι συνήθως ανεξάρτητο από το βασικό δίκτυο, έχει και την δυνατότητα να επωφεληθεί από από M2M/IoT βελτιστοποιήσεις.

Mcc': Σημείο αναφοράς για την επικοινωνία μεταξύ δύο οντότητες κοινών υπηρεσιών CSEs στον Τομέα της Υποδομής. Η ιδιαιτερότητα του είναι πως οι CSE βρίσκονται σε διαφορετικούς τομείς του M2M παρόχου.

Λειτουργίες Κοινών Υπηρεσιών (Common Service Functions - CSFs)

Το oneM2M καθορίζει ένα σύνολο Λειτουργιών Κοινών Υπηρεσιών ή αλλιώς Common Service Functions (CSFs) που εφαρμόζονται σε όλους τους τομείς του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Αυτές αποτελούν μία σειρά εργαλείων για να λυθούν διάφορα παρεμφερή προβλήματα.

Τα μέλη του oneM2M ανέλυσαν ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων χρήσης για να εντοπί-

σουν ένα σύνολο κοινών απαιτήσεων στην αρχική φάση του πρότυπου. Αυτή η διαδικασία οδήγησε στον σχεδιασμό ενός συνόλου λειτουργιών κοινών υπηρεσιών. Επιπλέον, η oneM2M τυποποίησε τον τρόπο εκτέλεσης αυτών των λειτουργιών, δηλαδή καθόρισε ομοιόμορφα APIs για την πρόσβαση σε αυτές τις λειτουργίες.

2.4.4 Διαχείριση Δεδομένων (Data Management)

Στο πλαίσιο του oneM2M, η αποθήκευση δεδομένων βασίζεται σε εικονικά κιβώτια ή αλλιώς 'Container'. Ένα container συσχετίζεται με ένα αντικείμενο εντός ενός έξυπνου συστήματος, κάποιον αισθητήρα ή μία τοποθεσία. Επιπλέον καθορίζονται από τον εκδότη των δεδομένων (publisher of the data). Αυτό απαιτεί την ανακάλυψη και την κατανόηση των δεδομένων που μια εφαρμογή επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Το πεδίο της διαχείρισης δεδομένων περιλαμβάνεται ένα σύνολο CSF που επιτρέπουν στους προγραμματιστές να διαχειρίζονται σχετικές πρότυπες διαδικασίες.

2.4.5 Οριζόντια Πλατφόρμα (Horizontal Platform)

Μια οριζόντια πλατφόρμα παρέχει γενικές υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διάφορες εφαρμογές ή συσκευές, ανεξάρτητα από τον τομέα ή τον σκοπό τους. Αυτό διευκολύνει την ανταλλαγή δεδομένων και τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και συσκευών, αυξάνοντας την ευελιξία και τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της τεχνολογικής υποδομής.

2.5 Μοντέλο Lightweight M2M (LwM2M)

2.5.1 Το Μοντέλο

Το Lightweight M2M (LwM2M) είναι ένα μοντέλο του Διαδικτύου των Πραγμάτων που αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει τις μοναδικές προκλήσεις της διαχείρισης συσκευών στα δίκτυα αισθητήρων και το περιβάλλον Μηχανής προς Μηχανή (Machine-to-Machine - M2M). Αυτή η καινοτομία είναι έτοιμη να επανασχεδιάσει τον τρόπο που αλληλεπιδρούμε και ελέγχουμε τις έξυπνες συσκευές.

Ανεπτυγμένο από την OMA SpecWorks, το LwM2M [15] ανταποκρίνεται στην ζήτηση της αγοράς για μια τυποποιημένη προσέγγιση στη διαχείριση ελαφρών και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας συσκευών σε διάφορα δίκτυα που υποστηρίζουν το τεράστιο οικοσύστημα του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Το μοντέλο αυτό δεν εξυπηρετεί απλά την άνεση, αλλά αποτελεί την θεμελιώδη βάση στην οποία μπορεί να διαμορφωθεί η πραγματική εξέλιξη στα έξυπνα συστήματα. Το LwM2M ενσωματώνει μια σύγχρονη αρχιτεκτονική που βασίζεται στις αρχές της φιλοσοφίας REST, παρέχοντας ένα επεκτάσιμο μοντέλο πόρων και δεδομένων. Για να διασφαλίσει την αποτελεσματική και ασφαλή μεταφορά δεδομένων, χρησιμοποιεί το Πρωτόκολλο Περιορισμένης Εφαρμογής (CoAP), το οποίο συμμορφώνεται με τα υψηλότερα πρότυπα ασφάλειας και αποδοτικότητας.

2.5.2 Διαχείριση Συσκευών & Εφαρμογών

Η διαχείριση συσκευών στο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι μια κρίσιμη λειτουργία που προσφέρεται από το LwM2M. Περιλαμβάνει διάφορες σημαντικές δυνατότητες, όπως την εκκίνηση για ασφαλή εγγραφή συσκευών και τη διαχείριση κρυπτογραφικών κλειδιών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη διαχείριση ανενεργών έξυπνων συσκευών, καθώς επιτρέπει στις συσκευές να ενεργοποιηθούν χωρίς προ-διαμόρφωση στο εργοστάσιο. Επιπλέον, διευκολύνει τη διαρρύθμιση των συσκευών, επιτρέποντας προσαρμογές στις ρυθμίσεις και τις παραμέτρους για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοσή τους στο δίκτυο.

Το πρωτόκολλο αντιμετωπίζει επίσης το σοβαρό πρόβλημα των ενημερώσεων λογισμικού, που αποτελεί σημαντική ανησυχία ασφαλείας για παλαιότερα ανεπτυγμένες συσκευές που συχνά δεν διαθέτουν αυτήν τη δυνατότητα. Το LwM2M επιτρέπει στους οργανισμούς να διατηρούν ενημερωμένες τις συσκευές τους, μειώνοντας τους νέους κινδύνους ασφαλείας. Επιπλέον, βοηθά στη διαχείριση βλαβών, επιτρέποντας την πραγματική παρακολούθηση και επιδιόρθωση για συσκευές που αντιμετωπίζουν προβλήματα στη συνδεσιμότητα, σφάλματα ρυθμίσεων ή απροσδόκητες αλλαγές τοποθεσίας, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και την επίδοση της συσκευής.

Το LwM2M εξυπηρετεί τον ζωτικό ρόλο της διαχείρισης εφαρμογών που απαιτούν ρύθμιση και έλεγχο, επικεντρώνοντας στις ρυθμίσεις σε επίπεδο εφαρμογής αντί για τις συσκευές τις ίδιες. Το Lightweight πρότυπο M2M επιτρέπει την ομαλή προσαρμογή των ρυθμίσεων, τις εντολές ελέγχου για λειτουργίες αυτοματισμού και τη δημιουργία αναφορών και ειδοποιήσεων σχετικά με αλλαγές, δεδομένα αισθητήρων, συναγεμμούς και συμβάντα. Το OMA Lightweight M2M καθιερώνει μια αποτελεσματική διεπαφή μεταξύ συσκευής και διακομιστή,

βασισμένη σε ανοικτά πρότυπα του IETF.

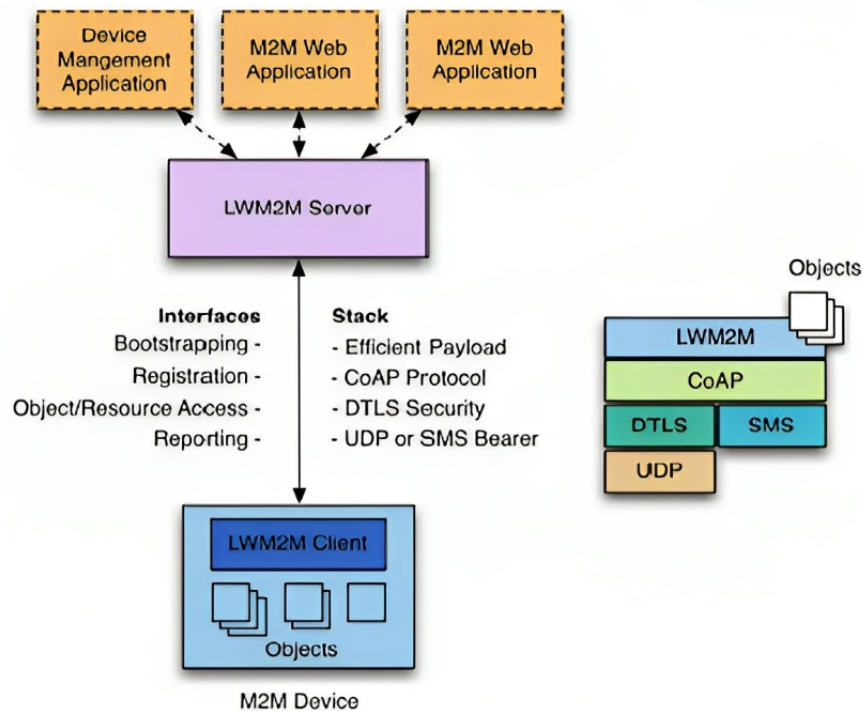
Αυτή η διεπαφή σχεδιάστηκε για υπηρεσίες στο backend, πλατφόρμες στο νέφος ή φορείς που διαχειρίζονται συσκευές με περιορισμένους πόρους. Οι τεχνολογίες του LwM2M βασίζονται στα πρωτόκολλα CoAP και DTLS, διασφαλίζοντας αποτελεσματική επικοινωνία και ασφάλεια για τις συνδέσεις UDP και SMS, καλύπτοντας τις συσκευές που λειτουργούν μέσω κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, με ένα επεκτάσιμο μοντέλο αντικειμένου (object model), το LwM2M επιτρέπει τον ορισμό αντικειμένων (objects) και σημασιολογίας (semantics), τα οποία στη συνέχεια μπορούν να δημοσιευθούν, παρέχοντας ευελιξία για προσαρμοσμένες έξυπνες εφαρμογές. Αυτό το πρότυπο, που ξεκίνησε το 2012, προήλθε από τη συνεργασία φορέων και προμηθευτών που αναγνώρισαν την ανάγκη για ένα κοινό πλαίσιο διαχείρισης.

2.5.3 Αρχιτεκτονική

Το LwM2M προσφέρει μια σειρά από πολύτιμα πλεονεκτήματα για τη διαχείριση έξυπνων συσκευών, ιδίως για αυτές με περιορισμένους πόρους, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κόστος. Η απλότητά και η αποτελεσματικότητά χαρακτηρίζουν αυτό το πρότυπο, όπως και η εύκολη διαχείριση και ασφαλή επικοινωνία. Ένα από τα χαρακτηριστικά που προσφέρει είναι το μοντέλο αντικειμένου και πόρων (object and resource model), που παρέχει ένα τυποποιημένο πλαίσιο για τη σημασιολογία συσκευών και εφαρμογών, διευκολύνοντας τη διαδικασία ανάπτυξης και διαχείρισης [16]. Επιπροσθέτως, το παγκόσμιο αποθετήριο (global registry) για τη σημασιολογία, είναι ένα ισχυρό εργαλείο, που επιτρέπει όχι μόνο σημασιολογία για τη διαχείριση της συσκευής αλλά και για των εφαρμογών. Η διάκριση του LwM2M μεταξύ των επιπέδων διαχείρισης συσκευών και εφαρμογών μειώνει την πολυπλοκότητα, συγκεντρώνοντας πολλαπλές στοίβες πρωτοκόλλου (protocol stacks) σε μία μόνο, ευέλικτη βιβλιοθήκη. Συγχρονισμένο με πρότυπα του IETF, ενσωματώνεται ομαλά στα υπάρχοντα πρότυπα και τεχνολογίες, καθιστώντας το μια αξιόπιστη επιλογή για τη διαχείριση έξυπνων συσκευών που ταιριάζει καλά στον ευρύτερο οικοσύστημα, συμπεριλαμβανομένων προτύπων όπως το oneM2M.

Η αρχιτεκτονική του LightweightM2M (LwM2M) βασίζεται στον σχεδιασμό της στις αρχές της Εκπροσώπησης Κατάστασης (REST). Διαθέτει μια απλή, αλλά ισχυρή δομή που επιτρέπει τη διαχείριση συσκευών με αποτελεσματικό και ευέλικτο τρόπο. Στο κέντρο αυτής βρίσκονται ο LwM2M εξυπηρετητής (server) και ο LwM2M πελάτης (client). Ο LwM2M εξυπηρετητής λειτουργεί ως το κέντρο διαχείρισης και ελέγχου, ενώ ο LwM2M πελάτης είναι η απλή λογική που ενσωματώνεται στις έξυπνες συσκευές. Ακόμη, το LwM2M χρησιμοποιεί ένα μοντέλο αντικειμένου και πόρων (object & resource model) που καθορίζει τη δομή και τη σημασία των δεδομένων που μπορούν να διαχειριστούν, επιτρέποντας την αποτελεσματική οργάνωση και προσβασιμότητα δεδομένων σε συσκευές.

Οι LwM2M πελάτες είναι απλά λογισμικά κομμάτια που συνήθως είναι ενσωματωμένα σε μικρές βιβλιοθήκες και αποτελούν τον πυρήνα αυτού του πλαισίου διαχείρισης του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Αυτοί οι χαμηλής κατανάλωσης πελάτες είναι εξαιρετικά συμπαγείς, συχνά απαιτώντας λιγότερο από 5KB αποθηκευτικής μνήμης και καθόλου RAM, καθιστώντας τους κατάλληλους ακόμη και για συσκευές με περιορισμένους πόρους. Περαιτέρω αναλαμβάνουν τη διαχείριση πολλών αντικειμένων (objects), τα οποία δημιουργούνται και χειρίζο-



Σχήμα 2.8: Η Αρχιτεκτονική του μοντέλου Lightweight M2M [6].

νται είτε από την εφαρμογή της συσκευής είτε από τον προγραμματιστή τον ίδιο. Αξιοσημείωτο είναι πώς αυτά τα αντικείμενα γίνονται προσβάσιμα μέσω τυποποιημένων διεπαφών (standardized interfaces), προσφέροντας βασικές λειτουργίες όπως εκκίνηση (bootstrapping), εγγραφή (registration) και πρόσβαση σε αντικείμενα (object access).

Η επικοινωνία μεταξύ αυτών των clients και του LwM2M διακομιστή, διευκολύνει την διαχείριση των συσκευών και τον έλεγχο του δικτύου. Ο LwM2M διακομιστής συνήθως φιλοξενείται σε υπηρεσίες νέφους στο παρασκήνιο ή στην υποδομή ενός φορέα. Αυτός ο διακομιστής αποτελεί ένα ευέλικτο κέντρο που χρησιμοποιείται από πολλές εφαρμογές, είτε για τη διαχείριση συσκευών, τη βελτιστοποίηση του δικτύου, είτε για την επεξεργασία δεδομένων που αφορούν συγκεκριμένες εφαρμογές, αποδεικνύοντας την προσαρμοστικότητα και ευελιξία του οικοσυστήματος LwM2M.

Η ιεραρχία πρωτοκόλλου LwM2M (Protocol Stack LwM2M) είναι εξαιρετικά απλή και κομψή, βασισμένη στα θεμέλια του πρωτοκόλλου CoAP (Constrained Application Protocol) και λειτουργώντας μέσω του DTLS (Datagram Transport Layer Security), του πρωτοκόλλου UDP (User Datagram Protocol) ή μέσω ενός φορέα μηνυμάτων SMS (Short Message Service).

Ο σκοπός των διεπαφών είναι ταυτόχρονα πρακτικός και απαραίτητος. Η διεπαφή εκκίνησης (bootstrapping interface) επιτρέπει την παροχή διαμόρφωσης, είτε από προκαθορισμένα δεδομένα που αποθηκεύονται στην μνήμη flash είτε σε μια κάρτα SIM, και υποστηρίζει την εκκίνηση από τον πελάτη είτε από τον διακομιστή. Αυτή η αρχική ρύθμιση είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση των κλειδιών, των ρυθμίσεων του διακομιστή και των λιστών ελέγχου

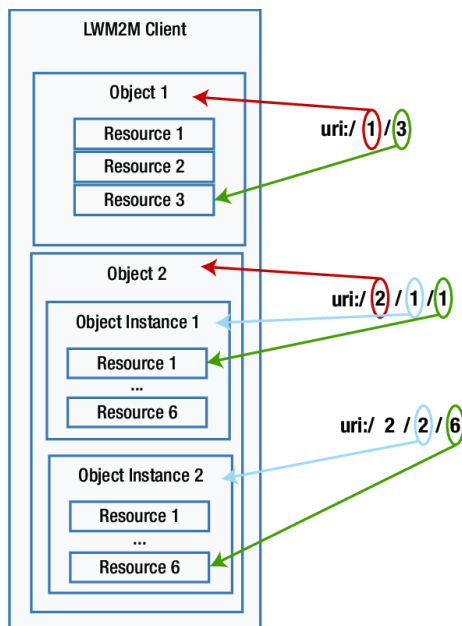
πρόσβασης.

Η εγγραφή (registration) έχει σημασία όταν ένας πελάτης συνδέεται για πρώτη φορά σε μία υπηρεσία, λειτουργώντας ως ένα μέσο για τον πελάτη να ενημερώσει τον διακομιστή για την παρουσία του, τη μοναδική ταυτότητά του και τα αντικείμενα που υποστηρίζει. Αφού ο διακομιστής είναι ενημερωμένος για αυτά τα αντικείμενα, μπορεί να εκδίδει εντολές σε αυτούς τους πόρους ή αντικείμενα κατά παραγγελία, να διαβάσει τις τιμές τους και να πραγματοποιήσει οποιοσδήποτε απαραίτητες αλληλεπιδράσεις μέσω αυτής της διεπαφής.

Για περιπτώσεις που απαιτούν μακροχρόνιες συνδρομές σε συγκεκριμένους πόρους, χρησιμοποιείται η διεπαφή αναφοράς (reporting interface). Αυτή η διεπαφή βασίζεται στην τεχνολογία εγγραφής του CoAP για να διευκολύνει τη συνεχή ενημέρωση σχετικά με την κατάσταση και τις αλλαγές σε αυτούς τους πόρους. Παρέχει ένα αξιόπιστο μέσο για να ενημερώνετε για κρίσιμες πληροφορίες από τις συσκευές.

2.5.4 LwM2M Μοντέλο Αντικειμένου (object model)

Το LwM2M Μοντέλο Αντικειμένου είναι σημαντικό για την διαχείριση των πόρων, επιτρέπει την ύπαρξη πολλαπλών μονάδων ενός αντικειμένου και δίνει τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε να δημιουργήσει τα δικά του [17].



Σχήμα 2.9: Παράδειγμα των URL του LwM2M

Όπως η OMA επικεντρώνεται στα αντικείμενα για τη διαχείριση συσκευών, τρίτοι οργανισμοί προτύπων ή προμηθευτές μπορούν και αυτοί να συνεισφέρουν σε αυτό το οικοσύστημα.

Αυτά τα μοντελα σχεδιάστηκαν με προσοχή για να εξυπηρετούν πληθώρα μορφών δεδομένων, όπως κείμενο (plain text) για απλά δεδομένα ή πιο σύνθετες δομές όπως δυαδική ή μορφή JSON. Με αυτόν τον τρόπο προσφέρουν μια ισορροπία μεταξύ απλότητας και αποτελεσματικότητας, παραμένοντας ταυτόχρονα ευκολα επεκτάσιμο.

Ένας client μπορεί να υποστηρίξει έναν ή περισσότερους τύπους αντικειμένων, καθένας από τους οποίους μπορεί να έχει πολλαπλές μονάδες. Για παράδειγμα, μπορεί να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο ελέγχου πρόσβασης (access control object) για κάθε τύπο αντικειμένου που απαιτεί περιορισμούς πρόσβασης, σχηματίζοντας κάποια αντικείμενα.

Κάθε τύπος αντικειμένου καθορίζει μια λίστα από πόρους, κάποιους που απαιτούνται και κάποιους όχι. Καθένας από αυτούς έχει συγκεκριμένο τύπο δεδομένων, όπως text ή integer, και υποστηρίζει τις λειτουργίες read, write, και execute. Αυτές οι λειτουργίες στο πρωτόκολλο CoAP αντιστοιχούν σε αιτήματα “GET”, “PUT” και “POST” αντίστοιχα.

Τα αντικείμενα και οι πόροι είναι εύκολα προσβάσιμα χρησιμοποιώντας 16-bytes ακέραιους και ακολουθούν μια απλή δομή URI. Αυτή η πλήρης και απλή προσέγγιση διευκολύνει τα μηχανήματα να αναλύουν τα δεδομένα, συμβάλλοντας στη συνολική αποτελεσματικότητα και απλότητα του πλαισίου LwM2M.

URL: /ObjectID/ObjectInstance/ResourceID

(e.g., /3/0/1)

Κεφάλαιο: Διαλειτουργικότητα μεταξύ των μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων

3.1 Διαλειτουργικότητα

3.1.1 Ορισμός και είδη

Στον ταχέως εξελισσόμενο χώρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων, η εμφάνιση ποικίλων μοντέλων, όπως αυτά που συζητήσαμε παραπάνω, έχει εμπλουτίσει σημαντικά το φάσμα των τεχνολογικών πλαισίων. Κάθε μοντέλο φέρνει το δικό του σύνολο δυνατοτήτων και προδιαγραφών, προσαρμοσμένων σε διάφορες περιπτώσεις και πεδία εφαρμογής. Ωστόσο, με τη διεύρυνση του έξυπνου οικοσυστήματος, η ανάγκη για αλληλεπιδραστικότητα μεταξύ αυτών των μοντέλων γίνεται απαραίτητη. Η διαλειτουργικότητα τέτοιων συστημάτων δεν είναι μόνο ένα τεχνικό ζήτημα, αλλά είναι αναγκαία καθώς διασφαλίζει την αρμονική συνύπαρξη και συνεργασία τους.

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε η περιγραφή κάποιων από τα καθιερωμένα μοντέλα αναλύοντας τις λεπτομέρειές τους, στην παρούσα θα γίνει η ανάλυση του πολύπλοκου τεχνολογικού τοπίου συναρτήσει των τρόπων και λειτουργιών που συνδέουν τα εν λόγω μοντέλα. Μέσω της κατανόησης και αντιμετώπισης των προκλήσεων διαλειτουργικότητας μεταξύ αυτών, στοχεύουμε να ανοίξουμε το δρόμο για ένα πιο συνεκτικό και ενσωματωμένο έξυπνο οικοσύστημα, όπου συσκευές, πλατφόρμες και εφαρμογές μπορούν να επικοινωνούν χωρίς πρόβλημα προκειμένου να αξιοποιήσουν πλήρως το δυναμικό του.

Ως Διαλειτουργικότητα (Interoperability) [18] ορίζεται η ικανότητα των συσκευών να ανταλλάσσουν δεδομένα και να κατανοούν τις επιθυμητές σημασίες, μπορεί να χωριστεί σε τρία τμήματα: τεχνική διαλειτουργικότητα, συντακτική διαλειτουργικότητα και σημασιολογική διαλειτουργικότητα.

Η Τεχνική Διαλειτουργικότητα (Technical Interoperability) περιλαμβάνει την αποτελεσματική μεταφορά ψηφιακών δεδομένων και τη μετάδοση τους μέσω ενσύρματων ή ασύρματων μέσων. Έτσι εξασφαλίζεται αξιόπιστη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των έξυπνων συσκευών.

Η Συντακτική Διαλειτουργικότητα (Syntactic Interoperability) εγγυάται ότι οι έξυπνες συσκευές λειτουργούν χρησιμοποιώντας ένα κοινό γλωσσικό πλαίσιο (λεξιλόγιο/ vocabulary)

που περιλαμβάνει σύμβολα και έννοιες. Αυτό το κοινό λεξιλόγιο διευκολύνει την ακριβή επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συσκευών.

Η Σημασιολογική Διαλειτουργικότητα (Semantic Interoperability) επιβεβαιώνει ότι οι έξυπνες συσκευές συμφωνούν ως προς τις σημασίες που συνδέονται με βάση τη σύνταξη και τα σύμβολα που χρησιμοποιούν. Εξασφαλίζεται μια εναρμονισμένη ερμηνεία των ανταλλασσόμενων πληροφοριών, ενισχύοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας.

3.1.2 Σημασιολογική Διαλειτουργικότητα

Η διαλειτουργικότητα δεδομένων σε επίπεδο σημασιολογίας αποτελεί πολύ μεγάλη πρόκληση σε περιβάλλοντα του Διαδικτύου των πραγμάτων επειδή πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ετερογενείς ροές δεδομένων μεγάλου όγκου/ταχύτητας και να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά, γεγονός στο οποίο εστιάζεται και η παρούσα έρευνα. Σε ένα περιβάλλον όπου κάθε μοντέλο έχει την δική του μοναδική σημασιολογία (semantics) και λεξιλόγιο (vocabulary), η υιοθέτηση μιας κοινής οντολογίας συχνά θεωρείται μη πρακτική. Παρατηρείται συχνά η απουσία μιας ενιαίας οντολογίας, που να είναι σε θέση να προσαρμοστεί σε υπάρχουσα σημασιολογία για να συμβαδίσει με ένα ενοποιημένο λεξιλόγιο και σχήμα. Σε αυτό το περίπλοκο πλαίσιο, η ανάγκη αυτή γίνεται προφανής, προωθώντας πρωτοποριακές λύσεις που προσαρμόζονται στην ποικιλία της σημασιολογίας ενθαρρύνοντας παράλληλα την ενδεδειγμένη επικοινωνία και συνεργασία εντός του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Εναλλακτικές στρατηγικές και μεθοδολογίες πρέπει να εξεταστούν έτσι ώστε να υπερκεραστούν οι περιορισμοί μιας καθολικής οντολογίας, με στόχο την καθοδήγηση προς την επίτευξη σημασιολογικής αντιστοίχισης [19] χωρίς να υπονομεύεται η αυτονομία των μεμονωμένων μοντέλων. Δυο προσεγγίσεις αποτελούν οι ήμι-διαλειτουργικότητα και η μερική διαλειτουργικότητα.

Η ήμι-διαλειτουργικότητα επιτυγχάνεται όταν πολλά αντικείμενα αποθηκεύουν δεδομένα σε ένα κοινό αποθετήριο με συγκεκριμένη σημασιολογία. Σε αυτό το σενάριο, κάθε αντικείμενο φέρει την ευθύνη για την ανεξάρτητη μετάφραση των δεδομένων του από τη δική του σημασιολογία στην ορισμένη. Αυτή η μέθοδος είναι κατά βάση κατάλληλη για σκοπούς συγχώνευσης δεδομένων, αλλά υστερεί στη δυνατότητα διευκόλυνσης της άμεσης επικοινωνίας μεταξύ των αντικειμένων. Επιπλέον, η κρίσιμη ερώτηση για τον καθορισμό της βέλτιστης οντολογίας για το κοινό αποθετήριο παραμένει αναπάντητη.

Από την άλλη πλευρά, η μερική διαλειτουργικότητα, που είναι θεωρητικά εφικτή όταν τα αντικείμενα ενσωματώνουν μια κοινή ιεραρχικά ανώτερη οντολογία ως βασικό "module" στις οντολογίες τους, παρουσιάζει προκλήσεις στο πλαίσιο των έξυπνων οικοσυστημάτων λόγω της έκτασης της εσωτερικής τους ετερογένειας. Στον χώρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων, υψηλά εξειδικευμένες εφαρμογές απαιτούν υψηλότερο επίπεδο αλληλεπιδραστικότητας από αυτό που μια ανώτερη οντολογία μπορεί να παρέχει τυπικά σε ρεαλιστικά σενάρια. Είναι ουσιώδες να αναγνωρίζουμε ότι η ενσωματωμένη ποικιλία σημασιολογικών αναπαραστάσεων στους τομείς που σχετίζονται με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων περιορίζει περαιτέρω την πρακτική εφαρμοσιμότητα της προσέγγισης της μερικής διαλειτουργικότητας.

3.1.3 Παραδείγματα

Ένα πειστικό παραδειγμα αμεσης αναγκης διαλειτουργικότητας μεταξύ ποικίλης φύσεως εφαρμογών και υπηρεσιών είναι το παράδειγμα της έξυπνης πόλης, όπως στο άρθρο του 2021, 'Semantic interoperability' [20].

Διερευνώνται ποιές από τις πιθανές σχέσεις και αλληλεπιδράσεις είναι απαραίτητες για την απρόσκοπτη λειτουργία μιας υπηρεσίας παράδοσης πακέτων σε μία έξυπνη πόλη. Θα πρέπει να συλλεχθούν πληροφορίες από κάποιο σύστημα παρακολούθησης την κυκλοφορίας για να επιλεγεί η βέλτιστη διαδρομή για την παράδοση. Επιπρόσθετα θα πρέπει να αλληλεπιδράσει με κάποια υπηρεσία κράτησης θέσεων πάρκινγκ που θα χρειαστεί για την παράδοση του προϊόντος. Όπως είναι λογικό όλα τα παραπάνω έχουν άλλες ανάγκες και είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα επικοινωνίας. Υπάρχει εν τέλει η ανάγκη δημιουργίας ενός κόμβου παράδοσης (IoT Hub), όπου οι πληροφορίες μπορούν να ανταλλάσσονται και να κατανοούνται. Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνετε πως η λύση διαλειτουργικότητας θα πρέπει να επιτρέπει τη μετάφραση ροών μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των συνεργαζόμενων τεχνολογιών. Με αυτό το παράδειγμα όχι μόνο επιδεικνύεται η έξυπνη εφαρμογή σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο, αλλά παρέχει επίσης μια χειροπιαστή αφήγηση για τον κατανοητό πολυσύνθετο αντίκτυπο των τεχνολογικών παρεμβάσεων στον πολύπλοκο χαρακτήρα του λειτουργικού πλαισίου μιας έξυπνης πόλης.

3.2 Οντολογίες στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Στο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), οι οντολογίες διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στη διευκόλυνση της αποτελεσματικής επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών συσκευών, συστημάτων και πλατφορμών. Μια οντολογία αναφέρεται σε μια τυποποιημένη και σαφή αναπαράσταση της γνώσης που καθορίζει τις έννοιες μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο, τις σχέσεις μεταξύ αυτών των εννοιών και τους περιορισμούς που τις καθοδηγούν. Όλα αυτά τα έγγραφα είναι γραμμένα με βάση την Γλώσσα Οντολογίας του Παγκόσμιου Ιστού (Web Ontology Language - OWL) και συχνά χρησιμοποιούν δηλώσεις RDF [21].

Οι οντολογίες είναι ουσιώδεις για την επίτευξη σημασιολογικής διαλειτουργικότητας στα οικοσυστήματα του IoT, παρέχοντας μια κοινή κατανόηση στην ερμηνεία των δεδομένων και των σχέσεων μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων. Επιπλέον επιτρέπουν σε συσκευές και συστήματα με διαφορετικές εννοιολογίες να επικοινωνούν και να συνεργάζονται αποτελεσματικά. Οι έξυπνες συσκευές συχνά παράγουν και καταναλώνουν δεδομένα σε διάφορες μορφές και με διαφορετική σημασιολογία. Οι οντολογίες θεσπίζουν ένα κοινό λεξιλόγιο και έναν τυποποιημένο τρόπο αναπαράστασης των δεδομένων (Unified Vocabulary), εξασφαλίζοντας συνοχή και συνέπεια στην επικοινωνία σε διάφορα στοιχεία τους.

Πέρα από τα παραπάνω διευκολύνουν την ενσωμάτωση και συγχώνευση δεδομένων (Data Integration & Fusion) από ετερογενείς πηγές. Παρέχοντας ένα τυποποιημένο πλαίσιο για την έκφραση σχέσεων μεταξύ διαφόρων στοιχείων δεδομένων, γίνεται εφικτή μια πιο καθολική και σημαντική ανάλυση των δεδομένων από διάφορες συσκευές του IoT. Συμβάλλουν στη

συνείδηση του πλαισίου (Context-awareness) στο IoT ενώ βοηθούν στην αναπαράσταση και κατανόηση του πλαισίου στο οποίο δημιουργούνται τα δεδομένα, επιτρέποντας στις συσκευές να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις με βάση το περιβάλλον γύρω τους.

Ταυτόχρονα, οι οντολογίες πρέπει να υποστηρίζουν την απάντηση πολύπλοκων ερωτημάτων (queries) και συλλογιστικών. Αυτό επιτρέπει στις εφαρμογές να διατυπώνουν πολύπλοκες ερωτήσεις σχετικά με τα δεδομένα, να συμπεραίνουν νέες γνώσεις και να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις με βάση τις πληροφορίες που αναπαρίστανται στην οντολογία. Πρέπει να σχεδιάζονται για να είναι κλιμακούμενες και προσαρμοστικές για την εξελισσόμενη φύση των έξυπνων οικοσυστημάτων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς νέες συσκευές, πρότυπα και τεχνολογίες συνεχίζουν να εμφανίζονται.

Αδιαμφισβήτητα Η ανάπτυξη οντολογιών για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων συνεπάγεται προκλήσεις, μερικές από τις οποίες είναι η αντιμετώπιση της μεγάλης ετερογένειας των συσκευών, η αντιμετώπιση της δυναμικής φύσης των περιβαλλόντων IoT, και η διασφάλιση ότι οι οντολογίες παραμένουν σχετικές και ενημερωμένες καθώς ο κόσμος της τεχνολογίας εξελίσσεται. Εν κατακλείδι, λειτουργούν ως θεμελιώδες στοιχείο για τη δημιουργία μιας κοινής κατανόησης και μιας κοινόχρηστης γλώσσας, προωθώντας την αλληλεπιδραστικότητα και ανοίγοντας το πλήρες δυναμικό του διασυνδεδεμένου οικοσυστήματος.

3.3 Αντιστοιχία Οντολογιών και Μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Οι οντολογίες αποτελούν βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη εφαρμογών και συστημάτων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Παρακάτω έχουμε πληροφορίες για κάποιες από αυτές και πως συσχετίζονται με τα μοντέλα που εξερευνήσαμε στην προηγούμενη ενότητα.

3.3.1 Οντολογία SSN

Αρχικά έχουμε την W3C SSN (Semantic Sensor Network) Οντολογία η οποία αναπτύχθηκε από το World Wide Web Consortium (W3C) [22]. Το SSN έχει ως στόχο την παροχή ενός τυποποιημένου πλαισίου για την περιγραφή αισθητήρων, παρατηρήσεων και ενεργοποιητών με σημασιολογικό τρόπο. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι να ορίζει βασικές έννοιες μίας σημασιολογίας που σχετίζονται με αισθητήρες, μετρήσεις, παρατηρήσεις καθώς και ρυθμίσεις ενεργοποιητών. Αυτή η οντολογία είναι ιδιαίτερα σχετική με το μοντέλο WoT (Web of Things), καθώς το WoT συχνά περιλαμβάνει αντίστοιχες περιγραφές.

3.3.2 Οντολογία SAREF

Συνεχίζοντας με την ETSI SAREF (Smart Appliances REference) Οντολογία που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) [23]. Η SAREF σχεδιάστηκε για να παρέχει ένα κοινό πλαίσιο για την περιγραφή έξυπνων συσκευών και των ικανοτήτων τους. Ένα από τα χαρακτηριστικά της έχει να κάνει με τον καθορισμό ενός συνόλου πρότυπων εννοιών και σχέσεων για την

περιγραφή λειτουργιών και χαρακτηριστικών που αφορούν τις έξυπνες συσκευές. Προωθεί την διαλειτουργικότητα μεταξύ έξυπνων συσκευών και εφαρμογών. Καλύπτει θέματα ενεργειακής κατανάλωσης, ασχολείται με τις διεπαφές των χρηστών αλλά και με τον έλεγχο των συσκευών αυτών κάθε αυτών.

Επειδή η ETSI SAREF σχεδιάστηκε ειδικά για την περιγραφή έξυπνων συσκευών, μπορεί να συσχετιστεί με μοντέλα IoT που επικεντρώνονται και αυτά σε έξυπνες συσκευές και τις ικανότητές τους. Σε αυτό το πλαίσιο, συνδέεται συχνά με μοντέλα όπως το WoT και πιθανόν το NGS-LD, ανάλογα με τη χρήση.

3.3.3 Οντολογία OneM2M Base

Η oneM2M Base Οντολογία αναπτύχθηκε από την κοινοπραξία oneM2M [24] και είναι μέρος του ευρύτερου προτύπου oneM2M που στοχεύει στη δυνατότητα διαλειτουργικότητας μεταξύ έξυπνων συσκευών και συστημάτων.

Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η παροχή θεμελιώδους οντολογίας για την περιγραφή κοινών εννοιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, συμπεριλαμβανομένων πόρων, υπηρεσιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Υποστηρίζει την ανάπτυξη εφαρμογών που μπορούν να αλληλεπιδρούν εύκολα με ποικίλες συσκευές που συμμορφώνονται με το πρότυπο oneM2M. Συντελεί στην τυποποίηση της επικοινωνίας και της ανταλλαγής δεδομένων. Η οντολογία oneM2M Base έχει σχεδιαστεί ειδικά για να υποστηρίξει το πρότυπο oneM2M, το οποίο αποτελεί ένα περιεκτικό πλαίσιο για την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων του IoT.

3.3.4 Οντολογία IoT-Lite

Τέλος υπάρχει η IoT-Lite Οντολογία [25], η οποία σχεδιάστηκε για να προσφέρει μια ελαφριά και επεκτάσιμη οντολογία για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, με έμφαση στην απλότητα και την ευκολία εφαρμογής. Παρέχει ένα θεμελιώδες λεξιλόγιο για την περιγραφή βασικών εννοιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπως Αντικείμενα, Ιδιότητες και Δράσεις (Things, Properties, and Action).

Κύριος στόχος της είναι προσφέρει ευκολία, επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα σε διάφορες εφαρμογές IoT. Επιδιώκει την απλότητα για να προσαρμοστεί σε μια ευρεία γκάμα από συσκευές και πλατφόρμες. Η IoT-Lite, λόγω των χαρακτηριστικών του μπορεί να συσχετιστεί με διάφορα μοντέλα IoT, αλλά συμπίπτει πολύ καλά με το LwM2M (Lightweight M2M), το οποίο κινείται και αυτό γύρω από την ίδια προσέγγιση.

3.4 Μετάφραση μεταξύ των Οντολογιών

Για την ομαλή λειτουργία ενός οικοσυστήματος IoT είναι πλέον προφανείς οι προκλήσεις. Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ των διάφορων έξυπνων συσκευών άρα και μοντέλων διαφορετικών οντολογιών έχει φέρει στο προσκήνιο την μετάφραση μεταξύ των μοντέλων.

Η μετάφραση από μια οντολογία σε μια άλλη, είναι μία διαδικασία που περιλαμβάνει την εγκαθίδρυση αντιστοιχιών ή συνδέσεων μεταξύ εννοιών, σχέσεων και οντοτήτων σε διάφορες

οντολογίες. Αυτή η μετάφραση είναι κρίσιμη σε σενάρια όπου διάφορα συστήματα, εφαρμογές ή πεδία χρησιμοποιούν διακριτές οντολογίες και υπάρχει ανάγκη να επικοινωνούν ή να μοιράζονται πληροφορίες με ευκολία και ευελιξία.

Μερικά βασικά στοιχεία και τεχνικές που έχουν ενδιαφέρον και σχετίζονται με τέτοιου είδους μετάφραση είναι η ευθυγράμμιση των οντολογιών (ontology alignment) [26] αλλά και η γεφύρωση του χάσματος της σημασιολογίας (the “semantic gap”), που οδηγεί με την σειρά του σε σημασιολογική μετάφραση (semantic translation). Σημαντικό επίσης είναι να θεσπιστούν κανάλια επικοινωνίας (communication channels) για να είναι ομαλή η συνεργασία των συσκευών και εφαρμογών.

Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι χειροκίνητη ή αυτοματοποιημένη, με την πρώτη να είναι πιο χρονοβόρα αλλά ακριβής και προσαρμοσμένη στο συγκεκριμένο πλαίσιο, ενώ η δεύτερη προσφέρει αυτόματο εντοπισμό αντιστοιχίσεων με βάση μετρικές ομοιότητας, δομική ανάλυση ή άλλα ευρήματα.

Προσεγγίσεις Μετάφρασης

Οι παρακάτω έννοιες αντιμετωπίζουν προκλήσεις που σχετίζονται με ποικίλες οντολογίες, επιτρέποντας παράλληλα την πιο αποτελεσματική επικοινωνία σε διάφορους τομείς.

Η ευθυγράμμιση οντολογιών (ontology alignment) αφορά την αναγνώριση συνδέσεων μεταξύ δύο ή περισσότερων οντολογιών, με αποτέλεσμα μια ευθυγράμμιση, ή πιο απλά μια συλλογή αντιστοιχιών μεταξύ οντοτήτων και υποδομών που προέρχονται από διαφορετικές οντολογίες. Στις πρακτικές εφαρμογές, τα εργαλεία για την ευθυγράμμιση οντολογιών συχνά αναθέτουν ένα επίπεδο εμπιστοσύνης σε κάθε αντιστοιχία. Στοχεύει στο να συμφιλιώσει διαφορές στη δομή και στον ορθολογικό πλούτο, διευκολύνοντας την άψογη ενσωμάτωση πληροφοριών από πολλαπλές πηγές. Στόχος είναι η διευκόλυνση της σημαντικής επικοινωνίας και του διαμοιρασμού γνώσης σε διάφορους τομείς.

Η συγχώνευση οντολογιών (ontology merging) περιλαμβάνει την ένωση δύο ή περισσότερων σε ένα ενοποιημένο σύνολο. Η παραγόμενη οντολογία ενσωματώνει τη γνώση από όλες από τις οποίες δημιουργείται, παρέχοντας μια συνολική εικόνα του πεδίου. Η διαδικασία συγχώνευσης χρησιμοποιεί συνήθως ένα σύνολο ευθυγραμμίσεων για να δημιουργήσει βαθιές συνδέσεις μεταξύ των οντολογιών, καταλήγοντας τελικά στη συγχώνευσή τους σε μια μοναδική, συνολική οντολογία.

Τέλος, η μετάφραση οντολογίας (ontology translation), ή, πιο συγκεκριμένα, η μετάφραση σημασιολογίας (semantics translation), αποτελεί τη διαδικασία αλλαγής της υποκείμενης σημασιολογίας ενός κομματιού γνώσης. Όταν πληροφορίες περιγράφονται σημασιολογικά με βάση μια οντολογία προέλευσης, η μετάφραση οντολογίας τις μετατρέπει όπως θα περιγράφονταν με βάση την οντολογία στόχο. Μια καλή μετάφραση πρέπει να διατηρεί την επιθυμητή σημασία. Αποτελεί ουσιαστικά μια εφαρμογή της ευθυγράμμισης οντολογίας, με στόχο τη διευκόλυνση της αμφίδρομης “κατανόησης” μεταξύ του λογισμικού. Αυτή είναι άμεσα εφαρμόσιμη σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των IoT και της βιοπληροφορικής, όπου ανταγωνιστικές οντολογίες περιγράφουν τις ίδιες ή πολύ παρόμοιες περιοχές γνώσης.

Η επιτυχημένη μετάφραση οντολογιών είναι ουσιώδης για την επίτευξη της απρόσκοπτης

διαλειτουργικότητας και της κοινοποίησης της γνώσης σε ποικίλα και διασυνδεδεμένα περιβάλλοντα, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, όπου ετερογενείς συστήματα και πλατφόρμες μπορεί να χρησιμοποιούν διάφορες οντολογίες.

3.5 Εργαλεία Χαρτογράφησης Οντολογιών

Διάφορα εργαλεία και πλαίσια, είτε ανοικτού κώδικα είτε κλειστού, είναι διαθέσιμα για να βοηθήσουν στην αυτοματοποιημένη ή ημι-αυτοματοποιημένη διαδικασία χαρτογράφησης οντολογιών. Για την ενίσχυση της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών IoT πλατφορμών, παρουσιάζονται μια σειρά από εργαλεία για την ταίριασμα οντολογιών, εξετάζοντας πρακτικές προκλήσεις και λύσεις [27].

Το LogMap είναι ένα σύστημα αντιστοίχισης οντολογιών που στοχεύει στο να συγχρονίζει οντολογίες, εντοπίζοντας αντιστοιχίες μεταξύ οντοτήτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ευθυγράμμιση σημασιολογικών αναπαραστάσεων και τη διασφάλιση της αλληλεπικωνίας μεταξύ διαφόρων πλατφορμών και συσκευών.

Το COMA εντοπίζει αντιστοιχίσεις μεταξύ εννοιών σε διάφορες οντολογίες. Όμοια με το LogMap, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ευθυγράμμιση οντολογιών.

Το AgreementMaker είναι ένα σύστημα που επικεντρώνεται στην ευθυγράμμιση μεγάλης κλίμακας με τον συνδυασμό πολλαπλών αλγορίθμων αντιστοίχισης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση περίπλοκων σεναρίων όπου η ευθυγράμμιση μεγάλης κλίμακας οντολογιών είναι απαραίτητη για ασύγκριτη επικοινωνία.

Το Alignment API είναι ένα πλαίσιο το οποίο παρέχει ένα σύνολο από υπηρεσίες (Java APIs) και εργαλεία για την πρόσβαση, τον χειρισμό και την αξιολόγηση των αντιστοιχίσεων οντολογιών. Αυτό το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διευκόλυνση του χειρισμού και της αξιολόγησης των αντιστοιχίσεων οντολογιών.

Το Silk Framework ειδικεύεται στον εντοπισμό σχέσεων μεταξύ οντοτήτων σε διάφορες πηγές δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των οντολογιών. Μπορεί πιθανώς να εφαρμοστεί για την καθιέρωση συνδέσμων και σχέσεων μεταξύ ποικίλων πηγών δεδομένων.

Το S-Match στοχεύει στον εντοπισμό αντιστοιχιών μεταξύ στοιχείων σε διάφορες οντολογίες. Έχει διάφορες εφαρμογές σε σημασιολογικές εργασίες αντιστοίχισης, συνεισφέροντας στην ολοκλήρωση ανομοιογενών στοιχείων.

Τα παραπάνω εργαλεία και πλαίσια χαρτογράφησης οντολογιών αποτελούν θεμελιώδεις πόρους για την επίτευξη σημασιολογικής ενοποίησης και συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και πλατφορμών. Η συγκέντρωση και ανάλυση αυτών των πληροφοριών μας επιτρέπει να κινηθούμε προς την πρακτική εφαρμογή των γνώσεων αυτών, με στόχο την ενίσχυση της διαλειτουργικότητας στο οικοσύστημα του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Στην επόμενη ενότητα, θα παρουσιάσουμε την δική μας προσέγγιση, συνεχίζοντας την προσπάθεια για σημασιολογική διασύνδεση και συνεργατική αλληλεπίδραση.

Κεφάλαιο: Πειραματικό μέρος

4.1 Σκοπος του πειράματος

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η αυξανόμενη ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην καθημερινή μας ζωή, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολυάριθμων μοντέλων, όπως το NGSI-LD, Web of Things (WoT), Machine to Machine (M2M) και Lightweight M2M (LwM2M). Αυτά προσφέρουν εντυπωσιακές δυνατότητες για την αυτοματοποίηση και τα έξυπνα περιβάλλοντα όπως οι έξυπνες πόλεις (smart cities), αλλά παράλληλα αναδεικνύουν μια σημαντική πρόκληση: τη δυσκολία στην επικοινωνία και διαλειτουργικότητα μεταξύ των διάφορων μοντέλων και πλατφορμών.

Η διαλειτουργικότητα, η ικανότητα διαφορετικών συστημάτων, εφαρμογών, και υπηρεσιών να επικοινωνούν και να συνεργάζονται αρμονικά, αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την επίτευξη του πλήρους δυναμικού των έξυπνων λύσεων. Η απουσία ενός ενιαίου, τυποποιημένου προτύπου ή πλαισίου που να διασφαλίζει την άμεση συνεργασία μεταξύ των διάφορων συστημάτων του Διαδικτύου των Πραγμάτων δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις στην υλοποίηση και την επιτυχή λειτουργία αυτού του οικοσυστήματος.

Εδώ ακριβώς εμφανίζεται η ανάγκη για σημασιολογική μετάφραση, ένας κρίσιμος μηχανισμός που επιτρέπει τη μετατροπή και την ερμηνεία δεδομένων και πληροφοριών από ένα μοντέλο σε ένα άλλο, διασφαλίζοντας την ομαλή επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και IoT πλατφορμών. Η σημασιολογική μετάφραση επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων με νόημα που μπορεί να κατανοηθεί από διάφορα συστήματα, ανεξαρτήτως των υποκείμενων τεχνολογιών ή των μοντέλων δεδομένων που χρησιμοποιούνται, επιτρέποντας την ενοποίηση διαφορετικών συστημάτων και εφαρμογών για ένα αποδοτικό ψηφιακό οικοσύστημα.

Στην προσπάθεια να αντιμετωπίσουμε τις προκλήσεις που αναφέρθηκαν σχετικά με τη διαλειτουργικότητα στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η προτεινόμενη λύση της εργασίας μας επικεντρώνεται στην εφαρμογή και την αλληλεπίδραση δύο κορυφαίων μοντέλων: το Web of Things (WoT) και το NGSI-LD. Η επιλογή των WoT και NGSI-LD ως τα κεντρικά μοντέλα για την εργασία μας δεν ήταν τυχαία. Βασίστηκε στη συμβατότητά τους και στη διαθεσιμότητα πηγών και πληροφοριών που διευκόλυναν την ανάλυση και την εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες. Στον πυρήνα της λύσης μας βρίσκεται η ιδέα της μετάφρασης των αρχείων διαμόρφωσης (configuration files) των συσκευών από το ένα μοντέλο στο άλλο. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση έξυπνων συσκευών σε διαφορετικά περιβάλλοντα και πλατφόρμες, ανοίγοντας τον δρόμο για μια πιο ευέλικτη και δυναμική αλληλεπίδραση

μεταξύ των συστημάτων.

Η διαδικασία μετάφρασης δεν είναι απλώς τεχνική, απαιτεί επίσης μια βαθιά κατανόηση των υποκείμενων οντολογιών και των δομών δεδομένων που χρησιμοποιούνται από κάθε μοντέλο. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται ανάλυση και κατανόηση των απαιτήσεων και των περιορισμών κάθε μοντέλου, καθώς και η δημιουργία λύσεων που να μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά σε διαφορετικά σενάρια χρήσης. Για την επίτευξη της προτεινόμενης λύσης, η μεθοδολογία μας περιλαμβάνει τη σχεδίαση και την υλοποίηση ενός εργαλείου που θα διευκολύνει την αυτοματοποιημένη μετάφραση των αρχείων διαμόρφωσης, αποδεικνύοντας την πρακτική εφαρμογή της λύσης μας σε πραγματικά IoT περιβάλλοντα.

4.2 Βασική δομή

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε μια μετάφραση μεταξύ των μοντέλων Web of Things (WoT) και NGSIL-D, ενισχύοντας έτσι τη διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Το πρόγραμμα αυτό παίρνει ως είσοδο το αρχείο με την διαρρύθμιση μίας συσκευής (configuration file) σε μορφή JSON, και επιστρέφει το αντίστοιχο αρχείο για το άλλο μοντέλο IoT. Μέσω αυτής της διαδικασίας, η εφαρμογή μας επιδιώκει να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ αυτών των δύο κρίσιμων πλαισίων. Η προσέγγιση αυτή αντιμετωπίζει το κεντρικό ερώτημα της διαλειτουργικότητας με έναν καινοτόμο τρόπο, αξιοποιώντας τη σημασιολογική μετάφραση ως μέσο για την επίλυση των προκλήσεων που παρουσιάζονται όταν διαφορετικά μοντέλα και πρότυπα πρέπει να συνεργαστούν.

Αναπτυγμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Python, το πρόγραμμα εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες της για ευέλικτη μετατροπή αρχείων JSON, διευκολύνοντας την προσβασιμότητα και τη διαχείριση των δεδομένων. Η καρδιά της λύσης μας βρίσκεται στις δύο βασικές κλάσεις της σημασιολογικής μετάφρασης, TranslateNGSILDtoWoT και TranslateWoTtoNGSILD, οι οποίες επιτρέπουν την αμφίδρομη μετάφραση μεταξύ των configuration files των δύο μοντέλων. Το εργαλείο μας βασίζεται στην αντικειμενοστρεφή προγραμματιστική φιλοσοφία, με επεκτάσιμες κλάσεις και μεθόδους που επιτρέπουν την ομαλή ενσωμάτωση νέων λειτουργιών στο μέλλον. Η αρχικοποίηση του προγράμματος περιλαμβάνει την υιοθέτηση κάποιων βασικών υποθέσεων και την προσαρμογή μεταβλητών με προκαθορισμένες τιμές, οι οποίες θα προσαρμοστούν αναλόγως κατά την πραγματική λειτουργία των έξυπνων συσκευών.

Για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας και της λειτουργικότητας του εργαλείου μας, θα αξιοποιηθούν προϋπάρχοντες επικυρωτές ώστε να διευκολύνουν την επαλήθευση των αρχείων διαρρύθμισης. Αυτοί αντλούνται από υφιστάμενα έργα όπως του FIWARE το "Understanding At Context" [28], καθώς και από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο το "Nephele Virtual Object" [29], προσφέροντας έτσι πλήρεις μεθόδους για την ασφαλή επαλήθευση των αρχείων διαρρύθμισης. Αυτή η προσέγγιση ενισχύει την αξιοπιστία και την ασφάλεια της διαδικασίας μετάφρασης, καθιστώντας το εργαλείο μας ακόμη πιο ισχυρό και αποτελεσματικό στην πράξη.

4.3 Θεωρητικό υπόβαθρο μεθοδολογίας

Προτού εστιάσουμε στις διακριτές λεπτομέρειες που χαρακτηρίζουν κάθε μοντέλο, είναι σημαντικό να κάνουμε ένα βήμα πίσω και να σκεφτούμε τις ευρύτερες οντολογίες στις οποίες αυτά εντάσσονται, όπως συζητήθηκε στο κεφάλαιο 3. Το Web of Things (WoT) συνδέεται στενά με την οντολογία W3C SSN (Semantic Sensor Network), ενώ το NGSII-LD εμπίπτει στο πλαίσιο της οντολογίας ETSI SAREF (Smart Appliances REference). Είναι χρήσιμο να οριστεί μια κατεύθυνση και μεθοδολογία, η οποία θα ακολουθηθεί για την ενίσχυση της διαλειτουργικότητας.

Κατά τη διάρκεια των "SEMANTICS workshops" το 2017, θέτονται βάσεις για την ενίσχυση της διαλειτουργικότητας των πλατφορμών IoT μέσω σημασιολογικών μεταφράσεων, αντιμετωπίζοντας την κρίσιμη πρόκληση της ένταξης των οντολογιών W3C SSN και ETSI SAREF στην εργασία τους με τίτλο "Towards IoT Platforms' Integration: Semantic Translations between W3C SSN and ETSI SAREF" [?].

Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι βασισμένη σε μονοκατευθυντικούς και αμφίδρομους μετασχηματισμούς και δομημένους σε 3 κύρια βήματα. Βήμα πρώτο είναι η επιλογή μικρότερων και διακριτών κομματιών του μετα-μοντέλου ώστε να απλοποιηθεί η μετάφραση. Βήμα δεύτερο η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων. Και τρίτο η διασφάλιση της νοηματικής ακεραιότητας όσων έχουν γραφεί. Επιπλέον η δημοσίευση εισάγει μία αντιστοίχιση που ανοίγει το δρόμο για επόμενες πιο περίπλοκες ευθυγραμμίσεις οντολογιών (ontology alignments), υποστηρίζοντας μεταφράσεις με κλάσεις, ιδιότητες αντικειμένων και ιδιότητες δεδομένων. Με αυτήν την βάση προσπαθήσαμε κι εμείς να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα μας.

Αυτή η έρευνα συμβάλλει σημαντικά στον τομέα, προσφέροντας ένα θεμελιώδες βήμα προς την απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών λύσεων IoT, διευκολύνοντας ένα πιο ενοποιημένο και συνεκτικό οικοσύστημα IoT. Προσπαθήσαμε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο τη συμβολή της για την εξέλιξη και τη βελτίωση του δικού μας πειραματικού μοντέλου.

4.4 Εννοιολογική χαρτογράφηση

Το πιο σημαντικό και πιο δύσκολο κομμάτι αυτής της μετάφρασης ήταν η εννοιολογική χαρτογράφηση μεταξύ διαφορετικών τεχνολογικών πλαισίων, προκειμένου να αντιστοιχιστούν παράμετροι και δεδομένα σε μια κοινή "γλώσσα". Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια λεπτομερής ανάλυση των μοντέλων βάσει της αρχιτεκτονικής, των συνιστωσών, των δομών δεδομένων που χρησιμοποιούνται, και των λειτουργιών που υποστηρίζουν. Τώρα όμως αφήνοντας κατά μέρος τη γενικότερη αρχιτεκτονική, επικεντρώναστε στην κρίσιμη συνιστώσα για τη δημιουργία μιας εφαρμογής στο οικοσύστημα του Διαδικτύου των Πραγμάτων: τη διαρρύθμιση μιας έξυπνης συσκευής. Κοινό σημείο και στα δύο μοντέλα είναι η παρουσίαση της διαρρύθμισης μέσω ενός αρχείου JSON-LD, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την συσκευή. Στο μοντέλο WoT, αυτό αναφέρεται ως Thing Description (TD), ενώ στο NGSII-LD, η δομή προσδιορίζεται με τρόπο που να εξυπηρετεί κι αυτό συγκεκριμένες ανάγκες.

Στο πλαίσιο του Web of Things (WoT), τα αρχεία διαρρύθμισης, γνωστά ως Thing Descriptions (TDs), αποτελούν την καρδιά της επικοινωνίας και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των έξυπνων συσκευών και των υπηρεσιών. Τα TDs είναι δομημένα σε μορφή JSON-LD και παρέχουν ένα πλούσιο σύνολο πληροφοριών που περιλαμβάνουν τις δυνατότητες της συσκευής, τις διαθέσιμες ενέργειες, τα συμβάντα που μπορεί να παράγει, καθώς και τους διαθέσιμους πόρους και ιδιότητες. Αυτή η πλούσια αναπαράσταση διευκολύνει την αυτοματοποιημένη ανακάλυψη και ενσωμάτωση έξυπνων συσκευών σε ένα οικοσύστημα, προωθώντας ομαλά και αποδοτικά να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα.

Από την άλλη πλευρά, το NGS-LD είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με στόχο να μπορέσει να εφαρμοστεί στο μέλλον το εγχείρημα της "έξυπνης πόλης". Τα αρχεία διαρρύθμισης στο NGS-LD ορίζονται ως περιγραφές οντοτήτων σε μορφή JSON-LD, παρέχοντας μια ευέλικτη και επεκτάσιμη δομή για την αναπαράσταση πληροφοριών και σχέσεων στον πραγματικό κόσμο. Μέσω της χρήσης εννοιολογικών λεξιλογίων και προσαρμοσμένων οντολογιών, το NGS-LD επιτρέπει την περιγραφή σύνθετων περιβαλλοντικών, κοινωνικών και τεχνολογικών συνθηκών, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν πλούσια και διαλειτουργικά δεδομένα.

4.4.1 Αρχείο διαρρύθμισης για το μοντέλο Web of Things

Το TD (Thing Description) ή αλλιώς περιγραφή αντικειμένου είναι ένα json-ld αρχείο το οποίο περιέχει μια δομημένη και αναγνώσιμη από τον υπολογιστή περιγραφή μιας συσκευής στο οικοσύστημα του διαδικτύου των πραγμάτων. Θα μπορούσε κανείς να το παρομοιάσει με το εγχειρίδιο μιας συσκευής, που συμπεριλαμβάνει βασικές λεπτομέρειες σχετικά με τη συσκευή, όπως οι δυνατότητές της, οι λειτουργίες που έχει διαθέσιμες και τα δεδομένα που παράγει ή διαχειρίζεται.

```
1 {
2   'title': 'Smart-Coffee-Machine',
3   'id': 'urn:dev:wot:coffee-machine:101',
4   'description': '''A smart coffee machine with a range of capabilities.
5 A complementary tutorial is available at http://www.thingweb.io/smart-coffee-
6 machine.html.''' ,
7   'support': 'git://github.com/eclipse/thingweb.node-wot.git',
8   '@context': [
9     'https://www.w3.org/2019/wot/td/v1',
10  ],
11  'securityDefinitions': {
12    'nosec_sc': {
13      'scheme': 'nosec'
14    },
15  },
16  'security': 'nosec_sc',
17  'properties': {
18    'possibleDrinks': {
19      'type': 'array',
20      'description': '''The list of possible drinks in general. Doesn't
depend on the available resources.''' ,
      'items': {
```

```

21         'type': 'string',
22     },
23 },
24 'maintenanceNeeded': {
25     'type': 'boolean',
26     'description': '''Shows whether a maintenance is needed. The
property is observable. Automatically set to True when the servedCounter
property exceeds 1000.'''',
27     'observable': True,
28 },
29 },
30 'actions': {
31     'makeDrink': {
32         'description': '''Make a drink from available list of beverages.
Accepts drink id as input.'''',
33         'input': {
34             'type': 'string',
35             'description': '''Defines what drink to make, one of
possibleDrinks property values, e.g. latte.'''',
36         },
37         'output': {
38             'type': 'string',
39             'description': '''Returns a message when all invoked promises
are resolved (asynchronous).''',
40         },
41     },
42 },
43 'events': {
44     'maintenanceAlert': {
45         'description': '''Maintenance alert. Emitted when the
maintenanceNeeded property is true.'''',
46         'data': {
47             'type': 'string',
48         },
49     },
50 },
51 }

```

Listing 4.1: Thing Description (TD) of a coffee machine

Το ανωτέρω παράδειγμα αντικατοπτρίζει την περιγραφή αντικειμένου μιας μηχανής καφέ, προερχόμενο από τα παραδείγματα του έργου "Nephele Virtual Object" [29]. Για τους σκοπούς της εργασίας, το παράδειγμα έχει απλοποιηθεί, προκειμένου να διευκολυνθεί η κατανόηση και η εφαρμογή του. Μπορούμε να διακρίνουμε με ευκολία τα θεμελιώδη κομμάτια του, όπως τα αρχικά μεταδεδομένα, τις ιδιότητες και τις ενέργειες που έχει διαθέσιμες η συσκευή. Επίσης μας ενημερώνει για τον τρόπο ασφαλούς αλληλεπίδρασης καθώς και συμβάντα κατά την λειτουργία της.

Στα μεταδεδομένα ανήκουν πεδία όπως ο τίτλος ('title': 'Smart-Coffee-Machine'), το μοναδικό αναγνωριστικό ('id': 'urn:wot:coffee-machine:101'), και μια περιγραφή της λειτουργίας της (description). Το id αποδίδεται σε URN (Uniform Resource Name), το οποίο έχει σκοπό να παρέχει έναν σταθερό τρόπο αναφοράς στους πόρους αυτούς, ανεξάρτητα από την τοποθεσία

ή τη διαθεσιμότητά τους στο δίκτυο. Τέλος το '@context' ορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να ερμηνευτούν και να χρησιμοποιηθούν όλες οι συνιστώσες του Thing Description (TD). Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιούμε το <https://www.w3.org/2019/wot/td/v1>, το οποίο αντιπροσωπεύει την τελευταία έκδοση των προτύπων WoT από τον W3C.

Στις ιδιότητες (properties) αποτυπώνονται χαρακτηριστικά της συσκευής που μπορούν να διαβαστούν ή να παρατηρηθούν, εδώ οι δυνατές επιλογές ποτών ('possibleDrinks') και η ανάγκη για συντήρηση ('maintenanceNeeded'). Μπορεί να περιγραφεί μία μεγάλη γκάμα ιδιοτήτων, όλες όμως κρατούν ένα μοτίβο. Έχουν το όνομά τους ως κλειδί στο ευρύτερο λεξικό των ιδιοτήτων (dict properties), στο πεδίο 'type' τον τύπο της δομής δεδομένων που παρακολουθούν/αποθηκεύουν και βάση αυτού έχουν και πεδία όπως 'units' ή 'items' όταν έχουμε να κάνουμε με αριθμούς ή λίστες δεδομένων αντίστοιχα. Υπάρχουν επίσης επιλογές boolean μεταβλητές όπως 'observable', 'readOnly' ή 'writeOnly' με τις οποίες προσθέτουν στρώματα ελέγχου στην πρόσβαση και την επικοινωνία με τις ιδιότητες, για την ώρα θα επικεντρωθούμε στην απλή παρουσίασή τους, αφήνοντας περιθώριο για εξερεύνηση πιο περίπλοκων διαμορφώσεων στο μέλλον.

Στις ενέργειες (actions) βρίσκονται όλες οι δυνατές αλληλεπιδράσεις με την συσκευή, για μία μηχανή του καφέ έχουμε την παρασκευή ενός ποτού ('makeDrink'). Κάθε ενέργεια μπορεί να έχει είσοδο (input), για τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση της ενέργειας, και έξοδο (output) αντίστοιχα, ωστόσο θα μπορούσε να μην απαιτείται ούτε είσοδος ούτε έξοδος, ανάλογα με τη φύση της ενέργειας. Ακολουθούνται πάλι τα προτυπα για τις δομές δεδομένων όπως στις ιδιότητες.

Τα συμβάντα (events) αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για την δυναμική και αλληλεπιδραστική λειτουργία των συσκευών, καθώς επιτρέπουν την έγκαιρη ενημέρωση και την αυτόματη ανταπόκριση σε καλά ορισμένες καταστάσεις. Εδώ βλέπουμε ένα event ειδοποίησης όταν η συσκευή χρειάζεται συντήρηση ('maintenanceAlert'). Για τις ανάγκες της τρέχουσας εργασίας αποφασίσαμε να μην εστιάσουμε στα συμβάντα των συσκευών επειδή η αντιστοίχισή τους με τα συμβάντα του μοντέλου NGSI-LD θα περιέπλεκε την διαδικασία. Ωστόσο υπάρχουν δυνατότητες για μελλοντική εξέλιξη και επέκταση σε αυτόν τον τομέα.

Για να ολοκληρωθεί η αποδεκτή δομή του Thing Description (TD), απαραίτητο στοιχείο αποτελούν και τα πεδία 'forms'. Τα 'forms' παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία για το πώς μπορεί να επιτευχθεί η επικοινωνία με τη συσκευή. Συγκεκριμένα, καθορίζουν τα endpoints της επικοινωνίας, μαζί με το πρωτόκολλο, τη μέθοδο και άλλες παραμέτρους. Αυτά τα πεδία προβλέπεται να συμπληρωθούν με πραγματικά δεδομένα κατά την δημιουργία της πραγματικής εφαρμογής, ενώ στο TD που θα παραχθεί θα μείνουν κρατημένες οι θέσεις, για ευκολία του χρήστη.

4.4.2 Αρχείο διαρρύθμισης για το μοντέλο NGSI-LD

Το μοντέλο NGSI-LD δομείται με κέντρο την οντότητα (Entity) η οποία αποτελεί τον πυρήνα της διαχείρισης και ανταλλαγής πληροφοριών. Ακριβώς ανάλογα με το Thing Description του Web of Things, σε αυτό το μοντέλο το εγχειρίδιο χρήσης της οντότητας περιγράφεται μέσω ενός JSON-LD αρχείου και παρέχει μια συνοπτική αλλά πλήρη εικόνα των δυνατοτήτων της, όπως οι αισθητήρες που διαθέτει, οι ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει και οι συνθήκες

στις οποίες ανταποκρίνεται.

```
1 {
2   "id": "urn:ngsi-ld:Building:store001",
3   "type": "Building",
4   "category": {
5     "type": "Property",
6     "value": ["commercial"]
7   },
8   "address": {
9     "type": "Property",
10    "value": {
11      "streetAddress": "Bornholmer Straße 65",
12      "addressRegion": "Berlin",
13      "addressLocality": "Prenzlauer Berg",
14      "postal Code": "10439"
15    },
16    "verified": {
17      "type": "Property",
18      "value": true
19    }
20  },
21  "location": {
22    "type": "GeoProperty",
23    "value": {
24      "type": "Point",
25      "coordinates" : [13.3986, 52.5547]
26    }
27  },
28  "name": {
29    "type": "Property",
30    "value": "Bösebrücke Einkauf"
31  },
32  "@context": [
33    "https://fiware.github.io/data-models/context.jsonld",
34    "https://uri.etsi.org/ngsi-ld/v1/ngsi-Id-core-context.jsonld"
35  ]
36 }
```

Listing 4.2: JSON-LD from an NGSI-LD building

Το παραπάνω αρχείο διαρρύθμισης είναι μέρος ενός εκπαιδευτικού σεμιναρίου της FIWARE "Introduction to NGSI-LD" [30] και περιγράφει μία NGSI-LD οντότητα στο οικοσύστημα του διαδικτύου των πραγμάτων. Πιο αναλυτικά βλέπουμε τα γενικά μεταδεδομένα όπως το id, που είναι σε μορφή ενός μοναδικό αναγνωριστικού urn και το τύπο της οντότητας (type). Στην δική μας περίπτωση αναπαριστάται ένα κτήριο, αυτό μπορούμε να το αντιληφθούμε απευθείας από το πεδίο type: "Building", αλλά και από το id καθώς μέσα στο urn αναγράφεται ξεκάθαρα και ο τυπος (URL:/ObjectID/ObjectInstance/ResourceID)

Παρατηρώντας τις υπόλοιπες συνιστώσες του αρχείου θα δουμε τις ιδιότητες. Αυτές περιγράφουν τα χαρακτηριστικά της οντότητας, όπως την κατηγορία και τη διεύθυνση. Οι ιδιότητες μπορούν να είναι απλές ή δομημένες, επιτρέποντας τη λεπτομερή καταγραφή των πληροφοριών.

Για χάριν πληρότητας θα σχολιάσουμε κάποιες από τις επιμέρους ιδιότητες, δηλαδή τα αντικείμενα του λεξικού που περιέχουν την τιμή "type: "Property"". Αυτό θα βοηθήσει στην κατανόηση της δομής που έχει αυτό το αρχείο διαρρυθμισμού και να είναι πιο εύκολη η ανα- παραγωγής της στην επόμενη ενότητα που θα υπολογίσουμε την μετάφραση. Για παράδειγμα μπορούμε να δούμε πεδία με απλή συμβολοσειρά, όπως το name με τιμή "Bösebrücke Einkauf", αλλά και με λίστες όπως το category με τιμή ["commercial"]. Παρατηρούμε επίσης πως πεδία όπως το address εμφανίζουν πιο περίπλοκη, εμφωλευμένη μορφή. Έχει ως τιμή ένα object με όλα τα απαραίτητα πεδία για μία διεύθυνση και εμπεριέχει και την έννοια του property of property (ιδιότητα άλλης ιδιότητας). Αυτό επισημαίνεται ώστε να δοθεί έμφαση στις δυνατότητες που έχει το μοντέλο NGS-LD καθώς προσφέρει μεγάλη ευελιξία στην περιγραφή και διαχείριση οντοτήτων. Στα πλαίσια ωστόσο αυτής της εργασίας δεν θα ασχοληθούμε με πιο περίπλοκες δομές όπως τύπους δεδομένων object και εμφωλευμένες δομές.

Ένας τύπος ιδιοτήτων που δεν περιλαμβάνεται στο παραπάνω παράδειγμα όμως αξίζει να σημειωθεί είναι οι ιδιότητες για την αναπαράσταση ενεργειών. Οι ενέργειες διαχειρίζονται συνήθως εκτός της άμεσης αναπαράστασης οντοτήτων, καθώς το NGS-LD εστιάζει στην αναπαράσταση κατάστασης (properties and relationships) και όχι σε άμεσες ενέργειες. Θα αναλυθεί κι αυτό παρακάτω κατά την υλοποίηση της μετάφρασης και πως δομείσαμε μία στανταρ μορφή για τις ενέργειες που να μπορεί να γίνει ακριβής αντιστοίχιση με τα πεδία ενεργειών του άλλου μοντέλου.

Συνεχίζοντας με την ανάλυση των τύπων από τις συνιστώσες του NGS-LD, έχουμε τις GeoProperties ή αλλιώς γεωγραφικές ιδιότητες, θα τις βρούμε συνήθως με το όνομα "location" στο τέλος του αρχείου. Αυτό καθορίζει την γεωγραφική τοποθεσία της συσκευής, στη δική μας περίπτωση του κτηρίου, διευκολύνοντας την χωρική ανάλυση και την οπτικοποίηση σε γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα. Πάλι υπάρχει μία πληθώρα επιλογών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να δομήσουμε την τιμή του. Στο παράδειγμα μας βλέπουμε μία συνηθισμένη αναπαράσταση για την τοποθεσία, θα μπορούσε να έχει και κάποιο timestamp με το πότε εμφανίστηκε η συσκευή στο συγκεκριμένο σημείο τελευταία φορά, αλλά για την ώρα δεχθούμε αυτό σαν μία αποδεκτή και απλή εμφάνιση.

Τέλος το πεδίο @context είναι ζωτικής σημασίας, καθώς διευκρινίζει το λεξιλόγιο και τις σημασιολογίες που χρησιμοποιούνται, εξασφαλίζοντας την διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Αυτό το πεδίο λειτουργεί ως μια διεύθυνση που παρέχει την απαραίτητη πληροφορία για το πώς οι όροι χρησιμοποιούνται στην περιγραφή των οντοτήτων πρέπει να ερμηνεύονται, συνδέοντας τους με συγκεκριμένες οντολογίες ή λεξιλόγια. Με αυτόν τον τρόπο, το @context διασφαλίζει ότι τα δεδομένα και οι ιδιότητες μιας οντότητας είναι κατανοητά όχι μόνο από τους ανθρώπους αλλά και από τις μηχανές, επιτρέποντας την αυτόματη επεξεργασία και την ένταξη σε ευρύτερα συστήματα. Επιπλέον, το @context ενθαρρύνει την χρήση προτύπων και βέλτιστων πρακτικών στην ανταλλαγή δεδομένων, καθιστώντας το NGS-LD ένα πρότυπο προσαρμοσμένο στις ανάγκες της σημερινής και μελλοντικής ψηφιακής διαχείρισης του περιβάλλοντος.

4.5 Ανάλυση και Ανάπτυξη Λύσης

Αφού παρουσιάσαμε από κοντά δύο παραδείγματα των μοντέλων και αναλύσαμε τα πεδία τους, έχουμε τώρα την απαιτούμενη γνώση για να προχωρήσουμε στην πρακτική εφαρμογή της μετάφρασης που έχουμε σχεδιάσει.

Η διαδικασία μετάφρασης περιλαμβάνει την αντιστοίχιση των πεδίων από τα αρχεία διαρρύθμισης των δύο μοντέλων, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές στη σημασιολογία και την δομή τους. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα αρχεία διαρρύθμισης μπορούν να υλοποιηθούν με πολλούς τρόπους και να είναι εξίσου χρήσιμα, ανάλογα με το περιβάλλον εφαρμογής και τις ειδικές ανάγκες της κάθε περίπτωσης. Μελετήσαμε διάφορες πηγές και καταλήξαμε σε λειτουργικές εκδοχές των αρχείων διαρρύθμισης, προσθέτοντας κάποιες απαραίτητες προκαθορισμένες τιμές, κάποιους περιορισμούς και ορισμένες υποθέσεις για να παρουσιάσουμε ένα αποτέλεσμα στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

Επιπλέον, η επιλογή των πεδίων @context στα αρχεία διαρρύθμισης είναι καθοριστική, καθώς προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα θα ερμηνευτούν και θα χρησιμοποιηθούν από διαφορετικά συστήματα. Αυτό απαιτεί μια λεπτομερή κατανόηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών κάθε μοντέλου, καθώς και την ικανότητα να προσαρμοστούν οι παραμετροποιήσεις ανάλογα με τις απαιτήσεις του project.

Στο επόμενο μέρος της εργασίας, θα αναλύσουμε την διαδικασία μετάφρασης, τις υποθέσεις που έχουμε κάνει, τις προκαθορισμένες τιμές που έχουμε ορίσει, και τους περιορισμούς που έχουμε ενσωματώσει, παρέχοντας ένα σαφές παράδειγμα του πως η προτεινόμενη λύση μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη. Αυτό θα περιλαμβάνει την λεπτομερή περιγραφή των λειτουργικών εκδοχών των αρχείων διαρρύθμισης και την προσέγγιση που ακολουθήσαμε για να επιτύχουμε την επιθυμητή διαλειτουργικότητα μεταξύ των μοντέλων WoT και NGS-LD.

4.5.1 Γενικές Παραδοχές και Βασικές Ρυθμίσεις

Για να γίνει η εφαρμογή της προτεινόμενης λύσης, έχουμε αποφασίσει κάποιες γενικές παραδοχές που θεωρήθηκαν χρήσιμες για την επιτυχή υλοποίηση και την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων. Αυτές οι παραδοχές αντικατοπτρίζουν τόσο το τεχνικό όσο και το περιβαλλοντικό πλαίσιο μέσα στο οποίο η μετάφραση θα λάβει χώρα.

Στη διαδικασία γεφύρωσης του σημασιολογικού χάσματος μεταξύ των μοντέλων που ελέξαμε, η προσέγγισή στη μετάφραση των αρχείων διαμόρφωσης περιλαμβάνει συγκεκριμένους περιορισμούς και υποθέσεις που καθοδηγούν το σχεδιασμό και την υλοποίηση της λύσης μας. Αυτή η στρατηγική είναι καθοριστική στη διαχείριση της πολυπλοκότητας, θέτοντας τις βάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις ώστε να καλύψουν πιο περίπλοκα οικοσυστήματα συσκευών.

Περιορισμός Τύπων Δεδομένων:

Πρώτα και κύρια περιορίζουμε τους υποστηριζόμενους τύπους δεδομένων σε αριθμούς, κείμενα/συμβολοσειρές, λογικό ναι/όχι και ορισμένους πίνακες. Αυτή η απόφαση αποκλείει εσκεμμένα τα αντικείμενα από την άμεση μετάφραση. Ο λόγος πίσω από αυτόν τον περιο-

ρισμό είναι να αποφευχθεί η εισαγωγή υπερβολικής πολυπλοκότητας στη διαδικασία μετάφρασης. Τα αντικείμενα, με την τετοια δομή, αποτελούν σημαντική πρόκληση στη διατήρηση ενός απλού και αξιόπιστου αλγορίθμου μετάφρασης στα πλαίσια μίας διπλωματικής εργασίας. Εστιάζοντας σε απλούστερους τύπους δεδομένων, ενισχύουμε την αξιοπιστία και την προβλεψιμότητα των αποτελεσμάτων μετάφρασής μας ενώ παράλληλα εξασφαλίζουμε και την δυνατότητα επέκτασης του έργου και για αυτούς τους τύπους.

Ενίσχυση λειτουργικότητας για τις Ιδιότητες και τις Δράσεις:

Επιπλέον το πεδίο των προσπαθειών μετάφρασής μας έχει σκόπιμα περιοριστεί στην αντιστοίχιση ιδιοτήτων και δράσεων μεταξύ των μοντέλων WoT και NGS-LD. Αυτή η εστίαση βασίζεται στην παρατήρηση ότι οι ιδιότητες και οι δράσεις αποτελούν τα θεμελιώδη στοιχεία μέσω των οποίων οι συσκευές IoT αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους και εξωτερικές οντότητες. Επικεντρώνοντας σε αυτές τις πτυχές, επιτυγχάνουμε μια σημαντική μετάφραση που διευκολύνει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών που ακολουθούν το ένα ή το άλλο μοντέλο. Είναι η φιλοδοξία μας να διευρύνουμε τελικά το πεδίο των δυνατοτήτων μετάφρασής μας για να περιλάβουμε πιο περίπλοκες συσκευές, εμπλουτίζοντας έτσι το οικοσύστημα IoT με βελτιωμένη συνδεσιμότητα και λειτουργικότητα.

Διαχείριση Μονάδων Μέτρησης:

Ένα ακόμα κρίσιμο στοιχείο του πλαισίου μετάφρασής μας είναι η διαχείριση συγκεκριμένων μονάδων μέτρησης. Αναγνωρίζοντας την ποικιλομορφία και την ειδικότητα των φυσικών και ηλεκτρικών ποσοτήτων, υποστηρίζουμε μια επιλεγμένη λίστα μονάδων μέτρησης, η οποία περιλαμβάνει θερμοκρασία, απόσταση, βάρος-μάζα και ενέργεια. Αυτή η επιλεκτική προσέγγιση διασφαλίζει ότι διατηρείται η σημασιολογική τους ακεραιότητα και εφαρμοσιμότητα σε πραγματικά σενάρια. Με την τυποποίηση της αναπαράστασης αυτών των μονάδων και στα δύο μοντέλα, διευκολύνουμε μια ομαλή ανταλλαγή πληροφοριακού περιεχομένου, ενισχύοντας τη διαλειτουργικότητα και τη χρησιμότητα των συσκευών του διαδικτύου των πραγμάτων εντός και μεταξύ διαφόρων τομέων.

Κατηγορία	Μέτρηση	Μονάδες
Φυσικές Ποσότητες	Θερμοκρασία:	Celsius, Fahrenheit, Kelvin
	Απόσταση:	Meters, Kilometers
	Βάρος-Μάζα:	Grams, Kilograms, Pounds
	Όγκος:	Liters, Milliliters, Cubic Meters
	Ταχύτητα:	Meters per Second, Kilometers per Hour, Miles per Hour
	Πίεση:	Pascals, Bar, Atmospheres
Ηλεκτρικές Ποσότητες	Ενέργεια:	Joules, Calories
	Ισχύς:	Watts, Kilowatts
Χρόνος	Χρόνος:	Seconds, Minutes, Hours, Days

Πίνακας 4.1: Περίληψη των υποστηριζόμενων μονάδων μέτρησης

Όσον αφορά τις βασικές ρυθμίσεις, έχουμε καθορίσει συγκεκριμένες παραμέτρους που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία μετάφρασης. Αυτές περιλαμβάνουν την επιλογή των πεδίων @context, την προσαρμογή των προκαθορισμένων τιμών και την εφαρμογή των περιορισμών που απαιτούνται για την ορθή ερμηνεία των δεδομένων. Η λεπτομερής καταγραφή και η περιγραφή αυτών των ρυθμίσεων θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια, μαζί με παραδείγματα που δείχνουν την πρακτική τους εφαρμογή.

Συνοψίζοντας, οι περιορισμοί και οι υποθέσεις που ενσωματώνονται στη στρατηγική μετάφρασής μας έχουν σχεδιαστεί για να επιτύχουν μια ισορροπία μεταξύ απλότητας και λειτουργικότητας. Διαγράφοντας προσεκτικά το πεδίο των προσπαθειών μετάφρασής μας και υιοθετώντας μια πραγματιστική προσέγγιση στους τύπους δεδομένων και τις μονάδες μέτρησης, θέτουμε μια στέρεη βάση για την επίτευξη διαλειτουργικότητας μεταξύ των μοντέλων WoT και NGS-LD. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο ανταποκρίνεται στις άμεσες ανάγκες της κοινότητας IoT αλλά επίσης προετοιμάζει το έδαφος για μελλοντικές επεκτάσεις για να αγκαλιάσει μια ευρύτερη γκάμα συσκευών και δυνατοτήτων.

4.5.2 Αρχιτεκτονική και Λειτουργικότητα του Εργαλείου Μετάφρασης

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει η περιγραφή της αρχιτεκτονικής και της λειτουργίας του εργαλείου μετάφρασης που αναπτύχθηκε, δίνοντας έμφαση στην κατανόηση της δομής και υλοποίησής του. Έχει σαν στόχο να ενισχύσει τις δυνατότητες επέκτασης του έργου κρατώντας μία απλή και σαφή δομή, ενθαρρύνοντας τη συνέχιση ανάπτυξης και βελτίωσης του εργαλείου.

Παρακάτω παρέχεται ένα στιγμιότυπο οθόνης από το αποθετήριο GitLab του έργου [31], έτσι επιδιώκεται η οπτική ένδειξη των αρχών που περιγράφονται στην εργασία και η παρουσίαση συνοπτικά της οργάνωσης του αναπτυγμένου λογισμικού.

NETMODE / w3c_wot_ngsi_ld_translation

Name	Last commit	Last update
data	added template dictionary for data-m...	2 weeks ago
semantic_translation	create final format based on MVC sta...	12 hours ago
.gitignore	implement conversion wot to ngsi-dat...	2 weeks ago
README.md	implement conversion wot to ngsi-dat...	2 weeks ago
run_translation_ngsild_to_w...	create final format based on MVC sta...	12 hours ago
run_translation_wot_to_ngsil...	create final format based on MVC sta...	12 hours ago
translation_controller.py	create final format based on MVC sta...	12 hours ago

Σχήμα 4.1: Στιγμιότυπο της δομής του αποθετηρίου GitLab

Η αρχιτεκτονική της εφαρμογής έχει μία δομή της φιλοσοφίας "Μοντέλο-Προβολή-Ελεγκτής" (Model-View-Controller: MVC). Αυτό σημαίνει πιο απλά ότι κρατάει έναν διαχωρισμό μεταξύ της λογικής των δεδομένων (Μοντέλο), της διεπαφής του χρήστη (Προβολή), και της λογικής ελέγχου (Ελεγκτής), βοηθώντας έτσι στην ευκολότερη διαχείριση και στην επεκτασιμότητα του κώδικα.

Στον φάκελο "semantic_translation", υλοποιείται το μοντέλο της εφαρμογής και αποτελείται από τις βασικές κλάσεις μετάφρασης "TranslateNGSILDtoWoT" και "TranslateWoTtoNGSILD". Είναι υπεύθυνες για την αναπαράσταση των δεδομένων και την λογική της εφαρμογής, επιτρέποντας μία μονόδρομη μετάφραση μοντέλων του διαδικτύου των πραγμάτων. Συγκεκριμένα η μία επιτρέπει την μετάφραση από το μοντέλο NGSIL-D στο μοντέλο WoT ενώ η άλλη από το μοντέλο WoT στο μοντέλο NGSIL-D. Κάθε κλάση δέχεται ως είσοδο το αντίστοιχο αρχείο διαμόρφωσης και παράγει το αποτέλεσμα σε μορφή που είναι συμβατή με το στοχευόμενο μοντέλο. Επίσης στον φάκελο περιλαμβάνονται χρήσιμα αρχεία για την διαδικασία όπως η αντιστοιχία των μονάδων μέτρηση που έχουμε συμπεριλάβει και άλλα.

The screenshot shows a GitLab repository page for the path 'w3c_wot_ngsi_ld_translation / semantic_translation'. It features a commit history table with the following data:

Name	Last commit	Last update
..		
.gitkeep	Add new directory for the translation classes of the project	1 month ago
ngsild_datamodel_template.py	ngsi-ld: added translation for datamodel, wot: added wot-py and ...	4 days ago
translate_ngsild_to_wot.py	create final format based on MVC standard, clean up foreign rep...	12 hours ago
translate_wot_to_ngsild.py	create final format based on MVC standard, clean up foreign rep...	12 hours ago
unit_measurement.py	implement conversion wot to ngsi-data-model	2 weeks ago

Σχήμα 4.2: Στιγμιότυπο του φακέλου semantic_translation στο αποθετήριο GitLab

Η προβολή συνήθως σχετίζεται με τη διεπαφή χρήστη σε μια εφαρμογή. Στην δικιά μας περίπτωση δεν έχουμε δημιουργήσει κάτι πολύπλοκο παρά μόνο δυο αρχεία παραδείγματος χρήσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως διεπαφή, καθώς εκτελούν μία πλήρη μετάφραση χωρίς να χρειαστεί ο χρήστης να τα επεξεργαστεί, απλά με την προσθήκη της παραμέτρου για το αρχείο διαμόρφωσης προς μετάφρασης (-f <file_path>). Τα αρχεία αυτά είναι τα "run_translation_ngsild_to_wot.py" και "run_translation_wot_to_ngsild.py". Αν δεν προστεθεί καμία παράμετρος θα εκτελεστεί το παράδειγμα που ακολουθεί στην επόμενη ενότητα.

Πέρα από την απλούστευση της διαδικασίας μετάφρασης όμως, τα αρχεία αυτά έχουν και πρόσθετες επιλογές για την παραμετροποίηση της μετάφρασης. Κάποιες μεταβλητές στην διαρρύθμιση των μοντέλων εξαρτώνται από το περιβάλλον στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν,

```
vaspaps@LT140340008327A MINGW64 ~/ece_thesis/w3c_wot_ngsi_ld_translation (main)
$ python run_translation_wot_to_ngsild.py -f "examples/wot-coffee-machine.td.json"
2024-03-10 04:49:15,544 - INFO - Process was started.
2024-03-10 04:49:15,544 - INFO - Initializing translation from WoT to NGSIL-D.
2024-03-10 04:49:15,546 - INFO - Created successfully: examples/results/ngsild.jsonld
2024-03-10 04:49:15,549 - INFO - The data model file created successfully: examples/results/ngsild-data-model.yaml
```

Σχήμα 4.3: Παράδειγμα χρήσης της διεπαφής

όπως η IP διεύθυνση του δικτύου ή η θέση κάποιων δεδομένων στο σύστημα. Επιπλέον μπορεί να οριστεί η τοποθεσία αποθήκευσης των αποτελεσμάτων.

Ο ελεγκτής λειτουργεί ως το ενδιαμέσο μέρος μεταξύ των κλάσεων μετάφρασης και της διεπαφής του χρήστη, και στην εφαρμογή που έχουμε δομήσει αυτόν τον ρόλο τον έχει η κλάση "TranslationController". Είναι υπεύθυνος για τον χειρισμό δεδομένων που έρχονται από τον χρήστη, όπως την αποδοχή της διαδρομής του αρχείου διαμόρφωσης (config file path) και τη μετατροπή του από αρχείου JSON σε ένα λεξικό Python, διευκολύνοντας έτσι την επεξεργασία των δεδομένων. Μετά με την σειρά του καλεί τις απαραίτητες συναρτήσεις από τις κλάσεις μετάφρασης για να προχωρήσει με τη διαδικασία και τέλος, αποθηκεύει τα επεξεργασμένα δεδομένα σε αρχεία, σύμφωνα με την προκαθορισμένη χρήση της εφαρμογής.

Κλείνοντας με την ανάλυση της αρχιτεκτονικής και της λειτουργικότητας του εργαλείου μετάφρασης, αποσκοπήσαμε στην παρουσίαση των δομικών στοιχείων που συνθέτουν την εφαρμογή μας. Η ενσωμάτωση της φιλοσοφίας "Μοντέλο-Προβολή-Ελεγκτής" (MVC) στην αρχιτεκτονική μας, η ευέλικτη διεπαφή χρήστη μέσω των αρχείων παραδείγματος, καθώς και η κεντρική λογική διαχείρισης που αναλαμβάνει ο TranslationController, δείχνουν την προσπάθειά για ένα συνεκτικό και εύχρηστο εργαλείο. Η προσέγγισή μας επιδιώκει να ενθαρρύνει την επέκταση και τη βελτίωση της εφαρμογής, προσφέροντας μια στέρεα βάση πάνω στην οποία μπορούν να χτιστούν μελλοντικές εφαρμογές στον τομέα της διαλειτουργικότητας του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

4.5.3 Διαδικασία Μετάφρασης

Η προσπάθεια ενσωμάτωσης και αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών μοντέλων στον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) απαιτεί προσεκτική και ακριβή μετάφραση δεδομένων από το ένα πρότυπο στο άλλο. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, έχουμε αναπτύξει μία διαδικασία μετάφρασης που επιτρέπει την ομαλή μετατροπή δεδομένων μεταξύ των μοντέλων Web of Things (WoT) και NGSIL-D. Αυτή η ενότητα αποσκοπεί να περιγράψει λεπτομερώς τα δύο είδη μονόδρομης μετάφρασης που έχουμε αναπτύξει. Τι επιλογές έχουμε κάνει στην παραμετροποίηση της διαδικασίας και πως αυτές θα μας χρησιμεύσουν στα μετέπειτα στάδια της επικύρωσης των οντοτήτων.

Μετάφραση από WoT σε NGSIL-D

Ξεκινώντας από το αρχείο "run_translation_wot_to_ngsild.py" ή όπως σχολιάσαμε και στην προηγούμενη υποενότητα την διεπαφή του χρήστη, θα αρχικοποιήσουμε ένα αντικει-

μενο της κλάσης "TranslationController" δίνοντας την τοποθεσία του αρχείου διαρρύθμισης (configuration file path) καθώς και το όνομα του IoT μοντέλου που το προσδιορίζει, εδώ "WoT".

Αυτό θα δούμε πως κάνει κάποιους ελέγχους για τα αποδεκτά μοντέλα που μπορούν να μεταφραστούν αλλά μετατρέπει και τα δεδομένα από JSON σε ένα απλό, εύχρηστο λεξικό της γλώσσας προγραμματισμού python. Στην περίπτωση του WoT αυτό το αρχείο περιέχει την περιγραφή αντικείμενου (Thing Description - TD). Η διαδικασία μετάφρασης από το μοντέλο Web of Things (WoT) σε NGSIL-D υλοποιείται μέσω της συνάρτησης "generate_ngsild_entity" δίνοντας προαιρετικά την τοποθεσία ενός φακέλου όπου θα αποθηκευτούν όλα τα αποτελέσματα, με προκαθορισμένη τιμή τον φάκελο "examples/results".

Η μετάφραση περιλαμβάνει δύο βασικά βήματα: την δημιουργία του μοντέλου δεδομένων (data-model) και μίας προτεινόμενης οντότητας NGSIL-D. Αρχικά η μετατροπή σε ένα μοντέλο δεδομένων NGSIL-D θα δώσει ένα YAML αρχείο με όνομα "ngsild-data-model.yaml". Αυτό θα δούμε παρακάτω στην αξιολόγηση της λύσης πως, και γιατί είναι απαραίτητο. Έπειτα την δημιουργία της προτεινόμενης οντότητας NGSIL-D σε μορφή JSON-LD, που αποθηκεύεται στον καθορισμένο φάκελο με όνομα "ngsild-entity.jsonld".

Το μοντέλο δεδομένων του NGSIL-D μοιάζει πιο πολύ με την περιγραφή αντικείμενο (TD) του Web of Things και χρησιμοποιείται για την παραγωγή του αρχείου context, δεν περιέχει τιμές αλλά μόνο ορισμούς για τους τύπους δεδομένων της κάθε ιδιότητας. Από την άλλη η οντότητα είναι η δομή που χρησιμοποιείται για την δημιουργία της IoT εφαρμογής, κάποιες τιμές που δίνονται είναι ενδεικτικές και μπορούν να αλλαχθούν ανά πάσα στιγμή από τον χρήστη στο αρχείο "ngsild-entity.jsonld" αλλά και να ανανεωθούν αργότερα στην πορεία της IoT εφαρμογής.

```
(.venv)
vaspaps@LT140340008327A MINGW64 ~/ece_thesis/w3c_wot_ngsi_ld_translation (main)
$ python run_translation_wot_to_ngsild.py
2024-03-21 02:11:32,840 - INFO - Process was started.
2024-03-21 02:11:32,840 - INFO - Initializing translation from WoT to NGSIL-D.
2024-03-21 02:11:32,844 - INFO - Data Model created successfully: data/results/ngsild-data-model.yaml
2024-03-21 02:11:32,847 - INFO - Configuration created successfully: data/results/ngsild-entity.jsonld
```

Σχήμα 4.4: Παράδειγμα μετάφραση από WoT σε NGSIL-D

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την ομαλή και ακριβή μετάφραση μεταξύ των δύο μοντέλων, διασφαλίζοντας τη συμβατότητα και την εύκολη ενσωμάτωση δεδομένων σε περιβάλλοντα NGSIL-D.

Μετάφραση από NGSIL-D σε WoT

Κρατώντας παρόμοιο μοτίβο και στην αντίστροφη μετατροπή θα δούμε πως στο αρχείο "run_translation_ngsild_to_wot.py" αρχικοποιούμε πάλι ένα αντικείμενο της κλάσης "TranslationController" δίνοντας την τοποθεσία του αρχείου διαρρύθμισης (configuration file path) και αυτήν την φορά ως IoT μοντέλο θα δώσουμε "NGSIL-D".

Για τη μετάφραση από NGSIL-D σε WoT, χρησιμοποιείται η συνάρτηση "generate_wot_td.py". Αυτή η συνάρτηση λαμβάνει ξανά ως παράμετρο τον φάκελο προορισμού "folder_path", στον

οποίο θα αποθηκευτούν τα μεταφρασμένα δεδομένα, ακριβώς αντίστοιχα έχεις την προκαθορισμένη τιμή φακέλου "examples/results/".

Τα κύρια βήματα εδώ είναι πως από το αρχείο που περιέχει την οντότητα του NGSI-LD θέλουμε να παράξουμε την περιγραφή αντικειμένου (TD) του IoT μοντέλου Web of Things. Η περιγραφή αντικειμένου μαζί με την διεπαφή των υλοποιήσεων συμπεριφοράς είναι αυτά που καθορίζουν την IoT εφαρμογή. Σε αντίθεση με το NGSI-LD οι τιμές των ιδιοτήτων δεν βρίσκονται μέσα σε αυτό το αρχείο διαρρυθμίσεως άλλα τις εντοπίζουμε μέσα στην διεπαφή μαζί με τον τρόπο αλληλεπίδρασης.

```
(.venv)
vaspaps@LT140340008327A MINGW64 ~/ece_thesis/w3c_wot_ngsi_ld_translation (main)
$ python run_translation_wot_to_nginxld.py
2024-03-21 02:11:32,840 - INFO - Process was started.
2024-03-21 02:11:32,840 - INFO - Initializing translation from WoT to NGSI-LD.
2024-03-21 02:11:32,844 - INFO - Data Model created successfully: data/results/nginxld-data-model.yaml
2024-03-21 02:11:32,847 - INFO - Configuration created successfully: data/results/nginxld-entity.jsonld
```

Σχήμα 4.5: Παράδειγμα μετάφραση από NGSI-LD σε WoT

Αυτή η μέθοδος μετάφρασης επιτρέπει την ακριβή μεταφορά δεδομένων και λειτουργικότητας από NGSI-LD πίσω σε WoT, ενισχύοντας τη διαλειτουργικότητα και την ευελιξία στη διαχείριση IoT δεδομένων.

Τεχνικές προκλήσεις και λύσεις

Στη διαδικασία μετάφρασης των διαρρυθμίσεων από τα μοντέλα Web of Things (WoT) σε NGSI-LD και αντίστροφα, αντιμετωπίστηκαν τεχνικές προκλήσεις, κυρίως σχετικά με την προσαρμοστικότητα των διαρρυθμίσεων σε πραγματικά περιβάλλοντα. Οι διαρρυθμίσεις αυτές πρέπει να είναι εξατομικευμένες με συγκεκριμένες τιμές προκειμένου να λειτουργούν αποτελεσματικά σε κάθε περίπτωση. Για την αντιμετώπιση αυτού, παρέχεται η δυνατότητα στους χρήστες να εισάγουν κάποιες από αυτές τις τιμές μέσω των αρχείων εκτέλεσης "run_translation", επιτρέποντας μια ευέλικτη παραμετροποίηση της διαδικασίας μετάφρασης.

Από την άλλη πλευρά, οι χρήστες έχουν επίσης τη δυνατότητα να προσαρμόσουν τα μεταφρασμένα δεδομένα εκ των υστέρων, επεξεργαζόμενοι τα αρχεία JSON ή YAML που παράγονται. Αυτά τα αρχεία περιέχουν πεδία με την ένδειξη PLACEHOLDER, που καθιστούν εύκολα αναγνωρίσιμα τα σημεία που απαιτούν αλλαγές από τον χρήστη. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει την εξατομίκευση και την επαναχρησιμοποίηση των διαρρυθμίσεων σε διαφορετικά περιβάλλοντα ή σε περιπτώσεις που το περιβάλλον λειτουργίας μεταβάλλεται.

Η ικανότητα προσαρμογής και ευελιξίας στην επεξεργασία των μεταφρασμένων δεδομένων ενισχύει την πρακτική εφαρμογή του εργαλείου μετάφρασης, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόζουν εύκολα τις διαρρυθμίσεις στις ανάγκες τους, αξιοποιώντας πλήρως τη δυνατότητα διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών μοντέλων.

4.5.4 Αξιολόγηση της Λύσης

Η ενότητα αυτή αφιερώνεται στην αξιολόγηση της λύσης που προτείναμε, εστιάζοντας στις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων μετάφρασης. Μέσα από την αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν θέλουμε να διασφαλίσουμε την εγκυρότητα των αρχείων διαρρύθμισης που παρήχθησαν.

Για την αξιολόγηση, ακολουθήθηκαν διαφορετικές προσεγγίσεις ανάλογα με τον τύπο της μετάφρασης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δύο διακριτές μέθοδοι για την επαλήθευση των μεταφρασμένων δεδομένων, μία για τη μετάφραση από WoT σε NGS-LD και μία για την αντίστροφη διαδικασία.

Αξιολόγηση μετάφρασης από WoT σε NGS-LD

Η διαδικασία αξιολόγησης της μετάφρασης εστιάζει στη δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου δεδομένων (data model) και της αντίστοιχης οντολογίας (entities), που αποτελούν τη βάση για την ανταλλαγή δεδομένων στο πλαίσιο του NGS-LD. Η επικύρωση του μοντέλου δεδομένων και η παραγωγή του αρχείου @context NGS-LD είναι κρίσιμα βήματα που εγγυώνται τη συμβατότητα και την ακρίβεια των μεταφρασμένων δεδομένων.

Για την επαλήθευση του μοντέλου δεδομένων που προκύπτει από τη μετάφραση, ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1. Αρχικά, κατεβάζουμε (κάνουμε clone) το project "FIWARE Understanding-At-Context" [28] που περιλαμβάνει τα εργαλεία επαλήθευσης για το NGS-LD όπως στην εικόνα:

```
● vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua$ git clone https://github.com/FIWARE/tutorials.Understanding-At-Context.git
Cloning into 'tutorials.Understanding-At-Context'...
remote: Enumerating objects: 293, done.
remote: Counting objects: 100% (66/66), done.
remote: Compressing objects: 100% (46/46), done.
remote: Total 293 (delta 39), reused 40 (delta 20), pack-reused 227
Receiving objects: 100% (293/293), 312.28 KiB | 1.50 MiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (164/164), done.
● vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua$ cd tutorials.Understanding-At-Context
● vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua/tutorials.Understanding-At-Context$ git checkout NGS-LD
Branch 'NGS-LD' set up to track remote branch 'NGS-LD' from 'origin'.
Switched to a new branch 'NGS-LD'
```

Σχήμα 4.6: Αποθηκεύουμε το έργο FIWARE Understanding-At-Context

2. Αρχικοποιούμε την εκτέλεση του εργαλείου με την εντολή "create".

```
● vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua/tutorials.Understanding-At-Context$ ./services create
```

Σχήμα 4.7: Αρχικοποιούμε την εκτέλεση του εργαλείου

3. Αντιγράφουμε το αρχείο μοντέλου δεδομένων "ngsild-data-model.yaml", που έχουμε παράξει νωρίτερα, στον παρόν φάκελο και εκτελούμε την εντολή "validate". Με αυτόν τον τρόπο γίνονται έλεγχοι για την δομή του αρχείου, αν ακολουθεί τις προδιαγραφές του NGS-LD και αν είναι κατάλληλο για χρήση.


```
• vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua/tutorials.Understanding-At-Context$ cp ../w3c_wot_ngsi_ld_translation/data/results/ngsild-data-model.yaml .
• vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua/tutorials.Understanding-At-Context$ ls
agriculture.yaml  baseline.yaml  context-file-generator  LICENSE  ngsild-data-model.yaml  README.ja.md  README.md  services  supermarket.yaml
• vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua/tutorials.Understanding-At-Context$ ./services validate ngsild-data-model.yaml
Yay! The API is valid.
```

Σχήμα 4.8: Επικύρωση μοντέλου δεδομένων

4. Τώρα μπορούμε, πάλι με την χρήση του ίδιου εργαλείου, με την εντολή "ngsi" να δημιουργήσουμε το αρχείο context βασισμένο στο δικό μας μοντέλο δεδομένων "ngsild-data-model.yaml". Αυτό το αρχείο παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την ερμηνεία των δεδομένων στο πλαίσιο του NGSi-LD.

```
• vasiliki@vp-k8s-cluster:~/ntua/tutorials.Understanding-At-Context$ ./services ngsi ngsild-data-model.yaml
Creating a NGSi-LD @context file for normalized interactions
datamodels.context-ngsi.jsonld created
```

Σχήμα 4.9: Δημιουργία αρχείου context

5. Από την παραπάνω διαδικασία βλέπουμε πως παράγεται ένα αρχείο το "datamodels.context-ngsi.jsonld" που αποτελεί το @context πεδίο για την οντολογία που έχουμε παράξει. Για να μπορέσει η NGSi-LD εφαρμογή να λειτουργήσει σωστά σε πραγματικό περιβάλλον θα πρέπει να αποθηκεύσουμε κάπου προσβάσιμα αυτό το αρχείο και να ενημερώσουμε κατάλληλα το αρχείο διαρρύθμισης που έχουμε παράξει πάλι από την προηγούμενη ενότητα, το "ngsild.jsonld". Αν γνωρίζουμε από πριν που θα αποθηκεύσουμε το "datamodels.context-ngsi.jsonld" μπορούμε να δώσουμε αυτήν την τιμή απευθείας στο "run_translation_wot_to_ngsild.py" ή το επεξεργαζόμαστε μετέπειτα τα πεδία με την ένδειξη "PLACEHOLDER".

```
tutorials.Understanding-At-Context > {} datamodels.context-ngsi.jsonld > ...
1  {
2    "@context": {
3      "type": "@type",
4      "id": "@id",
5      "ngsi-ld": "https://uri.etsi.org/ngsi-ld/",
6      "fiware": "https://uri.fiware.org/ns/data-models#",
7      "schema": "https://schema.org/",
8      "Smart-Coffee-Machine": "fiware:Smart-Coffee-Machine",
9      "maintenanceNeeded": "fiware:maintenanceNeeded",
10     "makeDrink": "fiware:makeDrink",
11     "possibleDrinks": "fiware:possibleDrinks"
12   }
13 }
```

Σχήμα 4.10: Αρχείο context

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου αξιολόγησης επιτρέπει την επαλήθευση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της μετάφρασης, διασφαλίζοντας τη συνέπεια των δεδομένων μεταξύ των μοντέλων WoT και NGSi-LD, και προάγει την ενοποίηση και διαλειτουργικότητα στο πεδίο του Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

Αξιολόγηση μετάφραση από NGSI-LD σε WoT

Στην προσπάθεια επαλήθευσης των μεταφρασμένων δεδομένων από NGSI-LD σε Web of Things (WoT), καταφύγαμε σε μία προσέγγιση που εστιάζει στην αξιοποίηση υφιστάμενων εργαλείων και πόρων. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε μια αναγνωρισμένη υλοποίηση του μοντέλου WoT σε Python, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε παρόμοιες εφαρμογές, όπως αναφέρεται στο project "Nephele Virtual Object" [32]. Αυτή η υλοποίηση προσφέρει ένα σύνολο δοκιμών και εργαλείων που διευκόλυναν σημαντικά την διαδικασία επικύρωσης των Thing Descriptions (TDs).

Χρησιμοποιώντας τις παρεχόμενες δοκιμές και ακολουθώντας τις οδηγίες που διατίθενται μέσω του αποθετηρίου, δημιουργήσαμε ένα εξειδικευμένο αρχείο που οδήγησε στην παραγωγή ενός επικυρωμένου TD. Αυτό το αρχείο αξιοποιεί τις λειτουργίες της υλοποίησης WoT για την αναπαραγωγή της διαδικασίας μετάφρασης με τρόπο που επιτρέπει την επιβεβαίωση της συμβατότητας και της ορθότητας των τελικών TDs.

```
1 #!/usr/bin/env python
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3
4 from w3c_wot_ngsi_ld_translation.data.results.td_examples import TD_EXAMPLE
5 from vo-wot.wotpy.wot.td import ThingDescription
6
7
8 def validate():
9     """Example TD from the W3C Thing Description page validates correctly."""
10
11     ThingDescription.validate(doc=TD_EXAMPLE)
12
13 def from_dict():
14     """ThingDescription objects can be built from TD documents in dict format
15     ."""
16
17     td = ThingDescription(TD_EXAMPLE)
18
19     assert td.id == TD_EXAMPLE.get("id")
20     assert td.title == TD_EXAMPLE.get("title")
21     assert td.description == TD_EXAMPLE.get("description")
22
23 def build_thing():
24     """Thing objects can be built from ThingDescription objects."""
25
26     json_td = ThingDescription(TD_EXAMPLE)
27     thing = json_td.build_thing()
28     td_dict = json_td.to_dict()
29
30     def assert_same_keys(dict_a, dict_b):
31         assert sorted(list(dict_a.keys())) == sorted(list(dict_b.keys()))
32
33     assert thing.id == td_dict.get("id")
34     assert thing.title == td_dict.get("title")
35     assert thing.description == td_dict.get("description")
36     assert_same_keys(thing.properties, td_dict.get("properties", {}))
```

```

36     assert_same_keys(thing.actions, td_dict.get("actions", {}))
37     assert_same_keys(thing.events, td_dict.get("events", {}))
38
39     print("The Thing Description is valid!")

```

Listing 4.3: Επικύρωση αποτελεσμάτων μετάφρασης με την χρήση του wotpy εργαλείου

Η διαδικασία αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της επικύρωσης στην ανάπτυξη διαλειτουργικών λύσεων για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Επιπλέον, αναδεικνύει την αξία της χρήσης κατάλληλων εργαλείων και προτύπων που ενισχύουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των μεταφρασμένων δεδομένων. Μέσα από την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης, καταφέραμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις προκλήσεις και τις ανάγκες για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης και αποδοτικής λύσης μετάφρασης στο πεδίο αυτό.

4.6 Αποτελέσματα

Στο παραπάνω πείραμα έγινε μία προσπάθεια να ενσωματώσουμε και να διευκολύνουμε την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η ανάπτυξη του εργαλείου που παρουσιάσαμε έχει αποδειχθεί ότι είναι επιτυχής μέσα στα πλαίσια που έχουμε ορίσει, δηλαδή η μετάφραση από Web of Things (WoT) στο NGSI-LD και αντίστροφα με την μετατροπή να εστιάζει σε βασικές ιδιότητες και δομές του κάθε μοντέλου. Κύριος στόχος είναι πάντα ακριβή και συνεπή μεταφορά δεδομένων. Τα μεταφρασμένα δεδομένα παραμένουν χρήσιμα και συνεπή στις απαιτήσεις των διαφορετικών IoT πλατφορμών, ενισχύοντας τη διαλειτουργικότητα και την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.

Επιπλέον το γεγονός ότι το παραπάνω έργο είναι στα πλαίσια μίας διπλωματικής εργασίας μας έδωσε την δυνατότητα να εστιάσουμε στην έρευνα και ανάπτυξη μίας σταθερής βάσης, με προσδοκία να συνεχιστεί και να επεκταθεί προς πιο πρακτικές εφαρμογές. Η ευελιξία και επεκτασιμότητα της προτεινόμενης λύσης αναδεικνύουν την ικανότητά της να προσαρμόζεται σε μελλοντικές ανάγκες και να υποστηρίζει πρόσθετα σενάρια μετάφρασης.

Κεφάλαιο: Συμπεράσματα & Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η έρευνα και ανάπτυξη που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας επικεντρώθηκε στην εξερεύνηση των δυνατοτήτων διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφόρων μοντέλων του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η προτεινόμενη λύση, μέσω μιας εφαρμογής σημασιολογικής μετάφρασης, επέτρεψε την ευκολότερη συνεργασία μεταξύ συστημάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα διαχείρισης δεδομένων. Αυτό όχι μόνο αναδεικνύει την πρακτική εφαρμοσιμότητα της μεθοδολογίας, αλλά επισημαίνει και τις ανάγκες που υπάρχουν για την επίτευξη ενός ολοκληρωμένου και αποτελεσματικού έξυπνου οικοσυστήματος.

Το εργαλείο μετάφρασης αποδείχθηκε αποτελεσματικό στην υποστήριξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών IoT πλατφορμών. Η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων και βιβλιοθηκών για την επικύρωση του ενίσχυσε την εγκυρότητα και την αξιοπιστία της προσέγγισης, προχωρώντας ένα βήμα πιο κοντά στην εφαρμογή της σε πραγματικές συνθήκες. Η διαδικασία μετάφρασης παρουσίασε ενδιαφέρουσες ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των αναλυθέντων μοντέλων. Η χαρτογράφηση των ιδιοτήτων και ενεργειών ήταν σαφής, επιβεβαιώνοντας την υποθετική συγγένεια και παράλληλα απλουστεύοντας την αναζήτηση αντιστοιχιών. Ωστόσο, οι διαφορές στην δομή αποθήκευσης των δεδομένων αποτέλεσαν σημαντική πρόκληση, αναδεικνύοντας την αναγκαιότητα της σημασιολογικής μετάφρασης για την αποδοτική ενοποίηση και επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων.

Οι διαρκώς μεταβαλλόμενες ανάγκες του οικοσυστήματος του Διαδικτύου των Πραγμάτων απαιτούν την περαιτέρω ανάπτυξη και επέκταση των υφιστάμενων λύσεων. Όπως είναι λογικό όλα αυτά αποτελούν κρίσιμα βήματα προς την βελτίωση και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών σημασιολογικής μετάφρασης. Σημαντικά σημεία που θα πρέπει να δοθεί προσοχή στις μελλοντικές επεκτάσεις είναι η καλύτερη διαχείριση της πολυπλοκότητας των δομών δεδομένων και η υποστήριξη περισσότερων IoT μοντέλων. Με αυτόν τον τρόπο θα επιτραπεί η απρόσκοπτη ενσωμάτωση και συνεργασία μεταξύ ενός ευρύτερου φάσματος έξυπνων συστημάτων.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία έκανε μία αρχή για την κατανόηση και εφαρμογή της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας στο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Μέσω της εξέλιξης και της εφαρμογής ενός εργαλείου μετάφρασης, όχι μόνο παραθέτει τη δυνατότητα βελτίωσης της επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών IoT συστημάτων αλλά παρέχει και μια βάση για μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες και επεκτάσεις. Η επίτευξη τέ-

τοιων βημάτων στην τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων θα ενισχύσει την ευρύτερη αποδοχή και ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογιών σε καθημερινές εφαρμογές, ενθαρρύνοντας την καινοτομία. Μέσα από τη συνεχή έρευνα και ανάπτυξη, οι δυνατότητες του Διαδικτύου των Πραγμάτων μπορούν να εξερευνηθούν περαιτέρω, οδηγώντας σε ένα πιο βιώσιμο και ευφυές τεχνολογικό μέλλον.

Βιβλιογραφία

- [1] Web of Things (WoT) - Architecture. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wot-architecture/>
- [2] Web of Things (WoT) - Things Description (TD). [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wot-thing-description>
- [3] NGSI-LD Πληροφοριακό Μοντέλο (Information Model). [Online]. Available: https://fiware-datamodels.readthedocs.io/en/stable/ngsi-ld_howto/index.html
- [4] NGSI-LD Architecture Interactions. [Online]. Available: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:NGSI-LD-Architecture-Interactions.svg>
- [5] Basics of the oneM2M model's architecture. [Online]. Available: <https://onem2m.org/using-onem2m/developers/basics>
- [6] LwM2M Protocol In IoT. [Online]. Available: <https://thinkpalm.com/blogs/lwm2m-protocol-in-iot-what-is-it-why-is-it-important/>
- [7] A. Dhoot, "A survey of internet of things," *SYNCHROINFO JOURNAL*, vol. 6, pp. 25–32, 01 2020.
- [8] W3C - Web of Things (WoT). [Online]. Available: <https://www.w3.org/WoT/>
- [9] [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/CIM/001_099/009/01.01.01_60/gs_CIM009v010101p.pdf
- [10] NGSI-LD Ιδιότητες και Σχέσεις (Entity-Relationships). [Online]. Available: <https://documenter.getpostman.com/view/513743/TVepAoFN#intro>
- [11] A Context-based JSON Serialization for Linked Data. [Online]. Available: <https://json-ld.org/primer/latest/>
- [12] D. T. Μερίδου, "Ευφυή σημασιολογικά συστήματα διαχείρισης: Οντολογίες και συνεργατικά περιβάλλοντα," 2017.
- [13] Smart Data Models Program. [Online]. Available: <https://smartdatamodels.org/>
- [14] OneM2M. [Online]. Available: <https://onem2m.org/>

- [15] Omaspec Works - Lightweight M2M (LWM2M). [Online]. Available: <https://omaspecworks.org/what-is-oma-specworks/iot/lightweight-m2m-lwm2m/>
- [16] Definition of Lightweight M2M (LWM2M). [Online]. Available: <https://techradar.softwareag.com/technology/lwm2m/>
- [17] Lightweight M2M Object Guidelines. [Online]. Available: <https://guidelines.openmobilealliance.org/object-support>
- [18] P. Desai, A. Sheth, and P. Anantharam, “Semantic gateway as a service architecture for iot interoperability,” 10 2014.
- [19] S. Castro de Souza and J. Pereira Filho, *Semantic Interoperability in IoT: A Systematic Mapping*, 09 2019, pp. 53–64.
- [20] M. Ganzha, M. Paprzycki, W. Pawłowski, B. Solarz-Niesłuchowski, P. Szmeja, and K. Wasielewska, “Semantic interoperability,” *Interoperability of Heterogeneous IoT Platforms: A Layered Approach*, pp. 133–165, 2021.
- [21] K. Sengupta and P. Hitzler, “Web ontology language (owl),” *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining*, 2014.
- [22] Semantic Sensor Network Ontology. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>
- [23] Smart Appliances REference (SAREF) ontology. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/smartappliancesproject/ontologies/reference-ontology?authuser=0>
- [24] TS-0012 oneM2M Base Ontology. [Online]. Available: https://www.onem2m.org/images/pdf/TS-0012-Base_Ontology-V3_7_3.pdf
- [25] M. Bermudez-Edo, T. Elsaleh, P. Barnaghi, and K. Taylor, “Iot-lite: a lightweight semantic model for the internet of things and its use with dynamic semantics,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 21, pp. 475–487, 2017.
- [26] P. Szmeja, W. Pawłowski, M. Ganzha, M. Paprzycki, and K. Wasielewska-Michniewska, *Alignment Format for Semantic Translation*, 11 2022, pp. 651–671.
- [27] M. Ganzha, M. Paprzycki, W. Pawłowski, P. Szmeja, K. Wasielewska, and G. Fortino, “Tools for ontology matching—practical considerations from inter-iot perspective,” in *Internet and Distributed Computing Systems: 9th International Conference, IDCS 2016, Wuhan, China, September 28-30, 2016, Proceedings 9*. Springer, 2016, pp. 296–307.
- [28] FIWARE tutorial: Understanding-At-Context. [Online]. Available: <https://github.com/FIWARE/tutorials.Understanding-At-Context/tree/master>
- [29] Nephele Virtual Object, $\alpha\theta\epsilon\tau\eta\rho\iota$ GitLab. [Online]. Available: <https://gitlab.eclipse.org/eclipse-research-labs/nephele-project/vo-wot>

- [30] FIWARE Wednesday Webinars - Introduction to NGSI-LD. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/FI-WARE/fiware-wednesday-webinars-introduction-to-ngsild-236464309>
- [31] Αποθετήριο GitLab της παρούσας εργασίας. [Online]. Available: https://gitlab.com/netmode/w3c_wot_ngsi_ld_translation
- [32] Nephelē Virtual Object Documentation, guide for "Thing Description". [Online]. Available: <https://netmode.gitlab.io/vo-wot/tutorial.html#thing-description>