



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ SMART HOME

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Καλύβα Βασιλείου

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ SMART HOME

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Καλύβα Βασιλείου

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29^η Οκτωβρίου 2015.

.....
Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρήστος Καμάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Φικιώρης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

.....
Καλύβας Βασίλειος

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

Copyright © Καλύβας Βασίλειος, 2015

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.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Εκ πρώτης όψεως, οι Διπλωματικές Εργασίες έχουν στοιχεία ατομικότητας και προσωποποιημένης συγγραφής. Στην πραγματικότητα, πολλά άτομα με στήριξαν και με ενθάρρυναν, ώστε με βεβαιότητα να μπορώ να ισχυριστώ ότι δίχως της βοήθειά τους, το τελικό αποτέλεσμα δεν θα ήταν το ίδιο.

Για την πολύτιμη συνεισφορά τους, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να ευχαριστήσω θερμά:

Τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παναγιώτη Κωττή για την ευκαιρία που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας και την εμπιστοσύνη με την οποία με περιέβαλε. Για τη σημαντική βοήθειά του σε ό,τι αφορά στις τεχνικές της έρευνας, με επιστημονική ανάλυση, τις εύστοχες υποδείξεις του και άλλα θέματα που σχετίζονται με την εν λόγω εργασία, τόσο κατά το ουσιαστικό όσο και κατά το τυπικό μέρος της.

Τους καθηγητές μου για τη σπουδαία προσφορά με τη γνώση και την εμπειρία τους, την επιστημονική τους κατάρτιση, καθώς επίσης και για την προθυμία τους σε κάθε ζήτημα εκπαιδευτικού και διδακτικού ενδιαφέροντος που με απασχόλησε κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Τους γονείς μου, Θεοφάνη και Γιαννούλα, και την αδερφή μου, Δέσποινα, για την απεριόριστη αγάπη τους, την ηθική, πνευματική και κάθε είδους στήριξη και συμπαράσταση. Τους γονείς μου που κρατάνε γερά τη σκάλα να ανεβαίνουμε με την αδερφή μου, πιστεύοντας και επενδύοντας σε εμάς. Τη Δέσποινα με την έντονη προσωπικότητα που διαπνέει και διατρέχει τα πάντα στην οικογένεια.

Τους συμφοιτητές μου και τους καλούς μου φίλους, με τους οποίους προσεγγίσαμε θέματα ακαδημαϊκά, προσωπικά αλλά και γενικότερου ενδιαφέροντος μέσα από πληθώρα συζητήσεων.

Την Ελένη, που ήταν πάντα εκεί όποτε τη χρειαζόμουν. Με αγάπη, με χαμόγελο και με ενθουσιασμό, μια ήρεμη δύναμη και ένα απάνεμο λιμανάκι όταν οι καταστάσεις δυσκόλευαν.

Όλους εσάς, εκ βάθους καρδιάς, για μια ακόμη φορά σας ευχαριστώ θερμά, σας σέβομαι και σας τιμώ ιδιαίτερα.

Υ.Γ. Εκτιμώ, ελπίζω και εύχομαι οι αναγνώστες της Διπλωματικής Εργασίας να βρουν το περιεχόμενό της αντάξιο του χρόνου που θα αφιερώσουν για τη μελέτη του.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ασύρματο οικιακό δίκτυο Smart Home αφορά στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου με την κατοικία του και τον απομακρυσμένο έλεγχο οικιακών συσκευών. Τα ασύρματα οικιακά δίκτυα περιλαμβάνουν μεγάλο πλήθος ηλεκτρονικών συσκευών, από τηλεοράσεις και κουζίνες έως συστήματα παρακολούθησης της κατοικίας. Τα οφέλη του Smart Home είναι πολλαπλά, καθώς προσφέρει αυξημένες δυνατότητες ελέγχου της ασφάλειας και απομακρυσμένη παρακολούθηση ατόμων με ειδικές ανάγκες, ανήλικων παιδιών και ηλικιωμένων. Στην υλοποίηση του Smart Home, βασικό ρόλο έχουν οι επικοινωνίες M2M (Machine-to-Machine, Μηχανή-προς-Μηχανή), που αναφέρονται στη συνδεσιμότητα και επικοινωνία μηχανών και συσκευών χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Με αυτόν τον τρόπο, έξυπνες συσκευές αποκτούν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους και να εκτελούν εντολές, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ενοίκων μιας κατοικίας. Οι M2M επικοινωνίες βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα ασφαλείας, θέρμανσης και φωτισμού της κατοικίας, στην τηλεϊατρική και σε εφαρμογές πολυμέσων. Το M2M αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης έννοιας διασυνδεσιμότητας συσκευών, που ονομάζεται IoT (Internet of Things, Ίντερνετ των Αντικειμένων).

Από τη σχεδίαση του δικτύου Smart Home εγείρονται σημαντικά ζητήματα όπως ασφάλεια, αξιοπιστία, ενεργειακή κατανάλωση και ταχύτητες μετάδοσης. για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μια σειρά από διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, με κυριότερα το IEEE 802.15.4 (ZigBee), που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές χαμηλού ρυθμού μετάδοσης και χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων, και το IEEE 802.11 (Wi-Fi) που είναι κατάλληλο για υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και μεγάλη εμβέλεια. Η ανάπτυξη των M2M επικοινωνιών οδηγεί και στην υλοποίηση ευφυούς ηλεκτρικού δικτύου, του Smart Grid, που προσφέρει τη δυνατότητα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος κατά το βέλτιστο, περιβαλλοντικά και οικονομικά, τρόπο.

Για τη λειτουργία του Smart Home είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο ρόλος του Home Gateway, ενός κεντρικού κόμβου που είναι υπεύθυνος για τη συλλογή δεδομένων, μετρήσεων και εντολών από όλες τις έξυπνες οντότητες της κατοικίας και για τη σύνδεση του οικιακού δικτύου με άλλα δίκτυα και κυρίως με το Διαδίκτυο. Ο Gateway οφείλει να υποστηρίζει τα διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και να εξασφαλίζει αποφυγή παρεμβολών που δημιουργούνται από τη συνύπαρξη των πρωτοκόλλων σε περιορισμένη έκταση, όπως είναι η κατοικία. Τέλος, θέτει προτεραιότητα στα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ ενοίκων και συσκευών στο Smart Home, προς αποφυγή υπερφόρτωσης του κεντρικού δικτύου επικοινωνιών και τη σωστή διαχείριση των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών πόρων.

Λέξεις κλειδιά: δίκτυο Smart Home, οικιακό δίκτυο, M2M επικοινωνίες, IoT, ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο (Smart Grid), Home Gateway, πρωτόκολλα επικοινωνίας, προτεραιοποίηση δεδομένων

ABSTRACT

The wireless Smart Home network is associated with the interaction between humans and their habitats and the remote control of home appliances. Wireless home networks include a large number of electronic devices from TVs and smart kitchens, to home security systems. Smart Home offers great possibilities of security control and remote monitoring of disabled people, children and elderly people. The M2M (Machine-to-Machine) Communications have primary role in the Smart Home implementation and refer to the connectivity and communication between machines and devices without human intervention. In this way, smart devices will have the ability to communicate with each other and to execute orders, so as to improve the quality of a Smart Home's occupants. The M2M communications are used in security systems, heating and lighting systems, telemedicine and multimedia applications. The M2M is part of a broader concept of connectivity between devices, known as the IoT (Internet of Things).

The architecture of a Smart Home network raises important issues, such as security, reliability, energy consumption and transmission rates. For this reason, a number of different communication protocols are used, mainly the IEEE 802.15.4 (ZigBee), for low data rate applications and low energy requirements, and the IEEE 802.11 (Wi-Fi) for higher data rate and long range applications. The growth of M2M communications leads to the development of an intelligent electricity network, known as the Smart Grid, which provides electricity in an optimal, environmentally and economically, way.

The role of a central node, known as Home Gateway, is particularly important for the functionality of a Smart Home. The Gateway is responsible for collecting data, measurements and commands from all intelligent entities inside the habitat and connecting the home network to other networks, especially the Internet. The Gateway must support different communication protocols and establish the avoidance of interferences generated by the coexistence of protocols in a limited area, such as the house. Finally, it prioritizes the data exchanged between occupants and devices in the Smart Home in order to avoid overloading of the central communication network and to achieve proper management of available telecommunication resources.

Key words: Smart Home network, home network, M2M communications, IoT, intelligent electricity network (Smart Grid), Home Gateway, communication protocols, data prioritization

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή	12
1 Πρόλογος	12
2 Σκοπός.....	12
3 Δομή Διπλωματικής.....	12
Κεφάλαιο 1: Περιγραφή των M2M Επικοινωνιών ως Τμήμα του IoT	
1.1 Οι M2M Επικοινωνίες.....	13
1.2 Περιγραφή του IoT	15
Κεφάλαιο 2: Πρωτόκολλα Επικοινωνίας και Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο	
2.1 Πρωτόκολλα επικοινωνίας M2M συσκευών.....	20
2.1.1 Cellular M2M Communications	21
2.1.2 Capillary M2M Communications	22
2.2 Πλεονεκτήματα, χαρακτηριστικά και λειτουργίες του Smart Grid.....	29
2.3 Αρχιτεκτονική των SG συστημάτων.....	30
Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική και Λειτουργίες του Δικτύου Smart Home	
3.1 M2M Επικοινωνίες σε εσωτερικό οικιακό δίκτυο.....	35
3.2 Χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής ενός οικιακού M2M δικτύου	36
3.2.1 Κατηγορίες δικτύων εντός του Smart Home.....	37
3.2.2 Home Gateway	39
3.2.3 Τοπολογίες δικτύων Smart Home	41
3.3 Υπηρεσίες του Smart Home.....	46
3.4 Εμπορικές λύσεις	48
3.5 Ασφάλεια ασύρματων δικτύων	54
3.5.1 Κενά ασφαλείας.....	54
3.5.2 Απαιτήσεις ασφαλείας	55
Κεφάλαιο 4: Επίδραση των Παρεμβολών στις M2M Επικοινωνίες	
4.1 Συνύπαρξη των Wi-Fi, ZigBee και Bluetooth	56
4.2 Συνύπαρξη Wi-Fi και Bluetooth.....	58
4.2.1 Επίδοση Wi-Fi παρουσία παρεμβολών από Bluetooth	58
4.2.2 Επίδοση Bluetooth παρουσία παρεμβολών από Wi-Fi	60
4.3 Συνύπαρξη των Wi-Fi και ZigBee	61
4.3.1 Θεωρητική προσέγγιση	61
4.3.2 Μοντέλο συνύπαρξης μεταξύ πακέτων ZigBee και Wi-Fi.....	62
4.3.3 Πειράματα (Testbeds)	66
4.3.4 Εξαγωγή συμπερασμάτων.....	67
4.3.5 Προσαρμοστικοί μηχανισμοί για μείωση των παρεμβολών (Adaptive mechanisms for interference mitigation).....	68

Κεφάλαιο 5: Προσομοίωση Δικτύου Smart Home και Συμπεράσματα

5.1	Το ασύρματο HAN	71
5.1.1	Λειτουργία του HAN	71
5.1.2	Εύρος ζώνης υπηρεσιών	72
5.1.3	Χαρακτηριστικά υπηρεσιών	73
5.1.4	Προτεινόμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας στο HAN	74
5.2	Προσομοίωση κίνησης	74
	Συντομογραφίες.....	83
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	84

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Πρότυπο ιεραρχικής αρχιτεκτονικής για M2M επικοινωνίες	14
Σχήμα 1.2: Ανάπτυξη ευφυών οντοτήτων σε σχέση με τον παγκόσμιο πληθυσμό	16
Σχήμα 1.3: Πωλήσεις έξυπνων αντικειμένων ανά κατηγορία	18
Σχήμα 1.4: Η ιδέα του Smart Home	19
Σχήμα 2.1: Κυψελωτές και τριχοειδείς M2M επικοινωνίες	21
Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονική συστήματος SG	30
Σχήμα 2.3: Γενικότερο μοντέλο ενός Smart Grid	32
Σχήμα 2.4: Συσχέτιση των NANs με το WAN σε ένα SG σύστημα	33
Σχήμα 3.1: Home Gateway	39
Σχήμα 3.2: Λειτουργία του HAN/GW	40
Σχήμα 3.3: Εφαρμογές του Smart Home	48
Σχήμα 3.4: Apple HomeKit	49
Σχήμα 3.5: Apple HomeKit Remote Access	49
Σχήμα 3.6: Apple HomeKit Actions	50
Σχήμα 3.7: Samsung Hub	50
Σχήμα 3.8: Εφαρμογή Samsung SmartThings	51
Σχήμα 3.9: Google's project for Smart Homes	51
Σχήμα 3.10: Google Brillo and Weave	52
Σχήμα 4.1: Παρεμβολή Bluetooth σε Wi-Fi (κοντινή απόσταση)	58
Σχήμα 4.2: Παρεμβολή Bluetooth σε Wi-Fi (μακρινή απόσταση)	59
Σχήμα 4.3: Παρεμβολή Bluetooth σε Wi-Fi	59
Σχήμα 4.4: Παρεμβολή Wi-Fi σε Bluetooth	60
Σχήμα 4.5: ZigBee και Wi-Fi κανάλια	61
Σχήμα 4.6: Αποστάσεις συνύπαρξης ZigBee και Wi-Fi	64
Σχήμα 4.7: Προτεραιότητα των Wi-Fi κόμβων έναντι των ZigBee κόμβων	65
Σχήμα 4.8: Οι Wi-Fi κόμβοι δεν αντιλαμβάνονται τους ZigBee κόμβους	66
Σχήμα 4.9: Παρεμβολής επικοινωνίας ZigBee από Wi-Fi	67
Σχήμα 4.10: (α)Ανίχνευση παρεμβολών	70
Σχήμα 4.10. (β)Αποφυγή παρεμβολών	70
Σχήμα 5.1: Αντιστοιχία εφαρμογών με απαραίτητο εύρος ζώνης	72
Σχήμα 5.2: Τοπολογία Wi-Fi	75
Σχήμα 5.3: Τοπολογία ZigBee	75
Σχήμα 5.4: Αποτελέσματα Wi-Fi	76
Σχήμα 5.5: Αποτελέσματα ZigBee	76
Σχήμα 5.6: Τοπολογία δικτύου Wi-Fi με μετακίνηση κόμβων	77
Σχήμα 5.7: Μετακίνηση κόμβων (α)	78
Σχήμα 5.8: Μετακίνηση κόμβων (β).....	78
Σχήμα 5.9: Αποτελέσματα Wi-Fi με μετακίνηση κόμβων	78

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Τομείς και εφαρμογές M2M επικοινωνιών	15
Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά και εφαρμογές των πρωτοκόλλων	28
Πίνακας 3.1: Εμπορικά προϊόντα για το Smart Home	53
Πίνακας 4.1.....	56
Πίνακας 4.2.....	57
Πίνακας 4.3.....	57
Πίνακας 4.4.....	57
Πίνακας 4.5: Κυριότερα χαρακτηριστικά των IEEE 802.15.4 και IEEE 802.11b/g	63
Πίνακας 4.6: Αριθμητικές τιμές των αποστάσεων	64
Πίνακας 5.1: Ρυθμοί μετάδοσης αναγκαίοι για οικιακές εφαρμογές	72
Πίνακας 5.2: Λειτουργίες, χαρακτηριστικά και απαιτήσεις οικιακών εφαρμογών	73

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Πρόλογος

Η ραγδαία εξέλιξη των M2M επικοινωνιών και του Ίντερνετ των Αντικειμένων δίνει νέες διαστάσεις στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου με την κατοικία του. Ο ένοικος ενός Smart Home έχει τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου των έξυπνων οικιακών συσκευών του και της κατάστασης της κατοικίας του. Δημιουργούνται προοπτικές που σχετίζονται με την ασφάλεια, την αξιοπιστία και τη βελτίωση κάθε τομέα της ζωής του ανθρώπου.

2. Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η αρχιτεκτονική, η δομή και η λειτουργία ενός ασύρματου οικιακού δικτύου Smart Home. Μέσα από την ανάλυση της τεχνολογίας των δικτύων και των τοπολογιών τους, εξετάζεται η συνύπαρξη διαφορετικών πρωτοκόλλων επικοινωνιών, τα εμπόδια που δημιουργούνται και τρόποι αντιμετώπισής τους. Μελετώνται οι προϋποθέσεις για την εύρυθμη λειτουργία του Smart Home και αναλύονται οι κυριότερες εφαρμογές του.

3. Δομή Διπλωματικής

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στις M2M επικοινωνίες και το IoT, τα χαρακτηριστικά τους και τις κυριότερες λειτουργίες τους.

Στο Κεφάλαιο 2 εξετάζονται τα κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας των συσκευών M2M και η δομή του ευφυούς ηλεκτρικού δικτύου Smart Grid, καθώς και τα πλεονεκτήματά του.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του οικιακού δικτύου Smart Home, ο ρόλος του Home Gateway ως βασική μονάδα της κατοικίας και οι σημαντικότερες εμπορικές εφαρμογές.

Στο Κεφάλαιο 4 μελετάται η συνύπαρξη διαφορετικών πρωτοκόλλων επικοινωνιών στο χώρο της κατοικίας και τα προβλήματα που εγείρονται λόγω των παρεμβολών. Αναφέρονται σχετικές μελέτες και τρόποι αντιμετώπισης των πιθανών προβλημάτων.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι κυριότερες εφαρμογές του δικτύου Smart Home και οι απαιτήσεις των υπηρεσιών του ως προς το εύρος ζώνης. Εξετάζεται ένα σενάριο λειτουργίας του δικτύου Smart Home με στόχο τον ορισμό προδιαγραφών και την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την ορθή λειτουργία του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ Μ2Μ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΩΣ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΙοΤ

1.1. Οι Μ2Μ Επικοινωνίες

Οι επικοινωνίες «Μ2Μ» (Machine-to-Machine, Μηχανή-προς-Μηχανή) αναφέρονται στη συνδεσιμότητα και επικοινωνία μεταξύ μηχανών και συσκευών χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Περιλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό συσκευών οι οποίες, είτε ενσύρματα είτε ασύρματα, θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να εκτελούν εντολές. Σκοπός είναι η βελτίωση του ελέγχου και της αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με απομακρυσμένες συσκευές και περιοχές, καθώς και η παροχή νέων υπηρεσιών από επιχειρήσεις προς τελικούς πελάτες.

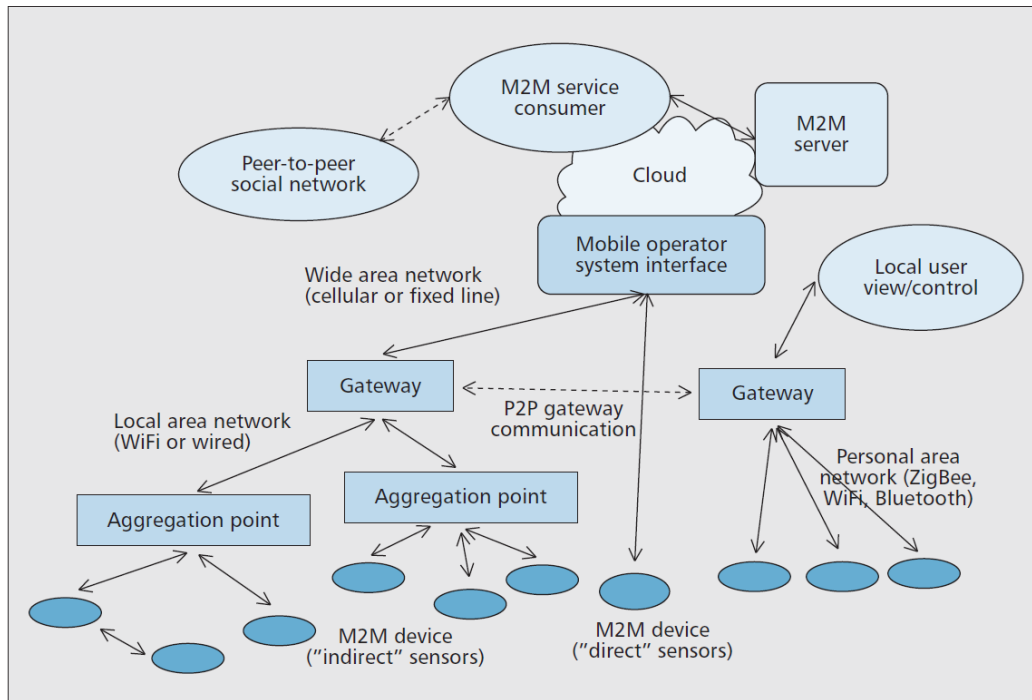
Σύμφωνα με μελέτες, προβλέπεται ότι μέσα στα επόμενα χρόνια (μέχρι το 2022) θα υπάρχουν περίπου 3 δισεκατομμύρια συσκευές που θα χρησιμοποιούν Μ2Μ επικοινωνίες αξιοποιώντας τη ραγδαία εξέλιξη των κυψελωτών δικτύων 3G και 4G – LTE Advanced καθώς και του αναπτυσσόμενου 5G. Για τους παρόχους τηλεπικοινωνιών πρόκειται για μια υπηρεσία πολλά υποσχόμενη, καθώς θα τους δοθεί η δυνατότητα επέκτασης των προσφερόμενων υπηρεσιών, οι οποίες, περισσότερο ίσως από ποτέ, αρχίζουν να υιοθετούν και να αξιοποιούν συνδέσεις Μ2Μ λόγω της αποτελεσματικότητάς τους και με στόχο την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

Βασικό ρόλο στη διεύρυνση του Μ2Μ θα παίξουν, όπως αναφέρθηκε, οι τεχνολογίες 3G και 4G – LTE Advanced, ειδικά σε περιοχές όπου το 2G ολοκλήρωσε τον κύκλο ζωής του. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές επικοινωνίες Η2Η (Human-to-Human, άνθρωπος-προς-άνθρωπο), όπως είναι η χρήση κινητών τηλεφώνων, οι υπηρεσίες Μ2Μ ενταγμένες σε ένα σύστημα επικοινωνίας έχουν διαφορετικές απαιτήσεις λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους [7]. Λαμβάνοντας υπόψη τον αυξανόμενο αριθμό των συσκευών που έχουν δυνατότητα επικοινωνίας και πρόσβασης στο Διαδίκτυο, προκύπτει η ανάγκη σημαντικής βελτίωσης της επίδοσης των κυψελωτών δικτύων LTE-Advanced όσον αφορά στην αξιοποίηση πόρων και φάσματος. Επιπλέον, οι υπηρεσίες Μ2Μ πρέπει να έχουν ανεκτή, σύμφωνη με συγκεκριμένες προδιαγραφές, επίπτωση στις υπάρχουσες Η2Η υπηρεσίες στα κυψελωτά δίκτυα. Σημαντικό ρόλο θα παίξει, επίσης, η παροχή διαφόρων επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας (QoS – Quality of Service), καθώς, πλέον, θα υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις για κάθε εφαρμογή, όπως, για παράδειγμα, ομαδικές συνομιλίες μέσω του Διαδικτύου, διαφορετικά επίπεδα κινητικότητας, μειωμένη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, ασφαλή σύνδεση, χαμηλή κατανάλωση ισχύος κτλ.

Η διεύρυνση του Μ2Μ φέρει στην επιφάνεια σημαντικά ζητήματα προς αντιμετώπιση, με κυριότερα την ανάγκη για ασφάλεια στις επικοινωνίες και τον έλεγχο απομακρυσμένων συσκευών, την αυξημένη ζήτηση για εύρος ζώνης, την ανάπτυξη κατάλληλης ευφυίας στις συσκευές και το σχεδιασμό μιας απλής και καθολικής αρχιτεκτονικής για δίκτυα έξυπνων συσκευών. Για την υλοποίηση αυτής της αρχιτεκτονικής υπάρχουν πολλές επιλογές σύνδεσης συσκευών Μ2Μ σε εξυπηρετητές (servers), καθώς και μεταξύ τους. Εντούτοις, για να επιτευχθεί αυτό σε κλίμακα δισεκατομμυρίων έως τρισεκατομμυρίων συσκευών, ειδικά όταν υπάρχουν περιορισμοί

κόστους, μεγέθους και κατανάλωσης ισχύος, είναι αναγκαία μια ιεραρχική δομή που επιτυγχάνει αξιόπιστη και αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ πολλαπλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας (PAN, LAN, WAN).

Στο Σχ.1.1 παρουσιάζεται ένα πρότυπο ιεραρχικής αρχιτεκτονικής για M2M επικοινωνίες [5]:



Σχήμα 1.1.
Πρότυπο ιεραρχικής αρχιτεκτονικής για M2M επικοινωνίες

Μια συσκευή που υποστηρίζει επικοινωνία M2M μπορεί να συνδεθεί σε έναν M2M Server είτε απευθείας μέσω μιας σύνδεσης WAN (π.χ. 3G/4G) είτε μέσω μιας πύλης επικοινωνίας M2M (γνωστής ως M2M Gateway). Η πύλη M2M είναι διάταξη που συλλέγει και επεξεργάζεται δεδομένα από άλλες M2M συσκευές και συντονίζει τη λειτουργία τους. Η χρήση της είναι ιδιαίτερως σημαντική σε περιπτώσεις όπου ενδιαφέρει το κόστος, η μικρή κατανάλωση ενέργειας και η θέση εγκατάστασης των M2M κόμβων. Ο τρόπος επικοινωνίας στηρίζεται κυρίως στα πρωτόκολλα IEEE 802.11 (ευρέως γνωστό ως Wi-Fi), IEEE 802.15 (ευρέως γνωστό ως Bluetooth), IEEE 802.15.4 (ευρέως γνωστό ως ZigBee) και στις επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος (power line communications). Στα πρωτόκολλα αυτά θα γίνει εκτενής αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας.

Οι M2M επικοινωνίες αρχίζουν να επεκτείνονται σε όλο το φάσμα της αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με το περιβάλλον, τους άλλους ανθρώπους και τις διάφορες συσκευές (ενδεικτικά αναφέρονται οι τομείς της υγείας, της κυκλοφορίας οχημάτων και της έξυπνης κατοικίας) .

Στον Πιν.1.1 [5] παρουσιάζονται οι τομείς όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι επικοινωνίες M2M:

Τομέας	Εφαρμογή
Δημόσια ασφάλεια και προστασία	Συστήματα επιτήρησης, ελέγχου φυσικής πρόσβασης (π.χ. κτίρια), παρακολούθηση περιβάλλοντος (π.χ. για φυσικές καταστροφές)
Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο (Smart Grid)	Παρακολούθηση και έλεγχος: (i) του ηλεκτρικού δικτύου, (ii) του δικτύου φυσικού αερίου, (iii) του δικτύου ύδρευσης
Παρακολούθηση και εντοπισμός	Διαχείριση παραγγελιών επιχειρήσεων, έλεγχος εγκαταστάσεων
Τηλεματική οχημάτων	Διαχείριση στόλων οχημάτων, ασφάλεια οδηγών - αυτοκινήτων, βελτιωμένη πλοήγηση, πληροφορίες κυκλοφορίας, διόδια, απομακρυσμένη διάγνωση οχήματος
Πληρωμές	Σημεία πώλησης, ΑΤΜ, μηχανήματα αυτόματης πώλησης, μηχανήματα τυχερών παιχνιδιών
Υγεία	Παρακολούθηση ζωτικών οργάνων και λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος, υποστήριξη ηλικιωμένων και ατόμων με ειδικές ανάγκες, τηλεϊατρική, απομακρυσμένη διάγνωση
Απομακρυσμένος έλεγχος και συντήρηση	Βιομηχανικοί αυτοματισμοί, βιομηχανικές μετρήσεις, αισθητήρες, φωτισμός, αντλίες, απομακρυσμένος έλεγχος μηχανών
Συσκευές καταναλωτών	Ψηφιακή κορνίζα, ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, e-books, σημεία διαχείρισης και ελέγχου σπιτιού

Πίνακας 1.1.
Τομείς και εφαρμογές M2M επικοινωνιών

1.2. Περιγραφή του IoT

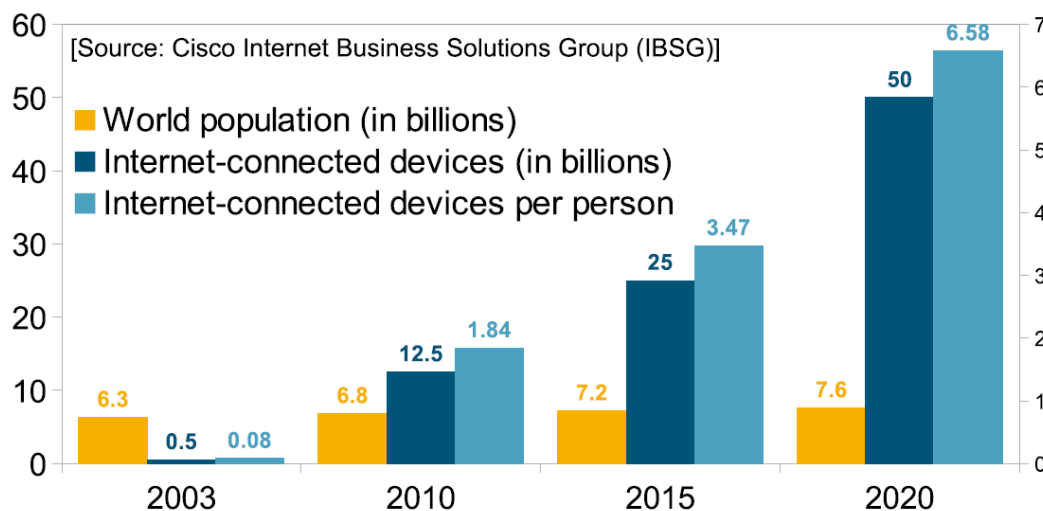
Το M2M αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης έννοιας διασυνδεσιμότητας συσκευών, που λέγεται «IoT» (Internet of Things, Ίντερνετ των Αντικειμένων). Πρόκειται για ένα όραμα που αφορά στη διασύνδεση κάθε είδους αντικειμένων (και όχι μόνο ηλεκτρονικών

συσκευών), με δεδομένα προσβάσιμα από οποιαδήποτε εφαρμογή, ώστε μεγαλύτερος αριθμός χρηστών να επωφελείται από τη χρήση τους [42].

Τα τελευταία χρόνια, το IoT αποτελεί σημείο αναφοράς και έρευνας, τόσο από τη βιομηχανική όσο και από την ακαδημαϊκή κοινότητα παγκοσμίως. Το αντικείμενό του απασχολεί διεθνώς πολλές ανερχόμενες εταιρείες, ακαδημαϊκά ινστιτούτα, κυβερνητικές οργανώσεις και μεγάλες επιχειρήσεις. Υπόσχεται διασύνδεση μεταξύ ανθρώπων και αντικειμένων οποιαδήποτε στιγμή, σε οποιοδήποτε μέρος και χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο. Κατά συνέπεια, συμβάλλει στη δημιουργία ενός καλύτερου κόσμου για τους ανθρώπους, όπου οι έξυπνες συσκευές θα μπορούν κάθε στιγμή να λαμβάνουν γνώση τι θέλει ο άνθρωπος και πώς το θέλει.

Υπολογίζεται ότι αυτή τη στιγμή υπάρχουν 1.5 δισεκατομμύρια υπολογιστές και πάνω από 1 δισεκατομμύριο κινητά τηλέφωνα, παγκοσμίως, με δυνατότητα πρόσβασης στο ίντερνετ. Σε αυτές τις δύο κατηγορίες συσκευών θα προστεθούν πολύ μεγάλος αριθμός ευφυών οντοτήτων, ώστε το 2020 υπολογίζεται ότι θα υπάρχουν 50 έως 100 δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο παγκοσμίως, υπερβαίνοντας κάθε προσδοκία ερευνητών και μελετητών. Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος των συσκευών, αξίζει να αναφερθεί μια έρευνα της CISCO (Αμερικανική Εταιρεία Δικτύωσης Υπολογιστών), σύμφωνα με την οποία το 2020 κάθε άνθρωπος στον πλανήτη θα μπορεί να έχει έως και 6 συσκευές συνδεδεμένες ταυτόχρονα στο Διαδίκτυο.

Η ραγδαία ανάπτυξη των ευφυών οντοτήτων τα τελευταία χρόνια απεικονίζεται και στο Σχ.1.2:



Σχήμα 1.2.

Ανάπτυξη ευφυών οντοτήτων σε σχέση με τον παγκόσμιο πληθυσμό

Η ιδέα του IoT στηρίζεται σε τρεις (3) βασικούς πυλώνες:

1) *Τεράστιο εύρος και πλήθος συσκευών.*

Η επικοινωνία M2M θα περιλαμβάνει τόσο συσκευές χαμηλής τιμής και κατανάλωσης ενέργειας, όσο και συσκευές υψηλών δυνατοτήτων και προδιαγραφών, όπως ευφυή συστήματα όρασης (intelligent vision systems), εξαρτήματα ελέγχου μηχανών (machine control modules), πύλες μετάδοσης

δεδομένων σε έξυπνα σπίτια (gateways in smart homes), καθώς και καταναλωτικά ηλεκτρονικά προϊόντα (π.χ. smartphones, tablets, υπολογιστές, smartwatches).

2) *Εξαιρετικά επεκτάσιμη συνδεσιμότητα.*

Αυτή είναι ίσως η σημαντικότερη παράμετρος στην M2M επικοινωνία, καθώς μια συσκευή που δεν είναι συνδεδεμένη στο Διαδίκτυο δεν μπορεί να συνεργαστεί με άλλες. Έτσι, η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές δικτύων είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μιας χαμηλού κόστους συνδεσιμότητας μεταξύ του τεράστιου εύρους συσκευών που αναφέρθηκε προηγουμένως, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις τους.

3) *Διαχείριση, έλεγχος και πρόσβαση στις συσκευές και τις υπηρεσίες μέσω της τεχνολογίας Cloud.*

Το όραμα του IoT δεν αφορά την αυτόνομη λειτουργία κάθε συσκευής αλλά τη συνεργασία πολλών συσκευών μεταξύ τους. Επομένως, είναι απαραίτητη η ύπαρξη κεντρικών μονάδων διαχείρισης και λήψης αποφάσεων ανά μεγάλα πλήθη διατάξεων ή κόμβων M2M. Προς το παρόν, αυτό είναι εφικτό μόνο μέσω του Cloud.

Όσον αφορά στον επιχειρηματικό τομέα, το IoT προσφέρει περισσότερες δυνατότητες στις επιχειρήσεις και εμπλουτίζει τον τομέα υπηρεσιών Cloud, Mobile και Big Data Analytics. Οι έννοιες αυτές αφορούν τις κινητές επικοινωνίες, τις ψηφιακές πληροφορίες, το διαμοιρασμό τους, την ανάλυση και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η στρατηγική των επιχειρήσεων επαναπροσδιορίζεται, ώστε να αξιοποιεί στο έπακρο τις δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου και παρακολούθησης των διαφόρων τμημάτων της, δυνατότητες που προσφέρουν το IoT και οι M2M επικοινωνίες. Για παράδειγμα, καθίσταται δυνατή η απομακρυσμένη επιτήρηση φορτίων σε φορτηγά πλοία, ο έλεγχος της κατάστασης και του περιεχομένου τους και ο ακριβής προσδιορισμός της εκάστοτε θέσης τους. Έτσι, μια ναυτιλιακή επιχείρηση έχει πλήρη έλεγχο των εμπορευμάτων της κάθε στιγμή και υπό οποιοσδήποτε σχεδόν συνθήκες.

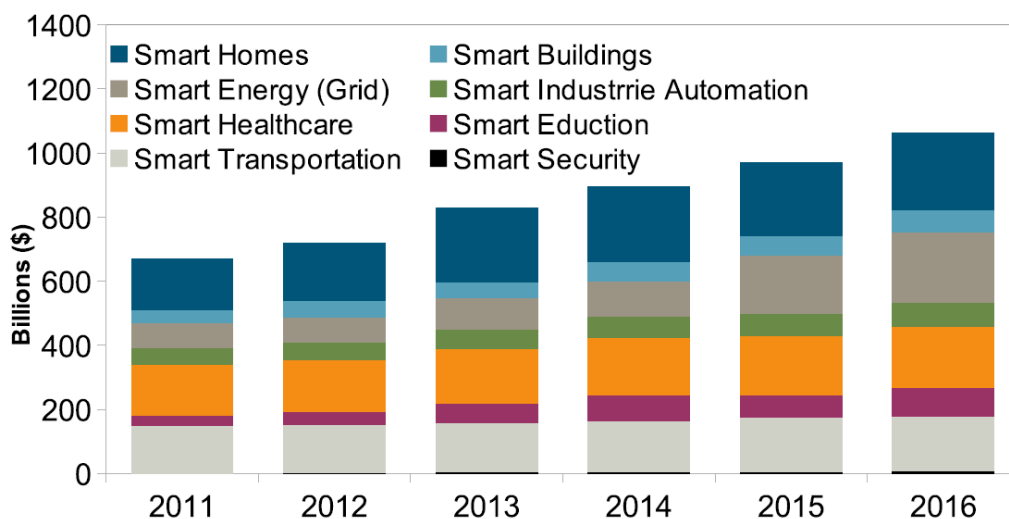
Η καθοριστική πρόκληση για την πρόοδο του IoT έγκειται στο πώς θα μπορούν οι επιχειρήσεις να αποκτήσουν και να αναλύουν έναν τεράστιο όγκο πληροφοριών που προέρχεται από προϊόντα, εφαρμογές και εξοπλισμό. Προς αυτήν την κατεύθυνση κινείται η ανάπτυξη του IoT και των M2M επικοινωνιών, χάρη στα οποία δημιουργείται ένα παγκόσμιο ψηφιακό νευρικό σύστημα για τεχνολογικό κόσμο. Αισθητήρες, drones, smartphones, tablets, wearables, 3D εκτυπωτές, γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έξυπνα είδη σπιτιού είναι μόνο μερικές από τις συσκευές που θα συμμετέχουν σε αυτό το νευρικό σύστημα, με συνεχή ανταλλαγή πληροφοριών, ταχύτατη επεξεργασία δεδομένων και αυτόματη λήψη αποφάσεων χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Το έξυπνο κινητό τηλέφωνο (smartphone) θα αποτελεί τον απλούστερο τρόπο πρόσβασης του ανθρώπου στο παγκόσμιο ψηφιακό δίκτυο και, χάρη στη ραγδαία εξέλιξη της υπολογιστικής του δύναμης, θα είναι πλέον σε θέση να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων προς επεξεργασία και ανάλυση (data analytics).

Επίσης, ραγδαία αναμένεται να είναι και η εξέλιξη στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Τα νέα αυτοκίνητα εξοπλίζονται με έξυπνα συστήματα σύνδεσης με τα κινητά τηλέφωνα, αυτόματου παρκαρίσματος, ακόμα και αυτόματης οδήγησης.

Επιπλέον, δημιουργείται η ανάγκη για έξυπνη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας και της προσαρμογής της ζήτησής της από καταναλωτές. Σκοπός είναι η εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων και η μείωση δαπανών.

Ένα από τα σημαντικότερα σχέδια του IoT είναι η έξυπνη πόλη (smart city), η οποία θα αποτελείται από πολλά έξυπνα τμήματα όπως η έξυπνη μεταφορά οχημάτων (smart transportation), η έξυπνη ασφάλεια (smart security) και η έξυπνη διαχείριση ενέργειας (smart energy management). Αυτοί οι τομείς βρίσκονται υπό συνεχή έρευνα και ανάπτυξη και, σε συνδυασμό με έξυπνο περιβάλλον, νερό, σύστημα υγείας και σύστημα γεωργίας, υπόσχονται βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου και της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον του.

Στο Σχ.1.3 παρουσιάζονται οι πωλήσεις κάθε έξυπνου τομέα από το 2011 έως και το 2016:



Σχήμα 1.3.
Πωλήσεις έξυπνων αντικειμένων ανά κατηγορία

Στο πλαίσιο αυτών των τεχνολογικών επιτευγμάτων, εγείρεται το ερώτημα κατά πόσο θα μπορούσε το IoT και οι M2M επικοινωνίες να ωφελήσουν άμεσα την καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Σε αυτό το ερώτημα απαντά η ανάπτυξη ενός έξυπνου σπιτιού (Smart Home), που θα είναι σε θέση να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις, στις ανάγκες και συνήθειες του ενοίκου του. Οι ένοικοι θα έχουν τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και διαχείρισης της οικίας τους με χρήση smartphone και Διαδικτύου. Το Smart Home αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου και στη διευκόλυνση της καθημερινότητας του, παρέχοντας υψηλές αποδόσεις και εξοικονόμηση πόρων σε συνδυασμό με άνεση και ασφάλεια.



Σχήμα 1.4.
Η ιδέα του Smart Home

Στη συνέχεια της παρούσας εργασίας, θα προσεγγισθεί η ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής και ο τρόπος υλοποίησης ενός Smart Home με πολλαπλά οφέλη για τους ενοίκους του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΕΥΦΥΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αναφορά στις επικοινωνίες M2M, μέσω των οποίων δισεκατομμύρια συσκευές θα μπορούν να συνδέονται ασύρματα και να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Κατά κύριο λόγο, η συνεργασία μεταξύ συσκευών θα οδηγήσει σε μια άνευ προηγουμένου αύξηση της κίνησης δεδομένων και της αξιοποίησης του διαθέσιμου φάσματος. Όπως αναφέρθηκε, οι εφαρμογές M2M επεκτείνονται σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας, με σημαντικότερους αυτούς της υγείας, της κίνησης οχημάτων και του Smart Home. Η ανάπτυξη των M2M επικοινωνιών οδηγεί και στην υλοποίηση ευφυούς ηλεκτρικού δικτύου (Smart Grid – SG), που θα επιτρέπει σε παρόχους και διανομείς ηλεκτρικής ενέργειας και στους άλλους καταναλωτές να έχουν πλήρη ενημέρωση και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο της χρήσης του ηλεκτρικού δικτύου σε κάθε επίπεδο, από το επίπεδο κατοικίας μέχρι το επίπεδο επικράτειας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το SG προσφέρει τη δυνατότητα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος κατά το βέλτιστο, περιβαλλοντικά και οικονομικά, τρόπο.

Για την υλοποίηση του SG είναι απαραίτητη η επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων, έξυπνων μετρητών και κατάλληλου εξοπλισμού, πάντα έχοντας εξασφαλισμένη την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα. Τα προαναφερθέντα έξυπνα τμήματα συνδέονται μεταξύ τους με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε κατοικίες και εργοστάσια σε χαμηλότερο κόστος), καθώς και τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών.

Η υιοθέτηση του δικτύου SG στο Smart Home επιτάσσει το διαχωρισμό της κίνησης δεδομένων σε χαμηλής και υψηλής προτεραιότητας, καθώς και την ανάγκη για δυναμική προσαρμογή του δικτύου στις εκάστοτε κατάλληλες απαιτήσεις. Η σημερινή δομή του δικτύου, όμως, που στηρίζεται στα σύγχρονα ψηφιακά δίκτυα (synchronous optical networks – SONETs) και στη σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία (synchronous digital hierarchy – SDH) εισάγουν εμπόδια στο SG λόγω περιορισμών στο διαθέσιμο εύρος ζώνης, στο πλήθος των IP διευθύνσεων, την ευελιξία των συνδέσεων και τους αυτοματισμούς του δικτύου. Δύο σημαντικά ζητήματα που προκύπτουν είναι (i) η απρόσκοπτη σύνδεση των M2M συσκευών στο κεντρικό δίκτυο και (ii) η απαίτηση για υψηλή παραμετροποίηση και ευελιξία.

Στη συνέχεια, εξετάζονται τα κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας των συσκευών M2M σε ένα Smart Grid (και κατ' επέκταση σε ένα Smart Home), τα πλεονεκτήματα του SG συστήματος και την αναμενόμενη αρχιτεκτονική του.

2.1. Πρωτόκολλα επικοινωνίας M2M συσκευών

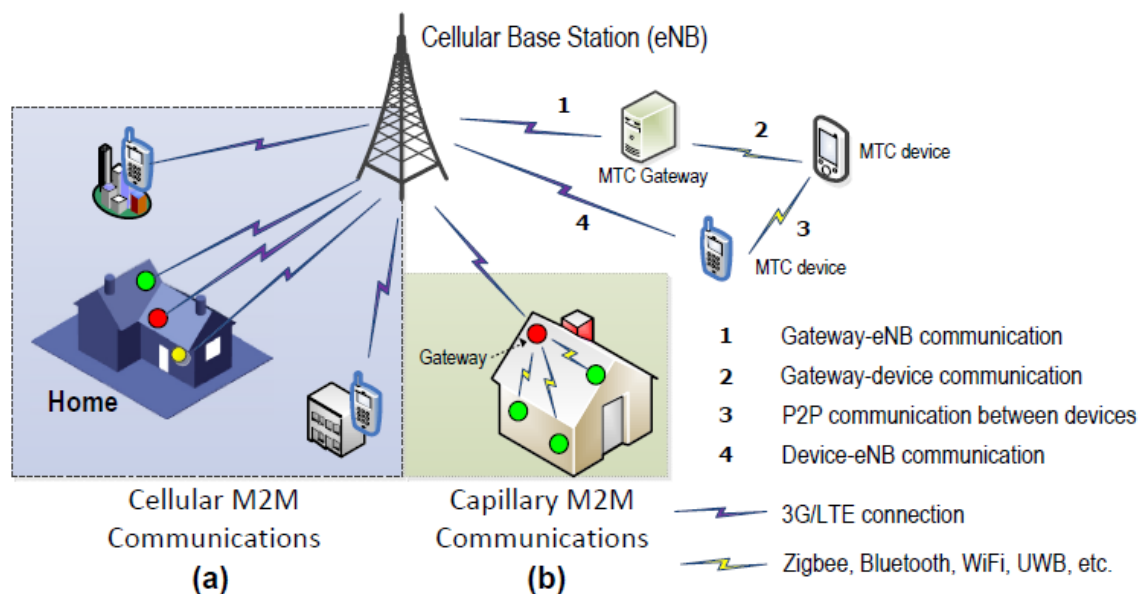
Σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο 3GPP (3rd Generation Partnership Project), έχουν καθιερωθεί οι εξής τρόποι επικοινωνίας μεταξύ τερματικών κόμβων-συσκευών και του κυψελωτού δικτύου:

- 1) Κυψελωτές M2M Επικοινωνίες (Cellular M2M Communications), όπου κάθε κόμβος επικοινωνεί απευθείας με το 3G ή 4G δίκτυο, και
- 2) Τριχοειδείς M2M Επικοινωνίες (Capillary M2M Communications), όπου οι κόμβοι επικοινωνούν με το δίκτυο μέσω μιας κεντρικής πύλης που ονομάζεται Gateway (η λειτουργία του θα αναλυθεί εκτενώς στη συνέχεια της εργασίας).

Ακολουθεί ανάλυση των προαναφερθεισών μεθόδων επικοινωνίας:

2.1.1. Cellular M2M Communications

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης του 3GPP Long Term Evolution (LTE), η αρχιτεκτονική των κυψελωτών M2M επικοινωνιών περιλαμβάνει συγκεκριμένα τμήματα: τον M2M κόμβο, ένα Gateway που καθορίζει το εύρος ζώνης και τους πόρους επικοινωνίας, και ένα evolved NodeB (eNB) που αποτελεί ένα είδος κεραίας για σύνδεση κινητών συσκευών στα δίκτυα επικοινωνιών. Όπως φαίνεται στο Σχ.2.1, προκύπτουν τέσσερα (4) είδη επικοινωνίας:



Σχήμα 2.1.
Κυψελωτές και τριχοειδείς M2M επικοινωνίες

- *Επικοινωνία μεταξύ Gateway – eNB:*
Η επικοινωνία χρησιμοποιεί το αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων και επιτρέπει αμφίδρομες μεταδόσεις. Χρησιμοποιείται κατάλληλη κατανομή πόρων για μείωση των παρεμβολών.
- *Επικοινωνίες μεταξύ Gateway – κόμβων M2M*
Ο ρυθμός μετάδοσης και η κατασκευή κάθε συσκευής ποικίλουν. Έτσι, ο Gateway συνήθως παρέχει την κατάλληλη υπολογιστική δύναμη για επεξεργασία των

δεδομένων, προστασία του eNB από υπερφόρτωση και δημιουργία καναλιών για μετάδοση δεδομένων από τους κόμβους M2M.

- *P2P επικοινωνίες μεταξύ κόμβων M2M*
Αφορά την απευθείας επικοινωνία κόμβων M2M.
- *Επικοινωνίες μεταξύ κόμβων M2M– eNB*
Οι κόμβοι επικοινωνούν απευθείας με τον eNB του δικτύου όπου βρίσκονται. Τότε, όμως, προκαλούνται προβλήματα παρεμβολών λόγω του ανταγωνισμού μεταξύ των κόμβων για διαθέσιμους πόρους.

2.1.2 Capillary M2M Communications

Παρά την αποτελεσματικότητά τους, τα κυψελωτά (cellular) δίκτυα δεν έχουν σχεδιαστεί για να διαχειρίζονται την ετερογένεια των M2M συσκευών και τους διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης που υποστηρίζουν για τηλεπικοινωνιακή κάλυψη μεγάλων περιοχών. Για το λόγο αυτό, σε ορισμένες περιπτώσεις προτιμάται η χρήση τριχοειδών (capillary) δικτύων, όπου οι κόμβοι M2M συνδέονται σε κάποιον Gateway και εκείνος επικοινωνεί με το σταθμό βάσης του δικτύου.

Έτσι, η προσοχή των ερευνητών στρέφεται πλέον στην ανάπτυξη δικτύων επόμενης γενεάς και στην αξιοποίηση δημοφιλών δικτύων ραδιοεπικοινωνιών όπως είναι το Wi-Fi, το ZigBee, το Bluetooth και άλλα.

Ακολουθεί παρουσίαση των πρωτοκόλλων αυτών μαζί με τις επίσημες ονομασίες και τα χαρακτηριστικά τους:

1. Τεχνολογία ZigBee

Το πρότυπο IEEE 802.15.4 αναπτύχθηκε με σκοπό την παροχή υπηρεσιών σε δίκτυα χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και περιορισμένης κατανάλωσης ενέργειας. Βρίσκει εφαρμογή σε προσωπικά δίκτυα χαμηλού ρυθμού μετάδοσης (LPAN – Low-rate Personal Area Networks) και χρησιμοποιεί τις ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων περί τα 2.4 GHz (παγκόσμια χρήση), 915 MHz (Αμερική) και 868 MHz (Ευρώπη). Ο ρυθμός μετάδοσης κόμβων ZigBee είναι 250 kb/s στα 2.4 GHz, 40 kb/s στα 915 MHz και 100 kb/s στα 868 MHz.

Για εκπομπή στη χαμηλή ζώνη στα 868 MHz χρησιμοποιούνται τα σχήματα διαμόρφωσης BPSK (Binary Phase Shift Keying), ASK (Amplitude Shift Keying) και O-QPSK (Offset Quadrature Shift Keying). Οι εκπομπές στην υψηλή ζώνη πραγματοποιούνται σε συχνότητες από 2.4 GHz έως 2.483 GHz. Χρησιμοποιούνται 16 κανάλια με βήμα 5 MHz με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 250 kb/s. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται στη ζώνη αυτή είναι η O-QPSK. Το πρότυπο IEEE 802.15.4 προδιαγράφει την ευαισθησία του δέκτη στα -92dBm για τη χαμηλή ζώνη και στα -85dBm για την υψηλή ζώνη και απαιτεί δυνατότητα ισχύος εκπομπής 1

mW. Επίσης, για την αποφυγή παρεμβολών χρησιμοποιεί το μηχανισμό εξάπλωσης φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spectrum – DSS).

Ένα δίκτυο δομημένο με βάση το πρότυπο IEEE 802.15.4 αποτελείται από τριών ειδών κόμβους. Συγκεκριμένα υπάρχουν:

- 1) Κόμβοι – συντονιστές δικτύου (Coordinators PANs) που διαθέτουν αυξημένη δυνατότητα υπολογισμών και αποθήκευσης δεδομένων και είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο και τη διαχείριση της πληροφορίας που διακινείται στο δίκτυο.
- 2) Κόμβοι – πλήρους λειτουργίας (FFD – Full-Function Devices) που διαθέτουν αυξημένες αρμοδιότητες και με μεγαλύτερη υπολογιστική ικανότητα σε σχέση με τους κόμβους RFD. Χρησιμοποιούνται ως συντονιστές ή δρομολογητές του δικτύου.
- 3) Κόμβοι – περιορισμένης λειτουργίας (RFD – Reduced-Function Devices) που διαθέτουν περιορισμένη υπολογιστική δυνατότητα και αναλαμβάνουν απλές λειτουργίες επικοινωνώντας μόνο με συσκευές FFD.

Σε ένα δίκτυο ZigBee οι συσκευές ταξινομούνται ως: (i) συντονιστές (coordinators), (ii) τερματικές διατάξεις (end devices) και (iii) δρομολογητές (routers). Με βάση την κατηγοριοποίηση κόμβων του προτύπου IEEE 802.15.4, οι συντονιστές και οι δρομολογητές είναι κόμβοι πλήρους λειτουργίας (FFD) ενώ οι τερματικές διατάξεις μπορούν να είναι είτε πλήρους είτε περιορισμένης λειτουργίας (FFD ή RFD).

Όπως θα εξεταστεί σε επόμενο κεφάλαιο, τα δίκτυα ZigBee συχνά επηρεάζονται από παρεμβολές άλλων πρωτοκόλλων ραδιοεπικοινωνίας. Προς μείωση των παρεμβολών, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) και η τεχνική CCA (Clear Channel Assessment), σύμφωνα με την οποία ένας κόμβος μεταδίδει μόνο όταν το κανάλι είναι ελεύθερο, άλλως η μετάδοση αναβάλλεται.

Όσον αφορά στις τοπολογίες, η τεχνολογία ZigBee υποστηρίζει τοπολογίες (α) αστέρα (star), (β) πλέγματος (mesh) και (γ) δένδρου συστάδων (cluster tree).

Στην τοπολογία αστέρα, η επικοινωνία βασίζεται σε έναν κεντρικό κόμβο, το συντονιστή PAN, ο οποίος μπορεί να συντονίζει τη λειτουργία διατάξεων FFD και RFD. Στην τοπολογία πλέγματος υπάρχει επίσης συντονιστής PAN. Ωστόσο, παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης των υπόλοιπων διατάξεων με απομακρυσμένους κόμβους μέσω επικοινωνίας πολλαπλών αλμάτων (multi-hop). Η τοπολογία πλέγματος βρίσκει εφαρμογή σε ad-hoc αυτό-οργανωμένα (self-organizing) και αυτό-ιάσιμα (self-healing) δίκτυα. Τέλος, στην τοπολογία δένδρου συστάδων υπάρχουν κυρίως συσκευές FFD και, πιθανώς, RFD ως τερματικοί κόμβοι. Μόνο μία συσκευή FFD μπορεί να επιλεγεί ως συντονιστής PAN του δικτύου. Αυτή η τοπολογία διευκολύνει την ανάπτυξη δικτύων ευρείας κάλυψης.

2. Τεχνολογία Bluetooth

Το Bluetooth, που βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15, είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για ασύρματα προσωπικά δίκτυα υπολογιστών (Wireless Personal Area Networks – WPAN). Πρόκειται για ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων, που μπορεί να μεταδώσει σήματα σε ψηφιακές διατάξεις, παρέχοντας προτυποποιημένη ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε PDAs, κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, προσωπικούς υπολογιστές, καθώς και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και κάμερες. Αποτελεί μια ασφαλή, μικρής εμβέλειας, οικονομική και παγκοσμίως διαθέσιμη τεχνολογία που λειτουργεί στην ελεύθερη αδειοδότησης ζώνη των 2.4 GHz.

Οι προδιαγραφές του Bluetooth καθορίζουν την ασύρματη τεχνολογία χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος που επιτρέπει τη διασύνδεση κινητών συσκευών. Το Bluetooth λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη φασματική ζώνη των 2.4 GHz ώστε οι συσκευές που το έχουν ενσωματωμένο να μπορούν να λειτουργούν απρόσκοπτα σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη. Για να περιοριστούν στο ελάχιστο οι παρεμβολές από παρεμφερείς συσκευές, το Bluetooth υλοποιεί αμφίδρομη επικοινωνία χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μετάδοσης με διασπορά φάσματος Frequency Hopping (έως και 1600 εναλλαγές συχνότητας ανά δευτερόλεπτο). Για τη μετάδοση δεδομένων, το Bluetooth διαμοιράζει τα δεδομένα σε πακέτα και μεταδίδει κάθε πακέτο μέσα από ένα από τα 70 διακριτά κανάλια του, εύρους 1 MHz έκαστο. Παλαιότερα, χρησιμοποιούσε διαμόρφωση GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) με βασικό ρυθμό μετάδοσης (Basic Rate – BR) 1 Mb/s. Οι νεότερες εκδόσεις του χρησιμοποιούν DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) και 8DPSK, με ρυθμούς μετάδοσης 2 και 3 Mb/s, αντίστοιχα, που συνδυαστικά προσφέρουν αυξημένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (Enhanced Data Rate – EDR). Ο συνδυασμός των BR και EDR ρυθμών δεδομένων στο Bluetooth αποτελεί το «BR/EDR Radio»

Το Bluetooth επιτρέπει τις απευθείας συνδέσεις από συσκευή προς συσκευή (point-to-point) καθώς και την ταυτόχρονη σύνδεση έως και 7 συσκευών με τη χρήση μιας μοναδικής συχνότητας. Τις προδιαγραφές της συγκεκριμένης τεχνολογίας ανέπτυξε και υποστηρίζει το Bluetooth Special Interest Group. Η τελευταία δημόσια έκδοση του Bluetooth είναι η 1.1 η οποία πλέον ενσωματώνεται στις περισσότερες συμβατές συσκευές μέσω κατάλληλων πομποδεκτών και καρτών δικτύου.

Η βασική δομική μονάδα ενός δικτύου Bluetooth είναι το piconet, στο οποίο όλοι οι κόμβοι που μετέχουν (μέχρι 7 διατάξεις Slaves) μοιράζονται τον ίδιο κώδικα διασποράς και υπόκεινται στον έλεγχο ενός κοινού Master. Ο τελευταίος διαμοιράζει στους Slaves την πρόσβαση στο κοινό μέσο με τη μέθοδο TDMA/TDD, όπου ο χρόνος διαμοιράζεται σε αυστηρά καθορισμένες χρονοθυρίδες. Ο Master εκπέμπει στις περιττές χρονοθυρίδες και οι Slaves στις άρτιες. Κάθε κόμβος που θέλει να εκπέμψει λαμβάνει από το Master το δικαίωμα μετάδοσης σε 1, 3 ή 5 συνεχόμενες χρονοθυρίδες, ενώ κατά τη διάρκεια εκπομπής ενός πακέτου δεδομένων δεν γίνεται εναλλαγή συχνότητας. Οι Slaves χαρακτηρίζονται σε

παγκόσμιο επίπεδο από μοναδική διεύθυνση 48-bit και αποστέλλουν μόνο στο Master, ο οποίος, στη συνέχεια, αποστέλλει τα πλαίσιά τους στον τελικό παραλήπτη.

Δύο ή περισσότερα riconets μπορούν να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο. Οι κόμβοι μπορούν να συμμετέχουν ταυτόχρονα σε περισσότερα από ένα riconet και να επικοινωνούν μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα μεγαλύτερης κλίμακας scatternet. Υπάρχουν δύο τύποι συνδέσεων:

1) *Σύγχρονες συνδέσεις*

Έχουν ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 64 kb/s, υλοποιούν συνδεοστρεφή επικοινωνία αυστηρά σημείου προς σημείο, χρησιμοποιούν αλγόριθμους ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων (FEC), δεν πραγματοποιούν επανεκπομπές ή επιβεβαιώσεις και κάθε κόμβος μπορεί να δεσμεύσει το πολύ μία χρονοθυρίδα.

2) *Ασύγχρονες συνδέσεις*

Έχουν ρυθμό μετάδοσης έως 724 kb/s, δυνατότητα πολυεκπομπής (multicast) και πραγματοποιούν έλεγχο ροής και έλεγχο σφαλμάτων με αποστολή θετικών/αρνητικών επιβεβαιώσεων. Για την εκπομπή ενός πακέτου δεδομένων, κάθε κόμβος μπορεί να δεσμεύσει 1, 3 ή 5 χρονοθυρίδες.

3. Τεχνολογία Bluetooth Low Energy (BLE):

Όπως και το κλασικό Bluetooth, αποτελεί βιομηχανικό πρότυπο για WPAN και αναπτύχθηκε από το Bluetooth Special Interest Group. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις επικοινωνίας κόμβων με μικρό μέγεθος, κόστος και εμβέλεια, όπου είναι απαραίτητη η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας (τέτοιες περιπτώσεις αφορούν τόσο την καταγραφή μετρήσεων ζωτικών λειτουργιών του ανθρώπου κατά την άθληση όσο και την ασφάλεια του Smart Home). Βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.1.

Η τεχνολογία BLE λειτουργεί και αυτή στη ζώνη των 2.4 GHz, αλλά χρησιμοποιεί διαφορετικό αριθμό καναλιών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί 40 κανάλια των 2 MHz έναντι των 70 καναλιών του 1 MHz που χρησιμοποιεί το Bluetooth. Η πρόσβαση στο κανάλι γίνεται με πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA) ή χρόνου (TDMA). Ο ρυθμός μετάδοσης είναι 1 Mb/s με χρήση GFSK διαμόρφωσης (Gaussian Frequency Shift Modulation) και η μέγιστη ισχύς μετάδοσης είναι 10 mW. Επίσης, χρησιμοποιείται και στο BLE η τεχνική Frequency Hopping προς αποφυγή παρεμβολών. Τέλος, το πρότυπο υποστηρίζει εγκατάσταση 2^{32} συσκευών σε τοπολογία αστέρα, σημείου-προς-σημείο ή ad-hoc.

Η κύρια διαφορά με το κλασικό Bluetooth είναι ότι το BLE είναι ειδικά σχεδιασμένο ώστε να χρησιμοποιείται από συσκευές με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας λόγω μετάδοσης πακέτων μικρού μήκους.

4. Τεχνολογία Wi-Fi

Η τεχνολογία Wi-Fi βασίζεται στην οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.11, που αφορά WLANs και έχει στόχο να επεκτείνει το 802.3 (Ethernet, το συνηθέστερο πρωτόκολλο ενσύρματης δικτύωσης υπολογιστών) στην ασύρματη περιοχή. Τα πρότυπα 802.11 b/g/n εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4 GHz. Ο όρος Wi-Fi (Wireless Fidelity – Ασύρματη Πιστότητα) έχει επικρατήσει και ως όρος αναφερόμενος στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Συνήθεις εφαρμογές του είναι η ασύρματη σύνδεση στο Διαδίκτυο και η ασύρματη μετάδοση δεδομένων.

Η πρώτη έκδοση του Wi-Fi λειτουργούσε με Frequency Hopping και υποστήριζε ρυθμό μετάδοσης 1 Mb/s, ενώ η δεύτερη έκδοση λειτουργούσε με Direct Sequence (DSSS) με ρυθμό μετάδοσης 1-2 Mb/s. Στη συνέχεια, το 802.11b αύξησε την ταχύτητα μετάδοσης στα 11 Mb/s χρησιμοποιώντας DSSS. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μετάδοσης Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), δύο νεότερα πρότυπα υψηλής ταχύτητας εξέλιξαν το 802.11b παρέχοντας μέχρι 54 Mb/s. Αυτά είναι το 802.11a που λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz χωρίς, όμως, να είναι συμβατό με τις ασύρματες κάρτες δικτύου που υποστηρίζουν 802.11b και το 802.11g που λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz και είναι συμβατό με το 802.11b. Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών εξοπλισμένων με κάρτες 802.11b και 802.11g γίνεται στη υψηλότερη δυνατή κοινή ταχύτητα, αυτήν του 802.11b.

Εκτός των εκδόσεων αυτών, έχουν προταθεί και επεκτάσεις τους, οι οποίες, όμως, δεν έχουν υλοποιηθεί σε εμπορικά προϊόντα αλλά έχουν κυρίως ακαδημαϊκό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, πρόκειται για: (α) το πρότυπο 802.11f ή IAPP (Inter-Access Point Protocol) για άμεση επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών AP με μηδενική απώλεια πλαισίων κατά τη μεταγωγή, (β) το πρότυπο 802.11e που υποστηρίζει ποιότητα υπηρεσίας (QoS – Quality of Service), για διασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου σε επίπεδο WLAN και (γ) το πρότυπο 802.11n, όπου με χρήση πολλαπλών κεραιών με τη μέθοδο MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs) προσφέρεται ονομαστικός ρυθμός μετάδοσης που κυμαίνεται από 108 Mb/s έως και 144 Mb/s.

Με τη διάδοση του Wi-Fi εμφανίστηκε μια νέα μέθοδος πρόσβασης στο Διαδίκτυο, κατά την οποία μια ψηφιακή συσκευή με κάρτα ασύρματης δικτύωσης Wi-Fi μπορεί να συνδεθεί στο Διαδίκτυο εφόσον βρίσκεται εντός της κάλυψης ασύρματου δικτύου που ονομάζεται σημείο πρόσβασης (Access Point) και είναι ήδη συνδεδεμένο στο Διαδίκτυο. Μια περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης συνδεδεμένα μεταξύ τους λέγεται hotspot. Ένα hotspot μπορεί να καλύπτει έκταση που κυμαίνεται από μια αίθουσα μέχρι και χώρο πολλών τετραγωνικών μέτρων, χρησιμοποιώντας εναλλακτικά σημεία πρόσβασης. Συμπερασματικά, η τεχνολογία Wi-Fi επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών μεταξύ τους, τη σύνδεση μια συσκευής με ένα τοπικό δίκτυο και άλλες συσκευές και, στη συνέχεια, μέσω αυτών, στο Διαδίκτυο.

Το 802.11 υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας:

- 1) Τον ισότιμο τρόπο, όπου δεν υπάρχει κεντρικός σταθμός βάσης ή κεντρικό σημείο πρόσβασης, οι κόμβοι είναι ισότιμοι και η πρόσβαση στο κοινό μέσο ρυθμίζεται από κάποιο καταναμημένο πρωτόκολλο, όπως το CSMA (που προτιμάται για τα ad-hoc WLAN)
- 2) Με κεντρικό σημείο πρόσβασης κάποιον κεντρικό κόμβο του τοπικού δικτύου, ο οποίος αναλαμβάνει τον έλεγχο πρόσβασης στο κοινό μέσο και δρα ως αμφίδρομος επαναλήπτης.

Τα WLAN με σημείο πρόσβασης ονομάζονται δίκτυα υποδομής ή δομημένα. Το σύνηθες μοντέλο που περιγράφει τέτοια δίκτυα είναι αυτό όπου υπάρχει ένα ενσύρματο δίκτυο κορμού (σύστημα διανομής, Distribution System – DS) στο οποίο συνδέονται τα σημεία πρόσβασης (AP). Μια ομάδα κοινών κόμβων (Station – STA) που επικοινωνούν ασύρματα με συγκεκριμένο AP σε συγκεκριμένη συχνότητα ονομάζεται Βασικό Σύνολο Υπηρεσιών (Basic Service Set – BSS). Τα BSS διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω του DS. Τα STA ενός BSS μπορεί να μην είναι όλα στην εμβέλεια όλων αλλά πρέπει οπωσδήποτε όλα να είναι στην εμβέλεια του σημείου πρόσβασης που τα εξυπηρετεί.

Το βασικό πρωτόκολλο MAC του 802.11 είναι το DCF, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο CSMA/CA (Collision Avoidance – Αποφυγή Συγκρούσεων) και δίνει λύση στα προβλήματα «κρυμμένου τερματικού» και «εκτεθειμένου τερματικού». Στα δομημένα WLAN, επί του DCF εκτελείται επιπλέον το πρωτόκολλο PCF το οποίο, αξιοποιώντας το AP, προσφέρει στα τερματικά (όταν χρειάζεται) πρόσβαση στο κοινό μέσο χωρίς ανταγωνισμό και συγκρούσεις. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο 802.11 εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των κόμβων. Όσο περισσότερο απομακρυσμένος είναι ο Wi-Fi κόμβος από το σημείο πρόσβασης τόσο χαμηλότερη είναι η αντίστοιχη ταχύτητα μετάδοσης. Επίσης, λόγω της χρήσης του CSMA/CA αντί του CSMA/CD (Collision Detection – Ανίχνευση Σύγκρουσης), η πραγματική ταχύτητα μετάδοσης δεν υπερβαίνει το μισό της ονομαστικής ταχύτητας (για παράδειγμα, τα 54 Mb/s του φυσικού επιπέδου στην πραγματικότητα δεν υπερβαίνουν ποτέ τα 27 Mb/s). Επιπλέον, τα σημεία πρόσβασης που υποστηρίζουν ένα μικτό δίκτυο IEEE 802.11b και IEEE 802.11g υποβιβάζουν την ταχύτητα μετάδοσης σε 18 Mb/s, αρχικά, για να καταλήξουν σε περίπου 6 έως 9 Mb/s όταν εκπέμπουν οι κόμβοι.

Στη δομημένη λειτουργία των πρωτοκόλλων 802.11 υπάρχει μέριμνα για υποστήριξη μετακίνησης κόμβων μεταξύ διαφορετικών BSS διασυνδεδεμένων με DS. Η μετακίνηση τέτοιου είδους ονομάζεται μεταγωγή. Τρία είδη λειτουργιών μετακίνησης υποστηρίζονται για τους σταθμούς: (α) συσχέτιση, η οποία αφορά την ένταξη ενός STA σε ένα BSS με διαπραγμάτευση και αρχικοποίηση παραμέτρων, (β) επανασυσχέτιση, η οποία επιτρέπει τη μετάβαση ενός STA από ένα BSS σε ένα άλλο λόγω κινητικότητας των κόμβων και χαμηλής ποιότητας σήματος και (γ) αποσυσχέτιση, η οποία αφορά τον τερματισμό της σύνδεσης του STA με το BS όπου ανήκε.

Τέλος, ένα σημαντικό ζήτημα του Wi-Fi είναι η ασφάλεια των δεδομένων. Τα πρωτόκολλα 802.11 περιλαμβάνουν έναν προαιρετικό μηχανισμό πιστοποίησης

κόμβων και κρυπτογράφησης δεδομένων (μόνο για δομημένα δίκτυα), που είναι γνωστός ως WEP και λειτουργεί ως εξής: μετά την ανάθεση ενός STA σε ένα BSS, ο κόμβος αποστέλλει στο AP ένα αίτημα πιστοποίησης ταυτότητας. Το AP απαντά με ένα τυχαίο κείμενο το οποίο ο κόμβος κρυπτογραφεί με ένα κλειδί που έχει ρυθμιστεί από τους χρήστες του τοπικού δικτύου και είναι κοινό σε όλους τους κόμβους και το αποστέλλει πίσω στο σημείο πρόσβασης. Το AP επιβεβαιώνει ότι το κείμενο που έλαβε είναι η ορθά κρυπτογραφημένη, δηλαδή σύμφωνα με το σωστό κλειδί, εκδοχή αυτού που έστειλε και απαντά με μια επιβεβαίωση πιστοποίησης και αναθέτει μια ταυτότητα στον υπό πιστοποίηση κόμβο, η οποία γίνεται γνωστή και στους υπόλοιπους κόμβους. Από εκείνη τη στιγμή και μετά, ο πιστοποιηθείς σταθμός μπορεί να ανταλλάσσει δεδομένα στο WLAN με την ταυτότητα αυτή. Όταν ο κόμβος αποφασίσει να αποχωρήσει από το τοπικό δίκτυο, αποστέλλει αίτημα αποπιστοποίησης πριν από την αποσυσχέτιση.

Στον Πιν.2.1 [8] παρουσιάζονται συνοπτικά οι τεχνολογίες που αναφέρθηκαν καθώς και οι σημαντικότερες εφαρμογές τους:

	IEEE 802.15.4 (ZigBee)	IEEE 802.15 (Bluetooth)	IEEE 802.15.1 (Bluetooth Low Energy – BLE)	IEEE 802.11 (Wi- Fi)
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	250 kb/s	3 Mb/s (Enhanced Rate) 1 Mb/s (Basic Rate)	1 Mb/s	27 Mb/s (802.11g) 144 Mb/s (802.11n)
Εμβέλεια	20 m	100 m	15 m	45 m (802.11g) 70 m (802.11n)
Ισχύς εκπομπής	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Υψηλή
Διάρκεια ζωής	Χρόνια	Ημέρες	Χρόνια	Ώρες
Ζώνες συχνοτήτων λειτουργίας	2.4 GHz, 868 MHz, 915 MHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz, 3.6 GHz, 5 GHz
Εφαρμογές	Έξυπνοι μετρητές Σύστημα εσωτερικού φωτισμού Ασφάλεια σπιτιού	Μετάδοση δεδομένων Πληκτρολόγια Σύνδεση συσκευών Υπηρεσίες φωνής – τηλεφώνου	Παρακολούθηση ζωτικών οργάνων Smartwatches Smartphones Tablets	Δικτύωση υπολογιστών Μετάδοση φωνής VoIP (Voice over IP) Video calls Digital audio and video

Πίνακας 2.1
Χαρακτηριστικά και εφαρμογές των πρωτοκόλλων

2.2. Πλεονεκτήματα, χαρακτηριστικά και λειτουργίες του Smart Grid

Το Smart Grid αποτελεί την τεχνολογική εξέλιξη του παραδοσιακού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται εδώ και αρκετές δεκαετίες. Συνδυάζει την υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου με υποδομές επικοινωνιακών και πληροφοριακών συστημάτων και διαθέτει δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που αφορούν τη λειτουργία του. Το σύστημα παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί πλέον να προσαρμόζει τη λειτουργία του με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και την εξοικονόμηση ενέργειας. Προσφέρεται, λοιπόν, η δυνατότητα αυτόματης λήψης αποφάσεων από το ίδιο το Smart Grid και καθίσταται εφικτή η αυτόνομη και ευφυής λειτουργία του.

Οι νέες δυνατότητες που διαθέτει το Smart Grid προσφέρουν πολλαπλά οφέλη τόσο για τους παραγωγούς όσο και για τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα σημαντικότερα από τα οφέλη αυτά είναι:

- *Βελτίωση της αξιοπιστίας*

Σε συνδυασμό με την ανάπτυξη στους τομείς των ηλεκτρονικών αισθητήρων και των μικροελεγκτών, το SG παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο των παραμέτρων λειτουργίας συστημάτων, όπως γεννήτριες και μετασχηματιστές. Τα δεδομένα υπόκεινται σε επεξεργασία για τον εντοπισμό πιθανών βλαβών στα συστήματα και πρόληψη επικειμένων κινδύνων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής και η αξιοπιστία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

- *Ανταπόκριση στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας*

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριφέρεται ως τυχαία διαδικασία που εμφανίζει συχνά αιχμές κατά τις ώρες υψηλής κατανάλωσης, με αποτέλεσμα η ανταπόκριση στη ζήτηση να εξυπηρετείται με παραγωγή ισχύος σε επίπεδα υψηλότερα από το ύψος των αιχμών αυτών. Το Smart Grid, όμως, λόγω των εξελιγμένων υποδομών του προβλέπει τις αιχμές στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και προσαρμόζει την παραγωγή της, ώστε οι ενεργοβόρες διαδικασίες να μετατίθενται σε ώρες χαμηλότερης ζήτησης. Έτσι, προσαρμόζεται η λειτουργία παραγωγών ΗΕ (Ηλεκτρικής Ενέργειας), μειώνεται το περιθώριο περίσσειας ισχύος και εξοικονομούνται πόροι και καύσιμη ύλη.

- *Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*

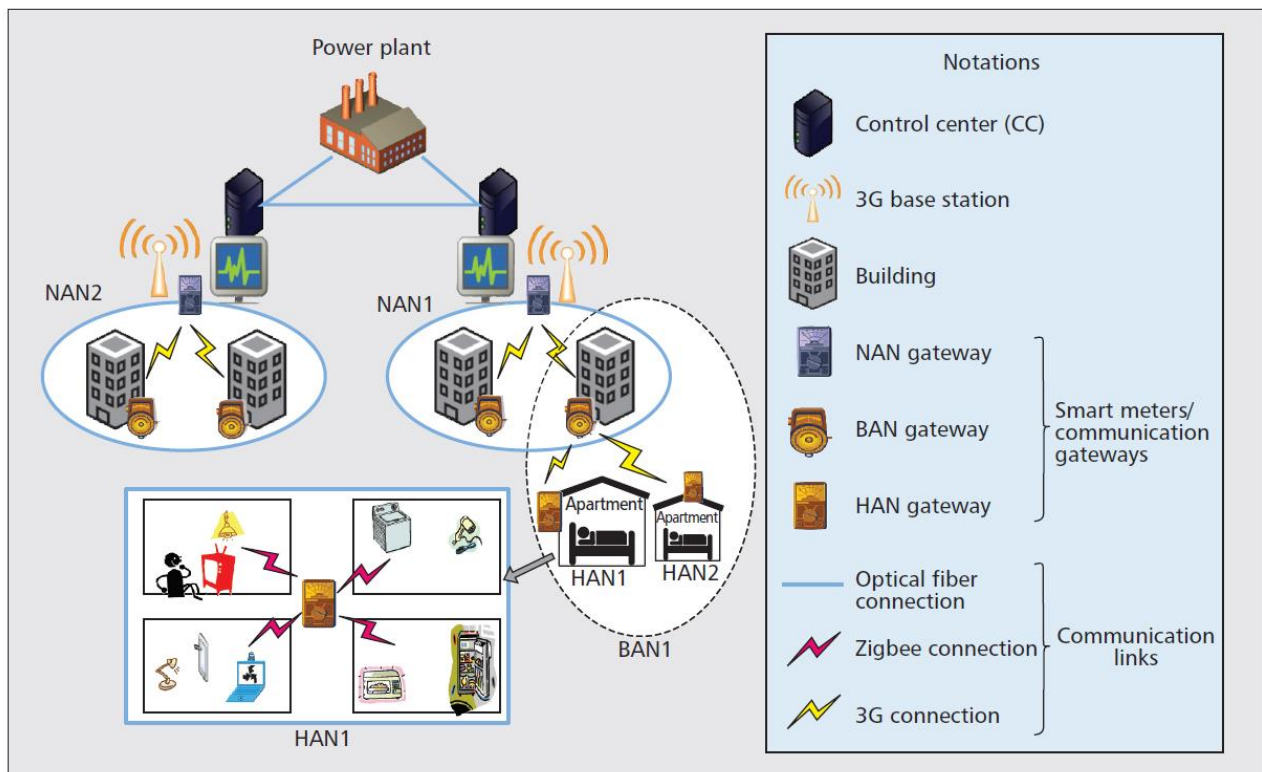
Από το μοντέλο των λίγων μεγάλων σταθμών παραγωγής ΗΕ με το SG αναμένεται η μετάβαση στο μικτό μοντέλο των πολλών μικρών σταθμών παραγωγής με χρήση συστοιχιών ΑΠΕ. Το Smart Grid παρέχει την υποδομή ώστε να παρακολουθείται συνεχώς η παραγόμενη ισχύς από τις συστοιχίες ΑΠΕ και, ανάλογα με τη ζήτηση ισχύος, να μεταβάλλεται δυναμικά η τοπολογία του ηλεκτρικού δικτύου (με εισαγωγή ή εξαγωγή κόμβων) και η ροή ισχύος. Έτσι, διευκολύνεται σημαντικά η είσοδος των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.3. Αρχιτεκτονική των SG συστημάτων

Στο Σχ.2.2 παρουσιάζεται ένα πρότυπο αρχιτεκτονικής ενός συστήματος SG. Παρατηρείται ότι το σύστημα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαχωρισμένο από το σύστημα επικοινωνίας.

Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τα εργοστάσια ηλεκτρισμού στους τελικούς χρήστες μέσω υποσταθμών μεταφοράς (Transmission Substations – TSs), που βρίσκονται κοντά στα εργοστάσια παραγωγής ΗΕ, και μέσω υποσταθμών διανομής της ενέργειας (Distribution Substations – DSs), που βρίσκονται στις διάφορες περιοχές. Το TS μεταφέρει την ΗΕ υπό υψηλή τάση (ΥΤ) από το εργοστάσιο ΗΕ στο DS όπου υποβιβάζεται στη μέση τάση (ΜΤ) και, στη συνέχεια, διανέμεται σε μετατροπείς χαμηλής τάσης ώστε να αξιοποιηθεί στα κτίρια από τους τελικούς καταναλωτές. Η μεταφορά της ενέργειας από τον έναν υποσταθμό στον άλλον πραγματοποιείται μέσω γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος (power lines).

Εντούτοις, η παραδοσιακή αυτή τοπολογία δεν ενδείκνυται για το τμήμα των τηλεπικοινωνιών, επειδή οι τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις έχουν σαφώς διαφορετικές απαιτήσεις και χαρακτηριστικά από τις γραμμές μεταφοράς. Τα TSs και DSs πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους σε μια τοπολογία πλέγματος (mesh topology) που υλοποιείται με χρήση οπτικών ινών. Έτσι, η τοπολογία ενός SG συστήματος μπορεί να παρομοιαστεί με την τοπολογία μιας πόλης (ή μητροπολιτικής περιοχής), που αποτελείται από πολλές γειτονιές, εκάστη των οποίων αποτελείται από πολλά κτίρια και το καθένα αποτελείται από πολλά διαμερίσματα.



Σχήμα 2.2.
Αρχιτεκτονική συστήματος SG

Επομένως, η λειτουργία των SG ακολουθεί τη ρυμοτομική λογική και διακρίνεται στα εξής ιεραρχικά δίκτυα:

- 1) Δίκτυα επιπέδου γειτονιάς (Neighborhood Area Networks – NAN)
- 2) Δίκτυα επιπέδου κτιρίου (Building Area Network – BAN)
- 3) Δίκτυα επιπέδου κατοικίας (Home Area Network – HAN)

Για λόγους απλότητας, θεωρείται ότι κάθε DS αποτελεί μία γειτονιά. Κάθε NAN θεωρείται ότι αποτελείται από πολλά BANs και κάθε BAN από πολλά HANs (έκαστο με το δικό του δίκτυο LAN). Επιπλέον, υπάρχουν Gateways και στα τρία δίκτυα για την επίτευξη αυτόματης επικοινωνίας μεταξύ των μετρητών ενέργειας και των παρόχων ενέργειας. Οι διατάξεις αυτές διαθέτουν δύο διεπαφές (interfaces), μία για μέτρηση της ενέργειας και μία για επικοινωνία (communication gateway – GW). Οι Gateways που βρίσκονται σε ένα NAN, BAN ή HAN ονομάζονται NAN/GWs, BAN/GWs και HAN/GWs αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, παρατίθενται διάφορα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τα επιμέρους δίκτυα [9]:

- *Δίκτυο επιπέδου γειτονιάς (NAN)*

Αποτελείται από ένα σταθμό βάσης 3G ή 4G και από πολλά BANs. Το δίκτυο 3G που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι ξεχωριστό από τα υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών με σκοπό την αποφυγή συμφόρησης στο δίκτυο, τη βελτίωση της ασφάλειας και τη μείωση καθυστερήσεων μετάδοσης στο SG σύστημα. Ο NAN/GW είναι υπεύθυνος για τη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας και τη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε συγκεκριμένη γειτονιά.

- *Δίκτυο επιπέδου κτιρίου (BAN)*

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του Σχ.2.2, κάθε κτίριο στο SG σύστημα έχει και το δικό του BAN, που με τη σειρά του αποτελείται από πολλά HANs. Το BAN/GW τοποθετείται στο σύστημα τροφοδοσίας ενέργειας του κτιρίου και συλλέγει δεδομένα σχετικά με την ενεργειακή ζήτηση και κατανάλωση στο συγκεκριμένο κτίριο. Επιπλέον, προωθεί δεδομένα από τα HANs προς το NAN και συμβάλλει στην επικοινωνία ενοίκων με την κατοικία τους κατά τη λειτουργία του Smart Home.

- *Δίκτυο επιπέδου κατοικίας (HAN)*

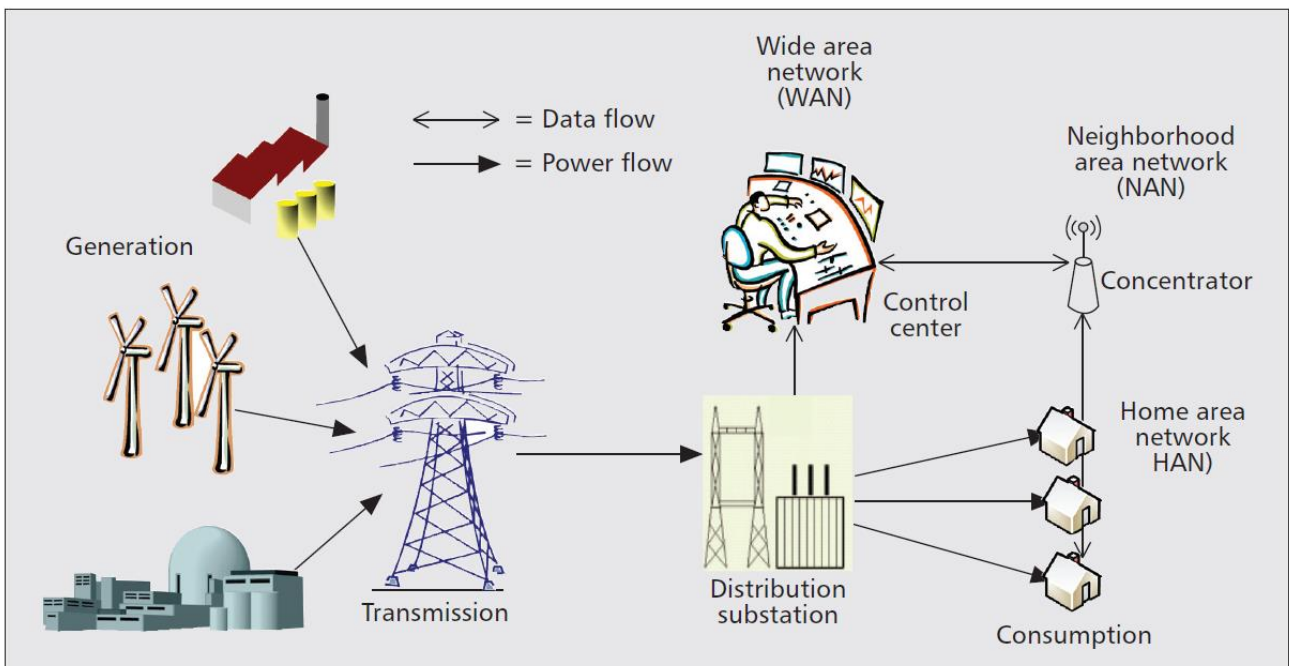
Το HAN αποτελεί το μικρότερο υποσύστημα σε ένα SG σύστημα εξυπηρετώντας τη διαχείριση της ενέργειας σε επίπεδο τελικού καταναλωτή. Στο Σχ.2.2 παρατηρείται ότι το HAN1 συνδέει τις οικιακές συσκευές (τηλεόραση, πλυντήριο, υπολογιστή κ.ά.) στο HAN/GW, το οποίο συλλέγει τα δεδομένα τους και τα προωθεί στο BAN1. Έχοντας υπόψη την προηγηθείσα ανάλυση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι καταλληλότερες τεχνολογίες για ένα HAN πρέπει να είναι το ZigBee και το BLE, λόγω της χαμηλής

κατανάλωσης ενέργειας και της δυνατότητας απλής διαμόρφωσης και διαχείρισης ενός εσωτερικού δικτύου μικρής εμβέλειας. Το Wi-Fi προβλέπεται για περισσότερο απαιτητικές, ως προς το εύρος ζώνης, εφαρμογές. Από την άλλη πλευρά, η επικοινωνία μεταξύ των HANs με τα BANs και, στη συνέχεια, με τα NANs πραγματοποιείται μέσω του 3G ή 4G – LTE Advanced δικτύου.

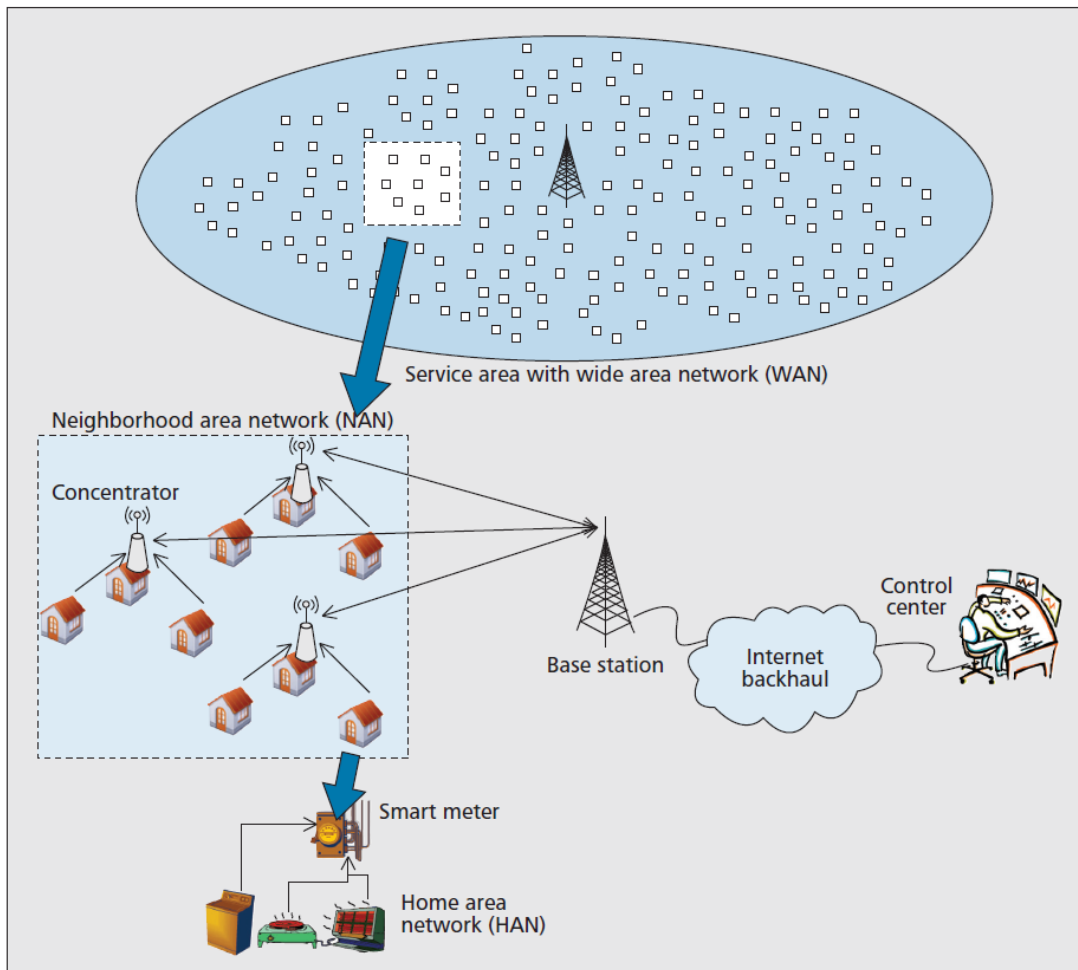
Εκτός των δικτύων που αναφέρθηκαν, ένα SG σύστημα περιλαμβάνει και άλλες δομικές μονάδες [6], όπως:

- Οι έξυπνες συσκευές (smart home appliances ή smart home devices) που είναι εγκατεστημένες στα HANs.
- Οι Gateways, η λειτουργία των οποίων αναλύθηκε προηγουμένως.
- Ο συγκεντρωτής (concentrator), ο οποίος υπάρχει σε κάθε NAN και είναι υπεύθυνος για τη συλλογή δεδομένων από τους smart meters και τη προώθησή τους στον κεντρικό σταθμό του WAN.
- Ο σταθμός βάσης του WAN (WAN base station), που είναι αποδέκτης των δεδομένων που στέλνουν οι συγκεντρωτές από κάθε NAN και, στη συνέχεια, τα αποστέλλει στο κέντρο ελέγχου.
- Το κέντρο ελέγχου (control center), όπου καταλήγουν δεδομένα και μετρήσεις που συλλέγονται από όλα τα NANs.

Στα Σχ.2.3 και 2.4 παρουσιάζονται και άλλες μορφές της δομής ενός SG συστήματος ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η αρχιτεκτονική του:



Σχήμα 2.3.
Γενικότερο μοντέλο ενός Smart Grid.



Σχήμα 2.4.
Συσχέτιση των NANs με το WAN σε ένα SG σύστημα.

Σε περιπτώσεις συμφόρησης του δικτύου NAN, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ο λόγος που προκλήθηκε η συμφόρηση και να μεταβάλει τη δρομολόγηση πακέτων, ώστε να αποσυμφορηθεί η κίνηση δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, οι διαχειριστές δικτύων NAN προβαίνουν σε μια σειρά ενεργειών:

- Προτεραιοποίηση ενοίκων
- Προτεραιοποίηση BANs
- Προτεραιοποίηση υπηρεσιών – εφαρμογών
- Περιορισμός του εύρους ζώνης για συγκεκριμένους χρήστες
- Περιορισμός του εύρους ζώνης για συγκεκριμένες εφαρμογές

Έχοντας προσδιορίσει τους ενοίκους και τις εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη προτεραιότητα, οι διαχειριστές των δικτύων NAN εφαρμόζουν μια σειρά από μεθόδους προκειμένου να αποφευχθεί η συμφόρηση του δικτύου. Για παράδειγμα, μπορούν να

ορίσουν μεγαλύτερη προτεραιότητα σε συγκεκριμένους ενοίκους ή HANs ανάλογα με τη διεύθυνση IP προέλευσης ή προορισμού των δεδομένων. Επίσης, μπορεί να οριστεί μια υπηρεσία φωνής μέσω του Διαδικτύου (VoIP – Voice Over IP) να προηγείται έναντι μιας υπηρεσίας ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail).

Ορίζονται τρεις τύποι για ουρές αναμονής πακέτων:

- *Ουρά αναμονής από υψηλή προς χαμηλή προτεραιότητα*, όπου πρώτα αποστέλλονται τα πακέτα δεδομένων από κόμβους ή υπηρεσίες υψηλής προτεραιότητας
- *Ισοσταθμισμένη ουρά αναμονής*, όπου τα πακέτα δεδομένων αποστέλλονται με ίση προτεραιότητα
- *Ταξική ουρά αναμονής*, όπου η αποστολή πακέτων μεταβάλλεται ανάλογα με IP διευθύνσεις, πρωτόκολλα δρομολόγησης και υπηρεσίες

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για προτεραιοποίηση πακέτων είναι το IEEE 802.1P. Πρόκειται για μία τεχνική σε επίπεδο διευθύνσεων MAC. Η επικεφαλίδα 802.1P ενός προς μετάδοση πακέτου αποτελείται από τρία bits που ορίζουν την προτεραιότητα μετάδοσης του συγκεκριμένου πακέτου. Αυτά τα τρία bits αποτελούν την ετικέτα P (P-tag) στην επικεφαλίδα του πακέτου. Ο κόμβος που λαμβάνει αυτό το πακέτο διαβάζει την επικεφαλίδα και τοποθετεί το πακέτο στην κατάλληλη ουρά αναμονής.

Υπάρχουν οκτώ επίπεδα προτεραιότητας και, συνεπώς, οκτώ ουρές αναμονής που δημιουργούνται. Το επίπεδο 7 αντιπροσωπεύει την υψηλότερη προτεραιότητα και ορίζεται για εφαρμογές έκτακτης ανάγκης όπως η ασφάλεια μιας κατοικίας. Τα επίπεδα 6 και 5 ορίζονται για εφαρμογές μεγάλης ταχύτητας μετάδοσης, όπως εφαρμογές βίντεο και φωνής. Τα επίπεδα 4 και κάτω ορίζονται για συνηθισμένες εφαρμογές μετάδοσης δεδομένων, όπως αποστολή αρχείων. Το επίπεδο 0 ορίζεται για εφαρμογές όπου η μικρή ταχύτητα μετάδοσης δεν αποτελεί πρόβλημα επικοινωνίας.

Ο κόμβος – μεταγωγέας που λαμβάνει ένα πακέτο με P-tag το τοποθετεί σε μια ουρά αναμονής ανάλογα με το επίπεδο προτεραιότητας. Ο κόμβος – μεταγωγέας διαθέτει έναν Μετατροπέα Μεταβατικής Διεύθυνσης του δικτύου (Transition Network Management Aggregation Converter – TNMAC) που υποστηρίζει πακέτα με την τεχνική 802.1P και τα ταξινομεί ανάλογα με το P-tag τους σε ουρές αναμονής υψηλής ή χαμηλής προτεραιότητας, θέτοντας συγκεκριμένα κατώφλια. Για παράδειγμα, αν το κατώφλιο έχει τεθεί στο επίπεδο 4, ένα πακέτο με P-tag=5 προωθείται σε ουρά υψηλής προτεραιότητας ενώ ένα πακέτο με P-tag=3 προωθείται σε ουρά χαμηλής προτεραιότητας. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα και σε συγκεκριμένους χρήστες (π.χ. ενοίκους σε ένα Smart Home) να ορίζουν υψηλή προτεραιότητα σε συγκεκριμένη θύρα αποστολής, όπως μια συγκεκριμένη διεύθυνση IP, καθώς και η δυνατότητα να ελέγχουν σε πραγματικό χρόνο την προτεραιοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών τους. Η έννοια της προτεραιοποίησης θα αναλυθεί και στο Κεφ.5 της παρούσας Εργασίας.

Οι έννοιες των NAN, BAN και HAN δεν περιορίζονται μόνο στο πλαίσιο των SG συστημάτων αλλά αποτελούν δομικές μονάδες ενός ευρύτερου σχεδίου όσον αφορά στο σχεδιασμό και υλοποίηση των έξυπνων κατοικιών και, κατ' επέκταση, της έξυπνης πόλης. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στο Smart Home και συγκεκριμένα στη δομή, στο εσωτερικό δίκτυο και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ SMART HOME

3.1. M2M Επικοινωνίες σε εσωτερικό οικιακό δίκτυο

Έχοντας περιγράψει στα προηγούμενα κεφάλαια τον τρόπο λειτουργίας των M2M συσκευών, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και την αρχιτεκτονική μιας έξυπνης πόλης, το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στο σχεδιασμό και την υλοποίηση του Smart Home.

Η τεχνολογία του εσωτερικού δικτύου μιας κατοικίας εξελίσσεται ραγδαία και μπορεί να περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος συσκευών, όπως κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές, τηλεοράσεις, συστήματα ήχου κ.ά. Στις συσκευές αυτές έρχεται να προστεθεί και η δυνατότητα M2M επικοινωνιών, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση ισχύος, χαμηλό κόστος και χαμηλή έως μηδενική ανθρώπινη παρέμβαση. Στο εσωτερικό μιας κατοικίας, η επικοινωνία αυτή θα εξυπηρετεί ένα πλήθος έξυπνων συσκευών μέσω ενός Gateway. Ο ρόλος του Gateway είναι πολύ σημαντικός καθώς είναι υπεύθυνος για (i) τη σύνδεση των συσκευών μεταξύ τους και (ii) τη σύνδεση του εσωτερικού δικτύου με άλλα δίκτυα, κυρίως με το Διαδίκτυο.

Στο εσωτερικό δίκτυο, οι M2M επικοινωνίες πραγματοποιούνται σε τρεις (3) φάσεις:

- 1) συλλογή δεδομένων (data collection), κατά την οποία εκ μέρους του Gateway πραγματοποιείται η συλλογή των δεδομένων από τους κόμβους – συσκευές
- 2) μετάδοση δεδομένων (data transmission), κατά την οποία πραγματοποιείται η αποστολή των δεδομένων από τον Gateway προς το εξωτερικό δίκτυο,
- 3) επεξεργασία δεδομένων (data processing), κατά την οποία πραγματοποιείται ανάλυση των δεδομένων σε ένα κέντρο ελέγχου και λήψη αποφάσεων.

Όσον αφορά στην κατασκευή των M2M συσκευών, τίθενται ορισμένοι περιορισμοί σχετικά με τη χρήση τους σε εσωτερικό δίκτυο Smart Home. Οι περιορισμοί αυτοί [4] σχετίζονται με τα εξής:

- *Παρεμβολές (interference):*
Υπάρχουν ολοένα και περισσότερες παρεμβολές λόγω συνύπαρξης με άλλες ραδιοεπικοινωνίες στο εσωτερικό του Smart Home, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη υποβάθμιση της επίδοσης των M2M επικοινωνιών.

- *Δυναμική συμπεριφορά των ασύρματων καναλιών (channel dynamics):*
Τα ασύρματα κανάλια στις M2M επικοινωνίες εμφανίζουν συμπεριφορά δυναμικά μεταβαλλόμενη λόγω των διακυμάνσεων στην ταχύτητα μετάδοσης των κόμβων, του θορύβου και της δυσμενούς τοπολογίας των εσωτερικών χώρων.
- *Περιορισμένοι πόροι (resource restraints):*
Οι M2M συσκευές υπόκεινται σε σοβαρούς περιορισμούς όσον αφορά στην υπολογιστική τους δύναμη, τη μνήμη, το εύρος ζώνης και την ισχύ τους. Οι περιορισμοί αυτοί συχνά προκαλούν προβλήματα που επηρεάζουν δυσμενώς την κατανάλωση ενέργειας, την αξιοπιστία και την ευελιξία των συσκευών.
- *Ετερογένεια συσκευών (device heterogeneity):*
Λόγω του μεγάλου αριθμού έξυπνων συσκευών μέσα στο σπίτι, υπάρχουν συχνά διαφορετικές, ως προς το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιούν, πηγές δεδομένων, με αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας στο σχεδιασμό του εσωτερικού δικτύου.
- *Δυνατότητα αυτοοργάνωσης (self-organization):*
Απαραίτητη προϋπόθεση για τη ορθή λειτουργία και επικοινωνία των M2M συσκευών είναι να μην απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Επομένως, οι M2M συσκευές πρέπει να λειτουργούν αυτόνομα, δηλαδή να χαρακτηρίζονται από αυτοοργάνωση, αυτοδιαχείριση και αυτο-ίαση.
- *Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS):*
Η ποιότητα υπηρεσίας είναι καθοριστικός παράγοντας σε οποιαδήποτε επικοινωνία, καθώς σχετίζεται με την αξιοπιστία της εξυπηρετούμενης υπηρεσίας.
- *Ασφάλεια (security):*
Το χαμηλό κόστος και η απουσία ανθρώπινης παρέμβασης καθιστούν τις συσκευές M2M ευάλωτες σε φυσικές επιθέσεις και παραβίαση των κανόνων διαπίστευσης ή πιστοποίησης, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη παραβίαση της ιδιωτικότητας των χρηστών.

Στη συνέχεια, θα γίνει αναφορά στην αρχιτεκτονική ενός Smart Home, τις σημαντικότερες υπηρεσίες και λειτουργίες του, καθώς και ορισμένες εμπορικές εφαρμογές.

3.2. Χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής ενός οικιακού M2M δικτύου

Το οικιακό M2M δίκτυο είναι από τη φύση του ένα ετερογενές δίκτυο που αποτελείται από ένα δίκτυο κορμού (backbone network) και από πολλαπλά υποδίκτυα

(multiple subnetworks). Στο δίκτυο κορμού υπάρχει ένα κεντρικός κόμβος, γνωστός ως Home Gateway (HAN/GW) που, όπως αναφέρθηκε, είναι υπεύθυνος για τη συλλογή δεδομένων, μετρήσεων και εντολών από όλες τις συσκευές, καθώς και για τη σύνδεση του οικιακού M2M δικτύου με άλλα δίκτυα και κυρίως με το Διαδίκτυο. Κάθε υποδίκτυο λειτουργεί αυτόνομα και συνδέεται με τον HAN/GW και, μέσω αυτού, με τα υπόλοιπα υποδίκτυα. Κάθε κόμβος αποστέλλει και δέχεται δεδομένα και εντολές από τον HAN/GW.

3.2.1. Κατηγορίες δικτύων εντός του Smart Home

Τα δίκτυα διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες, με κριτήριο την απόσταση που υπάρχει μεταξύ των κόμβων τους

- **Δίκτυα Περιοχής Σώματος (Body Area Networks – bAN):**

Σε αντιδιαστολή με τα BANs (Building Area Networks), τα bANs αναφέρονται σε M2M επικοινωνίες που πραγματοποιούνται σε αποστάσεις μικρότερες των δύο μέτρων. Οι επικοινωνίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ανθρωποκεντρικές και χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες: (α) Intra-bAN, που αναφέρονται στην επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων που τοποθετούνται επί ή μέσα στο ανθρώπινο σώμα και (β) Inter-bAN, που σχετίζονται με τις επικοινωνίες που πραγματοποιούνται μεταξύ bANs και εξωτερικών σημείων πρόσβασης. Λόγω της συνύπαρξης με τον ανθρώπινο οργανισμό, οι bANs πρέπει να διαθέτουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά στην κατανάλωση πόρων, το μέγεθος και την ισχύ εκπομπής. Επιπλέον, το ανθρώπινο σώμα, που σε πολλές περιπτώσεις λειτουργεί ως μέσο διάδοσης των σημάτων, διαφέρει από τον αέρα, θέτοντας σημαντικές προκλήσεις για την κατασκευή και επικοινωνία των βιο-αισθητήρων.

Η σημαντικότερη εφαρμογή των bANs σχετίζεται με την απομακρυσμένη ιατρική και την απομακρυσμένη παρακολούθηση ατόμων με ειδικές ανάγκες, καθώς και ηλικιωμένων. Προς τούτο, σχηματίζονται δίκτυα βιο-αισθητήρων στο εσωτερικό και επί του ανθρώπινου σώματος που πραγματοποιούν λειτουργίες ανίχνευσης, συλλογής και μετάδοσης δεδομένων σχετικά με την πίεση του αίματος, τον κορεσμό οξυγόνου, τους καρδιακούς παλμούς, τη θερμοκρασία σώματος, τον καρδιακό ρυθμό κ.ά. Τα δεδομένα αυτά είτε αποθηκεύονται στον Gateway του δικτύου των βιο-αισθητήρων για απομακρυσμένη πρόσβαση είτε αποστέλλονται σε κάποιο νοσοκομείο ή το γιατρό αυτόματα ή και χειροκίνητα, ενώ ο άνθρωπος βρίσκεται στην κατοικία του. Έτσι, τα ιατρικά δεδομένα ενός ατόμου μετατρέπονται σε πληροφορία περί της κατάστασής του και η λήψη αποφάσεων από συγγενείς και από εξειδικευμένο προσωπικό γίνεται κατά απομακρυσμένο τρόπο.

- **Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής (Personal Area Networks):**

Αφορούν επικοινωνίες που πραγματοποιούνται σε περιοχές έως 10 μέτρα σε περιβάλλον κατοικίας. Αποτελείται, κυρίως, από Gateways και smart devices που σχηματίζουν ένα εσωτερικό δίκτυο για τη σύνδεση των συσκευών μεταξύ τους και την καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων. Τα καταλληλότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας για το σκοπό αυτό είναι το ZigBee και το Bluetooth, με τα οποία μπορούν να ελέγχονται το έξυπνο ψυγείο, ο έξυπνος φούρνος, η έξυπνη τηλεόραση και άλλες συσκευές. Οι έξυπνες αυτές συσκευές αποστέλλουν τα δεδομένα τους στον HAN/GW και θα λαμβάνουν από τους ενοίκους εντολές σχετικά με τη λειτουργία τους. Τα δεδομένα αυτά θα αφορούν την κατάστασή τους (για παράδειγμα, αν βρίσκονται σε λειτουργία, πόσο ζεστό ή φωτεινό είναι ένα δωμάτιο, πόση υγρασία υπάρχει κτλ.), ενώ οι εντολές που θα δέχονται θα αφορούν τη διαφοροποίηση της λειτουργίας τους (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της συσκευής, μείωση/ελάττωση παραμέτρων λειτουργίας κτλ.). Σημαντική, επίσης, αναμένεται να είναι και η μέτρηση και ο έλεγχος της ενεργειακής κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο.

- **Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (Local Area Networks – LAN):**

Αφορούν επικοινωνίες μεταξύ των εσωτερικών δικτύων με το εξωτερικό δίκτυο ή μεταξύ M2M συσκευών στο εσωτερικό δίκτυο, αλλά με μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ταχύτητα και εύρος ζώνης. Το καταλληλότερο πρωτόκολλο στην περίπτωση αυτή είναι το Wi-Fi καθώς (i) επιτρέπει την επικοινωνία σε μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με ZigBee και Bluetooth και (ii) υποστηρίζει μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων σε ορισμένες ειδικές εκδόσεις (ενδεικτικά, αναφέρεται το IEEE 802.11n με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 600 Mb/s). Πάντως, στο πλαίσιο του Smart Home, δεν απαιτούνται τέτοιες ταχύτητες, καθώς οι περισσότερες έξυπνες οικιακές εφαρμογές καλύπτονται και από άλλα πρωτόκολλα του IEEE 802.11.

Το Wi-Fi είναι κατάλληλο για δίκτυα HAN και NAN λόγω των ταχυτήτων μετάδοσης και της κάλυψης που παρέχει. Σε ένα SG σύστημα, τα NANs θα συλλέγουν μετρήσεις για ενεργειακή κατανάλωση από όλες τις κατοικίες μιας περιοχής και θα τα αποστέλλουν σε ένα κέντρο ελέγχου. Εφόσον απαιτείται επικοινωνία μεταξύ NANs, αυτή πραγματοποιείται μέσω Wi-Fi. Επίσης, δεδομένης της αύξησης των συσκευών πολυμέσων (multimedia devices) στο εσωτερικό των οικιακών χώρων, προκύπτει η ανάγκη ανάπτυξης οικιακών δικτύων, δηλαδή των HANs. Για τα HANs, το Wi-Fi αναμένεται να αποτελέσει και πάλι τη λύση, αφού οι συσκευές πολυμέσων απαιτούν συνήθως μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης σε σχέση με αυτές που μπορούν να υποστηρίξουν το ZigBee και το Bluetooth. Τέτοιες συσκευές πολυμέσων είναι οι υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα και οι τηλεοράσεις (όλα συνδεδεμένα στο ίντερνετ).

3.2.2. Home Gateway

Μετά την προηγηθείσα ανάλυση, γίνεται αντιληπτός ο σημαντικός ρόλος του HAN/GW. Πρέπει να είναι ικανός να προσαρμόζεται σε μεταβλητές παραμέτρους και συνθήκες και να αλληλεπιδρά έξυπνα τόσο με εσωτερικές συσκευές και δίκτυα όσο και με εξωτερικά δίκτυα (π.χ. το Διαδίκτυο).

Στο Σχ.3.1 φαίνεται ένας τυπικός Home Gateway ο οποίος υλοποιεί τρεις βασικές λειτουργίες:



Σχήμα 3.1.
Home Gateway

1) *Διασύνδεση δικτύων:*

Ο HAN/GW πραγματοποιεί τη σύνδεση ετερογενών δικτύων μεταξύ τους με χρήση IP τεχνολογίας

2) *Διαχείριση δικτύων:*

Ο HAN/GW διαχειρίζεται συσκευές και πόρους μέσω των διεθνών προτύπων Universal Plug-and-Play (UPnP) και Digital Living Network Alliance (DLNA). Για τη λειτουργία αυτή, αναγκαία προϋπόθεση είναι η εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS), της προστασίας δεδομένων και της ασφάλειας του HAN από εξωτερικές επιθέσεις, κυβερνοεπιθέσεις ή κακόβουλες επιθέσεις.

3) *Διαχείριση εφαρμογών:*

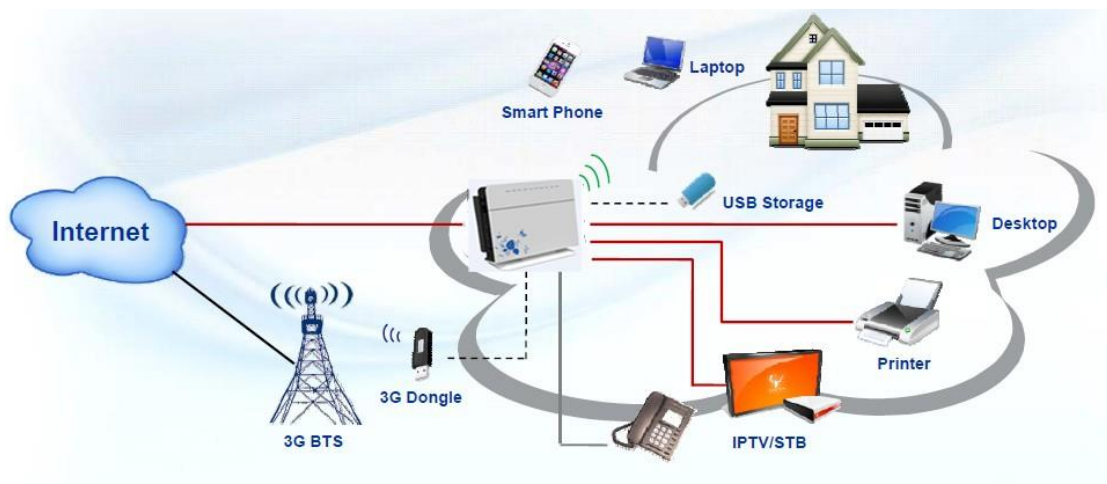
Ο HAN/GW κατανέμει κάθε εργασία σε μικρότερες εντολές και διαδικασίες. Πριν από κάθε M2M επικοινωνία, το περιεχόμενο της εκάστοτε εντολής από τον ένοικο προς το οικιακό δίκτυο αναλύεται και υπόκειται σε επεξεργασία, προκειμένου να αποφασιστεί σε ποιον κόμβο θα αποσταλεί και ποια λειτουργία αυτός θα επιτελέσει.

Ο HAN/GW, λοιπόν, είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της uplink και downlink κίνησης σε μια κατοικία. Η uplink κίνηση αναφέρεται στη συνεργαζόμενη μετάδοση δεδομένων από το εσωτερικό οικιακό δίκτυο προς το συνεργαζόμενο σταθμό βάσης του 3G ή 4G δικτύου επικοινωνιών, ενώ η downlink κίνηση αναφέρεται στην αντίστροφη μετάδοση δεδομένων, δηλαδή από το σταθμό βάσης προς την κατοικία.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι έξυπνες συσκευές μιας κατοικίας συνδέονται στον HAN/GW και αυτός προωθεί τα δεδομένα τους στο σταθμό βάσης. Για εξοικονόμηση τηλεπικοινωνιακών πόρων και αποφυγή υπερφόρτωσης του δικτύου επικοινωνίας, προτείνεται η ταξινόμηση και αποστολή των δεδομένων σε ώρες χαμηλής τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης για τις οποίες προβλέπεται προτεραιότητα για άμεση αποστολή στο κεντρικό δίκτυο (τέτοιες περιπτώσεις είναι η ειδοποίηση για πυρκαγιά, για εισβολή διαρρηκτών στην κατοικία, για αυξημένα επίπεδα επικίνδυνων αερίων κτλ.).

Επίσης, ο HAN/GW πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα να ταξινομεί τα δεδομένα που λαμβάνει από το ένοικο της κατοικίας μέσω του δικτύου, ώστε να καταναίμει τις εντολές στις αντίστοιχες έξυπνες συσκευές για την επιτυχή ολοκλήρωσή τους.

Η λειτουργία του HAN/GW φαίνεται από το Σχ.3.2:



Σχήμα 3.2.
Λειτουργία του HAN/GW

3.2.3. Τοπολογίες δικτύων Smart Home

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι τοπολογίες των δικτύων που εμφανίζονται στο Smart Home. Οι διαφοροποιήσεις οφείλονται στο διαφορετικό τρόπο σύνδεσης και επικοινωνίας των κόμβων μεταξύ τους.

Διακρίνονται οι ακόλουθες τοπολογίες:

- **MANET (Mobile Ad-Hoc Network)**

Πρόκειται για ένα αυτορυθμιζόμενο, αυτοοργανούμενο και χωρίς σταθερή υποδομή δίκτυο κινητών συσκευών που συνδέονται μεταξύ τους κατά ασύρματο τρόπο.

Σε ένα MANET κάθε συσκευή έχει την ελευθερία να κινείται προς κάθε κατεύθυνση και, ως εκ τούτου, να μεταβάλλει συχνά τις συνδέσεις της με άλλες συσκευές. Κάθε MANET κόμβος προωθεί και την κυκλοφορία δεδομένων που δεν σχετίζονται με τη δική του δραστηριότητα λειτουργώντας και ως δρομολογητής. Η σημαντικότερη πρόκληση για την υλοποίηση ενός MANET είναι η ενημέρωση του πίνακα δρομολόγησης κάθε συσκευής, έτσι ώστε να διατηρεί συνεχώς τις πληροφορίες που απαιτούνται για την κατάλληλη δρομολόγηση της κυκλοφορίας. Ένα δίκτυο MANET μπορεί να λειτουργεί είτε αυτόνομα είτε μέσω του Διαδικτύου.

Τα δίκτυα MANET αποτελούν αντικείμενο έρευνας από τα μέσα της δεκαετίας του '90, κυρίως λόγω της ραγδαίας εξέλιξης των φορητών υπολογιστών και της επικοινωνίας τους μέσω Wi-Fi. Υπάρχουν οι εξής τύποι MANETs:

- *VANETs (Vehicular Ad-Hoc Networks – Δίκτυα Ad-Hoc Οχημάτων):*
Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων αλλά και ανάμεσα στα οχήματα και τον εξοπλισμό καθ' οδόν.
- *InVANETs (Intelligent Vehicular Ad-Hoc Networks – Ευφυή VANETs):*
Προσφέρουν ένα είδος τεχνητής νοημοσύνης που βοηθά τα οχήματα να συμπεριφέρονται με ευφυείς τρόπους προς αποφυγή και κατά τη διάρκεια συγκρούσεων μεταξύ οχημάτων, ατυχημάτων οδήγησης υπό την επήρεια αλκοόλ κτλ.
- *iMANETs (Internet-based Mobile Ad-Hoc Networks – Διαδικτυακά MANETs):*
Είναι Ad-Hoc δίκτυα που συνδέουν κινητούς κόμβους με σταθερούς ίντερνετ-gateway κόμβους.

Τέλος, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα MANETs είναι τα εξής:

- *Προληπτικά*, με περιοδική διατήρηση της δρομολόγησης (π.χ. FSR, OLSR, DREAM, DSDV, Babel)
- *Αντιδραστικά*, με διαμόρφωση της δρομολόγησης κατ' απαίτηση (π.χ. AODV, DSR, RDMAR)
- *Υβριδικά*, με συνδυασμό των ανωτέρω αντίστοιχα προς την περίπτωση (π.χ. ZRP, ToRA)
- *Ιεραρχικά*, που είναι βασισμένα σε συγκεκριμένη δομή περί συγκεκριμένους κόμβους που έχουν καθορισμένους ρόλους (π.χ. HSR, VSR, DBRD)
- *Γεωγραφικά*, που χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με τη θέση των κινητών κόμβων (π.χ. Greedy, LAR, FACE, GRID, ZHLS)

- **WMN (Wireless Mesh Networks):**

Αποτελούνται από κόμβους οργανωμένους σε τοπολογία πλέγματος (mesh topology) και περιλαμβάνουν τερματικούς κόμβους, δρομολογητές και gateways. Οι κόμβοι αυτοί μπορεί να είναι φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και άλλες φορητές συσκευές. Οι δρομολογητές προωθούν κίνηση δεδομένων από και προς τους gateways οι οποίοι συνήθως, αλλά όχι απαραίτητα, είναι συνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο. Ένα WMN δίκτυο είναι αξιόπιστο και προσφέρει πλουραλισμό τρόπων επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Δηλαδή, όταν ένας κόμβος σταματά να λειτουργεί, οι υπόλοιποι κόμβοι συνεχίζουν να επικοινωνούν, είτε απευθείας είτε μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Επίσης, τα WMN δίκτυα χαρακτηρίζονται από αυτοοργάνωση και αυτό-ίαση.

Η αρχιτεκτονική των WMNs είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει το σχηματισμό δυναμικών δικτύων χαμηλού κόστους και μεγάλου εύρους ζώνης. Πρόκειται για σταθερή τοπολογία, με εξαίρεση τις περιπτώσεις απρόσμενης αστοχίας ή εισαγωγής νέου κόμβου.

Ένα WMN δίκτυο μπορεί να είναι είτε αποκεντρωμένο, χωρίς να ελέγχεται από κάποιον κεντρικό κόμβο, είτε κεντρικά ελεγχόμενο από κάποιον κεντρικό κόμβο. Και στις δύο περιπτώσεις, η κατασκευή είναι σχετικά χαμηλού κόστους αλλά αξιόπιστη και ανθεκτική, αφού κάθε κόμβος χρειάζεται να μεταδίδει μόνο τους γειτονικούς του. Επομένως, κάθε κόμβος λειτουργεί ως ενδιάμεσος δρομολογητής για την επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων που ενδεχομένως απέχουν μεγάλη

απόσταση μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται με εφαρμογή δυναμικών αλγορίθμων δρομολόγησης, που πρέπει πάντα να εξασφαλίζουν την συντομότερη διαδρομή των πληροφοριών/δεδομένων προς τον προορισμό τους.

Όσον αφορά στις εφαρμογές των WMNs, αυτά χρησιμοποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις. Συνήθης είναι η χρήση τους σε δύσκολα περιβάλλοντα όπως σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, σήραγγες, εξέδρες άντλησης πετρελαίου, επιτήρηση πεδίου μάχης, εφαρμογές βίντεο υψηλών ταχυτήτων πάνω σε οχήματα και τηλεμετρία αγωνιστικών αυτοκινήτων, εφαρμογές VoIP (Voice over IP).

Μερικά από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα για WMN δίκτυα είναι τα:

AODV, DSDV, DSR, OLSR, OORP, OSPF, TORA, ZRP.

- **WSN (Wireless Sensor Networks)**

Πρόκειται για ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που αποτελείται από αυτόνομους αισθητήρες διασκορπισμένους για την παρακολούθηση φυσικών φαινομένων ή περιβαλλοντικών μεγεθών, μετρώντας μεγέθη όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η ατμοσφαιρική πίεση κτλ. Μέσω συνεργασίας των κόμβων μεταξύ τους, τα δεδομένα μεταδίδονται σε έναν κεντρικό κόμβο. Αν και το αρχικό κίνητρο για την ανάπτυξη τέτοιων δικτύων υπήρξαν οι στρατιωτικές εφαρμογές (π.χ. παρακολούθηση πεδίων μάχης), πλέον χρησιμοποιούνται σε πολλές εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση και ο έλεγχος της βιομηχανικής παραγωγής, η παρακολούθηση μηχανημάτων υγείας κ.ά.

Ένα WSN αποτελείται από μερικές έως αρκετές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες κόμβων, έκαστος των οποίων συνδέεται σε έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Κάθε WSN κόμβος αποτελείται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τμήματα: ένα πομποδέκτη με εσωτερική κεραία (ή συνδεδεμένο με εξωτερική κεραία), ένα μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας (συνήθως μια μπαταρία). Το μέγεθος των WSN κόμβων είναι πολύ μικρό ενώ το κόστος τους ποικίλλει από μερικά δολάρια μέχρι εκατοντάδες δολάρια, ανάλογα με την πολυπλοκότητά τους. Μάλιστα, οι περιορισμοί σε μέγεθος και κόστος επιφέρουν αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ισχύς και εύρος ζώνης.

Στα κύρια χαρακτηριστικά ενός WSN περιλαμβάνονται οι περιορισμοί κατανάλωσης ενέργειας, η κινητικότητα και η ετερογένεια των κόμβων. Πολύ σημαντική, επίσης, είναι η δυνατότητα κλιμάκωσης του δικτύου και η ικανότητα να αντέχει σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι, ένα WSN μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο υπό αντίξοες συνθήκες όσο και μέσα σε ένα απλό οικιακό δίκτυο, χάρη στην κλιμάκωση του εύρους και των δυνατοτήτων του και της ευκολίας της χρήσης του. Οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως έχουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και περιορισμένη μνήμη. Οι σταθμοί βάσης, όμως, (base stations) έχουν μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ, ενέργεια και πόρους για επικοινωνία. Ενεργούν ως ενδιάμεση πύλη μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και του τελικού χρήστη (π.χ. ένοικος κατοικίας) και προωθούν συνήθως τα δεδομένα

από το WSN σε ένα διακομιστή. Επειδή οι κόμβοι αισθητήρων είναι γενικά επιρρεπείς σε διακοπή λειτουργίας, είναι πιθανό σε ένα WSN δίκτυο ακόμα και ο κεντρικός κόμβος να υποστεί βλάβη και ολόκληρο το δίκτυο να καταρρεύσει. Προς αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων, η αξιοπιστία του δικτύου μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση κατανεμημένου αρχιτεκτονικού ελέγχου, ο οποίος συμβάλλει στη συλλογή δεδομένων και στην παροχή κόμβων με εφεδρικό σύστημα σε περίπτωση δυσλειτουργίας του κεντρικού.

Η ενέργεια είναι ο σπανιότερος πόρος για τους κόμβους WSN και καθορίζει τη διάρκεια ζωής του. Τα WSNs αναπτύσσονται σε μεγάλους αριθμούς σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των απομακρυσμένων και εχθρικών περιοχών, για τις οποίες οι ad-hoc επικοινωνίες αποτελούν αναγκαία προϋπόθεση. Για το λόγο αυτό, εγείρονται τα σημαντικά ζητήματα της μεγιστοποίησης της διάρκειας ζωής, της αντοχής και ανοχής σε σφάλματα και της αυτορύθμισης. Μάλιστα, για εξοικονόμηση ενέργειας, οι κόμβοι συνήθως διακόπτουν εκπομπή/λήψη ραδιοκυμάτων όταν δεν είναι σε χρήση.

Προς αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων, οι κυριότερες εφαρμογές των WSNs είναι:

- *Παρακολούθηση περιοχών:*
Αποτελεί την πλέον συνηθισμένη εφαρμογή των WSNs, που αναπτύσσονται προς τούτο σε περιοχές όπου πρέπει να παρακολουθηθεί κάποιο φαινόμενο. Για παράδειγμα, μια στρατιωτική εφαρμογή είναι η ανίχνευση εχθρικής εισβολής ενώ μια πολιτική εφαρμογή είναι η περιφραξη εγκατάστασης φυσικού αερίου ή αγωγών πετρελαίου.
- *Γεωσκόπηση*
Ένα WSN μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμο για την έρευνα και την επιστήμη της Γεωλογίας για την παρακολούθηση ηφαιστειών, ωκεανών, παγετώνων, δασών κτλ.
- *Παρακολούθηση ποιότητας και ρύπανσης αέρα*
Ο βαθμός ρύπανσης του αέρα πρέπει να μετρείται συχνά με σκοπό την προστασία της υγείας του ανθρώπου και την προστασία του περιβάλλοντος. Η παρακολούθηση των αερίων ρύπων σε πραγματικό χρόνο αποτελεί δύσκολη διαδικασία εξαιτίας της απότομης σε ορισμένες περιπτώσεις αλλαγής των καιρικών συνθηκών. Επίσης, απαιτείται η χρήση ακριβών ασύρματων αισθητήρων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και ανθεκτικότητα στη βροχή και στον άνεμο.
- *Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών*
Στην περίπτωση αυτή, οι WSN κόμβοι μπορούν να είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της

υγρασίας και των αερίων που παράγονται όταν καίγονται δένδρα ή βλάστηση. Η έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιών είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή δράση των πυροσβεστών οι οποίοι, μέσω κατάλληλης WSN υποδομής, είναι σε θέση να γνωρίζουν πότε εκδηλώθηκε μια πυρκαγιά και προς ποια κατεύθυνση εξαπλώνεται.

➤ *Ανίχνευση κατολισθήσεων*

Ένα WSN μπορεί να ανιχνεύσει μικρές κινήσεις του εδάφους και διάφορες μεταβολές πριν ή κατά τη διάρκεια μιας κατολίσθησης, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή έγκαιρα.

➤ *Βιομηχανική παρακολούθηση και καταγραφή δεδομένων*

Η ανάπτυξη των WSNs μπορεί να συμβάλει στη βασική συντήρηση μηχανημάτων και την παρακολούθηση της κατάστασής τους, αφού πραγματοποιεί μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και, μάλιστα, με απομακρυσμένο ασύρματο τρόπο.

➤ *Γεωργία*

Τα γεωργικά WSNs επιτρέπουν στους γεωργούς να πραγματοποιούν ακριβή παρακολούθηση των καλλιεργειών κατά το χρόνο ανάπτυξής τους. Οι αγρότες είναι σε θέση να γνωρίζουν άμεσα την κατάσταση των αγρών και των καλλιεργειών τους, με αποτέλεσμα τη διευκόλυνση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σχετικά με το χρόνο συγκομιδής. Επιπλέον, είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν έξυπνη άρδευση, έχοντας πλήρη γνώση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους, καθώς και της ποσότητας νερού που απαιτεί κάθε φυτό ξεχωριστά. Επιπλέον, τα WSNs είναι χρήσιμα για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε ένα θερμοκήπιο και για τον έλεγχο των συστημάτων υδρονέφωσης, αεραγωγών και περσίδων. Εκεί υπάρχει ανάγκη για διατήρηση συγκεκριμένων καιρικών συνθηκών.

➤ *Παρακολούθηση Smart Home*

Πρόκειται για μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές των WSNs και σχετίζεται με την παρούσα εργασία. Με ένα τέτοιο δίκτυο καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση των δραστηριοτήτων και των συνθηκών μέσα σε ένα Smart Home, όπως είναι ο έλεγχος των επιπέδων θερμοκρασίας, υγρασίας, εντοπισμός καπνού/πυρκαγιάς, σεισμού, πλημμύρας κτλ.

3.3. Υπηρεσίες του Smart Home

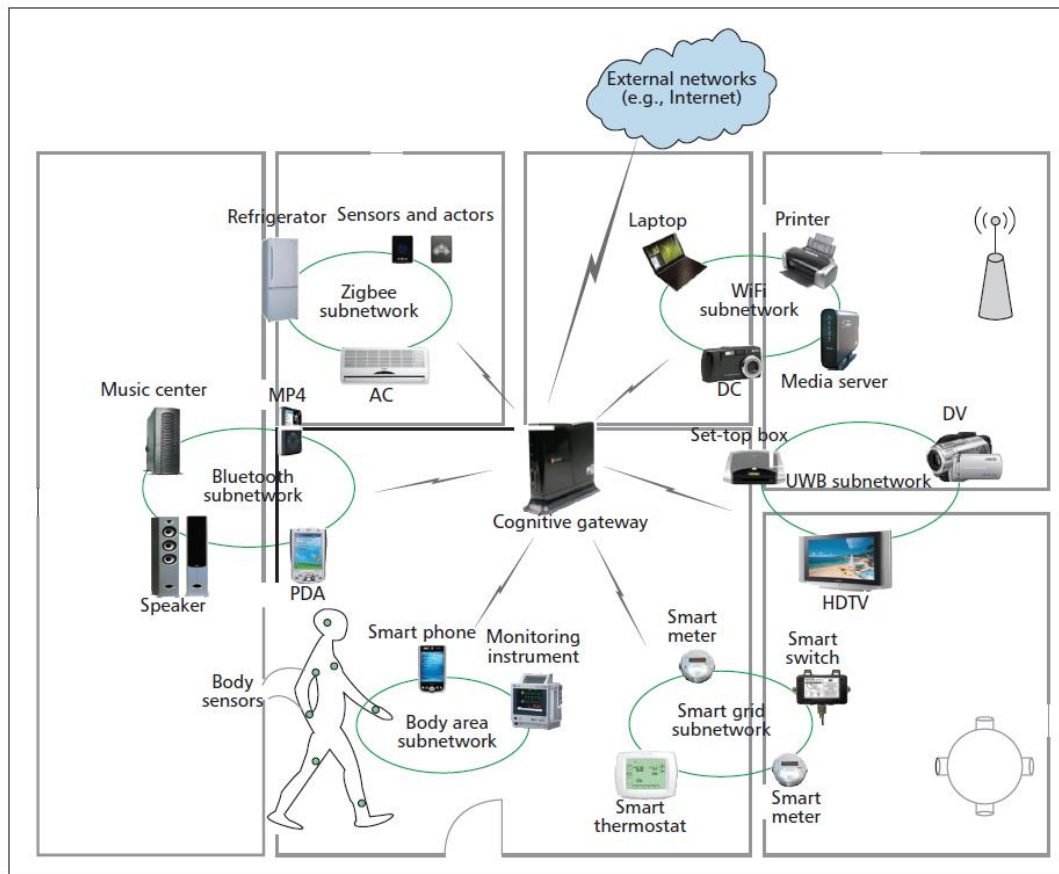
Στη σημερινή εποχή, το Smart Home αποτελεί αναδυόμενη εφαρμογή και προσφέρει ένα σύστημα διαχείρισης κατοικιών με κύρια χαρακτηριστικά την άνεση, την ευκολία, την εξοικονόμηση ενέργειας και την ασφάλεια. Σχετικός είναι ο νέος όρος Οικιακός Αυτοματισμός (Home Automation - HA), που αφορά την εισαγωγή αυτοματισμού στην κατοικία για να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των κατοίκων μέσω της παροχής σχετικών υπηρεσιών. Οι συνήθεις εφαρμογές του HA υλοποιούνται και με ενσύρματες τεχνολογίες που, όμως, είναι πολύπλοκες, ακριβές και μη ευέλικτες. Επομένως, κερδίζει συνεχώς έδαφος το Ασύρματο HA (Wireless Home Automation – WHA) λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει η ασύρματη μετάδοση, με κυριότερα την ευελιξία, την διαλειτουργικότητα και την απόδοση του δικτύου. Ένα WHA δίκτυο αποτελείται από πλήθος έξυπνων συσκευών και αισθητήρων, ασύρματα συνδεδεμένων μεταξύ τους.

Στη συνέχεια, θα περιγραφούν οι κύριες λειτουργίες [3] που προσφέρει το Smart Home με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου και τη διευκόλυνση της καθημερινότητάς του:

- *Έλεγχος φωτισμού*
Οι ένοικοι θα μπορούν να ελέγχουν το φωτισμό της κατοικίας είτε βρίσκονται εντός είτε εκτός της οικίας. Μέσω κατάλληλου εξοπλισμού και εφαρμογών σε smartphone ή tablet, ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί τα φώτα και να καθορίζει την έντασή τους. Επίσης, ο φωτισμός μπορεί να ρυθμιστεί εκ των προτέρων, ώστε να προσαρμόζεται σε συγκεκριμένες καταστάσεις της ημέρας ή ανάλογα με τη διάθεση του/των ενοίκων. Θα προσφέρεται και η δυνατότητα αυτόματης ενεργοποίησης/απενεργοποίησης όταν ο χρήστης εισέρχεται/εξέρχεται από την οικία, αντίστοιχα.
- *Έλεγχος κλιματισμού (HVAC – Heating, Ventilating and Air-Conditioning)*
Κατά παρόμοιο τρόπο, ο χρήστης θα μπορεί να ελέγχει το σύστημα θέρμανσης και ψύξης της οικίας, ακόμα και κατά απομακρυσμένο τρόπο μέσω κατάλληλων εφαρμογών. Θα παρέχεται η δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης των συστημάτων αυτών για εξοικονόμηση ενέργειας, ανάλογα με τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας εντός της κατοικίας. Επίσης, θα πραγματοποιείται και ανίχνευση πιθανών επιβλαβών αερίων μέσα στο οικιακό περιβάλλον.
- *Έξυπνη παρακολούθηση*
Πρόκειται για πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό του WHA, καθώς δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης, μέσω καμερών συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο, της κατάστασης μιας κατοικίας όταν οι ένοικοι απουσιάζουν, ακόμα και όταν βρίσκονται σε διακοπές. Η βασικότερη χρήση του αφορά την απομακρυσμένη επιτήρηση ατόμων με ειδικές ανάγκες, ανήλικων παιδιών και ηλικιωμένων, ώστε σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης να εντοπιστεί το πρόβλημα και να παρασχεθεί η κατάλληλη βοήθεια είτε από συγγενείς είτε από εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό.

- *Έξυπνο κλείδωμα και σύστημα αυτόματης ασφάλειας*
Η οικιακή ασφάλεια αποτελεί πολύ σημαντικό ζήτημα και, ως εκ τούτου, δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί. Όταν ανιχνευθεί απόπειρα παραβίασης ή κακόβουλης επίθεσης εναντίον μιας κατοικίας (π.χ. ρίψη αντικειμένων), το σύστημα αυτόματης ασφάλειας ειδοποιεί αμέσως το χρήστη με την αποστολή e-mail ή SMS στο κινητό του τηλέφωνο. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης ασφάλισης της κατοικίας όταν ο ένοικος εξέρχεται από αυτή και αυτόματης απενεργοποίησής της όταν επιστρέφει.
- *Έλεγχος έξυπνων συσκευών*
Στο εσωτερικό των κατοικιών αναμένεται να υπάρχει πλήθος έξυπνων συσκευών, τις οποίες οι ένοικοι θα είναι σε θέση κάθε χρονική στιγμή να διαχειρίζονται από το smartphone, το tablet ή το laptop τους, ακόμα και όταν απουσιάζουν. Ειδικά στην περίπτωση αυτή, θα υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης απενεργοποίησης των έξυπνων συσκευών, προς εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες συσκευές είναι τα ψυγεία, οι φούρνοι, οι τηλεοράσεις, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, οι θερμοστάτες, τα συστήματα φωτισμού κτλ.
- *Έξυπνη καταγραφή μετρήσεων*
Ο ένοικος θα έχει την πλήρη γνώση των μετρήσεων της κατανάλωσης ενέργειας στην οικία του. Θα παρέχονται λεπτομερή στοιχεία και γραφήματα σχετικά με τις ώρες λειτουργίας, την ενεργειακή κατανάλωση και το προφίλ χρησιμοποίησης των έξυπνων συσκευών και γενικότερα όλου του εξοπλισμού εντός της οικίας.
- *Έξυπνη ρύθμιση κατανάλωσης ενέργειας*
Έχοντας, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, λεπτομερείς μετρήσεις, ο ένοικος θα είναι πλέον σε θέση να ρυθμίζει τη λειτουργία των έξυπνων συσκευών με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Θα λαμβάνει αποφάσεις για το ποιες συσκευές θα λειτουργούν, σε ποιες ώρες της ημέρας, για πόσο χρονικό διάστημα, καθώς και αν χρειάζονται αντικατάσταση.

Στο Σχ.3.3 παρουσιάζονται ορισμένες από τις εφαρμογές που αναλύθηκαν προηγουμένως:



Σχήμα 3.3.
Εφαρμογές του Smart Home

3.4. Εμπορικές λύσεις

Η ραγδαία εξέλιξη του IoT και των M2M επικοινωνιών δεν άφησαν αδιάφορους τους παγκόσμιους ηγέτες του χώρου των ηλεκτρονικών συσκευών και λογισμικού. Εταιρείες-κολοσσί, όπως οι Αμερικανικές Apple, Google, Microsoft και η Κορεάτικη Samsung έχουν συμβάλει τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη λύσεων για το Smart Home, παρέχοντας τις δικές τους πλατφόρμες και το δικό τους σύνολο έξυπνων διατάξεων. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, θα αναλυθούν οι προτεινόμενες λύσεις των δημοφιλέστερων εταιρειών:

- **Apple**

Με την έλευση της έκδοσης iOS 8.1 του λειτουργικού συστήματος κινητών συσκευών, η Apple παρουσίασε και το «**HomeKit**». Πρόκειται για πλατφόρμα με την οποία η Apple δημιούργησε μια κοινή γλώσσα επικοινωνίας για έξυπνες συσκευές, ώστε αυτές να μπορούν να επικοινωνούν και να συνεργάζονται μεταξύ τους.



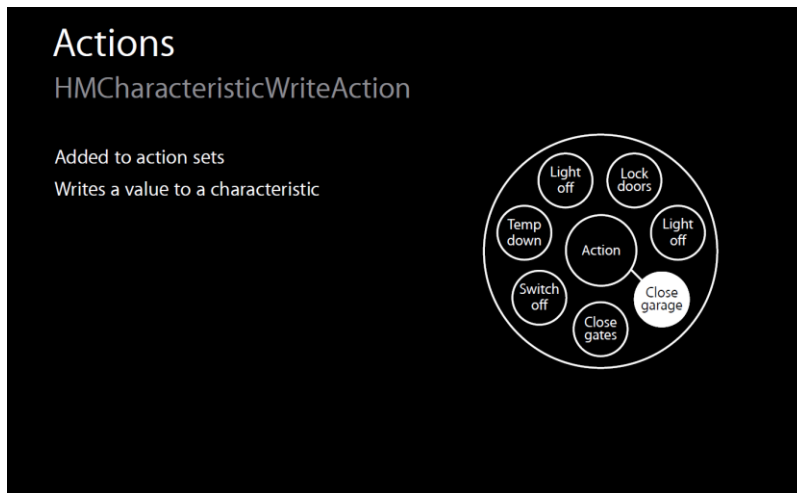
Σχήμα 3.4.
Apple HomeKit

Το HomeKit υποστηρίζει και τη λειτουργία της Siri, της ψηφιακής βοηθού των συσκευών της Apple, με αποτέλεσμα ο ένοικος να μπορεί να ελέγχει απομακρυσμένα τις συσκευές από το smartphone ή tablet του χρησιμοποιώντας απλά τη φωνή του. Δίνοντας φωνητικές εντολές, έχει πλήρη έλεγχο και πρόσβαση στη λειτουργία των έξυπνων συσκευών που βρίσκονται στην κατοικία του, εφόσον αυτές υποστηρίζουν το HomeKit. Η ευκολία που παρέχεται στους ενοίκους είναι σημαντική, αφού δεν χρειάζεται να χρησιμοποιούν μια ξεχωριστή εφαρμογή για κάθε έξυπνη συσκευή. Επιπλέον, θα μπορούν να ομαδοποιούν τις συσκευές σε ολόκληρη ή σε επιμέρους χώρους της κατοικίας και να τις ελέγχουν με μια εντολή Siri (για παράδειγμα: «Άναψε τα φώτα του πάνω ορόφου» - «Turn on the upstairs lights»).

Το HomeKit μπορεί να συνεργάζεται και με συσκευές που δεν το υποστηρίζουν, χρησιμοποιώντας ως γέφυρες επικοινωνίας άλλα πρωτόκολλα, όπως ZigBee και Bluetooth Low Energy (BLE), όχι όμως το Wi-Fi. Η Apple θα επιτρέψει στις γέφυρες να συνδέονται σε άλλες γέφυρες και η καθεμιά το πολύ σε 100 άλλες συσκευές. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ πολλών έξυπνων συσκευών.



Σχήμα 3.5.
Apple HomeKit Remote Access



Σχήμα 3.6.
Apple HomeKit Actions

- **Samsung**

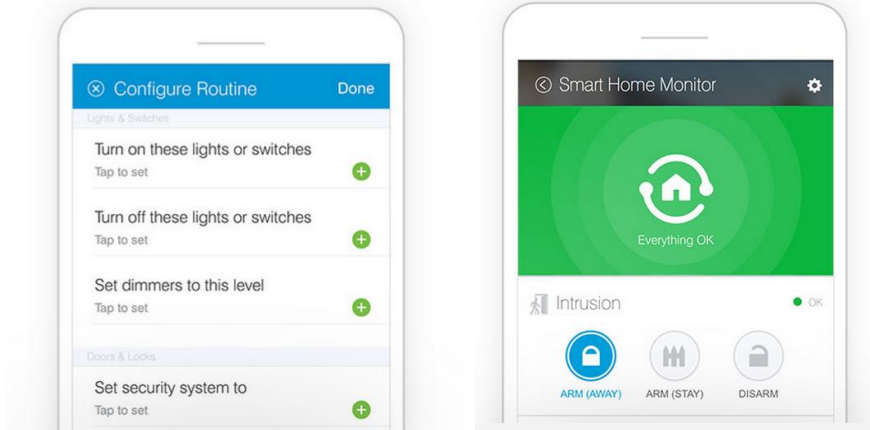
Η Samsung έχει κυκλοφορήσει τη δική της πλατφόρμα έξυπνων συσκευών που ονομάζεται «**SmartThings**». Εγκαθιστώντας την αντίστοιχη εφαρμογή στο smartphone του, ο ένοικος αποκτά έλεγχο των έξυπνων συσκευών που υπάρχουν στην κατοικία του. Μπορεί να λαμβάνει ενημερώσεις για την κατάσταση της κατοικίας και των έξυπνων συσκευών και να δίνει εντολές για συγκεκριμένες λειτουργίες. Υπάρχει η δυνατότητα για απομακρυσμένο έλεγχο του σπιτιού και παρακολούθηση των δραστηριοτήτων που συμβαίνουν στο εσωτερικό του.

Ο απαραίτητος εξοπλισμός αποτελείται από έναν gateway που ονομάζεται «**Hub**», ο οποίος συνδέεται ενσύρματα στο router της οικίας και επικοινωνεί με όλες τις «έξυπνες» συσκευές (ακόμα και αυτές που δεν είναι κατασκευασμένες από τη Samsung), κυρίως μέσω ZigBee.



Σχήμα 3.7.
Samsung Hub

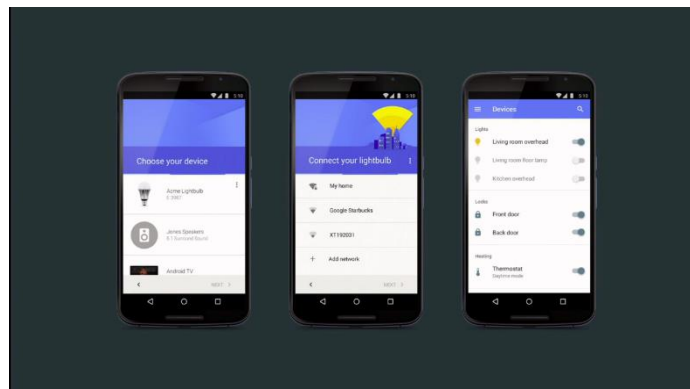
Κατ' αυτόν τον τρόπο, οποιαδήποτε κατοικία μπορεί με απλό τρόπο να μετατραπεί σε Smart Home με την εφαρμογή «Samsung SmartThings» και τον Hub συνδεδεμένο με όλες τις «έξυπνες» συσκευές.



Σχήμα 3.8.
Εφαρμογή Samsung SmartThings

- **Google**

Η Google ανακοίνωσε πρόσφατα το **Google Brillo**, μια πλατφόρμα εξολοκλήρου σχεδιασμένη για το Smart Home. Πρόκειται για ένα λειτουργικό σύστημα αποκλειστικά για έξυπνες συσκευές που θα συμβάλει σημαντικά στην προώθηση του IoT. Προέρχεται από το Android, το δημοφιλές λειτουργικό σύστημα της εταιρείας για κινητές συσκευές, και υπόσχεται επικοινωνία μέσω Wi-Fi και BLE των έξυπνων συσκευών μεταξύ τους, με smartphones, με tablets και με το Διαδίκτυο.



Σχήμα 3.9.
Google's project for Smart Homes

Σύμφωνα με την Google, η υλοποίηση του IoT έχει περισσότερη ανάγκη από εφαρμογές κινητών συσκευών παρά από το Διαδίκτυο. Αυτός είναι και ο λόγος που προχώρησαν στην ανάπτυξη ενός ενιαίου λειτουργικού συστήματος, ώστε να μπορούν οι έξυπνες συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους παρά την ετερογένεια που μπορεί να τις χαρακτηρίζει.

Εκτός από το Brillo, η Google παρουσίασε και το **Weave**, τη μεταξύ πλατφόρμων κοινή γλώσσα που θα επιτρέπει την επικοινωνία των IoT συσκευών μεταξύ τους. Έτσι, η εταιρεία προσπαθεί να δημιουργήσει μια ενιαία πλατφόρμα η οποία θα μπορεί να υποστηρίξει σύνδεση και επικοινωνία των συσκευών στο Smart Home, αλλά και, γενικότερα, στον κόσμο του IoT.



Σχήμα 3.10.
Google Brillo and Weave

Στο χώρο του Smart Home και γενικά του IoT ανταγωνίζονται πλέον αρκετές παγκόσμιες εταιρείες από τον κόσμο της τεχνολογίας. Ενδεικτικά αναφέρονται, οι Microsoft, Nokia, Huawei οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικό έργο τα τελευταία χρόνια για την ανάπτυξη υποδομών και δικτύων επικοινωνίας, καθώς και για τη διάδοση της έννοιας του Smart Home και των M2M επικοινωνιών.

Τέλος, στον Πιν.3.1 γίνεται αναφορά σε ορισμένα εμπορικά προϊόντα που ήδη κυκλοφορούν στην αγορά (ή βρίσκονται στο τελικό στάδιο παραγωγής τους) και υπόσχονται βελτίωση και διευκόλυνση της καθημερινής ζωής του ανθρώπου:

Προϊόν	Περιγραφή
Nest Thermostat	Πρόκειται για αυτορυθμιζόμενο θερμοστάτη που παρέχει ακριβή και αυτόματο έλεγχο της θερμοκρασίας του σπιτιού. Συνδέεται μέσω Wi-Fi με το κεντρικό σύστημα θέρμανσης μιας κατοικίας.
Honeywell Lyric Thermostat	Είναι θερμοστάτης παρόμοιος με τον προηγούμενο, με τη διαφορά ότι προσαρμόζει τα επίπεδα της θερμοκρασίας ανάλογα με την παρουσία ή απουσία των ενοίκων, τον καιρό και τα επίπεδα υγρασίας.
Sentri	Πρόκειται για σύστημα θέρμανσης και παρακολούθησης μιας κατοικίας με κάμερα. Υποστηρίζει βίντεο-κλήσεις μέσω ειδικής εφαρμογής για smartphones.
Canary	Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα ασφαλείας που παρέχει προστασία από ανεπιθύμητες εισβολές. Διαθέτει κάμερα και αισθητήρες υγρασίας και αέρα.
Goji	Πρόκειται για σύστημα ασφαλείας σε πόρτες και παράθυρα, με τη δυνατότητα άμεσης ενημέρωσης του χρήστη με φωτογραφίες των ατόμων που επιχειρούν να εισέλθουν. Λειτουργεί με σύνδεση μέσω Wi-Fi και Bluetooth.
Nest Smoke + CO Alarm	Ανιχνεύει την ύπαρξη επιβλαβών αερίων και καπνού στο οικιακό περιβάλλον και ειδοποιεί άμεσα τους ενοίκους για τον πιθανό κίνδυνο.
Chamberlain MYQ Garage	Ο ένοικος έχει τη δυνατότητα να ανοίγει/κλείνει το γκαράζ του με το πάτημα ενός κουμπιού στο smartphone του. Επίσης, το σύστημα αυτό διαθέτει την δυνατότητα να γνωρίζει αν ο ένοικος απομακρύνεται ή πλησιάζει στην κατοικία και να εκτελεί την κατάλληλη εντολή αυτόματα.
Sleep Number C2 Bed	Το συγκεκριμένο κρεβάτι καταγράφει τον ύπνο του χρήστη, τη διάρκειά του, τις κινήσεις και τους καρδιακούς παλμούς του. Έτσι, παρέχει συμβουλές για τη βελτίωση του ύπνου.
Philips Hue	Πρόκειται για σύστημα φωτισμού της κατοικίας, με το οποίο ο ένοικος μπορεί κάθε στιγμή να μεταβάλλει κατά βούληση από το smartphone του την ένταση και τα χρώματα του φωτισμού. Προσφέρεται, επίσης, δυνατότητα προκαθορισμένης ρύθμισης του φωτισμού.

Πίνακας 3.1.
Εμπορικά προϊόντα για το Smart Home

3.5. Ασφάλεια ασύρματων δικτύων

Τα ζητήματα ασφαλείας είναι μεγάλης σημασίας σε ασύρματα δίκτυα λόγω των υψηλών απαιτήσεων αξιοπιστίας, διαθεσιμότητας και εμπιστευτικότητας. Η ασφάλεια ενός οικιακού δικτύου αποσκοπεί στην αντιμετώπιση δυσμενών καταστάσεων, στην ακεραιότητα δεδομένων και στην αποφυγή υποκλοπών και παρεμβολών της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Εξίσου κρίσιμη είναι η αντιμετώπιση μη εξουσιοδοτημένης εισόδου στο σύστημα, μετάδοσης ψευδών ή αλλοιωμένων μηνυμάτων και απώλεια ή κατασπατάληση πόρων του δικτύου. Είναι φανερό ότι οι συσκευές του Smart Home πρέπει να είναι σχεδιασμένες με επίκεντρο την ασφάλεια της κατοικίας και την αξιοπιστία της μετάδοσης δεδομένων.

Στη συνέχεια, εξετάζονται τα κυριότερα κενά ασφαλείας στα δίκτυα Smart Home, καθώς και οι απαιτήσεις που οφείλουν να πληρούν [47].

3.5.1. Κενά ασφαλείας

Τα κυριότερα κενά ασφαλείας σε ένα δίκτυο Smart Home είναι τα εξής:

- *Αναξιόπιστο μέσο μετάδοσης*
Ένα δίκτυο Smart Home, λόγω της ασύρματης λειτουργίας του, θεωρείται αναξιόπιστο και ευαίσθητο σε επιθέσεις και κακόβουλες ενέργειες τρίτων. Η αναγκαιότητα για αξιοπιστία αυξάνεται στις περιπτώσεις που η δρομολόγηση γίνεται μέσω πολλαπλών βημάτων (multi-hop routing). Η απουσία ανθρώπινης παρέμβασης σε επικοινωνίες M2M καθιστά τα δίκτυα Smart Home επιρρεπή σε φυσικές επιθέσεις.
- *Περιορισμοί κόμβων*
Αυτό ισχύει περισσότερο σε τοπολογίες WSN, όπου αναφέρθηκε πως οι κόμβοι είναι κατασκευασμένοι με περιορισμένες δυνατότητες υπολογισμών, μνήμης και ενέργειας. Εξαιτίας των περιορισμών αυτών, οι περισσότεροι αλγόριθμοι ασφαλείας δικτύων δεν είναι συμβατοί με δίκτυα Smart Home και κρίνονται απαγορευτικά πολύπλοκοι.
- *Ετερογένεια συσκευών*
Λόγω της ετερογένειας των έξυπνων συσκευών σε μια κατοικία), καθίσταται δύσκολος ο συγχρονισμός τους, απαίτηση που έχει μεγάλη σημασία σε ορισμένους μηχανισμούς ασφαλείας.

3.5.2. Απαιτήσεις ασφαλείας

Σε κάθε ασύρματο δίκτυο υπάρχουν κάποιες απαιτήσεις – προδιαγραφές ασφαλείας ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι από επιθέσεις και παρεμβολές. Οι απαιτήσεις αυτές είναι οι εξής:

- *Διαθεσιμότητα (availability)*
Είναι η δυνατότητα προσπέλασης της πληροφορίας από εξουσιοδοτημένο χρήστη, η οποία πρέπει να υφίσταται ακόμα και σε περιπτώσεις διαταραχών.
- *Εμπιστευτικότητα (confidentiality) και Πιστοποίηση ταυτότητας (authentication)*
Πρόκειται για εξασφάλιση της προσπέλασης δεδομένων μόνο από εξουσιοδοτημένες συσκευές και η προστασία των μηνυμάτων από μη εξουσιοδοτημένη αποκάλυψη.
- *Ακεραιότητα (integrity)*
Ορίζεται ως η εξασφάλιση πληρότητας και μη αλλοίωσης των δεδομένων που διακινούνται στους κόμβους του δικτύου.
- *Ιδιωτικότητα (privacy)*
Αφορά στην απόκρυψη και ελεγχόμενη προσπέλαση του περιεχομένου των διακινούμενων μηνυμάτων, στην προστασία του πλαισίου επικοινωνίας και στην ελεγχόμενη συλλογή δεδομένων.
- *Φρεσκάδα δεδομένων (data freshness)*
Πρόκειται για την εξασφάλιση του γεγονότος ότι τα δεδομένα που διακινούνται είναι πρόσφατα και έτσι αποφεύγεται η διακίνηση παλαιών δεδομένων και η σπατάλη ενέργειας από άσκοπες επανεκκινήσεις.
- *Αυτό-οργάνωση (self-organization) και Συγχρονισμός (synchronization)*
Οι σύγχρονοι μηχανισμοί ασφαλείας απαιτούν τα χαρακτηριστικά της αυτό-οργάνωσης και αυτό-ίασης των δικτύων, καθώς και το συγχρονισμό των συσκευών που το αποτελούν.

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι η ασφάλεια ενός δικτύου έχει μέγιστη σημασία στην ορθή λειτουργία του και ειδικά σε ένα Smart Home, όπου η αξιοπιστία, η προστασία και η ασφάλεια κατέχουν πρωταρχική θέση στη ζωή των ενοίκων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΤΙΣ Μ2Μ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστεί η συνύπαρξη των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων πρωτοκόλλων ραδιοεπικοινωνιών μικρής εμβέλειας (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth) και τα σχετικά προβλήματα που προκαλούνται σε οικιακό δίκτυο. Επίσης, θα αναφερθούν σχετικές μελέτες πάνω στο θέμα αυτό και τρόποι αντιμετώπισης των σχετικών προβλημάτων.

Τόσο οι συσκευές που χρησιμοποιούν το IEEE 802.15.4 (ZigBee) όσο και όσες εφοδιάζονται με IEEE 802.11g (Wi-Fi) και Bluetooth χρησιμοποιούν την ISM (Industrial, Scientific and Medical) ζώνη συχνοτήτων (2.4 GHz έως 2.5 GHz). Τέτοιες συσκευές είναι οι υπολογιστές, εκτυπωτές, κινητά τηλέφωνα και πολλές ακόμα. Η ζώνη ISM είναι χωρίς αμφιβολία μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες ζώνες συχνοτήτων. Κατά την ταυτόχρονη λειτουργία τόσων συσκευών σε χώρους περιορισμένης έκτασης ανακύπτουν προβλήματα παρεμβολών λόγω επικάλυψης συχνοτήτων και μειωμένης λειτουργικότητας. Έτσι, εφόσον ληφθούν αντίμετρα για την αντιμετώπιση των παρεμβολών, αναμένεται υποβάθμιση της λειτουργίας των πρωτοκόλλων.

4.1. Συνύπαρξη των Wi-Fi, ZigBee και Bluetooth

Στην αναφορά [30], μέσω τεσσάρων πειραμάτων μελετήθηκε η συνύπαρξη των τριών πρωτοκόλλων. Προέκυψε το συμπέρασμα ότι το ZigBee προκαλεί μεγαλύτερες παρεμβολές στο IEEE 802.11g (Wi-Fi) σε ζεύξεις uplink παρά σε ζεύξεις downlink. Η επίδραση του Bluetooth στο Wi-Fi είναι ακόμα μεγαλύτερη. Επιπλέον, το Wi-Fi δημιουργεί, με τη σειρά του, παρεμβολές και προβλήματα στη λειτουργία του ZigBee.

Στους Πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών:

<i>Test Case</i>	<i>Percentage drop in IEEE 802.11g throughput</i>	<i>Percentage drop in Zigbee throughput</i>
1	Insignificant	10% (from 100% to 90%)
2	Insignificant	10% (from 100% to 90%)
3	Insignificant	22% (from 83% to 65%)

Πίνακας 4.1

<i>Test Case</i>	<i>Percentage drop in IEEE 802.11g throughput due to Bluetooth</i>	<i>Percentage drop in Bluetooth throughput due to IEEE 802.11g</i>
1	12% (from 9.8 Mbps to 8.6 Mbps)	21% (from 554 kbps to 440 kbps)
2	6% (from 9.8 Mbps to 9.2 Mbps)	36% (from 512 kbps to 328 kbps)
3	4.6% (from 9.8 Mbps to 9.35 Mbps)	17% (from 365 kbps to 303 kbps)

Πίνακας 4.2

D2 (meters)	<i>Percentage drop in IEEE 802.11g throughput due to Zigbee</i>	<i>Percentage drop in IEEE 802.11g throughput due to Bluetooth</i>
4	11% (from 9.8 to 8.7 Mbps)	19% (from 9.8 to 7.9 Mbps)
6	6% (from 8.8 to 9.2)	17% (from 9.8 to 8.1 Mbps)
8	Insignificant	20% (from 9.8 to 7.8 Mbps)

Πίνακας 4.3

<i>Percentage drop in IEEE 802.11g throughput when using Zigbee</i>	<i>Percentage drop in IEEE 802.11g throughput when using Bluetooth</i>
6% (from 6.7 to 6.3 Mbps)	52% (from 6.7 to 3.2 Mbps)

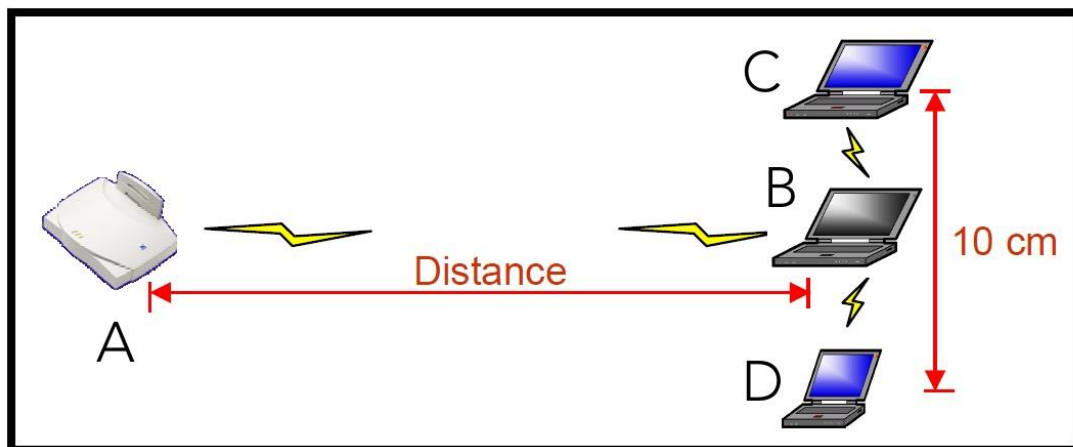
Πίνακας 4.4

4.2. Συνύπαρξη Wi-Fi και Bluetooth

Η έρευνα [14] ασχολείται με τα προβλήματα που προκαλούνται από τη συνύπαρξη των πρωτοκόλλων Wi-Fi και Bluetooth στον ίδιο χώρο. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήσε δύο πειράματα με σκοπό να ελέγξει την επίδραση του ενός στο άλλο με ταυτόχρονη μεταβολή της απόστασης μεταξύ των δικτύων Wi-Fi και Bluetooth που σχηματίζονταν.

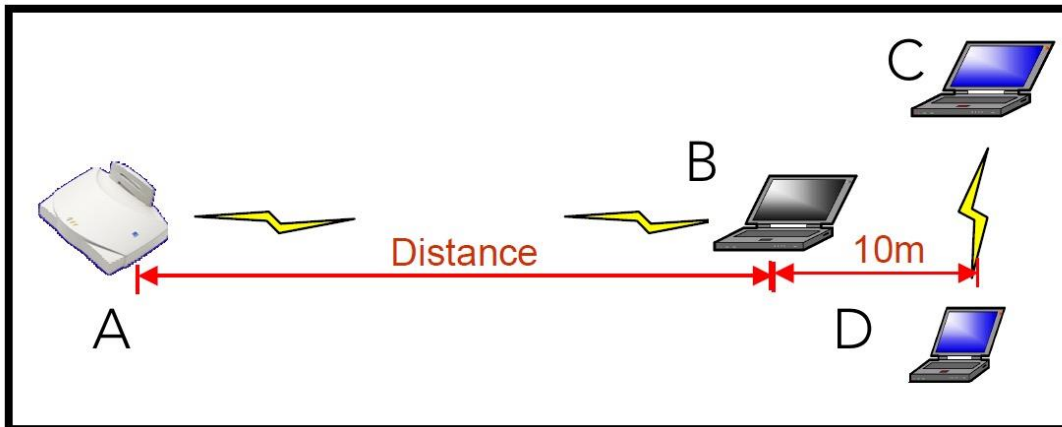
4.2.1. Επίδοση Wi-Fi παρουσία παρεμβολών από Bluetooth

Δύο συσκευές Bluetooth (C και D) τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν ενός υπολογιστή (B) που βρισκόταν σε ένα δίκτυο Wi-Fi, όπως απεικονίζεται στο Σχ.4.1. Η απόσταση μεταξύ των συσκευών Bluetooth ορίστηκε στα δέκα εκατοστά. Πρόκειται για το χειρότερο σενάριο παρεμβολής σε Wi-Fi.



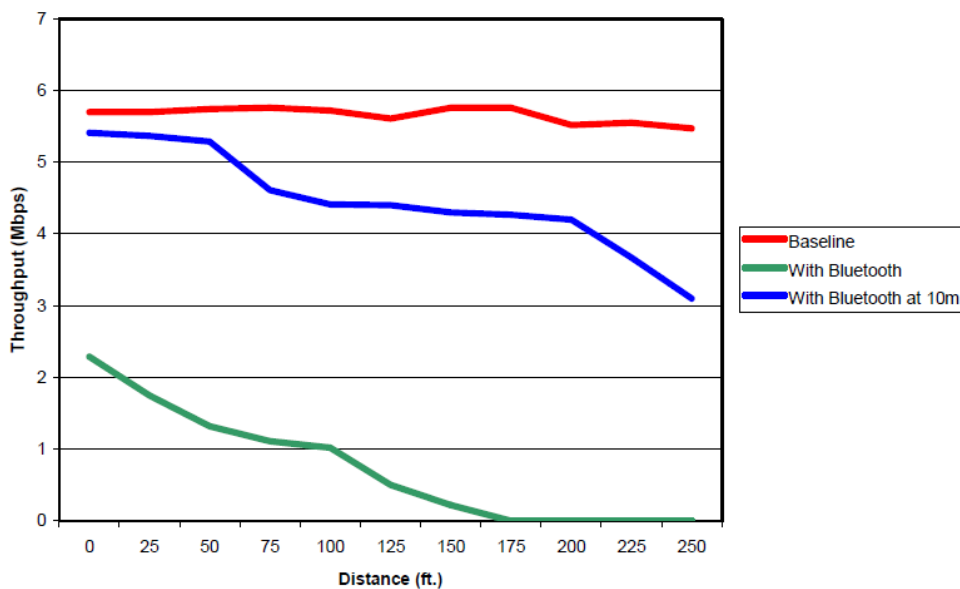
Σχήμα 4.1.
Παρεμβολή Bluetooth σε Wi-Fi (κοντινή απόσταση)

Με την πάροδο του χρόνου, ο υπολογιστής (B) απομακρυνόταν από το δρομολογητή (A). Αυτό ποσοτικοποιείται από τη μεταβλητή «distance» στα επόμενα σχήματα. Το πείραμα επαναλήφθηκε με τις συσκευές Bluetooth απομακρυσμένες κατά δέκα μέτρα από τον υπολογιστή, όπως απεικονίζεται στο Σχ.4.2.



Σχήμα 4.2.
Παρεμβολή Bluetooth σε Wi-Fi (μακρινή απόσταση)

Στο Σχ.4.3 απεικονίζονται τα αποτελέσματα του πειράματος:



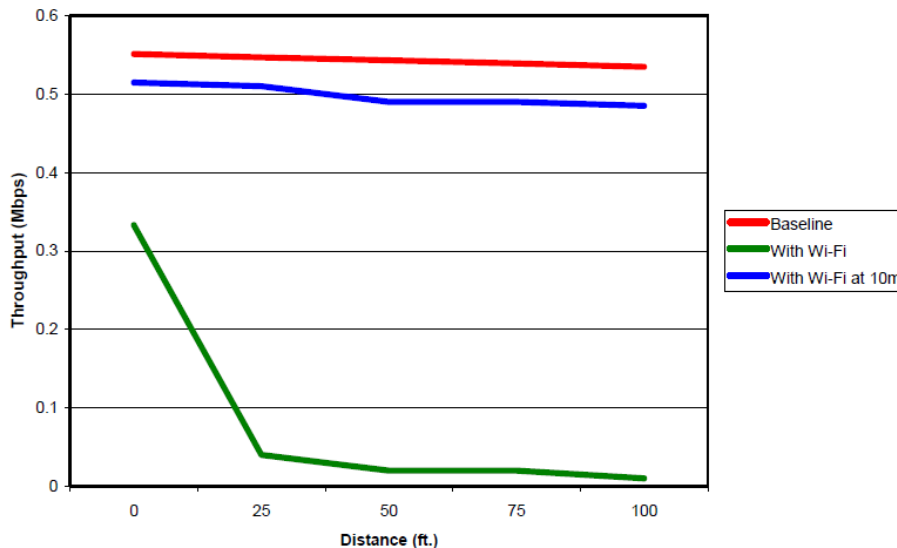
Σχήμα 4.3.
Παρεμβολή Bluetooth σε Wi-Fi

Από το σχήμα προκύπτει ότι όταν οι συσκευές Bluetooth βρίσκονται πολύ κοντά στον υπολογιστή, η δυσμενής επίδραση των παρεμβολών στη λειτουργία του Wi-Fi καθίσταται έντονη. Αντιθέτως, όταν οι συσκευές Bluetooth απέχουν περισσότερο από δέκα μέτρα, παρατηρείται μικρότερη μείωση της απόδοσης. Ως «Baseline» ορίζεται η επίδοση του δικτύου Wi-Fi χωρίς την παρεμβολή του Bluetooth.

4.2.2. Επίδοση Bluetooth παρουσία παρεμβολών από Wi-Fi

Το ίδιο πείραμα πραγματοποιήθηκε, αυτή τη φορά με Wi-Fi συσκευές να παρεμβάλλονται σε επικοινωνία μεταξύ Bluetooth συσκευών.

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχ.4.4:



Σχήμα 4.4.
Παρεμβολή Wi-Fi σε Bluetooth

Από το σχήμα προκύπτει ότι η λειτουργία των Bluetooth συσκευών επηρεάζεται σημαντικά όταν οι Wi-Fi συσκευές βρίσκονται πολύ κοντά τους, ενώ βελτιώνεται όσο απομακρύνονται. Ως «Baseline» ορίζεται η επίδοση του δικτύου Bluetooth χωρίς την παρεμβολή του Wi-Fi.

Από τα δύο προαναφερθέντα πειράματα εξάγονται τα κάτωθι:

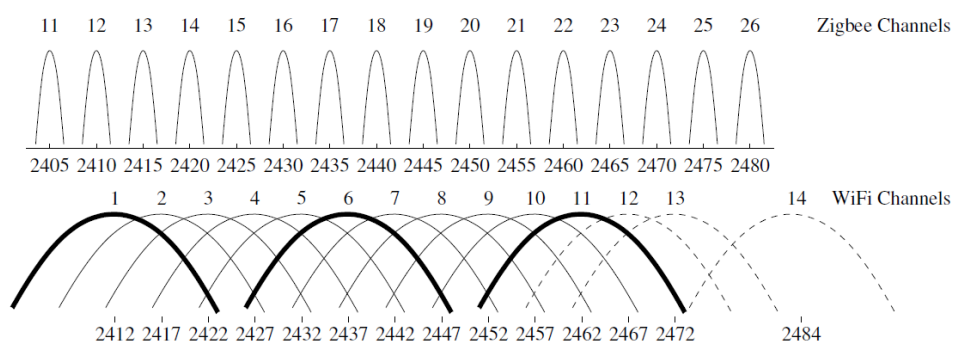
- 1) Όταν Wi-Fi και Bluetooth συσκευές βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους (δέκα εκατοστά), υπάρχει σημαντική επίδραση παρεμβολών από το ένα πρωτόκολλο στο άλλο, με αποτέλεσμα τη μείωση της επίδοσής τους.
- 2) Η επίδραση του Wi-Fi στο Bluetooth είναι δυσμενέστερη απ' ό τι αντιστρόφως, καθώς η επίδοση του Bluetooth μειώνεται σημαντικά σε μικρότερη τιμή της παραμέτρου distance (25ft. στο Σχ.4.4 έναντι 150ft. στο Σχ.4.3).

4.3. Συνύπαρξη των Wi-Fi και ZigBee

4.3.1. Θεωρητική προσέγγιση

Στη συνέχεια, εξετάζεται η συνύπαρξη των Wi-Fi και ZigBee. Το πρωτόκολλο ZigBee χρησιμοποιείται κυρίως σε WSN δίκτυα αισθητήρων που μπορεί να λειτουργούν σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν και άλλες ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές. Οι παρεμβολές που ενδεχομένως προκαλούνται στα WSNs από άλλες συσκευές επιφέρουν απώλεια πακέτων και καθυστέρηση μετάδοσης της πληροφορίας. Το δυσμενές αυτό φαινόμενο είναι γνωστό ως πρόβλημα συνύπαρξης (co-existence issue).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 χρησιμοποιεί 16 κανάλια, εύρους 3 MHz το καθένα, στην ISM ζώνη συχνοτήτων και προσφέρει μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης τα 250 kb/s. Από την άλλη πλευρά, το IEEE 802.11g χρησιμοποιεί 14 κανάλια στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, εύρους ζώνης 22 MHz το καθένα, ενώ στο IEEE 802.11n 40 MHz το καθένα. Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται ότι κάθε κανάλι IEEE 802.15.4 επικαλύπτεται τουλάχιστον από ένα κανάλι IEEE 802.11g. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα των υπηρεσιών ZigBee επηρεάζεται δυσμενώς από τη λειτουργία του Wi-Fi. Μάλιστα, στην περίπτωση του IEEE 802.11n που εξυπηρετεί εφαρμογές μεγαλύτερης κίνησης δεδομένων και μεγαλύτερου εύρους ζώνης, το πρόβλημα των παρεμβολών θα είναι εντονότερο [48]. Ως τρόπος αντιμετώπισης συχνά προτείνεται η λειτουργία των δικτύων Wi-Fi και ZigBee στα λεγόμενα «καθαρά κανάλια». Συγκεκριμένα, αν ένα δίκτυο Wi-Fi λειτουργεί στα κανάλια 1, 6 και 11 και ένα δίκτυο ZigBee στα κανάλια 15, 20, 25 και 26 δεν προκαλούνται αμοιβαίες παρεμβολές καθώς δεν υπάρχει επικάλυψη συχνοτήτων. Εντούτοις, η τεχνική αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε σύγχρονα δυναμικά μεταβαλλόμενα δίκτυα, λόγω των απότομων μεταβολών του πλήθους και της θέσης των συσκευών που εξυπηρετούνται.



Σχήμα 4.5.
ZigBee και Wi-Fi κανάλια

Πρόβλημα υπάρχει, επίσης, και λόγω της χαμηλής ισχύος εκπομπής του IEEE 802.15.4 (1mW ή 0dBm) έναντι του Wi-Fi (100mW ή 20dBm), καθώς η ισχύς εκπομπής ενός Wi-Fi κόμβου μπορεί να επηρεάσει την ευαισθησία ενός ZigBee κόμβου και να

οδηγήσει σε απώλεια πληροφορίας. Το πρωτόκολλο ZigBee, λοιπόν, λόγω του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης και χαμηλής ισχύος εκπομπής, αντιμετωπίζει σημαντικά φαινόμενα παρεμβολών όταν συνυπάρχει με δίκτυο Wi-Fi.

Το πρωτόκολλο IEEE 802.11b/g χρησιμοποιεί το μηχανισμό CSMA/CA για έλεγχο της διαθεσιμότητας ενός καναλιού και έναρξης της μετάδοσης. Αν το κανάλι είναι κατειλημμένο, η λειτουργία τίθεται σε κατάσταση αναμονής. Αν το κανάλι είναι ελεύθερο για ένα χρονικό διάστημα που ονομάζεται DIFS (Distributed coordination function Inter-Frame Space), εκκινεί μετάδοση. Τότε, ο κόμβος αναμένει για άλλο ένα τυχαίο χρονικό διάστημα που ονομάζεται διάστημα υποχώρησης ή Contention Window (CW) και έχει μέγεθος W που εξαρτάται από το πρωτόκολλο. Το παράθυρο αυτό τίθεται στην ελάχιστη τιμή του (CW_{min}) και μειώνεται επί όσο το κανάλι παραμένει ελεύθερο. Όταν η τιμή του παραθύρου μηδενιστεί, εκκινεί η μετάδοση δεδομένων από τον κόμβο Wi-Fi με το πακέτο DATA (πακέτο δεδομένων). Μόλις ολοκληρωθεί η λήψη, ο δέκτης αναμένει για ένα χρονικό διάστημα SIFS και, στη συνέχεια, αποστέλλει μήνυμα επιβεβαίωσης ACK. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργεί ο μηχανισμός CSMA/CA στο πρωτόκολλο IEEE 802.11b/g.

Στην περίπτωση του IEEE 802.15.4, ο αποστολέας ελέγχει τη διαθεσιμότητα ενός καναλιού επί χρονικό διάστημα CCA (Clear Channel Assessment). Αν το κανάλι είναι ελεύθερο στο διάστημα CCA, η μετάδοση δεδομένων εκκινεί, άλλως τίθεται σε αναμονή. Το παράθυρο CW διπλασιάζεται κάθε φορά που το κανάλι ανιχνεύεται ως κατειλημμένο κατά ένα CCA. Εντούτοις, στην περίπτωση του IEEE 802.11b/g διπλασιάζεται μόνο όταν δεν αποστέλλεται μήνυμα ACK. Αυτή η διαφορά καθορίζει και τη συμπεριφορά των δύο πρωτοκόλλων σε περίπτωση συνύπαρξής τους, όπως θα μελετηθεί και θα αναλυθεί παρακάτω.

Στη συνέχεια, θεωρείται ότι τα WSN δίκτυα χρησιμοποιούν IEEE 802.15.4 (ZigBee) και τα WLAN χρησιμοποιούν IEEE 802.11 (Wi-Fi).

4.3.2. Μοντέλο συνύπαρξης μεταξύ πακέτων ZigBee και Wi-Fi

Στη μελέτη [37] αναπτύχθηκε ένα μοντέλο συνύπαρξης μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων και τέθηκαν συγκεκριμένοι περιορισμοί ως προς τα μεγέθη των πακέτων και τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων. Συγκεκριμένα, η μετάδοση δεδομένων σε ένα δίκτυο ZigBee που παρεμβάλλεται από Wi-Fi μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιτυχία μόνο εφόσον ικανοποιείται τουλάχιστον μία από τις εξής προϋποθέσεις:

1) Συνθήκη ισχύος

Κατά την επικάλυψη ενός IEEE 802.11 πακέτου με ένα IEEE 802.15.4 πακέτο, η ισχύς παρεμβολής του πρώτου είναι σημαντικά χαμηλότερη από την ισχύ εκπομπής του δεύτερου. Το αποτέλεσμα είναι αύξηση του λόγου σήματος-προς-θόρυβο-και-παρεμβολή (λόγος SNIR) του πακέτου IEEE 802.15.4. Συγκεκριμένα, αν η τιμή του SNIR είναι υψηλότερη των 5-6 dB, ένα πακέτο IEEE 802.15.4 μπορεί να ληφθεί με πιθανότητα επιτυχίας 99%.

2) Συνθήκη χρόνου

Ο χρόνος μετάδοσης ενός IEEE 802.15.4 πακέτου είναι μικρότερος από το χρόνο αναμονής μεταξύ δύο διαδοχικών IEEE 802.11 πακέτων. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των πακέτων των δύο πρωτοκόλλων.

	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
Transmit power	0 dBm	20 dBm	20 dBm
Receiver sensitivity	-85 dBm	-76 dBm	-82 dBm
Bandwidth	2 MHz	22 MHz	22 MHz
Transmit rate	250 kbps	11 Mbps	6 Mbps
Backoff unit T_{bs}	320 μs	20 μs	9 μs
SIFS	192 μs	10 μs	10 μs
DIFS	N/A	50 μs	28 μs
CCA	128 μs	N/A	N/A
CW_{min}	7	31	15
Center frequency	2410 MHz	2412 MHz	2412 MHz
Payload size	1 byte	1024 bytes	1024 bytes

Πίνακας 4.5.

Κυριότερα χαρακτηριστικά των IEEE 802.15.4 και IEEE 802.11b/g

Όπως φαίνεται από τον Πιν.4.5, η ισχύς μετάδοσης IEEE 802.11 b/g κόμβων διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη ισχύ IEEE 802.15.4 κόμβων. Από τις διαφορές ανάμεσα στην ισχύ εκπομπής (transmit power) ενός κόμβου-πομπού και την ευαισθησία ενός κόμβου-δέκτη (receiver sensitivity), προκύπτουν τρεις (3) περιπτώσεις όσον αφορά στην απόσταση μεταξύ διαφορετικών κόμβων:

- R1: απόσταση στην οποία οι κόμβοι ενός πρωτοκόλλου γίνονται αντιληπτοί από τους κόμβους του άλλου
- R2: απόσταση κατά την οποία οι ZigBee κόμβοι αντιλαμβάνονται την παρουσία των Wi-Fi κόμβων αλλά όχι αντιστρόφως
- R3: απόσταση κατά την οποία δεν γίνεται αισθητή η παρουσία κόμβων του ενός δικτύου από το άλλο αλλά εξακολουθούν να υφίστανται παρεμβολές

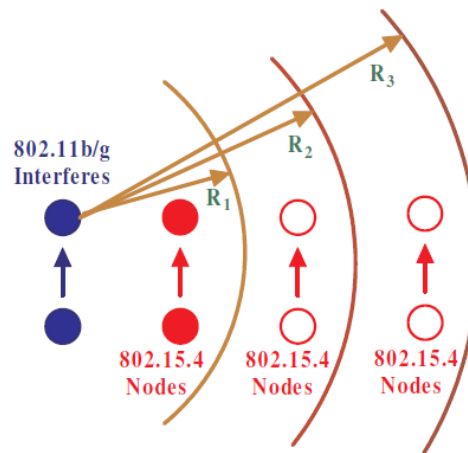
Οι αποστάσεις αυτές απεικονίζονται στο Σχ.4.6 και προκύπτουν από το μοντέλο απωλειών μετάδοσης ελεύθερου χώρου (έως 8 μέτρων) των προδιαγραφών IEEE 802.11.2 που περιγράφονται

από τη σχέση:

$$PL(d) = \begin{cases} 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) & \text{if } d \leq d_0 \\ 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + 40 \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

όπου d είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, $d_0 = 8m$ και $\lambda = c/f_0$ το μήκος κύματος, c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και f_0 η φέρουσα συνιστώσα εκπομπής.

Η συμπεριφορά των κόμβων των δύο πρωτοκόλλων διαφοροποιείται με βάση τις αποστάσεις R_1 , R_2 και R_3 . Έτσι, προκύπτουν τρία σενάρια συνύπαρξης ZigBee και Wi-Fi τα οποία θα μελετηθούν παρακάτω.



Σχήμα 4.6.
Αποστάσεις συνύπαρξης ZigBee και Wi-Fi

Range	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
R_1	22 m	32 m
R_2	67 m	67 m
R_3	95 m	95 m

Πίνακας 4.6.
Αριθμητικές τιμές των αποστάσεων

- **1^ο σενάριο**

Το πρώτο σενάριο αφορά τη συνύπαρξη ενός κόμβου IEEE 802.15.4 και ενός κόμβου IEEE 802.11b/g σε απόσταση R_1 όπου καθένας γίνεται αντιληπτός από τον άλλον. Έτσι λειτουργεί ο μηχανισμός CSMA/CA που εξασφαλίζει ότι η μετάδοση του ενός κόμβου δεν θα επικαλυφθεί από τη μετάδοση του άλλου, λόγω κατάληψης του καναλιού από τον πρώτο κόμβο. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην περιγραφή των μηχανισμών των δύο πρωτοκόλλων, η επίδοση του IEEE 802.15.4 εξαρτάται από τις ευκαιρίες που έχει για μετάδοση μεταξύ δύο διαδοχικών IEEE 802.11b/g πακέτων. Ο χρόνος υπαναχώρησης ενός ZigBee πακέτου είναι 10-20 φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο ενός Wi-Fi πακέτου (Πιν.4.5), με αποτέλεσμα ο κόμβος Wi-Fi να αποκτά χρονική προτεραιότητα έναντι του κόμβου ZigBee προς κατάληψη ενός καναλιού, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 4.7.

Στην περίπτωση που ο κόμβος ZigBee καταλάβει το κανάλι μετάδοσης, πραγματοποιείται επιτυχής μετάδοση πακέτων επειδή ο κόμβος Wi-Fi θα αναγκαστεί να περιμένει. Επομένως, απαραίτητη προϋπόθεση για συνύπαρξη

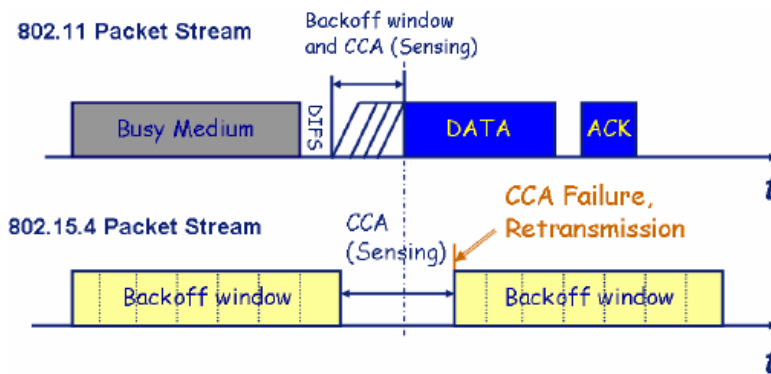
είναι ο χρόνος CCA του ZigBee πακέτου να είναι μικρότερος του χρόνου αναμονής t_{idle} μεταξύ δύο διαδοχικών Wi-Fi πακέτων.

Όπως φαίνεται από Σχ.4.7, ο χρόνος αναμονής ισούται με:

$$t_{idle} = DIFS + t_{bo} = DIFS + m * T_{bs} \quad (2)$$

όπου t_{bo} είναι τυχαία χρονική περίοδος που εξαρτάται από το m (τυχαία τιμή στο διάστημα CW) και από το T_{bs} (χρόνος υπαναχώρησης).

Παρατηρώντας τις τιμές των CW και T_{bs} από Πιν.4.5, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πρέπει $m \geq 4$ και 12 για IEEE 802.11b και IEEE 802.11g αντίστοιχα, ώστε $t_{idle} \geq CCA$. Επομένως, όταν η μεταβλητή m λαμβάνει τιμές στο διάστημα [4, 31] και [12, 15] για IEEE 802.11b και IEEE 802.11g, αντίστοιχα, ένα πακέτο ZigBee μπορεί να μεταδοθεί επιτυχώς μετά την επιτυχημένη μετάδοση ενός Wi-Fi πακέτου.



Σχήμα 4.7.
Προτεραιότητα των Wi-Fi κόμβων έναντι των ZigBee κόμβων

- **2^ο σενάριο**

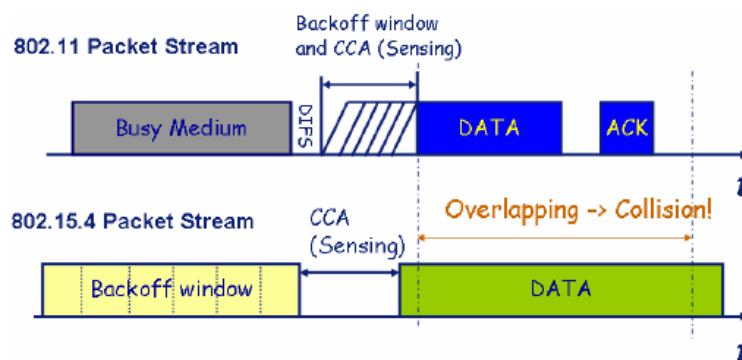
Σε αυτό το σενάριο, ο κόμβος ZigBee αντιλαμβάνεται την παρουσία του κόμβου Wi-Fi σε απόσταση R2 αλλά δεν ισχύει και το αντίστροφο, επειδή η ισχύς εκπομπής του δεύτερου είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του πρώτου. Έτσι, ακόμα και αν μεταδίδει ο κόμβος ZigBee, πραγματοποιείται ταυτόχρονη μετάδοση και από τον κόμβο Wi-Fi, με αποτέλεσμα την πρόκληση παρεμβολών και την απώλεια πακέτων. Αυτή η κατάσταση απεικονίζεται στο Σχ.4.8.

Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, για να επιτευχθεί κατάληψη του καναλιού από τον κόμβο ZigBee, πρέπει να ισχύει η συνθήκη (2). Επιπλέον, επειδή ο κόμβος Wi-Fi δεν αντιλαμβάνεται πλέον την παρουσία κόμβου ZigBee, η προηγούμενη συνθήκη επεκτείνεται ως εξής:

$$t_{idle} = DIFS + m * T_{bs} \geq CCA + t_p + SIFS + ACK \quad (3)$$

όπου t_p είναι ο χρόνος μετάδοσης ενός ZigBee πακέτου.

Η ανωτέρω συνθήκη είναι αδύνατο να ισχύει, ακόμα και απουσία μηνύματος επιβεβαίωσης ACK. Επομένως, είναι αδύνατη και η αποφυγή παρεμβολών από το Wi-Fi σε αυτό το σενάριο. Η επιτυχής μετάδοση πακέτων IEEE 802.15.4 μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο εφόσον ικανοποιείται η συνθήκη ισχύος.



Σχήμα 4.8.
Οι Wi-Fi κόμβοι δεν αντιλαμβάνονται τους ZigBee κόμβους

- **3^ο σενάριο**

Σε αυτό το σενάριο δεν είναι δυνατή η ανίχνευση του ενός κόμβου από τον άλλον διότι, λόγω της μεγάλης απόστασης $R3$ μεταξύ τους, δεν λειτουργούν πλέον οι μηχανισμοί CSMA/CA. Έτσι, οι δύο κόμβοι μεταδίδουν χωρίς να αναμένουν την απελευθέρωση του καναλιού. Αυτού του είδους οι μεταδόσεις χαρακτηρίζονται ως «τυφλές».

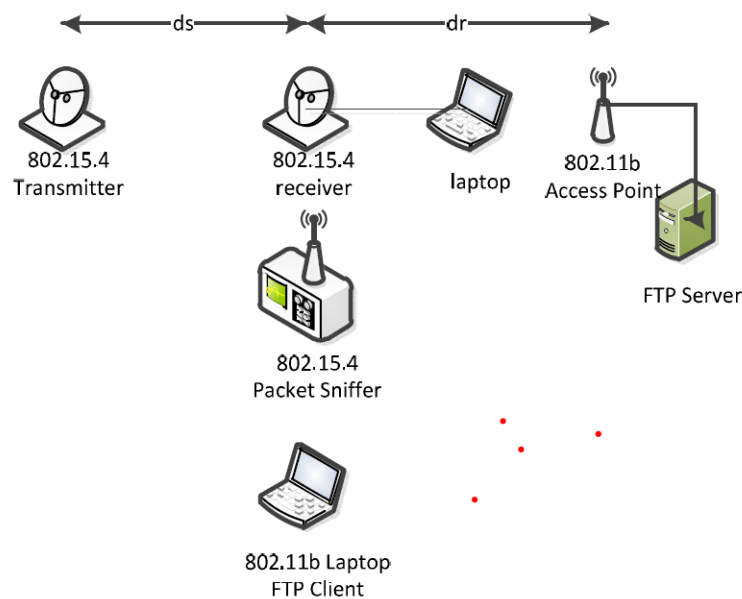
Εντούτοις, η εμβέλεια των παρεμβολών που προκαλεί ο κόμβος Wi-Fi είναι μεγαλύτερη από την απόσταση $R3$, οπότε η μετάδοση υφίσταται πάντα παρεμβολές εκτός αν ικανοποιείται η συνθήκη ισχύος. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν μηνύματα ACK, αρκεί να ικανοποιείται μόνο η συνθήκη χρόνου, ανεξάρτητα από τη συνθήκη ισχύος.

4.3.3. Πειράματα (testbeds)

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με παρεμβολές, χρησιμοποιούνται διάφορες τοπολογίες όπου προκαλούνται εσκεμμένα παρεμβολές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων.

Στην [50] οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τοπολογία που περιλαμβάνει έναν πομπό ZigBee, ένα δέκτη ZigBee και μια συσκευή Wi-Fi που παρεμβάλλεται στη μεταξύ τους επικοινωνία. Η συσκευή «Packet Sniffer» είναι υπεύθυνη για τη συλλογή των πακέτων. Επιπλέον, υπάρχει και ένα laptop που λειτουργεί ως FTP Client.

Η τοπολογία παρουσιάζεται στο Σχ.4.9:



Σχήμα 4.9.
Παρεμβολής επικοινωνίας ZigBee από Wi-Fi

Σε άλλες εργασίες έχουν χρησιμοποιηθεί και περισσότερες σύνθετες τοπολογίες με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σε περίπλοκες καταστάσεις παρεμβολών

4.3.4. Εξαγωγή συμπερασμάτων

Σύμφωνα, λοιπόν, με τις προαναφερθείσες δημοσιεύσεις και τα σχετικά πειράματα, από τη συνύπαρξη WSNs που χρησιμοποιούν IEEE 802.15.4 με WLANs που χρησιμοποιούν IEEE 802.11 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με την απώλεια πακέτων (Packet Loss Rate – PLR) και τη χωρητικότητα (throughput):

- **Μέγεθος Πακέτου (Packet Size)**

Παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των πακέτων τόσο αυξάνεται το PLR (δηλαδή προκαλείται μεγαλύτερη απώλεια πακέτων) σε WSN που δέχεται

παρεμβολές από WLAN, λόγω της αυξημένης πιθανότητας σύγκρουσης των πακέτων.

- **Φόρτος Κίνησης (Traffic Load)**

Η επίδραση του φόρτου κίνησης ενός WLAN δικτύου σε ένα WSN είναι σημαντική και επιφέρει μείωση της ποιότητας υπηρεσίας και ταυτόχρονη αύξηση του PLR. Η συνύπαρξη των δύο αυτών τύπων δικτύων μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μείωση του duty cycle του WLAN, που συνεπάγεται και μείωση της χωρητικότητάς του.

- **Διολίσθηση Κεντρικής Συχνότητας Εκπομπής (Centre Transmission Frequency Offset)**

Σύμφωνα με αρκετές αναφορές ([49], [50], [51] και [52]), η διολίσθηση της κεντρικής συχνότητας εκπομπής μεταξύ φερόντων σημάτων IEEE 802.15.4 και IEEE 802.11g/g μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την επίδοση ενός WSN δικτύου, καθώς όσο μικρότερη είναι, τόσο μεγαλύτερες παρεμβολές θα δέχεται το WSN δίκτυο.

- **Απόσταση μεταξύ WLAN κόμβων και WSN αισθητήρων**

Στην [37] παρατηρήθηκε ότι, για να πραγματοποιηθεί απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ κόμβων των δύο δικτύων, πρέπει η απόσταση μεταξύ των κόμβων των δικτύων να υπερβαίνει συγκεκριμένο κατώφλιο και, συγκεκριμένα, να είναι μεγαλύτερα από R1, όπως φαίνεται στον Πιν.4.6. Άλλως, γίνονται αισθητά φαινόμενα παρεμβολής από το WLAN δίκτυο. Εντούτοις, σύμφωνα με τις [53] και [54], ένα WLAN δεν φαίνεται να επηρεάζεται από ένα WSN δίκτυο, ακόμα και σε αποστάσεις μικρότερες των τριών μέτρων.

Προκύπτει, λοιπόν, το συμπέρασμα ότι οι επικοινωνίες συσκευών μέσω ZigBee επηρεάζονται δυσμενώς, συχνά πολύ δυσμενώς, από γειτονικά ή συνυπάρχοντα στον ίδιο χώρο δίκτυα Wi-Fi που λειτουργούν σε επικαλυπτόμενες ή γειτονικές ζώνες συχνοτήτων. Επομένως, προς αντιμετώπιση σχετικών προβλημάτων είναι συνήθως απαραίτητη η χρήση τεχνικών καταπίεσης παρεμβολών.

4.3.5. Προσαρμοστικοί μηχανισμοί για μείωση των παρεμβολών (Adaptive mechanisms for interference mitigation)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα WSN δίκτυα (IEEE 802.15.4) υφίστανται σημαντικά προβλήματα λόγω παρεμβολών από γειτονικά δίκτυα WLAN (IEEE 802.11b/g/n) που μοιράζονται την ίδια ζώνη συχνοτήτων ISM. Τα προβλήματα αυτά οδηγούν σε μειωμένη ταχύτητα μετάδοσης, αυξημένο ποσοστό λανθασμένων πακέτων και μεγαλύτερη καθυστέρηση μετάδοσης. Επομένως, προβάλλει ως επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη τεχνικών βελτίωσης της λειτουργίας και της αξιοπιστίας των WSN δικτύων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένοι μηχανισμοί μείωσης των παρεμβολών.

Αλγόριθμοι κινητικότητας συχνότητας (frequency agility algorithms)

Οι αλγόριθμοι αυτοί διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: (i) εκείνους που πραγματοποιούν ανίχνευση παρεμβολών και (ii) εκείνους που πραγματοποιούν αποφυγή παρεμβολών. Για να μην επηρεαστεί η εγγενής χαμηλή κατανάλωση ισχύος των WSN δικτύων, προηγείται η ανίχνευση παρεμβολών και ακολουθεί η αποφυγή τους.

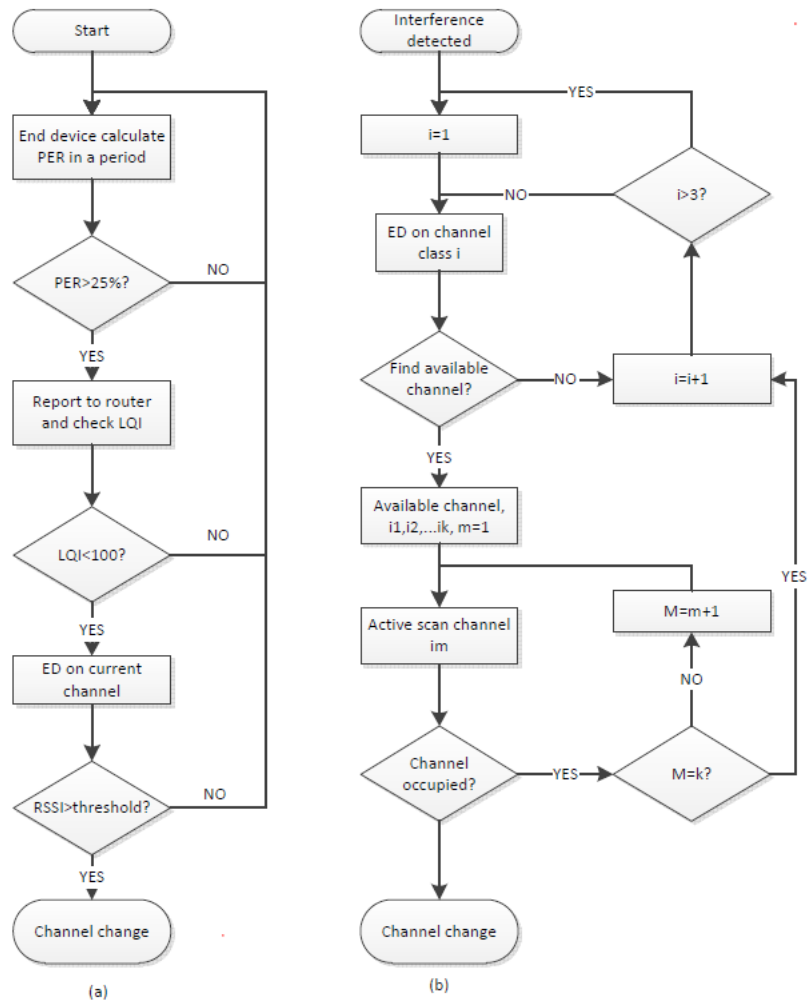
- **Σχήμα ανίχνευσης παρεμβολών (interference detection scheme)**

Στις [55], [56] προτείνεται μια σειρά τεχνικών ανίχνευσης παρεμβολών. Η [55] επικεντρώνεται σε δίκτυα όπου υπάρχει ομοιογένεια συσκευών και δεν καλύπτει συχνότερες περιπτώσεις όπου τα δίκτυα χαρακτηρίζονται από ετερογένεια. Στην [57] η τεχνική που προτείνεται εκτελεί αυτόματα CCA όταν εντοπίζεται μείωση του ρυθμού μετάδοσης και, όταν το επίπεδο ενέργειας του καναλιού υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλιο, τότε διαπιστώνεται η παρουσία επιβλαβών παρεμβολών. Η [58] αξιοποιεί την ίδια την ετερογένεια του δικτύου προκειμένου οι συσκευές να οργανώνονται σε μικρές ομάδες για να ενημερώνονται μεταξύ τους όταν εντοπίζουν παρεμβολές. Σύμφωνα με την [56] ο συντονιστής του δικτύου αποστέλλει σήματα – φάρους (beacon signals) στους κόμβους του δικτύου ανά τακτά χρονικά διαστήματα και υπολογίζει το πλήθος των NACKs (αρνητικών επιβεβαιώσεων). Αυτό, όμως, συνεπάγεται ανεπιθύμητη αύξηση κατανάλωσης ενέργειας στο δίκτυο ZigBee.

- **Σχήμα αποφυγή παρεμβολών (interference avoidance scheme)**

Οι [59] και [60] χρησιμοποιούν κατά συνδυαστικό τρόπο τεχνικές ανίχνευσης και αποφυγής των παρεμβολών που προκαλούνται σε ένα ZigBee PAN από ένα WLAN δίκτυο. Η τεχνική που χρησιμοποιούν είναι η εξής: Κάθε αποστολέας προσδιορίζει περιοδικά δικό του PLR. Όταν η τιμή του PLR υπερβαίνει κάποιο κατώφλιο, ο αποστολέας ενημερώνει το δρομολογητή (router) να ελέγξει το δείκτη ποιότητας σύνδεσης (Link Quality Indicator – LQI). Εφόσον είναι χαμηλότερος από συγκεκριμένη τιμή, ο συντονιστής (coordinator) που λαμβάνει το LQI του δρομολογητή ειδοποιεί όλους τους υπόλοιπους δρομολογητές στο PAN να ανιχνεύσουν παρεμβολές στα υπόλοιπα κανάλια. Η ανίχνευση πραγματοποιείται μέσω των σαρώσεων ED (ED scans) και ο συντονιστής επιλέγει ένα κανάλι με αποδεκτή ποιότητα που να μη χρησιμοποιείται από το PAN, με σκοπό την αποστολή δεδομένων. Τελικά, όλες οι συσκευές μεταφέρουν τη λειτουργία τους σε αυτό το ασφαλές κανάλι (με τις σαρώσεις ED ανιχνεύεται η μέγιστη ενέργεια και ισχύς ενός καναλιού).

Στο Σχ.4.10, παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής με τις τεχνικές της ανίχνευσης και αποφυγής παρεμβολών.



Σχήμα 4.10.
(a) Ανίχνευση παρεμβολών
(b) Αποφυγή παρεμβολών

Η [61] προτείνει ένα σχήμα διαμεσολάβησης σε περιβάλλον όπου λειτουργούν Wi-Fi και ZigBee κόμβοι. Το σχήμα περιλαμβάνει μια διαδικασία παρακολούθησης της διαθεσιμότητας του καναλιού όπου εκπέμπει ένας κόμβος ZigBee και μια διαδικασία διαμεσολάβησης που εξετάζει τα κανάλια WLAN, με στόχο να εντοπίσει κανάλια ZigBee που δεν επικαλύπτονται από άλλα κανάλια WLAN και να εκκινήσει μετάδοση δεδομένων.

Οι μηχανισμοί που αναφέρθηκαν διαθέτουν το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης ενέργειας κατά τον εντοπισμό παρεμβολών και της επιλογής των κατάλληλων καναλιών μετάδοσης χωρίς εισαγωγή μεγάλης πολυπλοκότητας. Ακόμα, όμως, και στην περίπτωση αυτή, επιβαρύνουν το δίκτυο ως προς την κατανάλωση πόρων. Επιπλέον, ενδεχόμενη συχνή εναλλαγή καναλιών μπορεί να οδηγήσει ένα δίκτυο ZigBee σε ασταθή λειτουργία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ SMART HOME ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο Κεφ.5 θα παρουσιαστούν οι απαιτήσεις ενός HAN (όπως ορίστηκε στο Κεφ.2) σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Θα αναλυθούν οι ρυθμοί μετάδοσης που απαιτούνται από τις κυριότερες εφαρμογές του και θα ακολουθήσει προσομοίωση με στόχο τον ορισμό προδιαγραφών και την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την κατάλληλη λειτουργία του HAN/GW (HAN Gateway).

5.1. Το ασύρματο HAN

5.1.1. Λειτουργία του HAN

Σε προηγούμενα κεφάλαια μελετήθηκε η δομή και η λειτουργία ενός HAN. Το HAN αποτελεί τη θεμελιώδη μονάδα ενός NAN (Neighborhood Area Network) και, κατ' επέκταση, ενός SG (Smart Grid) συστήματος. Αποτελεί το εσωτερικό οικιακό δίκτυο ενός Smart Home και είναι υπεύθυνο για την τηλεπικοινωνιακή διασύνδεση των συσκευών μέσω των κατάλληλων προς τούτο πρωτοκόλλων επικοινωνιών.

Η επικοινωνία των συσκευών πρέπει να είναι απρόσκοπτη. Όμως, λόγω της συνύπαρξη διαφορετικών πρωτοκόλλων σε περιορισμένο χώρο όπως μια κατοικία, προκαλούνται αμοιβαίες παρεμβολές που διαταράσσουν την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου Smart Home και οδηγούν σε σοβαρά προβλήματα, όπως μειωμένη ταχύτητα μετάδοσης, αυξημένο ποσοστό λαθών και απώλεια πληροφορίας. Επομένως, είναι απαραίτητη η ανίχνευση και αποφυγή των παρεμβολών σε ένα δίκτυο Smart Home.

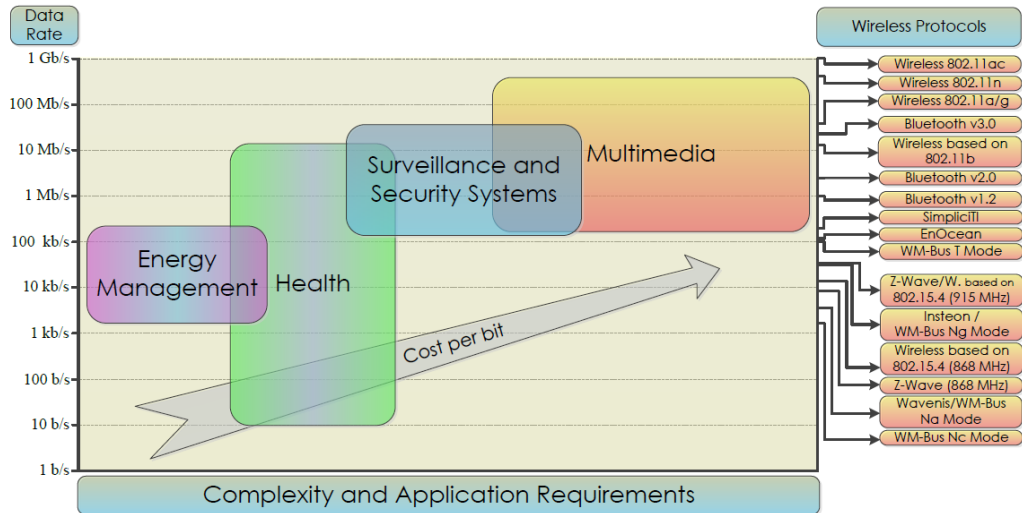
Η βασική μονάδα σε ένα HAN είναι ο HAN/GW. Ο ρόλος του είναι η συλλογή δεδομένων από τους κόμβους του οικιακού δικτύου, η επεξεργασία τους και η προώθησή τους σε κάποιο κέντρο ελέγχου ενός σταθμού του κεντρικού δικτύου τηλεπικοινωνιών. Επίσης, ο HAN/GW είναι υπεύθυνος για τη μετάδοση δεδομένων και εντολών από το κεντρικό δίκτυο προς το οικιακό που αποτελούν οδηγίες των ενοίκων προς τις συσκευές της κατοικίας τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι ένοικοι επικοινωνούν με τον HAN μέσω του κεντρικού δικτύου τόσο για downlink (προς το HAN) όσο και για uplink (από το HAN). Επομένως, οι παρεμβολές πρέπει να αντιμετωπίζονται είτε σε μονόδρομη είτε σε αμφίδρομη μετάδοση και για τις δύο μεταδόσεις από και προς τον HAN/GW.

Οι σύγχρονες εταιρείες ηλεκτρονικών κατασκευάζουν HAN/GWs που δεν επηρεάζονται από παρεμβολές λόγω της χρήσης τεχνολογίας διαχωρισμού κεραίων (antenna diversity technology), προσφέροντας ανθεκτικότητα στις παρεμβολές. Σε αυτή την τεχνολογία χρησιμοποιούνται δύο κεραίες που λειτουργούν ταυτόχρονα και επιτυγχάνουν την αποφυγή των παρεμβολών με χρήση τεχνικών ανίχνευσης. Επίσης, οι HAN/GWs χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη εμβέλεια.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι HAN/GWs αποτελούν πλέον το βασικότερο στοιχείο ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης του οικιακού δικτύου HAN και αναλαμβάνουν την απρόσκοπτη λειτουργία των M2M επικοινωνιών εντός του Smart Home.

5.1.2. Εύρος ζώνης υπηρεσιών

Οι διάφορες εφαρμογές του Smart Home χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες απαιτήσεις εύρους ζώνης και ασφαλείας. Στο Σχ.5.1 και τον Πιν.5.1 παρουσιάζονται οι συνηθέστερες εφαρμογές και οι ρυθμοί μετάδοσης που απαιτούν για τη λειτουργία τους:



Σχήμα 5.1.
Αντιστοιχία εφαρμογών με απαραίτητο εύρος ζώνης

Functional Area	Application	Data Rate Requirements	
		Minimum	Maximum
Energy Management	A Activation and deactivation of home appliances/HVAC Control/Lighting System		
	A Real time energy consumption	2.4 kb/s	250 kb/s
	A Smart Meters		
Health	B Low Bandwidth (<250 kb/s) Pulse Oximeter/ Blood Pressure		
	B Medium Bandwidth (250 kb/s-1 Mb/s) EMG/ Deep Brain Stimulation	12 b/s	15 Mb/s
	B High Bandwidth (>1 Mb/s) Capsule Endoscopy		
Surveillance and Security Systems	C Simple Alarms/Detections Sensors		
	C CCTV Surveillance Camera	200 kb/s	54 Mb/s
	C HD Video Surveillance		
Multimedia	D Stereo Audio		
	D Standard Definition TV (SDTV)	250 kb/s	500 Mb/s
	D Whole Home distribution of HD Video and Content		

Πίνακας 5.1.
Ρυθμοί μετάδοσης αναγκαίοι για οικιακές εφαρμογές

Από το Σχ.5.1 και τον Πιν.5.1 προκύπτει ότι οι υπηρεσίες ελέγχου κατανάλωσης και διαχείρισης ενέργειας (energy management) χαρακτηρίζονται από τους μικρούς ρυθμούς μετάδοσης. Κατάλληλο πρωτόκολλο για τέτοιες υπηρεσίες αποτελεί το IEEE 802.15.4 (ZigBee). Οι υπηρεσίες υγείας και τηλεϊατρικής (health) απαιτούν εύρος ζώνης από 10 b/s έως 15 Mb/s.

Ακολουθούν οι υπηρεσίες επιτήρησης και απομακρυσμένου ελέγχου (surveillance and security systems) που χρειάζονται συνήθως υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, ειδικά όταν διαθέτουν εξοπλισμό παρακολούθησης με βίντεο, και πρέπει να ανταποκρίνονται με μικρή καθυστέρηση σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Ακόμα μεγαλύτερες απαιτήσεις εύρους ζώνης έχουν οι υπηρεσίες πολυμέσων που μεταδίδουν τηλεοπτικό, ηχητικό και τηλεφωνικό περιεχόμενο μέσω του Διαδικτύου.

Διευκρινίζεται ότι η χρήση των γραμμάτων A, B, C, D στον Πιν.5.1 έχει σκοπό την αντιστοίχιση των υπηρεσιών που παρουσιάζονται στους Πιν.5.1 και 5.2.

5.1.3. Χαρακτηριστικά υπηρεσιών

Στον Πιν.5.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κυριότερων υπηρεσιών που εξυπηρετούνται από ένα δίκτυο HAN:

HAN Requirements	Functional Areas											
	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D	D	D
Bandwidth	L	L	L	L	M	H	L	M	H	M	H	VH
Security	N	I	I	I	I	I	I	I	I	N	N	N
Dependability	N	N	I	I	I	I	N	I	I	N	N	N
Network Operation	N	N	I	I	I	I	N	N	N	N	N	N
Energy Optimization	N	N	N	I	I	I	I	N	N	N	N	N

L -Low; M -Medium; H -High; VH -Very High; N -Not Important; I -Important.

Πίνακας 5.2.

Λειτουργίες, χαρακτηριστικά και απαιτήσεις οικιακών εφαρμογών

Από τον Πιν.5.2 προκύπτει ότι οι υπηρεσίες υγείας και τηλεϊατρικής είναι οι περισσότερο απαιτητικές ως προς τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν, δηλαδή το εύρος ζώνης, η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η ενεργειακή κατανάλωση. Όπως είναι λογικό, όλες οι συσκευές και αισθητήρες που τοποθετούνται επί ή στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος έχουν αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές κυρίως ως προς την ενεργειακή κατανάλωση και χαρακτηρίζονται από υψηλές απαιτήσεις αυτονομίας λόγω της κινητικότητας των ασθενών και του ιατρικού απορρήτου.

Αναφορικά με τα συστήματα διαχείρισης οικιακών συσκευών (όπως της κουζίνας και του φωτισμού) προβλέπονται απαιτήσεις κυρίως ως προς τη φυσική ασφάλεια και την αξιοπιστία παρά ως προς το εύρος ζώνης. Όσο για τις υπηρεσίες πολυμέσων, οι συσκευές που τις υποστηρίζουν δεν έχουν συνήθως απαιτήσεις κινητικότητας, ασφάλειας και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Έχουν, όμως, ανάγκη από μεγάλο εύρος ζώνης, ειδικά όταν πρόκειται για παρακολούθηση κινηματογραφικών ταινιών HD (High Definition) ή FHD (Full High Definition) μέσω του Διαδικτύου.

Ως προς τα συστήματα παρακολούθησης, το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους είναι η ασφάλεια και η αξιοπιστία, αφού πρέπει να είναι σε θέση να ειδοποιούν άμεσα το χρήστη για ανεπιθύμητες εισβολές στην οικία του. Οι υπηρεσίες αυτές χρειάζονται σχετικά μεγάλο εύρος ζώνης και, σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, πρέπει να τους παρέχεται προτεραιότητα έναντι των υπολοίπων υπηρεσιών.

5.1.4. Προτεινόμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας στο HAN

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι το κατάλληλο πρωτόκολλο για υπηρεσίες ελέγχου και διαχείρισης οικιακών συσκευών είναι το IEEE 802.15.4 (ZigBee) λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας καίτοι προσφέρει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, που επαρκεί για τις μικρές απαιτήσεις των προαναφερθέντων υπηρεσιών. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες σε τοπολογία πλέγματος (mesh topology) που παρέχουν στοιχεία για την κατάσταση της οικίας ως προς τη θερμοκρασία, την ποιότητα του αέρα, την υγρασία και την ενεργειακή κατανάλωση. Οι αισθητήρες σχηματίζουν ένα δίκτυο WSN που επικοινωνεί με τον HAN/GW και, μέσω αυτού, με τον ένοικο της οικίας.

Όσον αφορά στις υπόλοιπες λειτουργικές πλευρές του HAN, διαπιστώνεται ότι υπάρχει ανάγκη για ασφάλεια και υψηλό εύρος ζώνης (multimedia, τηλεϊατρική και απομακρυσμένη παρακολούθηση). Το πρωτόκολλο που ικανοποιεί και τις δύο αυτές απαιτήσεις είναι το IEEE 802.11 b/g/n (Wi-Fi), ενώ το Bluetooth απορρίπτεται λόγω του ρυθμού μετάδοσης που προσφέρει και της μικρότερης κάλυψης που επιτυγχάνει.

5.2. Προσομοίωση κίνησης

Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της κίνησης δεδομένων σε ένα δίκτυο Smart Home για να διερευνηθεί πώς επηρεάζεται η λειτουργία του HAN/GW.

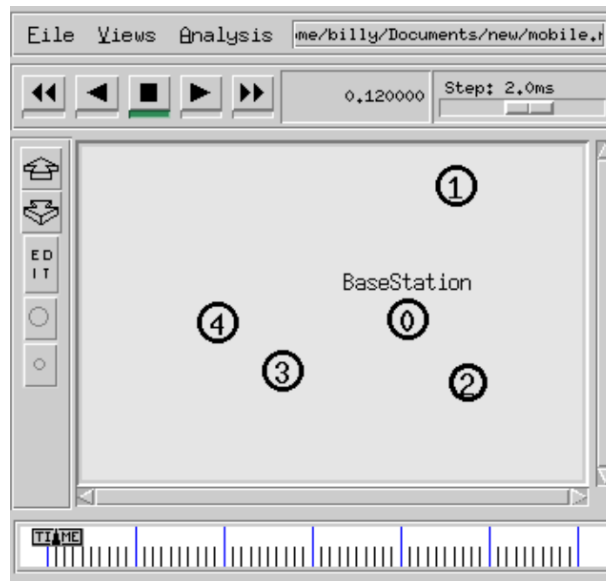
Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, κρίθηκε κατάλληλο να χρησιμοποιηθούν τα πρωτόκολλα Wi-Fi και ZigBee και ένας HAN/GW με λειτουργία antenna diversity και που υλοποιεί τεχνικές ανίχνευσης και αποφυγής των παρεμβολών. Ο HAN/GW διαθέτει δύο κεραίες, δημιουργώντας η καθεμία ένα κανάλι για διαχείριση της κίνησης που παράγουν οι κόμβοι κάθε πρωτοκόλλου.

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος NS2 (Network Simulator 2) σε περιβάλλον Linux (έκδοση Ubuntu). Ως τυπική εφαρμογή Smart Home θεωρήθηκε (i) ένα δίκτυο WSN με πέντε (5) κόμβους – αισθητήρες για μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας, οξυγόνου διοξειδίου του άνθρακα και ενεργειακής κατανάλωσης και (ii) ένα δίκτυο WLAN με πέντε (5) κόμβους: ένα για έλεγχο φωτισμού, δύο κόμβους επιτήρησης για ασφάλεια, μια κάμερα παρακολούθησης και ένα συνδεδεμένο laptop. Οι κόμβοι του WLAN ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω ενός

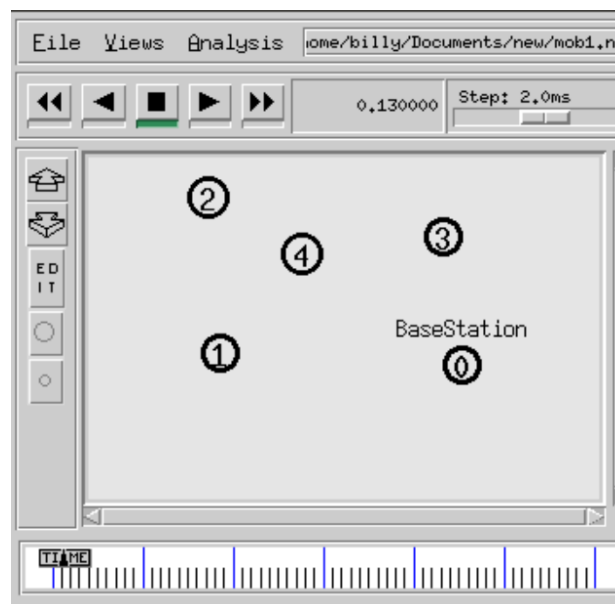
δρομολογητή. Για κάθε δίκτυο ορίστηκε διαφορετικό σενάριο προσομοίωσης λόγω περιορισμένων δυνατοτήτων του σχετικού προγράμματος.

Για το WSN θα χρησιμοποιηθεί τοπολογία πλέγματος ενώ για το WLAN τοπολογία αστέρα με κεντρικό κόμβο που προωθεί δεδομένα στο δρομολογητή. Προσομοιώνεται ξεχωριστά η λειτουργία κάθε δικτύου στο Smart Home, σε χώρο διαστάσεων 25 μέτρα μήκους επί 25 μέτρα πλάτους. Ο χώρος θεωρείται ελεύθερος από τοίχοποιεία και αντικείμενα, που, σε κάθε περίπτωση, επηρεάζουν δυσμενώς τη λειτουργία και των δύο υπό εξέταση δικτύων.

Οι τοπολογίες στο NS2 φαίνονται στα Σχ.5.2 και 5.3:



Σχήμα 5.2.
Τοπολογία Wi-Fi



Σχήμα 5.3.
Τοπολογία ZigBee

Στην περίπτωση του δικτύου ZigBee, ο κόμβος «BaseStation» αντιστοιχεί στον HAN/GW με τον οποίον επικοινωνούν όλοι οι κόμβοι ZigBee. Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV για δυναμική διαμόρφωση της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων ZigBee.

Στην περίπτωση του δικτύου Wi-Fi, ο κόμβος «BaseStation» αντιστοιχεί στον κεντρικό κόμβο της τοπολογίας αστέρα, με τον οποίον επικοινωνούν όλοι οι κόμβοι Wi-Fi του δικτύου WLAN. Ο κεντρικός κόμβος προωθεί δεδομένα στον HAN/GW. Και στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV.

Λόγω περιορισμών στη λειτουργία του NS2 (μέγιστη ταχύτητα λήψης τα 2.2Mb/s), ορίζονται μικρές ταχύτητες μετάδοσης. σε κάθε δίκτυο, οι κόμβοι αποστέλλουν δεδομένα με την ίδια ταχύτητα, ώστε να προσομοιώνεται η χειρότερη περίπτωση λειτουργίας. Για το δίκτυο WSN η ταχύτητα αυτή τίθεται στα 50 kb/s ενώ στο δίκτυο WLAN τίθεται στα 450 kb/s. Σημειώνεται ότι σε κάθε περίπτωση αποστέλλουν δεδομένα οι τέσσερις κόμβοι προς τον «BaseStation».

Προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

```
Average Throughput[kbps] = 1800.20  
StartTime=0.20  
StopTime=6.00
```

Σχήμα 5.4.
Αποτελέσματα Wi-Fi

```
Average Throughput[kbps] = 74.73  
StartTime=0.20  
StopTime=6.00
```

Σχήμα 5.5.
Αποτελέσματα ZigBee

Από τα Σχ.5.4 και 5.5 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- **Wi-Fi:**
Ρυθμός αποστολής κάθε κόμβου (4 συνολικά): 450 kb/s
Ρυθμός λήψης του HAN/GW: 1.8 Mb/s
- **ZigBee:**
Ρυθμός αποστολής κάθε κόμβου (4 συνολικά): 50 kb/s
Ρυθμός λήψης του HAN/GW: 74.73 kb/s

Παρατηρείται, λοιπόν, ότι στην περίπτωση του Wi-Fi η συνολική ταχύτητα λήψης του HAN/GW είναι ίση με το άθροισμα ταχυτήτων αποστολής των κόμβων του WLAN. Αντίθετα, στην περίπτωση του ZigBee, παρατηρείται υψηλός ρυθμός απωλειών πακέτων που οφείλονται στη φύση του WSN δικτύου, όπου οι κόμβοι συναγωνίζονται μεταξύ τους

για επικοινωνία με τον GW προκαλώντας, αναπόφευκτα, συγκρούσεις και απώλειες δεδομένων.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να ληφθεί υπόψη η μελέτη [37] που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σύμφωνα με θεωρητικούς υπολογισμούς και πειραματικές μετρήσεις, διαπιστώθηκε ότι οι παρεμβολές του Wi-Fi προκαλούν μείωση έως και 94.3% στην ταχύτητα μετάδοσης του ZigBee όταν οι κόμβοι Wi-Fi και ZigBee συνυπάρχουν σε απόσταση R1 (έως 32 μέτρα). Συνεπώς, η ταχύτητα μετάδοσης του ZigBee στην προσομοίωση περιορίζεται στα:

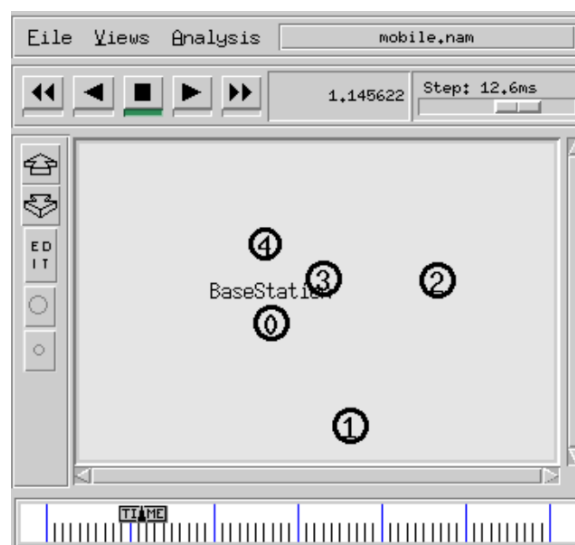
$$74.73kb/s * 0.057 = 4.26 kb/s$$

αρκετά μικρότερη από την αναμενόμενη. Εντούτοις, σύμφωνα με τον Πιν.5.1, βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων ταχύτητας με την οποία μπορεί να αποστείλει ένας κόμβος ZigBee (ως ελάχιστη ταχύτητα ορίζονται τα 2.4 kb/s). Ακόμα και στην περίπτωση αυτή, η ταχύτητα επαρκεί για τις λειτουργίες ενός Smart Home, αφού τα συστήματα διαχείρισης οικιακών συσκευών αποστέλλουν κατά περιοδικό τρόπο δεδομένα μικρού όγκου και χωρίς υψηλή προτεραιότητα.

Στην πραγματικότητα και, όσον αφορά στη συνύπαρξη με οικιακά Wi-Fi δίκτυα, η μείωση της ταχύτητας σε ένα οικιακό δίκτυο WSN δεν επέρχεται λόγω χρήσης από τους Wi-Fi κόμβους της τεχνολογίας antenna diversity του HAN/GW και των τεχνικών ανίχνευσης και αποφυγής των παρεμβολών. Οι ενδεχόμενες απώλειες οφείλονται αποκλειστικά στον τρόπο λειτουργίας του δικτύου WSN.

Στη συνέχεια, θα εξεταστεί η συμπεριφορά του HAN/GW σε περίπτωση μετακίνησης των κόμβων στο WLAN. Η προσομοίωση αυτή αφορά την ύπαρξη κινητών κόμβων, όπως smartphone, tablet και laptop, με τα οποία ο ένοικος δεν μένει περιορισμένος σε μια συγκεκριμένη θέση εντός του Smart Home. Συγκεκριμένα, το σενάριο προσομοίωσης περιλαμβάνει πέντε (5) κόμβους: τρία smartphones, ένα tablet και ένα laptop. Οι μέγιστη ταχύτητα ενός κόμβου τίθεται στα 50 kb/s. Ως χειρότερη περίπτωση, ορίζεται όλοι οι κόμβοι να αποστέλλουν με αυτή την ίδια ταχύτητα.

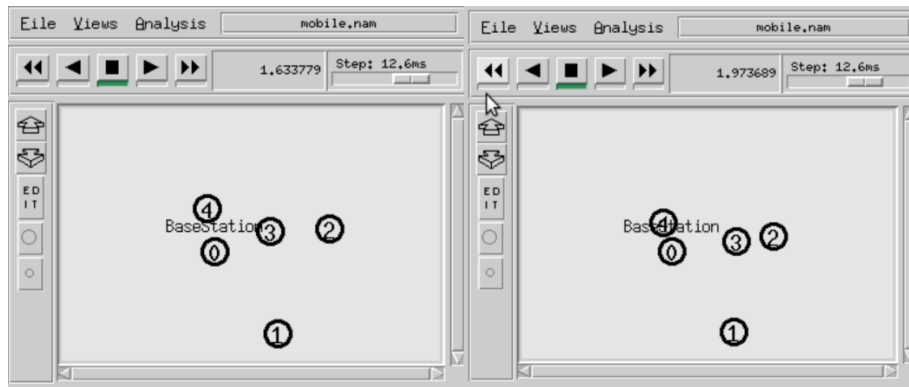
Η τοπολογία στο NS2 φαίνεται στο Σχ.5.6:



Σχήμα 5.6.

Τοπολογία δικτύου Wi-Fi με μετακίνηση κόμβων

Ορίζεται τυχαία κίνηση των κόμβων. Η μεταβολή της θέσης τους φαίνεται στα Σχ.5.7 και 5.8:



Σχήμα 5.7
Μετακίνηση κόμβων (α)



Σχήμα 5.8.
Μετακίνηση κόμβων (β)

```
Average Throughput[kbps] = 202.61  
StartTime=0.20  
StopTime=5.94
```

Σχήμα 5.9
Αποτελέσματα Wi-Fi με μετακίνηση κόμβων

Επομένως:

Wi-Fi με μετακίνηση κόμβων:

Ρυθμός αποστολής κάθε κόμβου (4 συνολικά): 50 kb/s

Ρυθμός λήψης του HAN/GW: 202.61 kb/s

Από την προηγηθείσα προσομοίωση προκύπτει το συμπέρασμα ότι η λειτουργία του HAN/GW δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή της θέσης των κόμβων Wi-Fi. Ο ρυθμός

λήψης δεδομένων από τον HAN/GW είναι ίσος και πάλι με το άθροισμα των ρυθμών αποστολής των κόμβων Wi-Fi.

Δεδομένων των περιορισμών του NS2, μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι ένας HAN/GW, υπό ρεαλιστικές συνθήκες, λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως στην προσομοίωση. Η ταχύτητα αποστολής δεδομένων προς το κεντρικό δίκτυο (ζεύξη uplink) ισούται με την ταχύτητα λήψης, κυρίως από τους κόμβους Wi-Fi εφόσον και αυτοί είναι συνδεδεμένοι με τον HAN/GW. Η ταχύτητα αυτή ενδέχεται να φθάσει και τα 100 Mb/s σε περίπτωση παρακολούθησης της κατοικίας με κάμερα Υψηλής Ανάλυσης (High Definition) και τηλεϊατρικής, ενώ η συμβολή των κόμβων ZigBee στη ζεύξη uplink είναι πολύ μικρή. Επίσης, η επίδοση του HAN/GW δεν επηρεάζεται από πιθανή μετακίνηση των κόμβων του WLAN.

Όσον αφορά στην downlink ζεύξη, ο HAN/GW μπορεί ή πρέπει να μπορεί να λαμβάνει δεδομένα με πολύ υψηλές ταχύτητες αφού ορισμένες υπηρεσίες πολυμέσων απαιτούν ταχύτητες μετάδοσης έως και 400 Mb/s. Σε περίπτωση ύπαρξης περισσότερων τέτοιων υπηρεσιών εντός του Smart Home, η συνολική ταχύτητα λήψης του HAN/GW στην downlink ζεύξη μπορεί να φθάσει το 1 Gb/s.

Οι σημερινοί HAN/GWs είναι ικανοί να διαχειριστούν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Με τη χρήση TNMAC και της τεχνικής 802.1P που περιγράφηκαν στο Κεφ.2, έχουν τη δυνατότητα να θέτουν προτεραιότητα στα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ ενοίκων και συσκευών στο Smart Home, ανάλογα με τις υπηρεσίες – εφαρμογές ή τους κόμβους που πρόκειται να αποστείλουν δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό, αποστέλλουν άμεσα τις πληροφορίες με υψηλή προτεραιότητα (π.χ. για τηλεϊατρική και έλεγχο ασφάλειας της κατοικίας). Οι υπόλοιπες πληροφορίες συλλέγονται, ομαδοποιούνται και αποστέλλονται περιοδικά σε ώρες χαμηλής αιχμής προς αποφυγή περαιτέρω επιβάρυνσης και υπερφόρτωσης του κεντρικού δικτύου επικοινωνιών.

Η ενσωμάτωση νέων υπηρεσιών στο Smart Home δημιουργεί την ανάγκη για ολοένα αυξανόμενο εύρος ζώνης. Οι κατασκευαστές των δικτύων Smart Home καλούνται να καλύπτουν με επιτυχία τις απαιτήσεις των ενοίκων και να παρέχουν αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων και ποιοτική επικοινωνία. Το δίκτυο Smart Home οφείλει να θέτει προτεραιότητα στις υπηρεσίες του προκειμένου να εξασφαλιστεί σωστή διαχείριση των τηλεπικοινωνιακών πόρων και εξυπηρέτηση των ενοίκων του Smart Home.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

M2M	Machine-to-Machine
IoT	Internet of Things
H2H	Human-to-Human
QoS	Quality of Service
PAN	Personal Area Network
LAN	LocalArea Network
WAN	Wide Area Network
LPAN	Low-rate Personal Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Networks
bAN	Body Area Networks
LTE	Long Term Evolution
Wi-Fi	Wireless Fidelity
SG	Smart Grid
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
BPSK	Binary Phase Shift Keying
ASK	Amplitude Shift Keying
O-QPSK	Offset Quadrature Shift Keying
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CCA	Clear Channel Assessment
BLE	Bluetooth Low Energy
IAPP	Inter-Access Point Protocol
MIMO	Multiple Inputs Multiple Outputs
DS	Distribution System
TS	Transmission Substations
BSS	Basic Service Set
AP	Access Point
HAN	Home Area Network
BAN	Building Area Network
NAN	Neighborhood Area Networks
HAN/GW	HAN Gateway
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
WMN	Wireless Mesh Networks
WSN	Wireless Sensor Networks
ISM Frequency Band	Industrial, Scientific and Medical Frequency Band
NS	Network Simulator
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
HE	Ηλεκτρική Ενέργεια
XT	Χαμηλή Τάση
MT	Μέση Τάση
YT	Υψηλή Τάση

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Khusvinder Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao, and Xin Lu "A ZigBee-Based Home Automation System", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 55, No. 2, MAY 2009
- [2] Miguel A. Zamora-Izquierdo, José Santa, and Antonio F. Gómez-Skarmeta University of Murcia "An Integral and Networked Home Automation Solution for Indoor Ambient Intelligence", PERVASIVE computing
- [3] A. J. Dinusha Rathnayaka, Vidyasagar M. Potdar, Samitha J. Kuruppu "Evaluation of Wireless Home Automation Technologies", 5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2011), 31 May -3 June 2011, Daejeon, Korea
- [4] Yan Zhang, Simula Research Laboratory and University of Oslo Rong Yu and Shengli Xie, Guangdong University of Technology and South China University of Technology, Wenqing Yao, Beijing University of Post and Telecommunications and South China University of Technology, Yang Xiao, University of Alabama, Mohsen Guizani, Kuwait University "Home M2M Networks: Architectures, Standards, and QoS Improvement", IEEE Communications Magazine, April 2011
- [5] Geng Wu, Shilpa Talwar, Kerstin Johnsson, Nageen Himayat, and Kevin D. Johnson, Intel "M2M: From Mobile to Embedded Internet", IEEE Communications Magazine, April 2011
- [6] Dusit Niyato, Lu Xiao, and Ping Wang, Nanyang Technological University, Singapore, "Machine-to-Machine Communications for Home Energy Management System in Smart Grid", IEEE Communications Magazine, April 2011
- [7] Kan Zheng, Fanglong Hu, and Wenbo Wang, Beijing University of Posts & Telecommunications Wei Xiang, University of Southern Queensland Mischa Dohler, Centre Tecnologic de Telecommunications de Catalunya (CTTC), "Radio Resource Allocation in LTE-Advanced Cellular Networks with M2M Communications", IEEE Communications Magazine, July 2012
- [8] Michael Starsinic, Member IEEE InterDigital Communications, LLC, King of Prussia, PA " System Architecture Challenges in the Home M2M Network", 978-1-4244-5550-8/10/\$26.00 ©2010 IEEE
- [9] Zubair Md. Fadlullah, Mostafa M. Fouda, and Nei Kato, Tohoku University Akira Takeuchi, Noboru Iwasaki, and Yousuke Nozaki, NTT Energy and Environment Systems Laboratories "Toward Intelligent Machine-to-Machine Communications in Smart Grid", IEEE Communications Magazine, April 2011
- [10] Shao-Yu Lien and Kwang-Cheng Chen, National Taiwan University Yonghua Lin, IBM Research Division, "Toward Ubiquitous Massive Accesses in 3GPP Machine-to-Machine Communications", IEEE Communications Magazine, April 2011
- [11] Ms. Swati V. Birje¹, Mr. Mahesh S. Kumbhar², Mr. Raviraj S. Patkar, E & TC, RIT, Sakhrle, Islampur, Shivaji University, India, IT, RMCET, Devrukh, Mumbai University India "Performance Comparison of 802.11and 802.15.4 based Networks", International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 2, Issue 3, March 2013

- [12] Dr. Tulin Mangir, Lelass Sarakbi, Harvy Younan, "Analyzing the Impact of Wi-Fi Interference on ZigBee Networks Based on Real Time Experiments", International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.2, No.4, July 2011
- [13] Carlene E-A Campbell¹, K-K Loo¹, Heba A. Kurdi², S. Khan¹, "Comparison of IEEE 802.11 and IEEE 802.15.4 for Future Green Multichannel Multi-radio Wireless Sensor Networks", International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS) Vol. 3, No. 1, April 2011
- [14] Matthew B. Shoemake, Ph.D., "Wi-Fi (IEEE 802.11b) and Bluetooth Coexistence Issues and Solutions for the 2.4 GHz ISM Band", Texas Instruments February 2001, Version 1.1
- [15] Tiago D. P. Mendes ¹, Radu Godina ¹, Eduardo M. G. Rodrigues ¹, João C. O. Matias ¹ and João P. S. Catalão, "Smart Home Communication Technologies and Applications: Wireless Protocol Assessment for Home Area Network Resources", Energies 2015, 8, 7279-7311; doi:10.3390/en8077279
- [16] Baruch Awerbuch, David Holmer, and Herbert Rubens, Johns Hopkins University, Baltimore MD, USA, "High Throughput Route Selection in Multi-rate Ad Hoc Wireless Networks"
- [17] Mrs. A. Narmada¹, Dr. P. Sudhakara Rao, "Performance Comparison Of Routing Protocols For Zigbee Wpan", IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, Issue 6, No 2, November 2011 ISSN (Online): 1694-0814
- [18] Baruch Awerbuch, David Holmer, Herbert Rubens, "Effects of Multi-rate in Ad Hoc Wireless Networks", Technical Report
- [19] Raluca Mus¹aloiu-E., R²azvan Mus³aloiu-E., Andreas Terzis, Computer Science Department Johns Hopkins University, "Gateway Design for Data Gathering Sensor Networks"
- [20] Yong Tang, "Performance Study for Co-Existing Wi-Fi and ZigBee Systems and Design of Interoperability Techniques", School of Electrical Engineering and Computer Science Faculty of Engineering, University of Ottawa
- [21] Ivanovitch Silva, Rafael Leandro, Daniel Macedo, Luiz Affonso Guedes, "A dependability evaluation tool for the Internet of Things", Computers and Electrical Engineering 39 (2013) 2005–2018
- [22] Min Chen, Senior Member, IEEE, Jiafu Wan, Member, IEEE, Sergio Gonzalez, Member, IEEE, Xiaofei Liao, Member, IEEE, and Victor C.M. Leung, Fellow, IEEE, "A Survey of Recent Developments in Home M2M Networks", IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 16, NO. 1, FIRST QUARTER 2014
- [23] Sunghoi Parka, Myeong-in Choia, Byeongkwan Kanga, Sehyun Park, "Design and Implementation of Smart Energy Management System for Reducing Power Consumption using ZigBee Wireless Communication Module", The 3rd International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT 2013)
- [24] Zhen-ya Liu, "Hardware Design of Smart Home System Based on ZigBee, Wireless Sensor Network", 2014 AASRI Conference on Sports Engineering and Computer Science (SECS 2014)
- [25] Kunho Hong, SuKyoung Lee, Kyoungwoo Lee Yonsei University, Department of Computer Science, 50 Yonsei Ro, Soedaemun-gu, 120-749 Seoul, Republic of Korea, "Performance improvement in ZigBee-based home networks with coexisting WLANs", Pervasive and Mobile Computing 19 (2015) 156–166

- [26] Naser Movahhedinia n, Behrouz Shahgholi Ghahfarokhi, "Performance analysis of Bluetooth asynchronous connection-less service", *Journal of Network and Computer Applications* 34 (2011) 731–738
- [27] Danping He, Gabriel Mujica, Guixuan Liang, Jorge Portilla, Teresa Riesgo, "Radio propagation modeling and real test of ZigBee based indoor wireless sensor networks", *Journal of Systems Architecture* 60 (2014) 711–725
- [28] Zhenyu Zoua, Ke-Jun Lib, Ruzhen Lia and Shaofeng Wu, "Smart Home System Based on IPV6 and ZIGBEE Technology", *Procedia Engineering* 15 (2011) 1529 – 1533
- [29] Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito, "The Internet of Things: A survey", *Computer Networks* 54 (2010) 2787–2805
- [30] K. Shuaib, M. Boulmalf, F. Sallabi and A. Lakas, College of Information Technology, UAE University, "Co-existence of Zigbee and WLAN, A Performance Study"
- [31] Chenyan Zhang, Wenguang Luo College of Electrical and Information Engineering Guangxi University of Science and Technology, "Topology Performance Analysis of Zigbee Network in the Smart Home Environment", 2013 Fifth International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics
- [32] Cheng Jin and Thomas Kunz, "Design and Implementation of a Smart Home Networking Simulation", Carleton University, Systems and Computer Engineering, Technical Report SCE-10-05, August 2010
- [33] Jan Mikulka, Stanislav Hanus, "Bluetooth and IEEE 802.11b/g Coexistence Simulation", Dept. of Radio Electronics, Brno University of Technology, Purkyňova 118, 612 00 Brno, Czech Republic
- [34] Nazif Cihan Tas, Chellury (Ram) Sastry, Zhen Song, Siemens Corporate Research Princeton, NJ, 08540, "IEEE 802.15.4 Throughput Analysis under IEEE 802.11 Interference"
- [35] Wail Mardini, Yaser Khamayseh, Reem Jaradat and Rana Hijawi, Computer Science Department, Jordan University of Science and Technology, Irbid 22110 Jordan, "Interference Problem between ZigBee and WiFi", 2012 IACSIT Hong Kong Conferences IPCSIT vol. 30 (2012) © (2012) IACSIT Press, Singapore
- [36] Peng Guo and Jiannong Cao, Xuefeng Liu Hong Kong Polytechnic University Hong Kong, China, Kui Zhang University of Twente Netherlands, "Enhancing Zigbee throughput under WiFim interference using real-time adaptive coding", IEEE INFOCOM 2014 – IEEE Conference on Computer Communications
- [37] Wei Yuan, Xiangyu Wang and Jean-Paul M. G. Linnartz Philips Research, High Tech Campus 37, Eindhoven, The Netherlands, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, "A Coexistence Model of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.11b/g"
- [38] Er. Anamika Vatsal, Prof. Mehajabeen Fatima, Deptt.of Electronics & Communication, Sagar Institute of Research & Technology, Bhopal, India, "Impact of Frequency Offset on Interference between Zigbee and Wifi for Smart Grid Applications", *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)* e-ISSN: 2278-2834,p- ISSN: 2278-8735. Volume 7, Issue 5 (Sep. - Oct. 2013), PP 59-64
- [39] Chieh-Jan Mike Liang, Nissanka Bodhi Priyantha, Jie Liu, Andreas Terzis, "Surviving Wi-Fi Interference in Low Power ZigBee Networks"

- [40] Zahra Forootan Jahromi and Amir Rajabzadeh, Ali Reza Manashty, "A Multi-Purpose Scenario-based Simulator for Smart House Environments", (IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security, Vol. 9, No. 1, January 2011
- [41] Mahmoud A. Al-Qutayri and Jeedella S. Jeedella, Khalifa University of Science, Technology, and Research, United Arab Emirates, "Integrated Wireless Technologies for Smart Homes Applications"
- [42] Charith Perera, (Member, IEEE), Chi Harold Liu, (Member, IEEE), Srimal Jayawardena, (Member, IEEE) and Min Chen, (Senior Member, IEEE), "A Survey on Internet of Things From Industrial Market Perspective", IEEE Access, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2015.2389854
- [43] Fayeze Ghavimi, Student Member, IEEE, and Hsiao-Hwa Chen, Fellow, IEEE, "M2M Communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks: Architectures, Service Requirements, Challenges, and Applications", IEEE COMMUNICATION SURVEYS AND TUTORIALS, VOL. XX, NO. Y, MONTH 2014
- [44] Divangna Gupta*, Rajneesh Kumar Gujral, "Simulation of Different Routing Protocols in MANET Using NS2", International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 8, August 2014, ISSN 2250-3153
- [45] Yang Zhongguo, Cai Tianfang, "The Research on Smart Home's Wireless Control Mechanism", International Journal of Smart Home Vol. 9, No. 6 (2015), pp. 119-132
- [46] Αναστάσιος-Διονύσιος Καραγιάννης, "Ασφάλεια στα Ευφυή Δίκτυα", Διπλωματική Εργασία, Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π.
- [47] Βούρος Ανδρέας, "Ασφάλεια Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων σε Εφαρμογές Επιτήρησης και Παρακολούθησης Περιοχής", Διπλωματική Εργασία, Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π.
- [48] B.Plepalli, W.Xie, D.Thngaraja, M.Goyal, H.Hosseini, Y.Bashir, "Impact of IEEE 802.11n Operation on IEEE 802.15.4 Operation", International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp.328-333, 2009
- [49] H.Huo, Y.Xu, C.Bilen, H.Zhang, "Coexistence Issues of 2.4GHz Sensor Networks with Other RF Devices at Home", Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp.200-205, 2009
- [50] K.Shuaib, M.Boulmalf, F.Sallabi, A.Lakas, "Co-existence of Zigbee and WLAN, A Performance Study", Wireless Telecommunications Symposium, 2006, pp.1-6, Pomona, CA, April 200
- [51] M.Petrova, L.Wu, P.Mahonen, J.Riihijarvi, "Interference Measurements on Performance Degradation between Colocated IEEE 802.11g/n and IEEE 802.15.4 Networks", Sixth International Conference on Networking, pp.93, 2007
- [52] D.Yang, Y.Xu, M.Gidlund, "Coexistence of IEEE 802.15.4 based networks: A survey", 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp.2107-2113, 2010
- [53] L.Angrisani, M.Bertocco, M.Fortin, D.Sona, "Experimental Study of Coexistence Issues Between IEEE 802.11b and IEEE 802.15.4 Wireless Networks", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.57, Issue.8, pp.1514-1523, Aug.2008
- [54] S.Shin, H.Park, "Packet Error Rate Analysis of ZigBee Under WLAN and Bluetooth Interferences", IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 6, NO. 8, pp.2825-2830, Aug. 2007

- [55] G.Zhou, T.He, J.Stankovic, and T.Abdelzaber, "RID: Radio interference detection in wireless sensor networks," in Proc. IEEE 24th Annu. Joint Conf. IEEE Comput. Commun. Soc., 2005, pp. 891–901
- [56] S. M. Kim, J. W. Chong, C. Y. Jung, T. H. Jeon, J. H. Park, Y. J. Kang, S. H. Jeong, M. J. Kim, and D. K. Sung, "Experiments on Interference and Coexistence between Zigbee and WLAN Devices Operating in the 2.4 GHz ISM Band," in Proc. NGPC, pp. 15 - 19, Nov 2005
- [57] C.Won, J.H.Youn, H.Ali, H.Sharif, J.Deogun, "Adaptive Radio Channel Allocation for Supporting Coexistence of 802.15.4 and 802.11b," Vehicular Technology Conference, vol 4, pp. 2522-2526, Sep. 2005
- [58] M.Kang, J.Chong, H.Hyun, S.Kim, B.Jung, and D.Sung, "Adaptive interference-aware multichannel clustering algorithm in a ZigBee network in the presence of WLAN interference," in Proc. 2007 2nd Int. Symp. Wireless Pervasive Comput., pp. 200–20
- [59] P.Yi, A.lwayemi, and C.Zhou, "Developing ZigBee Deployment Guideline Under WiFi Interference for Smart Grid Applications", IEEE Trans. Smart Grid, IEEE Early Access, 2010
- [60] P.Yi, A.lwayemi, and C.Zhou, "Frequency agility in a ZigBee network for smart grid application", IEEE Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 1-6, 2010
- [61] B.H.Jung, J.W. Chong, C.Y.Jung, S.M.Kim, and D.K.Sung, "Interference mediation for coexistence of WLAN and ZigBee networks", IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC 2008, pp. 1-5, 2008