



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Διασύνδεση έξυπνων συσκευών με το σύστημα έξυπνης μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ Β. ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΩΤΤΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Διασύνδεση έξυπνων συσκευών με το σύστημα έξυπνης μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ Β. ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΩΤΤΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Παναγιώτης Κωττής

.....
Χρήστος Καψάλης

.....
Γεώργιος Φικιώρης

ΑΘΗΝΑ 2016

ΧΡΗΣΤΟΣ Β. ΝΙΚΟΛΟΓΙΑΝΝΗΣ

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

Copyright © Χρήστος Β. Νικολογιάννης, 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Παναγιώτη Κωττή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ενθάρρυνση που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας αυτής. Η αναλυτικότητα με την οποία διάβασε την εργασία είχε ως αποτέλεσμα οι παρατηρήσεις και οι συμβουλές του να αποδεικνύονται καθημερινά ανεκτίμητης αξίας στις ακαδημαϊκές και επαγγελματικές μου δραστηριότητες. Επιπλέον, θέλω να εκφράσω την εκτίμησή μου σε όλους τους καθηγητές των τομέων των τηλεπικοινωνιών και των μαθηματικών των οποίων μαθήματα παρακολούθησα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, οι οποίοι καλλιέργησαν πολύ αποδοτικά το ενδιαφέρον μου στα μαθηματικά και στις τηλεπικοινωνίες. Επιπροσθέτως, τις ευχαριστίες μου να εκφράσω και στη φίλη μου Ζωή, που μοιράστηκε μαζί μου τις ανησυχίες μου και με ανέχτηκε και με στήριξε κατά τη διάρκεια της συγγραφής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου που με υποστήριξαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας αυτής και συνολικά για την βοήθειά που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η οργάνωση των υπηρεσιών M2M στην έξυπνη κατοικία και οι προκλήσεις που υπάρχουν κατά τη σχεδίαση. Η απαίτηση του σύγχρονου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας να αποκτήσει ευφυή χαρακτηριστικά είχε ως αποτέλεσμα την έρευνα και την υλοποίηση των *έξυπνων μετρητών (Smart Meters - SM)*, που αποτελούν τμήμα του ευρύτερου *ευφυούς δικτύου (Smart Grid - SG)*. Οι επικοινωνίες από μηχανή σε μηχανή (Machine to Machine – M2M communications) σχετίζονται με τεχνολογίες που επιτρέπουν σε ενσύρματα και ασύρματα συστήματα να επικοινωνούν με άλλες συσκευές του ίδιου τύπου. Για να αντιμετωπιστεί η αυξημένη ζήτηση για υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και βέλτιστη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας στο οικιακό περιβάλλον, έχει επικρατήσει η ιδέα της χρήσης *έξυπνων συσκευών (smart appliances)* εντός του *οικιακού δικτύου (Home Area Network – HAN)*. Στη συνέχεια, αναλύονται τα τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα που είναι διαθέσιμα να χρησιμοποιηθούν από τις M2M εφαρμογές και υπηρεσίες που προσφέρονται στο HAN. Τέλος, οι υπηρεσίες της έξυπνης κατοικίας διακρίνονται σε 4 κατηγορίες: Διαχείριση ενέργειας, Υπηρεσίες υγείας, Συστήματα παρακολούθησης και ασφάλειας και Υπηρεσίες Πολυμέσων. Οι υπηρεσίες οργανώνονται με τα εξής κριτήρια: Ασφάλεια, Δικτύωση, Αξιοπιστία, Ενεργειακή Βελτιστοποίηση, απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης και ανεκτικότητα σε καθυστέρηση.

Λέξεις-κλειδιά: M2M αρχιτεκτονική, έξυπνος μετρητής, ευφύες δίκτυο, HAN, NAN έξυπνες συσκευές, υπηρεσίες οικιακού δικτύου, ανεκτικότητα σε καθυστέρηση, πολιτικές ομαδοποίησης, επείγουσες υπηρεσίες.

Abstract

The thesis in question deals with the organization of M2M services in the smart home and the challenges in designing the architecture of the smart home network. The requirements of the modern electrical grid for intelligence have resulted in the research and implementation of smart meters (SM), which are part of the broader smart grid (SG). Machine to machine communications (M2M) are related to technologies that enable wired and wireless systems to communicate with other devices of the same type. To meet the growing demand for high energy efficiency and optimal management of the electricity in the home environment, the idea of using smart appliances within the Home Area Network (HAN) has emerged. The telecommunication protocols available for use by the M2M applications and the services offered at HAN are also analyzed. Finally, smart home services are divided into four categories: energy management, health services, security and monitoring systems and Multimedia services. The services are organized with the following criteria: Security, Networking, Reliability, Energy Optimization, bit rate requirements and delay-tolerance.

Key words: M2M architecture, Smart Meter (SM), Smart Grid (SG), HAN, NAN, smart appliances, HAN services, delay tolerance, aggregation policies, emergency services.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή στους έξυπνους μετρητές και στις M2M επικοινωνίες.....	13
1.1	Έξυπνος Μετρητής – Smart Meter (SM)	15
1.2	Προηγμένη Υποδομή Μετρήσεων (Advanced Metering Infrastructure)	16
1.3	Τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες και πρωτόκολλα	19
1.3.1	Πρωτόκολλο ZigBee	20
1.3.2	WiFi (πρωτόκολλο IEEE 802.11).....	21
1.3.3	6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks) ...	21
1.3.4	Πρωτόκολλο Bluetooth.....	22
1.3.5	Υπέρυθρη μετάδοση δεδομένων (Infrared Data Association – IrDA) ...	23
1.3.6	Ultra Wide Band (UWB)	24
1.3.7	Power Line Communications (PLC)	24
1.3.8	Κυψελωτά δίκτυα	26
1.3.9	Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL – Digital Subscriber Line).....	26
1.4	Συμπεράσματα και η σημασία του IPv6	27
2	M2M επικοινωνίες	29
2.1	Γενική επισκόπηση των M2M επικοινωνιών	29
2.2	Η αρχιτεκτονική των δικτύων M2M.....	30
2.3	Ασύρματες M2M επικοινωνίες & εφαρμογές Ευφυούς Δικτύου	31
2.3.1	Εφαρμογές στο Ευφύες δίκτυο (Smart Grid - SG)	31
2.3.2	Cloud computing για big data.....	32
2.4	Περιορισμοί των M2M επικοινωνιών.....	33
2.5	Ανοικτά ερευνητικά θέματα	35
3	Έξυπνες συσκευές και οικιακά δίκτυα	37
3.1	Βασικές λειτουργίες έξυπνων συσκευών	38
3.1.1	Κίνητρα στροφής προς τις έξυπνες συσκευές.....	38
3.1.2	Διεπαφή με τους χρήστες και προβλήματα	40
3.1.3	Ηλεκτρονικοί ελεγκτές.....	41
3.1.4	Αισθητήρες και ενεργοποιητές σε οικιακές συσκευές.....	42
3.2	M2M πύλες που χρησιμοποιούνται στο οικιακό δίκτυο.....	44

3.2.1	Έλλειψη πόρων και προβλήματα δρομολόγησης σε δίκτυα οικιακού αυτοματισμού.	45
3.2.1.1	Μεταφραστής Διευθύνσεων Δικτύου (NAT).....	46
3.2.1.2	Ενεργειακές Απαιτήσεις M2M δικτύων	46
3.2.2	Ολοκληρωμένη M2M πύλη (Integrated M2M gateway)	48
3.2.3	Software-Defined Radio (SDR).....	49
3.2.4	Κυψελωτά δίκτυα και φεμτοκυψέλες	51
3.2.5	Συμπεράσματα.....	52
3.3	Υπηρεσίες στο έξυπνο σπίτι.....	53
3.3.1	Έλεγχος φωτισμού	54
3.3.2	Έλεγχος κλιματισμού στην οικία (HVAC control)	54
3.3.3	Έξυπνη παρακολούθηση	54
3.3.4	Αυτοματοποιημένο σύστημα ασφαλείας	55
3.3.5	Έλεγχος οικιακών συσκευών	55
3.3.6	Ευφυής άρδευση και παροχή νερού	55
3.3.7	Εφαρμογές υγείας και βιομέτρησης	56
3.3.8	Έξυπνοι μετρητές	56
3.3.9	Έξυπνες εφαρμογές και ενεργειακές ρυθμίσεις	56
3.4	Οφέλη του οικιακού αυτοματισμού	57
3.4.1	Εξοικονόμηση ενέργειας	57
3.4.2	Βελτιωμένη ασφάλεια	57
3.4.3	Βελτίωση της άνεσης και της ποιότητας ζωής	57
3.4.4	Περιβάλλον	58
4	Οργάνωση των Smart Home υπηρεσιών	59
4.1	Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών.....	59
4.2	Τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις των HAN	61
4.2.1	Ασφάλεια (Security).....	61
4.2.2	Δικτύωση (Network Operation).....	62
4.2.3	Αξιοπιστία (Dependability)	63
4.2.4	Ενεργειακή Βελτιστοποίηση (Energy Optimization)	63
4.2.5	Απαιτήσεις των HAN ανά κατηγορία υπηρεσιών.....	64
4.3	Πολιτικές Ομαδοποίησης.....	66

4.4	Ανοχή των υπηρεσιών του HAN σε καθυστέρηση.....	67
4.4.1	Καθυστέρηση σε υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας	68
4.4.2	Καθυστέρηση σε υπηρεσίες υγείας	68
4.4.3	Καθυστέρηση στις υπηρεσίες ασφάλειας και παρακολούθησης.....	69
4.4.4	Καθυστέρηση σε υπηρεσίες πολυμέσων	69
4.5	Επείγουσες υπηρεσίες	69
4.6	Συμπεράσματα.....	70
5	Βιβλιογραφία.....	73

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1.1 Παράδειγμα SM βασισμένο στο Open Smart Grid Protocol (OSGP) που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη και έχει τη δυνατότητα μείωσης του φορτίου, απομακρυσμένης σύνδεσης/αποσύνδεσης και αλληλεπίδρασης με μετρητές αερίου και ύδατος.....	16
Σχήμα 1.2 Επικοινωνιακό δίκτυο μεταξύ SM και MDMS	16
Σχήμα 1.3 Το ZigBee ως πρωτόκολλο για το οικιακό δίκτυο (HAN).....	20
Σχήμα 1.4 End-to-end επικοινωνία από τον έξυπνο μετρητή ως το κέντρο διαχείρισης και επεξεργασίας	27
Σχήμα 3.1 Απεικόνιση του ετήσιου ενεργειακού κόστους συσκευών σε 20-ετή περίοδο με βάση τους νέους κανονισμούς του αμερικανικού υπουργείου ενέργειας (1993).....	39
Σχήμα 3.2 Ένα οικιακό M2M δίκτυο.....	45
Σχήμα 3.3 Η ολοκληρωμένη M2M πύλη	49
Σχήμα 3.4 Πρόσβαση στις συσκευές στο έξυπνο σπίτι μέσω του παγκόσμιου πλαισίου δικτύων	53
Σχήμα 4.1 Ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας για smart home. Εφαρμογές και ρυθμοί μετάδοσης.....	59
Σχήμα 4.2 Ρυθμοί μετάδοσης αντίστοιχα με το είδος της εφαρμογής	60
Σχήμα 4.3 Απαιτήσεις και χαρακτηριστικά των HAN ανά κατηγορία υπηρεσιών.....	64
Σχήμα 4.4 Τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα ανά υπηρεσία	66

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1-1 M2M τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρόσβασης.....	23
Πίνακας 4-1 MTU για διάφορους τύπους ζεύξεων δεδομένων.....	67
Πίνακας 4-2 Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών ανάλογα με την καθυστέρηση	70

1 Εισαγωγή στους έξυπνους μετρητές και στις M2M επικοινωνίες

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει πραγματοποιήσει μεγάλα βήματα με εξελίξεις που είναι φανερές σε όλους τους τομείς της επιστήμης, έχοντας αντίκτυπο στην καθημερινή ζωή. Ιδιαίτερα στις τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική, η πρόοδος είναι εκθετική. Νέα προϊόντα και υπηρεσίες αναδύονται συνεχώς, με στόχο να χρησιμοποιηθούν από το μέσο καταναλωτή. Επίσης, έχει καταστεί εμφανής η ανάγκη καλύτερης αξιοποίησης του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου καθώς και η προοπτική διασύνδεσης των ηλεκτρικών συσκευών στις οικίες, τα γραφεία, σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και όπου αλλού. Από τα προηγούμενα, είναι φανερό ότι ο τομέας της ενέργειας έχει μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης.

Σήμερα, η ζήτηση στον κλάδο της ενέργειας έχει αυξηθεί κατακόρυφα, αφού στον κλάδο αυτό βασίζονται η βιομηχανία, η θέρμανση, ο κλιματισμός, η επικοινωνία, ο φωτισμός και άλλες εφαρμογές και υπηρεσίες. Η μαζική αυτή ζήτηση αποτελεί βασική αιτία μείωσης της ποιότητας και της αξιοπιστίας των παρεχόμενων υπηρεσιών ενέργειας που εκδηλώνεται με διακοπές παροχής, πτώσεις στην τάση παροχής (brownouts) ακόμα και ολική απώλεια ηλεκτρικού ρεύματος σε μία περιοχή (blackout). Είναι φανερή η ανάγκη για δυναμική τιμολόγηση, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με συχνότερες μετρήσεις και εξαγωγή στατιστικών χρήσης, που θα αποστέλλονται για κατάλληλη επεξεργασία. Έτσι, το δίκτυο θα αποκτήσει ευφυΐα που θα εκδηλωθεί κυρίως μέσω της τηλεπιτήρησης και της τηλεμετρίας. Η απαίτηση το σύγχρονο δίκτυο να αποκτήσει ευφυή χαρακτηριστικά είχε ως αποτέλεσμα την έρευνα και την υλοποίηση των *έξυπνων μετρητών (Smart Meters - SM)*, που αποτελούν τμήμα του ευρύτερου *ευφυούς δικτύου (Smart Grid - SG)*. Το SG θα είναι η επόμενη γενιά ηλεκτρικού δικτύου που θα περιλαμβάνει έξυπνους μετρητές, έξυπνες συσκευές και ενεργειακά αποδοτικούς πόρους. Επίσης, ο έλεγχος της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικές πτυχές του ευφυούς δικτύου. Από τεχνολογικής πλευράς δεν υπάρχουν εμπόδια για την εισαγωγή των έξυπνων μετρητών. Η εφαρμογή τους στην Ιταλία (περίπου 30

εκατομμύρια μετρητές σε οικιακούς πελάτες) και πολλά αντίστοιχα projects σε άλλες χώρες, δείχνουν ότι η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία (Hardware και λογισμικό των SM, πρωτόκολλα επικοινωνίας και δρομολόγησης, υποδομές, επεξεργασία δεδομένων) είναι ώριμη και μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν το διάδοχο των συμβατικών ηλεκτρικών μετρητών.

Η έρευνα για την καλύτερη αξιοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου ανάγεται επαγωγικά στη μελέτη της διασύνδεσης των ηλεκτρικών συσκευών, γνωστή και ως επικοινωνία μεταξύ μηχανών (*Machine to Machine – M2M communications*). Η επικοινωνία μεταξύ των ηλεκτρικών συσκευών περιλαμβάνει ένα γενικότερο σύνολο τεχνολογιών που συμπεριλαμβάνει και τους έξυπνους μετρητές. Μέχρι τώρα, κύριο μέλημα των τηλεπικοινωνιών είναι η εξυπηρέτηση της επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων (H2H – Human to Human). Στόχος τους είναι η καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών φωνής, εικόνας και δεδομένων, αντιμετωπίζοντας επαρκώς τους παράγοντες που επηρεάζουν δυσμενώς την επικοινωνία. Η επικοινωνία μεταξύ μηχανών (M2M) αναφέρεται σε τεχνολογίες που θα επιτρέψουν νέες εφαρμογές στο βιομηχανικό αυτοματισμό, το ευφυές δίκτυο (smart grid), την υγεία, την ασφάλεια, με κύριο στόχο την καλύτερη εποπτεία της παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και τον έλεγχο του οικιακού δικτύου. Η διασύνδεση μπορεί να γίνεται μεταξύ δύο συσκευών για ανταλλαγή πληροφοριών ή μέσα σε ένα ολόκληρο δίκτυο συσκευών με στόχους την αύξηση της ενεργειακής και λειτουργικής αποδοτικότητας των συσκευών και τη μείωση του κόστους σε εφαρμογές της καθημερινής ζωής. Για την υλοποίηση αυτής της δικτύωσης χρησιμοποιούνται ασύρματες, ενσύρματες ή υβριδικές τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι το M2M θα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του «Διαδικτύου των πραγμάτων» (Internet of things - IoT).

Ακολούθως, θα δοθούν ορισμοί για τις ανωτέρω έννοιες και θα γίνει αναφορά σε ορισμένες εφαρμογές του ευφυούς δικτύου.

1.1 Έξυπνος Μετρητής – Smart Meter (SM)

Έξυπνος μετρητής (Smart Meter – SM) είναι μία ηλεκτρονική διάταξη που καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες ηλεκτρικές παραμέτρους κατά περιοδικό τρόπο (σε χρόνους που ποικίλλουν από 15 λεπτά ως μία ώρα, σε αντιστοιχία με τις προδιαγραφές). Ο SM αποστέλλει τις πληροφορίες που συλλέγει στο κεντρικό σημείο συλλογής πληροφοριών σε ημερήσια βάση, με στόχο την παρακολούθηση του δικτύου και την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτές τις πληροφορίες συμπεριλαμβάνονται μετρήσεις όπως η τάση και η ένταση του ρεύματος. Για κάθε οικιακό χρήστη ή βιομηχανία, διαμορφώνεται ένα ενεργειακό προφίλ, δυνατότητα που δεν υπήρχε χωρίς τον SM, καθώς οι συμβατικές μετρήσεις της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνται πολύ αραιά (κάθε 4 μήνες). Επιπλέον, οι SM επιτρέπουν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος.

Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του ευφυούς μετρητή είναι:

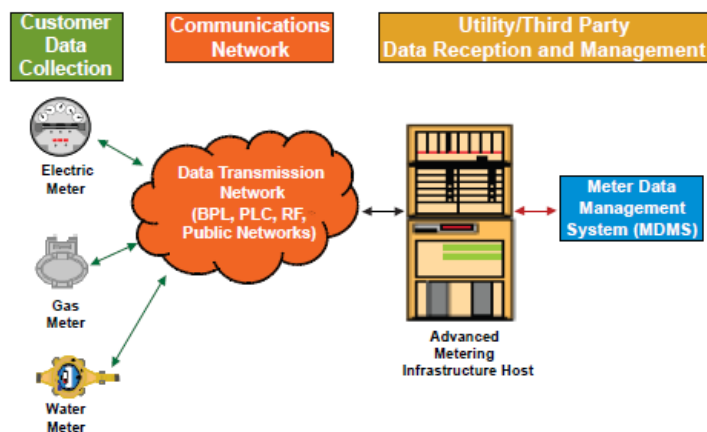
- Έλεγχος της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του SM με εντολές από απόσταση (π.χ. διακοπή παροχής)
- Δυνατότητα αναβάθμισης του SM από απόσταση
- Δεν χρειάζεται επιτόπια μέτρηση ή ανάγνωση μετρητών για την καταγραφή των μετρήσεων. Χάρη στην αυτόματη αποστολή τους από τον SM στον κεντρικό κόμβο ή μονάδα επεξεργασίας.
- Ο SM εντοπίζει και αναφέρει ηλεκτρικά προβλήματα (όπως χρονικά διαστήματα μειωμένης τάσης) στο κέντρο επεξεργασίας, ώστε να πραγματοποιηθούν ενέργειες βελτίωσης της παροχής.
- Καίτοι ο όρος *έξυπνος μετρητής* αναφέρεται κατά κύριο λόγο σε συσκευές μέτρησης ηλεκτρισμού, περιλαμβάνει, επίσης, και τις μετρητικές διατάξεις που μετρούν την κατανάλωση φυσικού αερίου ή ύδατος.



Σχήμα 1.1 Παράδειγμα SM βασισμένο στο Open Smart Grid Protocol (OSGP) που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη και έχει τη δυνατότητα μείωσης του φορτίου, απομακρυσμένης σύνδεσης/αποσύνδεσης και αλληλεπίδρασης με μετρητές αερίου και ύδατος

1.2 Προηγμένη Υποδομή Μετρήσεων (Advanced Metering Infrastructure)

Η προηγμένη υποδομή μετρήσεων (Advanced Metering Infrastructure ή AMI) αναφέρεται τυπικά σε όλα τα συστήματα και δίκτυα μέτρησης, συλλογής, αποθήκευσης και ανάλυσης πληροφοριών που σχετίζονται με υπηρεσίες κοινής ωφέλειας. Συμπεριλαμβάνει τους μετρητές στο χώρο των χρηστών, το επικοινωνιακό δίκτυο μεταξύ χρηστών και παρόχων υπηρεσιών (εταιρειών ηλεκτρισμού, αερίου ή ύδρευσης) και τα συστήματα αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων, που καθιστούν διαθέσιμη την πληροφορία σε μια κεντρική τοποθεσία για επεξεργασία.



Σχήμα 1.2 Επικοινωνιακό δίκτυο μεταξύ SM και MDMS

Σύμφωνα με το Σχ.1.2, οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας είναι εξοπλισμένοι με έξυπνους μετρητές, που μεταδίδουν τα δεδομένα που μετρούν στο σύστημα διαχείρισης δεδομένων (Meter Data Management System – MDMS), μέσω ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων. Στο MDMS αποθηκεύονται τα δεδομένα και αναλύονται, ώστε να παρέχεται η πληροφορία σε μορφή αξιοποιήσιμη για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας.

Τα συστήματα SM είναι πλήρως λειτουργικά πληροφοριακά συστήματα. Στοιχεία ενός συστήματος αποτελούν οι ακόλουθες οντότητες:

1. *Οι έξυπνοι μετρητές (SM)*: Αποτελούν τις τερματικές διατάξεις του δικτύου που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή και μετάδοση πληροφορίας.
2. *Οι συγκεντρωτές – Πύλες (Concentrator – Gateway)*: Εγκαθίστανται σε υποσταθμούς μέσης προς χαμηλή τάση (MT/XT) ώστε να επιτρέψουν τη σύνδεση των τερματικών συσκευών με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού.
3. *Το SM Δίκτυο πρόσβασης (SM Area Network)*: Είναι το δίκτυο που περιλαμβάνει τα τερματικά και τις πύλες.
4. *Το Δίκτυο κορμού SM (SM Core Network)*: Είναι το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που διασυνδέει το MDMS με τους σταθμούς βάσης (BS).
5. *Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων (Meter Data Management System – MDMS)*: Αποτελεί σημείο συγκέντρωσης και αποθήκευσης των δεδομένων που συλλέγουν οι έξυπνοι μετρητές. Η διαχείριση της αποθηκευμένης πληροφορίας και η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται μέσω ειδικών πληροφοριακών συστημάτων.

Για να βελτιωθεί η αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου και η ενεργειακή απόδοση των συσκευών, τα συστήματα SM πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες προδιαγραφές ακρίβειας, ασφάλειας και αξιοπιστίας. Οπότε, πριν γίνουν αποδεκτοί και διαθέσιμοι στην αγορά, οι SM πρέπει να ικανοποιούν μια σειρά από εθνικά (ή διεθνή) πρότυπα και να συμμορφώνονται με τοπικούς κανόνες, που αποσκοπούν στο να διασφαλίσουν την ορθή λειτουργία τους και την ασφάλεια των χρηστών.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιούν τα SM συστήματα:

- **Ακρίβεια:** Ανεξαρτήτως τεχνολογίας, οι SM, πριν κυκλοφορήσουν στο εμπόριο, πρέπει να ικανοποιούν εθνικά ή ευρωπαϊκά πρότυπα (όπως το αμερικανικό ANSI C12), για να εξασφαλίζεται η ακρίβεια των μετρήσεων και η ομαλή λειτουργία τους.
- **Ασφάλεια (Security):** Η ασφάλεια και η ακεραιότητα των μετρήσεων αποτελούν σημείο εστίασης του ενδιαφέροντος τόσο των καταναλωτών όσο και των παρόχων. Προς τούτο, έχει εκδοθεί πλήρες σύνολο οδηγιών από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (*NIST*), σύμφωνα με το οποίο όλες οι βαθμίδες των SM συστημάτων πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες προδιαγραφές σχετικά με την απομακρυσμένη πρόσβαση, τον έλεγχο ταυτότητας, την κρυπτογράφηση και την προστασία των προσωπικών δεδομένων των πελατών.
- **Αξιοπιστία, Διαθεσιμότητα και Ευρωσιτία (Reliability, Availability and Robustness):** Το τοπικό ασύρματο δίκτυο και το κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, που συνήθως χρησιμοποιείται ως SM δίκτυο κορμού ή και SM δίκτυο πρόσβασης, πρέπει να χαρακτηρίζεται από συνεχή διαθεσιμότητα, ακόμα και αν κάποιοι κόμβοι τους παύσουν να είναι ενεργοί λόγω βλάβης ή εξάντλησης της ενέργειάς τους. Αυτό επιτυγχάνεται με σωστό σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του δικτύου προς ελαχιστοποίηση των διακοπών λειτουργίας ακόμα και υπό τις χειρότερες συνθήκες. Ο σχεδιασμός αυτός γίνεται υπό την προϋπόθεση τήρησης των επιπέδων εξυπηρέτησης (*Service Level Agreement – SLA*) που έχουν τεθεί για κάθε εφαρμογή.
- **Κλιμακωσιμότητα (Scalability):** Ο σχεδιασμός των SM συστημάτων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ενταχθούν μελλοντικά και άλλοι κόμβοι – μετρητές στο δίκτυο. Η διαστασιολόγηση του δικτύου οφείλει να προβλέπει την άμεση και αποτελεσματική εξυπηρέτηση νέων χρηστών, μελλοντικών εφαρμογών καθώς και την αντιμετώπιση περιστατικών λειτουργίας που προκαλούν εκρηκτικές ροές δεδομένων (*burst*

traffic). Η δυναμική προσαρμογή, τόσο στην τοπολογία όσο και στην ανάθεση ενεργειακών και υπολογιστικών πόρων, αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό επιτυχούς σχεδίασης.

- **Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS):** Οι διάφορες μετρήσεις που πραγματοποιούν οι έξυπνοι μετρητές υπόκεινται σε διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών. Συνεπώς, η σχεδίαση των SM και η επιλογή κατάλληλων τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων πρέπει να γίνεται με βάση κριτήρια που κατηγοριοποιούν την κίνηση και δεσμεύουν πόρους ώστε να εξασφαλίζονται τόσο οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time) όσο και οι εφαρμογές ευαίσθητες σε απώλεια δεδομένων (loss sensitive).

1.3 Τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες και πρωτόκολλα

Ένα από τα κύρια προς επίλυση προβλήματα κατά τη σχεδίαση των SM συστημάτων είναι η επιλογή της κατάλληλης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Κάθε μετρητής πρέπει να είναι σε θέση να αποστείλει την πληροφορία που συνέλεξε σε κάποια κεντρική μονάδα επεξεργασίας, αξιόπιστα και με ασφάλεια. Οι έξυπνοι μετρητές εγκαθίστανται σε διάφορα περιβάλλοντα, με αποτέλεσμα το πρόβλημα της επικοινωνίας να αποτελεί μεγάλη πρόκληση. Ανάμεσα στις προτεινόμενες τηλεπικοινωνιακές λύσεις συγκαταλέγονται η χρήση κυψελωτών δικτύων ή σταθερών δικτύων τηλεφωνίας και το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο μέσω της τεχνολογίας PLC (power line communication). Υπάρχουν αρκετές δυνατές τοπολογίες δικτύου (fixed wireless, mesh network), αλλά καμία λύση μόνη της δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες των διατάξεων όλων των ειδών, καθώς έχει σημασία και το είδος του τηλεπικοινωνιακού διαύλου. Για παράδειγμα, οι αγροτικές εγκαταστάσεις εμφανίζουν πολύ διαφορετικά προβλήματα επικοινωνίας από αυτά που παρατηρούνται σε αστικές περιοχές, όπου απαιτείται αναλυτική μελέτη της πολυδιαδρομικής μετάδοσης.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά οι τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση των δεδομένων που συλλέγουν οι SM αλλά και γενικότερα για M2M εφαρμογές. Από αυτές, πρέπει να επιλεγεί η κατά περίπτωση

κατάλληλη λαμβάνοντας υπόψη το τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον, την εφαρμογή και το κόστος.

1.3.1 Πρωτόκολλο ZigBee

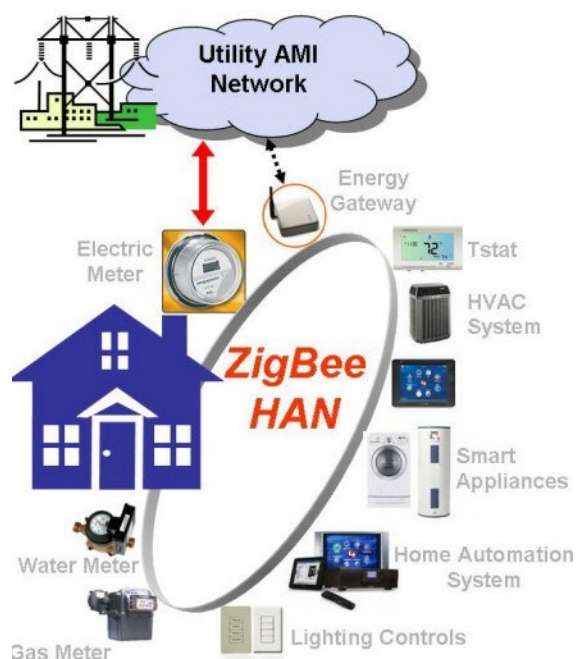
Το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο, με εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ισχύος, μειωμένη πολυπλοκότητα, και μικρό κόστος εγκατάστασης. Είναι βασισμένο στο IEEE 802.15.4 και προορίζεται για ασύρματα προσωπικά δίκτυα. (Personal Area Network - PAN).

Συχνότητες λειτουργίας: 868 MHz, 915 MHz και 2.4 GHz ISM band [1].

Ρυθμός μετάδοσης: Μέχρι 250 Kbps.

Εμβέλεια: Κυμαίνεται από 10m έως 100m, ανάλογα με την ισχύ εξόδου

Αν και λόγω του μικρού ρυθμού μετάδοσης, το πρωτόκολλο ZigBee δεν προορίζεται για υψηλής ποιότητας μετάδοση φωνής ή εικόνας, ενδείκνυται για μετάδοση σημάτων με μικρότερους όγκους πληροφορίας, όπως για παράδειγμα οι μετρήσεις ενός αισθητήρα.



Σχήμα 1.3 Το ZigBee ως πρωτόκολλο για το οικιακό δίκτυο (HAN)

1.3.2 WiFi (πρωτόκολλο IEEE 802.11)

Το WiFi παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης ασύρματων τοπικών δικτύων (WLans) και χρησιμοποιείται ευρέως για πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Είναι ένα πρωτόκολλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους έξυπνους μετρητές (και γενικότερα για M2M επικοινωνίες), για να υλοποιήσει την τελική πρόσβαση (Last Mile Access).

Συχνότητες λειτουργίας: 2.4 GHz ISM band και 5GHz U-NII band [2].

Ρυθμοί μετάδοσης: 11Mbps (802.11b), 20Mbps (802.11g) ή 100Mbps (802.11n).

Εμβέλεια: Μέχρι 45m σε εσωτερικούς χώρους και μέχρι 100m σε ανοιχτούς εξωτερικούς χώρους. Δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας με χρήση κατευθυντικών κεραιών ή χρήση πομπών με υψηλότερη ισχύ (μέχρι 20 dBm).

Δεν επιφέρονται καθυστερήσεις στη μεταφορά πακέτων. Η ακτίνα κάλυψης είναι αρκετά μεγάλη για εσωτερικούς χώρους αλλά μειώνεται αισθητά από εμπόδια ή λόγω σκίασης και πολυδιαδρομικής μετάδοσης. Επίσης, υπάρχουν ζητήματα παρεμβολών λόγω ελεύθερης λειτουργίας στη ζώνη των 2.4GHz. Τέλος, συγκριτικά με άλλα πρωτόκολλα, η κατανάλωση ενέργειας των κόμβων είναι μεγάλη.

1.3.3 6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks)

Η ιδέα για το 6LoWPAN προέκυψε ώστε συσκευές μικρής κατανάλωσης ενέργειας και με περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας να μπορούν να συμμετέχουν στο Internet of Things. Το 6LoWPAN έχει ορίσει μηχανισμούς συμπίεσης επικεφαλίδων ώστε τα πακέτα IPv6 να μπορούν να μεταδοθούν μέσω δικτύων βασισμένων στο IEEE 802.15.4. Η σημασία αυτού του πρωτοκόλλου στο ευφυές δίκτυο είναι φανερή, αφού το IPv6 θα αξιοποιηθεί ώστε οι SM και άλλες συσκευές να σχηματίζουν τοπικά δίκτυα πλέγματος, πριν στείλουν τα δεδομένα στο MDMS μέσω του δικτύου κορμού (IPv6 backbone).

Μέγεθος Πακέτου: Για το IPv6 είναι τουλάχιστον 1280bytes, ενώ για το IEEE 802.15.4 είναι μόλις 127bytes, οπότε γίνεται φανερή η ανάγκη συμπίεσης που προαναφέρθηκε.

Συχνότητες λειτουργίας: 900MHz και 2.4GHz.

Ρυθμός μετάδοσης: 20-250kbps.

Εμβέλεια: 10-20m

Το 6LoWPAN έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και, χάρη στο IPv6, και αυξημένη ασφάλεια. Επίσης, λόγω του μεγάλου μήκους επικεφαλίδας στο IPv6 (40 bytes) μπορεί να εξυπηρετηθεί από την αντίστοιχη πύλη οσοδήποτε μεγάλο πλήθος κόμβων. Όμως, η μεγάλη επικεφαλίδα του 6LoWPAN πακέτου αυξάνει τόσο την πολυπλοκότητα όσο και την καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων.

1.3.4 Πρωτόκολλο Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα πρωτόκολλο για ασύρματες επικοινωνίες μικρών αποστάσεων μέσω σταθερών και κινητών συσκευών καθώς και για το σχηματισμό προσωπικών ασύρματων δικτύων [3]. Η αρχική του προτυποποίηση έγινε με βάση το IEEE 802.15.1.

Συχνότητες λειτουργίας: 2.4GHz ISM band. Η ζώνη διαιρείται σε 79 κανάλια εύρους 1MHz. Για την κατανομή των καναλιών, χρησιμοποιείται εξάπλωση φάσματος με αναπήδηση συχνότητας (frequency hopping), με 1600 αλλαγές/sec και χρόνο παραμονής ίσο με 625 μsec.

Ρυθμός μετάδοσης: 1Mbps.

Ισχύς εκπομπής: 1mW, 2.5mW ή 100mW (3 διαφορετικές κλάσεις ισχύος)

Εμβέλεια: 1m, 10m ή 100m σε αντιστοιχία με την κλάση ισχύος.

Κύρια θετικά χαρακτηριστικά του Bluetooth είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το χαμηλό κόστος. Όμως, υπάρχουν και αρνητικά χαρακτηριστικά, όπως η μικρή εμβέλεια και ο περιορισμένος αριθμός κόμβων (μέχρι 7 slaves + 1 master), οπότε είναι ακατάλληλο για εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά.

Στον Πιν.1.1 [4], παρουσιάζονται οι τεχνολογίες που αναφέρθηκαν ως τώρα.

	802.15.4 (ZigBee / 6LoWPAN)	Bluetooth Low Energy	Bluetooth	802.11 (Wi-Fi)
Μέγιστη ταχύτητα ροής δεδομένων	250 kb/s	1 Mb/s	3 Mb/s (Enhanced) 1 Mb/s (Basic)	22 Mb/s (802.11g) 144 Mb/s (802.11n)
Εμβέλεια εσωτερικού χώρου	10m – 20m (Επεκτάσιμο μέσω multi-hop routing)	5 to 15m	Κατηγορίες 1m, 10m και 100m	45m (802.11g) 70m (802.11n)
Κατανάλωση ισχύος	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
Αυτονομία	Χρόνια	Χρόνια	Μέρες	Ώρες
Ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας	2.4GHz, 868MHz και 915MHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4GHz, 3.6GHz και 5GHz
Εφαρμογές	Έξυπνες συσκευές Ευφυείς μετρητές Έλεγχος φωτισμού Οικιακή ασφάλεια	Επιτήρηση υγείας και αθλητικών δραστηριοτήτων Ρολόγια χειρός Πληκτρολόγια και περιφερειακές συσκευές	Υπηρεσίες φωνής Μεταφορά δεδομένων Πληκτρολόγια Υπηρεσίες ψυχαγωγίας και gaming	Δικτύωση Ψηφιακή μετάδοση ήχου και εικόνας (video) Υπηρεσίες φωνής

Πίνακας 1-1 M2M τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρόσβασης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και άλλες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες.

1.3.5 Υπέρυθρη μετάδοση δεδομένων (Infrared Data Association – IrDA)

Η IrDA παρέχει τις προδιαγραφές ενός ολοκληρωμένου συνόλου πρωτοκόλλων για ασύρματες υπέρυθρες επικοινωνίες. Ο κύριος λόγος για τη χρησιμοποίησή του είναι η ασύρματη μετάδοση δεδομένων σε πολύ μικρές αποστάσεις. Έτσι, έχει εφαρμοστεί σε φορητές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, laptop, εκτυπωτές, κάμερες, ιατρικό εξοπλισμό. Κύρια χαρακτηριστικά αυτού του είδους ασύρματης επικοινωνίας είναι η ασφαλής μετάδοση δεδομένων σε φυσικό επίπεδο, η ανάγκη

για οπτική επαφή (Line-of-Sight – LOS) και το πολύ χαμηλό ποσοστό λαθών (Bit Error Ratio – BER) με αποτέλεσμα την αυξημένη αξιοπιστία.

Εμβέλεια: Από 0.2m έως 1m ανάλογα με την ισχύ εκπομπής. Επιπλέον, το 10GigaIR καθορίζει νέα μοντέλα χρήσης που υποστηρίζουν μεγαλύτερη απόσταση ασύρματης σύνδεσης μέχρι μερικά μέτρα. Απαιτείται οπτική επαφή με στόχευση της ζεύξης κατευθυντικά (αποδεκτή απόκλιση: στερεά γωνία μέχρι 15°).

Μήκος κύματος: 850-900nm.

Ρυθμός μετάδοσης: από 2.4Kbps έως 1Gbps. Υποστηρίζονται διάφοροι ρυθμοί μετάδοσης που εξαρτώνται από τα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται.

Οι υπέρυθρες επικοινωνίες έχουν σχετικά χαμηλό κόστος χωρίς να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα ασφάλειας που έχουν άλλες ασύρματες τεχνολογίες, όπως το Bluetooth. Κύριο μειονέκτημά τους παραμένει η ανάγκη για απευθείας οπτική επαφή, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να υποστηρίξουν την επικοινωνία του SM με άλλες οικιακές συσκευές στις περισσότερες περιπτώσεις.

1.3.6 Ultra Wide Band (UWB)

Οι UWB επικοινωνίες έχουν μεγάλο εύρος ζώνης (>500MHz ή 20% της κεντρικής συχνότητας) και είναι κατάλληλες για εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης (>1Mbps). Εκπέμπουν κατά τρόπο ώστε να μην προκαλούνται παρεμβολές σε σήματα στενής ζώνης στην ίδια ζώνη συχνοτήτων.

Εμβέλεια: 20m ή 50m. Παρέχεται ικανοποιητική εμβέλεια κυρίως σε εσωτερικούς χώρους.

Το UWB έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στην πολυδιαδρομική μετάδοση, καθώς εκτείνεται σε πολύ ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Όμως, κάθε κόμβος του χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

1.3.7 Power Line Communications (PLC)

Η τεχνολογία PLC χρησιμοποιεί το ήδη υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο για τη μεταφορά δεδομένων μέσω αγωγών μέσης τάσης υπεράνω του εδάφους. Οι επικοινωνίες

αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες με κριτήριο τον τρόπο εκμετάλλευσης του εύρους ζώνης [5].

Χαμηλής ταχύτητας επικοινωνίες, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της τάξης των λίγων kbps, με ζώνη συχνοτήτων από 3KHz έως 148.5KHz. Επαρκεί για τις απλές μετρήσεις ενός SM και για τη διασύνδεση οικιακού εξοπλισμού σε οικιακό περιβάλλον και κυρίως για την επικοινωνία του SM με τους PLC συγκεντρωτές.

Υψηλής ταχύτητας επικοινωνίες (BB-PLC), με ρυθμούς δεδομένων από 1 Mbps και άνω με λειτουργία στη ζώνη από 2MHz έως 80MHz και έχουν την ονομασία BPL (Broadband over Power Lines). Παρέχουν τη δυνατότητα σύνδεσης είτε στο διαδίκτυο είτε σε τοπικά δίκτυα (LAN) υπολογιστών και πολυμεσικού εξοπλισμού μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται το DSL (Digital Subscriber Line ή ψηφιακή συνδρομητική γραμμή), διαποδιαμορφωτές καλωδίων (cable modems), δρομολογητές (routers), συσκευές ήχου, κάμερες ασφαλείας, τηλέφωνα με VoIP (Voice over Internet Protocol), ηλεκτρονικοί προβολείς εικόνων (electronic picture frames) και κονσόλες παιχνιδιών.

Μεγάλο πλεονέκτημα από τη χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι το σχεδόν μηδενικό κόστος εγκατάστασης καθώς η υποδομή για PLC μετάδοση είναι το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης. Επιπλέον, επειδή το ηλεκτρικό δίκτυο καλύπτει σχεδόν το 100% του πληθυσμού, η PLC επιλογή εξασφαλίζει την τελική πρόσβαση (last mile access) και στις πλέον απομακρυσμένες περιοχές.

Από την άλλη πλευρά, κρίσιμο ζήτημα για την αποδοχή της PLC τεχνολογίας, είναι η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα. Οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα κι όχι ραδιοκύματα και άρα δεν έχουν την κατάλληλη μόνωση. Δηλαδή, οι εναέριες γραμμές BPL είναι εξωτερικά εκτεθειμένες, χωρίς κάποια θωράκιση, σε μεγάλο ύψος και χωρίς γείωση, με αποτέλεσμα κάθε γραμμή να ακτινοβολεί σαν μία μεγάλη κεραία. Έτσι, προκαλούνται παρεμβολές σε εφαρμογές εξωτερικού χώρου. Σε εσωτερικούς χώρους δεν υπάρχουν παρεμβολές με ασύρματες τεχνολογίες, αφού οι γραμμές είναι μονωμένες.

1.3.8 Κυψελωτά δίκτυα

Ένας άλλος τρόπος επικοινωνίας είναι η χρήση των κυψελωτών δικτύων που χρησιμοποιεί η κινητή τηλεφωνία. Χρησιμοποιούνται πομποί χαμηλής ισχύος (100W ή λιγότερο) και η περιοχή κάλυψης χωρίζεται σε κυψέλες, εκάστη των οποίων έχει ένα σταθμό βάσης (Base Station – BS) και συγκεκριμένα κανάλια λειτουργίας. Τα κυψελωτά δίκτυα βασίζονται στην ιδέα της αναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Η πληροφορία που συλλέγουν οι SM ή άλλες τερματικές διατάξεις μπορεί να μεταδοθεί μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών 2G (GPRS – General Packet Radio Service), 3G (UMTS – Universal Mobile Telecommunication System), 3.5G (HSPA – High Speed Packet Access) και 4G (LTE – Long Term Evolution).

Συχνότητες λειτουργίας: 900MHz, 1800MHz και 2100MHz στις περισσότερες περιπτώσεις.

Εμβέλεια: Τα κυψελωτά δίκτυα παρέχουν ευρεία πληθυσμιακή κάλυψη. Εντούτοις, αν έξυπνοι μετρητές τοποθετηθούν σε υπόγεια πολυκατοικιών ή οικιών αντικαθιστώντας τους παραδοσιακούς μετρητές, η στάθμη του σήματος θα είναι πολύ χαμηλή ή μηδενική λόγω της περιορισμένης κάλυψης του δικτύου.

Η χωρητικότητα των κυψελωτών δικτύων είναι επαρκής για SM και M2M εφαρμογές, λόγω του μικρού όγκου διακινούμενης πληροφορίας που απαιτείται. Όμως, η ευρεία χρήση των κυψελωτών δικτύων από H2H εφαρμογές (όπως κινητή τηλεφωνία) μπορεί σε ώρες αιχμής να έχει ως αποτέλεσμα απορρίψεις M2M συνδέσεων (που είναι πιθανό να περιέχουν κρίσιμες M2M πληροφορίες) σε ώρες αιχμής, υποβαθμίζοντας έτσι την ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Επομένως, οι πληροφορίες που παράγονται από SM εφαρμογές πρέπει να αποστέλλονται στο κέντρο διαχείρισης και επεξεργασίας κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες, όταν η τηλεπικοινωνιακή κίνηση είναι μειωμένη.

1.3.9 Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL – Digital Subscriber Line)

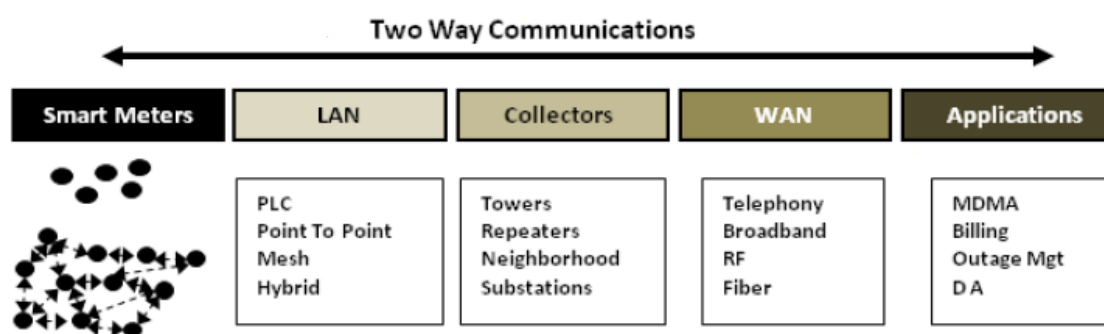
Το τηλεφωνικό δίκτυο είναι ικανό να διαχειριστεί πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης από αυτό που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων φωνής στις τηλεφωνικές κλήσεις. Το DSL εκμεταλλεύεται αυτή την επιπλέον χωρητικότητα για

ενσύρματη μετάδοση δεδομένων, με μεγάλες ταχύτητες, χωρίς να εμποδίζει τη δυνατότητα της γραμμής να μεταφέρει συνομιλίες. Στην πλειοψηφία των οικιών υπάρχει εγκατεστημένο DSL modem (διαποδιαμορφωτής) το οποίο υποστηρίζει ενσύρματη (Ethernet interface) ή και ασύρματη (WiFi wireless router) σύνδεση με τερματικές συσκευές στο οικιακό περιβάλλον.

Ρυθμός μετάδοσης: μέχρι 50Mbps. Ρυθμοί μετάδοσης υψηλότεροι από 1Gbps έχουν επιτευχθεί σε εργαστηριακές συνθήκες.

Καθώς η επιλογή της DSL τεχνολογίας είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη και η τηλεφωνική γραμμή υπάρχει, αποτελεί αρκετά οικονομική λύση.

1.4 Συμπεράσματα και η σημασία του IPv6



Σχήμα 1.4 End-to-end επικοινωνία από τον έξυπνο μετρητή ως το κέντρο διαχείρισης και επεξεργασίας

Στο Σχ.1.4 απεικονίζεται η χρήση διάφορων τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφορίας από τον SM μέχρι τη μονάδα επεξεργασίας. Αφού η πληροφορία μεταδοθεί μέσω τοπικών δικτύων (LANs) με χρήση τεχνολογιών όπως PLC, συλλέγεται από υποσταθμούς σε επίπεδο γειτονιάς. Στη συνέχεια η πληροφορία διέρχεται από κάποιο ευρύτερο δίκτυο (WAN), όπως το τηλεφωνικό δίκτυο ή κάποιο δίκτυο ραδιοσυχνοτήτων ή το Διαδίκτυο, για να φθάσει στο MDMS, στο στρώμα της εφαρμογής (application layer), που βρίσκεται συνήθως σε κάποια απομακρυσμένη τοποθεσία από τους SM.

Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των συσκευών που μπορούν να διασυνδεθούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους, τόσο αυξάνεται και η αξία του οικιακού δικτύου για το χρήστη. Το μεγάλο εύρος εφαρμογών οικιακής δικτύωσης

πολυάριθμων συσκευών που πρέπει να επικοινωνούν απαιτεί την ύπαρξη πολλών φυσικών διασυνδέσεων. Έτσι, το Ethernet, το ZigBee, το Wi-Fi, το Bluetooth και το 3G/4G χρειάζονται στο οικιακό δίκτυο, καθώς δεν είναι εύκολο ένα μοναδικό από τα πρωτόκολλα που αναφέρθηκαν προηγουμένως να αντικαταστήσει όλα τα υπόλοιπα.

Η επικοινωνία μεταξύ των πρωτοκόλλων και η κοινή χρήση πληροφοριών πρέπει να πραγματοποιούνται κατά αποδοτικό τρόπο. Ένα πρώτο βήμα ως προς αυτήν την κατεύθυνση είναι η χρήση κοινού συστήματος διευθυνσιοδότησης. Για το σκοπό αυτό αναμένεται να επιλεγεί το IPv6 πρωτόκολλο, που υποστηρίζει διευθύνσεις των 128 bits, υπεραρκετές ώστε κάθε συσκευή στον κόσμο να έχει μοναδική IP διεύθυνση. Αν όλα τα τοπικά δίκτυα υποστηρίζουν το IPv6, τότε η πύλη (M2M gateway) θα έχει μόνο το ρόλο δρομολογητή πακέτων, αντί να χρειάζεται να τρέχει εξειδικευμένες υπηρεσίες μετάφρασης διευθύνσεων (NAT applications)¹, γεγονός αναπόφευκτο με το IPv4. Έτσι το IPv6 προσφέρει end-to-end συνδεσιμότητα, ευελιξία κινητικότητας των τελικών κόμβων, χάρη στη μεγαλύτερη ευκολία δρομολόγησης, και επιπλέον μηχανισμούς ασφαλείας όπως το IPsec. Επιπλέον, χάρη στο μεγάλο αριθμό διαθέσιμων διευθύνσεων, το IPv6 επιτρέπει την επέκταση του Διαδικτύου σε οποιαδήποτε συσκευή και υπηρεσία. Πειράματα έχουν κάνει επίδειξη της επιτυχημένης χρήσης IPv6 διευθύνσεων σε δίκτυα αισθητήρων μεγάλης κλίμακας εντός ευφυών κτηρίων και ευφυών πόλεων (smart buildings and smart cities). Τέλος, το IPv6 είναι πλήρως συμβατό με το Internet, ώστε να μπορούν να συνδεθούν εύκολα ευφυής συσκευές με τον υπόλοιπο κόσμο στο Internet of Things.

Άρα μία πρόκληση για τις M2M επικοινωνίες είναι η ανάπτυξη δικτυακών πρωτοκόλλων χαμηλών απαιτήσεων σε ενέργεια, τα οποία να υποστηρίζουν IPv6 διευθυνσιοδότηση. Τέτοιες προσπάθειες γίνονται από την ομάδα ZigBee Alliance “Core Stack”, ώστε ένα νέο πρωτόκολλο με αυτές τις απαιτήσεις να βασιστεί στο ZigBee και να προορίζεται για οικιακές εφαρμογές όπως ευφυείς μετρητές, ανταπόκριση στην ενεργειακή ζήτηση και έλεγχος κατανάλωσης ενέργειας.

¹ Στο Κεφ. [3.2.1.1](#) για περισσότερες πληροφορίες σχετικές με NAT

2 M2M επικοινωνίες

Οι επικοινωνίες από μηχανή σε μηχανή (**Machine to Machine – M2M communications**) σχετίζονται με τεχνολογίες που επιτρέπουν σε ενσύρματα και ασύρματα συστήματα να επικοινωνούν με άλλες συσκευές του ίδιου τύπου [6]. Ο όρος M2M είναι μία ευρύτερη έννοια, καθώς δεν προσδιορίζει συγκεκριμένη ασύρματη ή ενσύρματη δικτύωση και τεχνολογίες επικοινωνίας ή πληροφορικής. Λόγω της ύπαρξης πολύ μεγάλου πλήθους μηχανών – δηλαδή οντοτήτων ή αντικειμένων με μηχανικές ή ηλεκτρικές ιδιότητες – σε σχέση με τους ανθρώπους, και της σημασίας της διασύνδεσής τους, οι M2M επικοινωνίες έχουν προσελκύσει τεράστιο ενδιαφέρον. Η κεντρική ιδέα είναι να μπορέσουν τα στοιχεία ενός M2M δικτύου να είναι διασυνδεδεμένα, δικτυωμένα και ελεγχόμενα από απόσταση, χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους, κλιμακούμενες και αξιόπιστες τεχνολογίες. Οι M2M επικοινωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές (π.χ. ασφάλεια, διαχείριση ενέργειας και μεταφορές) με σκοπό να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και να μειώσουν το κόστος των σχετικών εφαρμογών.

2.1 Γενική επισκόπηση των M2M επικοινωνιών

Οι επικοινωνίες μεταξύ ανθρώπων (Human to Human – H2H) περιλαμβάνουν κυρίως κλήσεις φωνής, μηνύματα και πλοήγηση στο διαδίκτυο. Από την άλλη πλευρά, ο σκοπός των M2M επικοινωνιών είναι η αύξηση της παρατηρησιμότητας και του αυτοματισμού σε συστήματα όπου οι συσκευές μπορούν να ανταλλάσσουν και να μοιράζονται δεδομένα. Οπότε, το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί και η μορφή των δεδομένων (data format) αποτελούν κύρια ζητήματα για το M2M, με στόχο να εξασφαλίζεται η συμβατότητα και οι αδιάλειπτες ροές ελέγχου και δεδομένων. Πρόσφατα, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για προτυποποίηση. Για παράδειγμα, το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (**European Telecommunications Standards Institute – ETSI**) ξεκίνησε την Τεχνική Επιτροπή M2M (M2M Technical Committee) με σκοπό να αναπτύξει μία από άκρο σε άκρο αρχιτεκτονική για τις M2M επικοινωνίες. Επίσης, για να επεκταθεί ταχύτερα η

ασύρματη διασυνδεσιμότητα διαφορετικών M2M στοιχείων, πάροχοι κινητών επικοινωνιών ανά τον κόσμο κατασκευάζουν πλατφόρμες για την ενσωμάτωση M2M υπηρεσιών με δίκτυα υποδομής και ξεκινούν M2M projects. Ενδεικτικό είναι το GSMA Embedded Mobile Initiative, που αποτελεί πρωτοβουλία για την αδιάλειπτη κινητή συνδεσιμότητα με συμβατές συσκευές, με όλα τα πλεονεκτήματα στους διάφορους τομείς που αυτό συνεπάγεται.

2.2 Η αρχιτεκτονική των δικτύων M2M

Ένα δίκτυο M2M, προτυποποιημένο από το ETSI, αποτελείται από πέντε στοιχεία-κλειδιά:

- Το *M2M στοιχείο (M2M component)*, που συνήθως ενσωματώνεται σε μία έξυπνη ηλεκτρική συσκευή, ώστε να μεταδίδει δεδομένα ή να ανταποκρίνεται σε εντολές ή αιτήματα.
- Η *M2M πύλη (M2M gateway)*, που επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ των M2M στοιχείων και του δικτύου επικοινωνίας.
- Ο *M2M διακομιστής (M2M server)*, που λειτουργεί ως ενδιάμεσο στρώμα διέλευσης δεδομένων μέσα από διάφορες εφαρμογές υπηρεσιών.
- Το *M2M δίκτυο περιοχής (M2M area network)*, που παρέχει τη σύνδεση μεταξύ των M2M στοιχείων και των M2M πυλών.
- Το *M2M δίκτυο επικοινωνίας (M2M communication network)*, που παρέχει τη σύνδεση μεταξύ των M2M πυλών και των M2M διακομιστών.

Τα πέντε προαναφερθέντα στοιχεία συνιστούν τους τρεις τομείς του M2M συστήματος, όπως καθορίζονται από το ETSI:

1. *Τομέας συσκευών (Device domain)*: Λειτουργία των M2M στοιχείων.
2. *Τομέας δικτύου (Network domain)*: Περιλαμβάνει το M2M δίκτυο περιοχής και τις M2M πύλες.
3. *Τομέας εφαρμογών (Application domain)*: Περιλαμβάνει τον M2M διακομιστή και το δίκτυο περιοχής.

2.3 Ασύρματες M2M επικοινωνίες & εφαρμογές Ευφυούς Δικτύου

Οι M2M επικοινωνίες αναπτύχθηκαν αρκετά, χάρη στις νέες ασύρματες τεχνολογίες, που έχουν εξαλείψει την ανάγκη για καλωδιακές συνδέσεις για τα M2M στοιχεία. Για να πραγματοποιηθεί μία ενοποιημένη αρχιτεκτονική M2M επικοινωνιών, απαιτείται η αδιάλειπτη γεφύρωση των M2M δικτύων με διάφορα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, που θα υποστηρίζουν διάφορες τεχνολογίες κινητής ευρυζωνικής επικοινωνίας (mobile broadband, όπως WiMAX και LTE) και τοπικής δικτύωσης (local area networking, όπως WiFi).

Σε **οικιακά δίκτυα**, ο χώρος θα εξοπλίζεται με έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές με ενσωματωμένες ασύρματες τεχνολογίες. Γενικά χαρακτηριστικά της επικοινωνίας μεταξύ τέτοιων συσκευών, αποτελούν ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, η μικρή κινητικότητα και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Συνεπώς, για τη σύνδεση μεταξύ έξυπνων συσκευών, που έχουν το ρόλο M2M στοιχείων, και μιας M2M πύλης στο οικιακό περιβάλλον, είναι αναμενόμενο να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες μικρής εμβέλειας, όπως Bluetooth, ultra wide band (UWB) και υπέρυθρες (IrDA).

Τα περισσότερα M2M στοιχεία που διατίθενται προς χρήση δεν έχουν προϋπάρχουσα υποδομή δικτύωσης με υφιστάμενες συσκευές, με αποτέλεσμα η καλύτερη επιλογή αρχιτεκτονικής να είναι ένα *δίκτυο ad hoc*. Έτσι, επιτυγχάνεται άμεση και χαμηλού κόστους διασύνδεση των M2M στοιχείων ως πολλαπλών αποκεντρωμένων κόμβων. Σε ένα τέτοιο δίκτυο, μπορούν να υιοθετηθούν τεχνολογίες μέτριας εμβέλειας, όπως το ZigBee και το WiFi, ικανών να καλύψουν την αναμενόμενη απόσταση μετάδοσης.

Τέλος, τα **κυψελωτά δίκτυα**, χάρη στα γεωγραφικά πλεονεκτήματά τους και την κινητικότητα που υποστηρίζουν, μπορούν να φιλοξενήσουν περισσότερο ευέλικτες M2M εφαρμογές, όπως έξυπνα μεταφορικά συστήματα.

2.3.1 Εφαρμογές στο Ευφυές δίκτυο (Smart Grid - SG)

Το ευφυές δίκτυο είναι μία από τις κύριες κινητήριες δυνάμεις για τις M2M επικοινωνίες. Πρόκειται για ένα νέο πρότυπο σχεδιασμού και λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να βελτιώσει την αποδοτικότητα, να βελτιώσει την ποιότητα υπηρεσίας και να μειώσει το κόστος της παραγωγής, της

διανομής και της κατανάλωσής της. Για να επιτύχει τους σκοπούς αυτούς υιοθετεί κατάλληλες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (Information and Communication technologies – ICT).

Καθώς η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική του SG δεν έχει ακόμα αποφασιστεί, εκτός από νέες ευκαιρίες, προκύπτει και σειρά από προκλήσεις ως προς τη διαλειτουργικότητα, την κλιμακωσιμότητα, την αυτό-οργάνωση και την ασφάλεια του M2M συστήματος.

Επιπλέον, εξαιτίας της στενότητας ραδιοφάσματος για ασύρματες επικοινωνίες, μπορεί να διερευνηθεί η χρήση των κενών διαστημάτων των ραδιοσυχνοτήτων (white spaces) στο σύστημα SG. Έτσι, προτείνεται μία αρχιτεκτονική M2M επικοινωνιών για το SG, βασισμένη στην τεχνολογία Γνωστικών Επικοινωνιών (Cognitive Radio), ώστε να πραγματοποιηθεί αποδοτική χρήση του φάσματος.

Τέλος, αν οι εφαρμογές του SG χρησιμοποιήσουν το υπάρχων ηλεκτρικό δίκτυο, που μετρά περισσότερα από εκατό χρόνια λειτουργίας, μπορεί να είναι προβληματικές, επειδή το δίκτυο δεν έχει σχεδιαστεί για να ικανοποιεί τις σύγχρονες απαιτήσεις. Προφανώς, η ανακατασκευή του δικτύου έχει απαγορευτικό κόστος και αποτελεί απαγορευτικά χρονοβόρα διαδικασία. Συνεπώς, πρέπει προς το σκοπό αυτό να αξιοποιηθούν τα κυψελωτά δίκτυα. Ειδικότερα, τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως όργανα που θα εμφανίζουν πληροφορίες και θα επιτρέπουν στους καταναλωτές να ελέγχουν τις οικιακές συσκευές συμπληρωματικά προς τους έξυπνους μετρητές.

2.3.2 Cloud computing για big data

Τα συστήματα SM περιλαμβάνουν χιλιάδες κόμβους που παράγουν δεδομένα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα σύνολα των δεδομένων (data sets) που προκύπτουν από τις περιοδικές μετρήσεις είναι τεράστια σε όγκο (big data) και απαιτούν σύνθετη διαχείριση και επεξεργασία. Οι παραδοσιακές τεχνικές βάσεων δεδομένων και οι κλασικές υλοποιήσεις σε hardware εγείρουν προκλήσεις που αφορούν τη μεταφορά, την αποθήκευση, την αναζήτηση, την ανάλυση, το διαμοιρασμό, και τη γραφική απεικόνιση των SM δεδομένων. Η εμφάνιση εφαρμογών big data δεν

οφείλεται μόνο σε SM συστήματα αλλά και γενικότερα στην ύπαρξη αυξημένου όγκου δεδομένων που αφορά ολοένα και περισσότερες υπηρεσίες.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση των ανωτέρω προκλήσεων μέσω των παραδοσιακών υποδομών είναι οικονομικά ασύμφορη. Μια εναλλακτική προσέγγιση μπορεί να προσφέρουν τα νεφελοειδή υπολογιστικά συστήματα (cloud computing). Πρόκειται για μια τεχνολογία που επιτρέπει την απομακρυσμένη και on-demand πρόσβαση σε διαμοιραζόμενους υπολογιστικούς πόρους (π.χ. δίκτυα, servers, αποθηκευτικό χώρο, εφαρμογές και υπηρεσίες) με δυνατότητα υψηλής παραμετροποίησης. Οι απαιτούμενοι πόροι δεσμεύονται επί όσο χρόνο απαιτείται και απελευθερώνονται μετά την ολοκλήρωση των εργασιών απαιτώντας ελάχιστη διαχειριστική προσπάθεια. Η εκτέλεση των απαιτούμενων λειτουργιών γίνεται διαδικτυακά και επιστρέφονται στον χρήστη μόνο τα αποτελέσματα της προσωπικής του εργασίας. Ως εκ τούτου, το cloud computing ενδείκνυται για υπηρεσίες που απαιτούν χαμηλό λειτουργικό κόστος, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει υψηλή ευελιξία σε υπολογιστική ισχύ και τεχνολογία. Από τα προηγούμενα, γίνεται αντιληπτό ότι το cloud computing αποτελεί τη βέλτιστη τεχνολογική προσέγγιση για εφαρμογές big data. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής της υπολογιστικής ικανότητας προς τη διαχείριση δεδομένων. Σε αντίθεση με την κατά περίπτωση προσαρμοστική λειτουργία του cloud computing και σύμφωνα με τις παραδοσιακές τεχνικές, η υπολογιστική ισχύς πρέπει να καθορίζεται εξαρχής, ενώ η προσαρμογή του συστήματος σε δυναμικά μεταβαλλόμενες καταστάσεις απαιτεί ριζική αλλαγή των πληροφοριακών συστημάτων.

2.4 Περιορισμοί των M2M επικοινωνιών

Γενικά, οι μηχανές και οι συσκευές που θα αποτελέσουν τμήμα των M2M συστημάτων, είναι συνήθως μικρών διαστάσεων και χαμηλού κόστους. Αυτό εισάγει αρκετούς περιορισμούς στις M2M επικοινωνίες, συμπεριλαμβανομένων της ενεργειακής κατανάλωσης, της υπολογιστικής δύναμης, του αποθηκευτικού χώρου και του εύρους ζώνης. Οι περιορισμένοι διαθέσιμοι πόροι επιφέρουν την ανάγκη αποτελεσματικής αντιστάθμισης μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης, της

αξιοπιστίας και της ευελιξίας των συστημάτων. Λόγω των περιορισμών αυτών ανακύπτουν οι ακόλουθες προκλήσεις.

- Εντός των οικιών προκαλούνται έντονες παρεμβολές με ηλεκτρονικό εξοπλισμό, οικιακές συσκευές και συστήματα απαλλαγμένα από αδειοδότηση που λειτουργούν σε ζώνες συχνοτήτων όπως η βιομηχανική, η επιστημονική και η ιατρική. Λόγω των παρεμβολών αυτών, η επίδοση των M2M επικοινωνιών υφίσταται σοβαρή υποβάθμιση.
- Τα ασύρματα κανάλια επικοινωνίας είναι πολλές φορές αρκετά αναξιόπιστα λόγω των συχνών αλλαγών της τοπολογίας του δικτύου και του θορύβου. Αιτία για τη δυναμική μεταβολή των ασύρματων διαύλων αποτελεί η πολύπλοκη δομή του οικιακού περιβάλλοντος διάδοσης.
- Επίσης, το οικιακό δίκτυο περιλαμβάνει πλήθος διαφορετικών συσκευών που προσφέρουν διακριτές υπηρεσίες. Έτσι, η οικιακή M2M πύλη δέχεται πακέτα που παράγονται από διαφορετικές πηγές δεδομένων.
- Σημαντικό ζητούμενο των οικιακών M2M επικοινωνιών αποτελεί η ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Επομένως, το δίκτυο πρέπει να χαρακτηρίζεται από αυτό-οργάνωση, αυτό-ρύθμιση, αυτό-διαχείριση και δυνατότητα αυτό-ίασης.
- Επιπλέον, τα M2M δίκτυα πρέπει να έχουν υψηλές προδιαγραφές ποιότητας υπηρεσίας. Οι οικιακές M2M επικοινωνίες μπορούν να υποστηρίξουν δίκτυα βιοϊατρικών αισθητήρων. Αυτό είναι ένα τυπικό παράδειγμα, όπου δεδομένα ζωτικής σημασίας πρέπει να μεταδοθούν αξιόπιστα χωρίς απώλειες, όπως για παράδειγμα εξαιτίας έλλειψης μνήμης κάποιας συσκευής.
- Τέλος, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την ασφάλεια του συστήματος. Οι έξυπνες συσκευές αναμένεται να μένουν και χωρίς επιτήρηση λόγω του χαμηλού κόστους που είναι βασικός στόχος για τις M2M επικοινωνίες. Συνεπώς, οι συσκευές είναι εκτεθειμένες σε ενδεχόμενες φυσικές επιθέσεις ή παραβίαση των διαπιστευτηρίων λειτουργίας και αλλαγή των ρυθμίσεων.

2.5 Ανοικτά ερευνητικά θέματα

Παρά την αύξηση των λύσεων που προσφέρει το M2M και την ανάπτυξή του βασισμένη σε υπάρχοντα επικοινωνιακά πρωτόκολλα, συστήματα και υποδομές, αναδεικνύονται πολλές και σημαντικές τεχνικές προκλήσεις.

- *Προτυποποίηση:* Για να προωθηθεί η ταχεία ανάπτυξη και εφαρμογή των M2M επικοινωνιών, είναι απαραίτητη η προτυποποίηση μιας αδιάλειπτης και ενοποιημένης αρχιτεκτονικής. Θεωρείται αναγκαία η δημιουργία ενός ειδικού τηλεπικοινωνιακού πρωτοκόλλου για τις M2M επικοινωνίες λόγω της ιδιαίτερης φύσης τους και των διαφορετικών συσκευών που θα χρησιμοποιούνται ως M2M κόμβοι.
- *Χαρακτηρισμός της κυκλοφορίας:* Λόγω των ειδικών λειτουργιών που εξυπηρετούν (π.χ. συλλογή δεδομένων και παρακολούθηση) και των απαιτήσεών τους (π.χ. αυξημένη real-time κυκλοφορία), η τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα M2M δίκτυα είναι διαφορετική από αυτήν σε δίκτυα προορισμένα για H2H εφαρμογές.
- *Επανασχεδιασμός πρωτοκόλλου:* Τα τρέχοντα κυρίαρχα πρωτόκολλα του Internet (TCP/IP) είναι αναποτελεσματικά για M2M δίκτυα, λόγω του πλεονασμού που εισάγουν οι επικεφαλίδες, καίτοι σε M2M συστήματα μεταδίδεται πολύ μικρός όγκος δεδομένων και πληροφορίας.
- *Διαχείριση φάσματος:* Λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου φάσματος, οι ασύρματες M2M τεχνολογίες πρέπει να μεταδίδουν μέσω συγκεκριμένων καναλιών συχνοτήτων. Όμως, η παραδοσιακή στατική ανάθεση συχνοτήτων δεν είναι ικανή να ανταποκριθεί στην αναπόφευκτη αλλαγή των απαιτήσεων για φάσμα για να εξυπηρετηθούν ασύρματες M2M υπηρεσίες. Συνεπώς, πρέπει να αναπτυχθούν δευτερεύουσες αγορές φάσματος που θα παρέχουν χρήση του φάσματος σε οντότητες διαφορετικές από τους κατόχους αδειών χρήσης φάσματος. Πρέπει, επίσης, να εξασφαλίσουν τη μεταφορά διαθέσιμου φάσματος σε περισσότερο αποδοτικές χρήσεις. Για τη διαμόρφωση μιας αποτελεσματικής δευτερεύουσας αγοράς υπάρχουν αρκετές προκλήσεις.

- *Βέλτιστη Σχεδίαση Δικτύου:* Καθώς οι M2M επικοινωνίες θα διασυνδέσουν ένα μεγάλο πλήθος ετερογενών συσκευών και συστημάτων, η βέλτιστη σχεδίαση του δικτύου αποτελεί κρίσιμο ζήτημα. Η σχεδίαση, λοιπόν, πρέπει να ελαχιστοποιεί το κόστος του M2M (π.χ. Hardware, συντήρηση και χρήση του φάσματος) και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service – QoS).

3 Έξυπνες συσκευές και οικιακά δίκτυα

Για να αντιμετωπιστεί η αυξημένη ζήτηση για υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και βέλτιστη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας στο οικιακό περιβάλλον, έχει επικρατήσει η ιδέα της χρήσης *έξυπνων συσκευών (smart appliances)* εντός του *οικιακού δικτύου (Home Area Network – HAN)*. Αυτές οι έξυπνες συσκευές μπορούν να έχουν αίσθηση του χώρου, να επικοινωνούν μεταξύ τους και να εκτελούν εντολές από ένα κεντρικό χειριστή, εκτός από τις βασικές τους λειτουργίες [7].

Η εμπορική διείσδυση των έξυπνων συσκευών έχει αυξήσει τη χρησιμότητα των μεθόδων *Οικιακού Αυτοματισμού (Home Automation – HA)*. Οι έξυπνες συσκευές και τα δίκτυα αισθητήρων είναι εξοπλισμένα με συστήματα αυτοματισμού για να παρακολουθούν και να ελέγχουν οικίες και ολόκληρα κτήρια. Τα συστήματα οικιακού αυτοματισμού χρειάζονται ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, για να παρακολουθούν και να μεταδίδουν εντολές σε ολόκληρο το οικιακό δίκτυο. Το πρωτόκολλο ZigBee μπορεί να παρέχει ένα χαμηλού κόστους και ευέλικτο **HAN** που υποστηρίζει τις ανάγκες ενός οικιακού συστήματος αυτοματισμού.

Οι *έξυπνες οικίες (smart homes)* είναι τοπικά δίκτυα ενέργειας εξοπλισμένα με συσκευές και αισθητήρες, που μπορούν να εκτελέσουν αυτοματοποιημένες εργασίες, που θα ανταποκρίνονται σε επιθυμητά κριτήρια απόδοσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, μειώνονται οι χειροκίνητες εντολές και αυξάνονται οι αυτοματοποιημένες με βάση την κατάσταση λειτουργίας. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο αισθητήρων σε συνδυασμό με ευφυείς στρατηγικές ελέγχου του φωτισμού μπορεί να μειώσει την αλληλεπίδραση με τους διακόπτες φωτισμού, προσφέροντας άνεση στους χρήστες και εξοικονόμηση ενέργειας και ευελιξία.

Η διαχείριση ενέργειας στα έξυπνα σπίτια μπορεί να γίνει με συστήματα αυτοματισμού (HA) που προσαρμόζονται στην ενεργειακή συμπεριφορά των ενοίκων και διαχειρίζονται αποδοτικά την ηλεκτρική ενέργεια. Μία οικία (και γενικότερα ένα κτίριο) αποτελεί ένα μέρος όπου καταναλώνεται ενέργεια και ενδεχομένως, μία μονάδα κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες

πηγές, όπως ο άνεμος, ο ήλιος, γεωθερμικά και άλλες. Η σχεδίαση συστημάτων ελέγχου που θα διαχειρίζονται τη δυνατότητα αποκεντρωμένης παραγωγής και θα αξιοποιούν διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί ανοικτό ζήτημα για έρευνα.

Οι έξυπνοι μετρητές συνδέονται άμεσα με τις έξυπνες συσκευές. Τα δεδομένα προς επεξεργασία που θα συλλέγει ο έξυπνος μετρητής μίας οικίας είναι πολύ μικρού όγκου (της τάξης των Kbyte καθώς πρόκειται για μετρήσεις μερικών ηλεκτρικών μεγεθών μόνο) σε σχέση με τον όγκο που μπορεί να υποστηριχτεί από τις διαθέσιμες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες. Συνεπώς, υπάρχει περίσσεια χωρητικότητας διαθέσιμης για χρήση σε ποικίλες εφαρμογές που θα εμπλέκονται οι έξυπνες συσκευές. Ενδεικτικά αναφέρονται φωτιστικά, φούρνοι, πλυντήρια, ψυγεία, υπολογιστές (ίσως σαν κέντρα ελέγχου), εξοπλισμός οικιακής ψυχαγωγίας (τηλεόραση, ηχεία, κ.α.), συστήματα ασφαλείας (κάμερες, συναγερμοί), συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και εξαερισμού και άλλα.

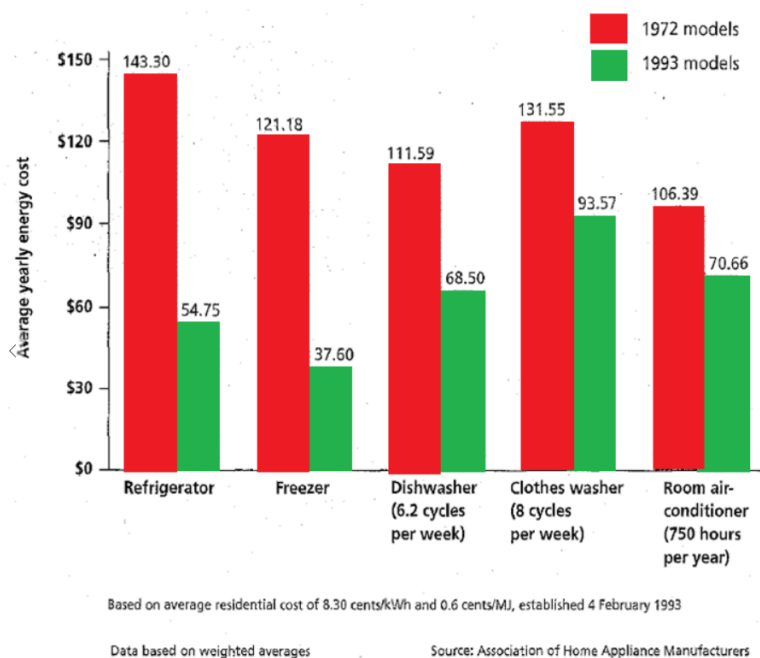
3.1 Βασικές λειτουργίες έξυπνων συσκευών

Μία έξυπνη συσκευή ενσωματώνει αισθητήρες και αλγόριθμους ελέγχου (control algorithms) με σκοπό να αυτοματοποιεί χειροκίνητες λειτουργίες, όπως η ρύθμιση του κλιματισμού ή η εκτίμηση του φορτίου ρούχων σε ένα πλυντήριο [8]. Επιπλέον, η εισαγωγή πλήρως νέων λειτουργιών, όπως η ενημέρωση για το βράσιμο του νερού σε ηλεκτρικές κουζίνες, στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, εκτός από τη διευκόλυνση των χρηστών.

3.1.1 Κίνητρα στροφής προς τις έξυπνες συσκευές

Ένας από τους βασικούς στόχους ενσωμάτωσης ευφυΐας στις οικιακές συσκευές είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα. Ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αναφέρεται ότι προοδευτική βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των συσκευών έχει ζητήσει το αμερικανικό υπουργείο ενέργειας (U.S. Department of Energy), μέσω σειράς κανονισμών που έχει εισαγάγει και ενθαρρύνεται από εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (σχήμα 3.1). Αυτές οι πιέσεις είχαν σημαντικό αντίκτυπο,

αφού οδήγησαν σε κατασκευή βελτιωμένων αισθητήρων και ελεγκτών. Παρόλο που δεν ευθύνονται για το προσδοκώμενο ενεργειακό όφελος, οι βελτιώσεις αυτές παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων εξοικονόμησης ενέργειας που απεικονίζονται στο κάτωθεν σχήμα.



Σχήμα 3.1 Απεικόνιση του ετήσιου ενεργειακού κόστους συσκευών σε 20-ετή περίοδο με βάση τους νέους κανονισμούς του αμερικανικού υπουργείου ενέργειας (1993).

Η τάση για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας στην οικία συνεχίζεται αμείωτη και σήμερα. Το αμερικανικό υπουργείο ενέργειας εφαρμόζει πρότυπα εξοικονόμησης ενέργειας για περισσότερες από 60 κατηγορίες συσκευών και εξοπλισμού. Ως αποτέλεσμα, οι αμερικάνοι καταναλωτές εξοικονόμησαν 63 δισεκατομμύρια δολάρια σε λογαριασμούς κατά το 2015. Από το 2009, έχουν εκδοθεί 40 νέα ή ενημερωμένα πρότυπα, που προβλέπεται να μειώσουν κατά 540 δις δολάρια τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας των αμερικάνων ως το 2030 και να περιορίσουν τις εκπομπές CO₂ κατά 2,3 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους [9].

Ένας άλλος παράγοντας πίεσης προς την ίδια κατεύθυνση είναι το περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές οργανώσεις αλλά και οι ίδιοι οι καταναλωτές έχουν πιέσει για μείωση των εκπομπών που είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), χλωροφθοράνθρακες και απορρυπαντικά.

Τέλος, σημαντική είναι η ανάγκη για τεχνολογίες που προσφέρουν μεγάλα άλματα στην επίδοση των συσκευών και στις δυνατότητες των χρηστών. Οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές έχουν περισσότερες δυνατότητες και μεγαλύτερη αξιοπιστία από τους ηλεκτρομηχανικούς. Επιπλέον, οι τεχνολογίες αισθητήρων (sensors) και ενεργοποιητών (actuators) έχουν ενσωματωθεί στα περισσότερα ολοκληρωμένα κυκλώματα, παρέχοντας τη δυνατότητα χρήσης νέων αλγορίθμων ελέγχου με οικονομικά προσιτό εξοπλισμό.

Οι προαναφερθέντες παράγοντες έχουν οδηγήσει σε εξέλιξη των τεχνολογιών ελέγχου των οικιακών συσκευών, μεταβαίνοντας από ηλεκτρομηχανικά συστήματα ανοικτού βρόχου σε ηλεκτρικά συστήματα κλειστού βρόχου με αισθητήρες ενσωματωμένους στους ελεγκτές.

3.1.2 Διεπαφή με τους χρήστες και προβλήματα

Επακόλουθο των τεχνικών εξελίξεων στον τομέα της ηλεκτρονικής αποτελεί η ανάγκη αναθεώρησης της διεπαφής των συσκευών με τους χρήστες. Τις περισσότερες φορές, οι χρήστες έχουν στη διάθεσή τους ένα πληκτρολόγιο για να μπορούν να μεταβάλουν παραμέτρους λειτουργίας των συσκευών τους. Ενδεικτικά για ένα πλυντήριο ρούχων, αυτά θα μπορούσαν να είναι το επίπεδο του νερού, το βάρος των ρούχων και ο τύπος του υφάσματος. Στην πραγματικότητα, όμως, οι περισσότεροι χρήστες σπάνια αλλάζουν αυτές τις ρυθμίσεις. Άρα θα ήταν προτιμότερο να επιτρέπεται στους χρήστες να εισάγουν στόχους επιδόσεων, αφήνοντας την έξυπνη συσκευή να αποφασίσει αυτόματα τις κατάλληλες προς ρυθμίσεις. Συνεχίζοντας το παράδειγμα του πλυντηρίου, οι χρήστες μπορεί να θέσουν ως στόχους την επιθυμητή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και τον όγκο των ρούχων για πλύσιμο, με βάση τα οποία ένα έξυπνο πλυντήριο θα αποφάσιζε για τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Λόγω της ευρείας χρήσης τους, οι οικιακές συσκευές είναι ανάμεσα στα μαζικά παραγόμενα ηλεκτρομηχανικά συστήματα με προσιτό αγοραστικό κόστος. Όμως, το αποτέλεσμα του περιορισμού στο κόστος κατασκευής είναι η περιορισμένη

υπολογιστική ισχύς του επεξεργαστή και, συνεπώς, η μειωμένη πολυπλοκότητα της μονάδας ελέγχου.

3.1.3 Ηλεκτρονικοί ελεγκτές

Οι ηλεκτρομηχανικοί ελεγκτές βασίζονται σε μηχανικά ελεγχόμενους χρονοδιακόπτες. Διαθέτουν το πλεονέκτημα ότι μοναδική ενιαία μονάδα διαχειρίζεται με πολύ χαμηλό κόστος, τα δεδομένα που εισάγουν οι χρήστες, τον έλεγχο του κύκλου λειτουργίας και ελέγχου και την τροφοδοσία. Όμως, αυτό περιορίζει τους ηλεκτρομηχανικούς χρονοδιακόπτες στην εκτέλεση μόνο πολύ απλών εφαρμογών. Η εισαγωγή αισθητήρων στον ελεγκτή για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος δεν είναι τόσο απλή, καθώς απαιτεί νέα σχεδίαση ή προσθήκη γραναζιών και νέα ηλεκτρική καλωδίωση του συνολικού κυκλώματος ελέγχου.

Ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής με την ίδια λειτουργικότητα ενός ηλεκτρομηχανικού χρησιμοποιεί διαφορετικές μονάδες για την είσοδο δεδομένων και την έξοδο ενδείξεων από και προς τους χρήστες (I/O), την επεξεργασία και την τροφοδοσία. Για παράδειγμα, η είσοδος από τους χρήστες μπορεί να γίνεται μέσω ενός πληκτρολογίου μεμβράνης και η έξοδος μέσω φωτοδιόδων (LEDs) ή οθόνης VDF (vacuum fluorescent display). Επιπλέον, ο ελεγκτής θα μπορούσε να υλοποιηθεί μέσω λογισμικού που τρέχει σε μικροεπεξεργαστή και η τροφοδοσία μέσω ηλεκτρονόμων. Μία τέτοια διάταξη ενδεχομένως έχει τριπλάσιο κόστος από την αντίστοιχη υλοποίηση με ηλεκτρομηχανικούς ελεγκτές, αλλά έχει τη δυνατότητα να προγραμματιστεί για πολύ μεγαλύτερο εύρος λειτουργιών.

Με την εισαγωγή ηλεκτρονικών ελεγκτών, οι τροποποιήσεις στη λειτουργία τους είναι κυρίως θέμα λογισμικού, απαιτώντας λίγες ή καθόλου αλλαγές στη βασική καλωδίωση της συσκευής. Επιπλέον, η εισαγωγή νέων αισθητήρων γίνεται μέσω των διεπαφών του μικροελεγκτή, προσδίδοντας κλιμακωσιμότητα στο σύστημα.

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές δεν θα αντικαταστήσουν πλήρως τους ηλεκτρομηχανικούς στο άμεσο μέλλον, αφού πάντα θα υπάρχει ζήτηση στην αγορά για απλούστερες και χαμηλού κόστους συσκευές.

Η συντηρησιμότητα και η καλή λειτουργικότητα αποτελούν ένα επιπλέον κίνητρο για μετάβαση στη χρήση ηλεκτρονικών ελεγκτών. Ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να προγραμματιστεί για να εντοπίζει τη μη φυσιολογική συμπεριφορά μιας συσκευής με βάση τα δεδομένα που συλλέγουν οι αισθητήρες. Για παράδειγμα, ένα πλυντήριο πιάτων μπορεί να εντοπίσει κάποιον μπλοκαρισμένο βραχίονα ψεκασμού, μετρώντας το χρόνο μεταξύ των μεταβάσεων ενός μαγνήτη ενσωματωμένου στο βραχίονα καθώς αυτός περιστρέφεται κοντά σε ένα αισθητήρα ευαίσθητο στις μεταβολές του μαγνητικού του πεδίου (ημιαγωγός για το φαινόμενο Hall).

Η λειτουργικότητα των συσκευών μπορεί επίσης να βελτιωθεί. Πιέζοντας ορισμένους συνδυασμούς πλήκτρων στον πίνακα ελέγχου, ο μικροεπεξεργαστής δύναται να προγραμματιστεί ώστε να αποδίδει ως έξοδο κωδικούς σφαλμάτων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα μειωθεί ο χρόνος και το κόστος επίλυσης των προβλημάτων λειτουργίας των συσκευών.

Η χρήση ηλεκτρονικών ελεγκτών, συμβάλλει, επίσης, στην κατασκευή συσκευών στα στάδια της δοκιμής και της τελικής συναρμολόγησης. Από τη μία πλευρά, οι μικροελεγκτές ανιχνεύουν αυτοτελώς σφάλματα σε ορισμένες λειτουργίες μιας συσκευής μειώνοντας έτσι την ανάγκη χρήσης εξωτερικών εργαλείων δοκιμών. Επίσης, υπάρχει μία λειτουργία ("late-point identification") που επιτρέπει την ενσωμάτωση ελεγκτών συμβατών με κάθε συσκευή, ανάλογα με το μοντέλο, ακόμα και στο τέλος της γραμμής παραγωγής. Όταν ο πίνακας ελέγχου ενσωματωθεί στη συσκευή, ο μικροεπεξεργαστής του ελεγκτή μπορεί να αποφασίσει για το μοντέλο της συσκευής, και να χρησιμοποιήσει μόνο το υποσύνολο του λογισμικού που είναι κατά περίπτωση κατάλληλο. Επομένως, η διαδικασία κατασκευής καθίσταται κλιμακώσιμη και γενικευμένη.

3.1.4 Αισθητήρες και ενεργοποιητές σε οικιακές συσκευές

Η ευφυΐα των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται οικιακές συσκευές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητά τους να συλλέγουν απλά δεδομένα με μεθόδους

χαμηλού οικονομικού και ενεργειακού κόστους. Στη συνέχεια, παρατίθενται παραδείγματα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται.

- *Αισθητήρες στάθμης ύδατος* για χρήση σε πλυντήρια ρούχων.
Συνήθως πρόκειται για ένα μορφοτροπέα² πίεσης συνδεδεμένο με το κάτω μέρος του κάδου πλύσης με έναν εύκαμπτο σωλήνα. Καθώς το νερό στον κάδο αυξάνεται, ο αέρας στον σωλήνα συμπιέζεται με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας.
- *Αισθητήρες υγρασίας* για αυτόματα στεγνωτήρια.
Υπάρχουν σε διάφορα σχήματα και μεγέθη και χρησιμοποιούν διάφορες μορφοτροπικές τεχνικές, όπως η αλλαγή της χωρητικότητας μιας πολυμερούς μεμβράνης με υγρασία.
- *Αισθητήρες θερμοκρασίας*.
Συνήθως πρόκειται για χαμηλού κόστους θερμοαντιστάτες βασισμένους σε ημιαγωγούς.
- *Οπτικοί αισθητήρες*, όπως αισθητήρες θολότητας σε πλυντήρια ρούχων και πιάτων για μέτρηση της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στο νερό με βάση τη διάχυση του φωτός που προκαλούν τα σωματίδια αυτά. Σύμφωνα με μία μέθοδο, χρησιμοποιείται ένας ανιχνευτής φωτονίων για να μετρήσει την εξασθένηση του φωτός από μία οθόνη υγρών κρυστάλλων (LED) στο νερό. Άλλες μέθοδοι βασίζονται στη διάχυση του φωτός που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια στο νερό, μετρώντας το λόγο μεταξύ της έντασης της διαχεόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με τη μεταδιδόμενη.
- *Αισθητήρες αγωγιμότητας* για χρήση σε εφαρμογές όπως ανίχνευση του απορρυπαντικού σε πλυντήρια.
- *Αισθητήρες θέσης* για εφαρμογές όπως ανίχνευση της θέσης του βραχίονα ψεκασμού σε ένα πλυντήριο πιάτων και της θέσης του δρομέα του κινητήρα. Οι πλέον συνηθισμένοι είναι αισθητήρες φαινομένου Hall.
- *Αισθητήρες ταχύτητας* για ανίχνευση της ταχύτητας περιστροφής σε πλυντήρια ρούχων.

² **Μορφοτροπέας** είναι μία ηλεκτρική, ηλεκτρονική ή ηλεκτρομηχανική διάταξη που μετατρέπει ένα τύπο ενέργειας σε κάποιον άλλο με στόχο μετρήσεις ή μεταφορά πληροφοριών. Οι περισσότεροι μορφοτροπέες είναι είτε αισθητήρες ή ενεργοποιητές [10].

- *Αισθητήρες ροπής* για μέτρηση της ροπής του κινητήρα. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του φορτίου και του τύπου υφάσματος.
- *Επιταχυνσιόμετρο* για ανίχνευση δονήσεων που προκύπτουν από μη ισορροπημένο φορτίο στον κάδο πλυντηρίων. Υλοποιείται με χρήση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων.
- *Ακουστικοί αισθητήρες* για εφαρμογές όπως η ανίχνευση του ήχου «σκασίματος» του καλαμποκιού στον φούρνο μικροκυμάτων κατά την παρασκευή των ποπ κορν.

Οι ενεργοποιητές που χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής ευρείες κατηγορίες:

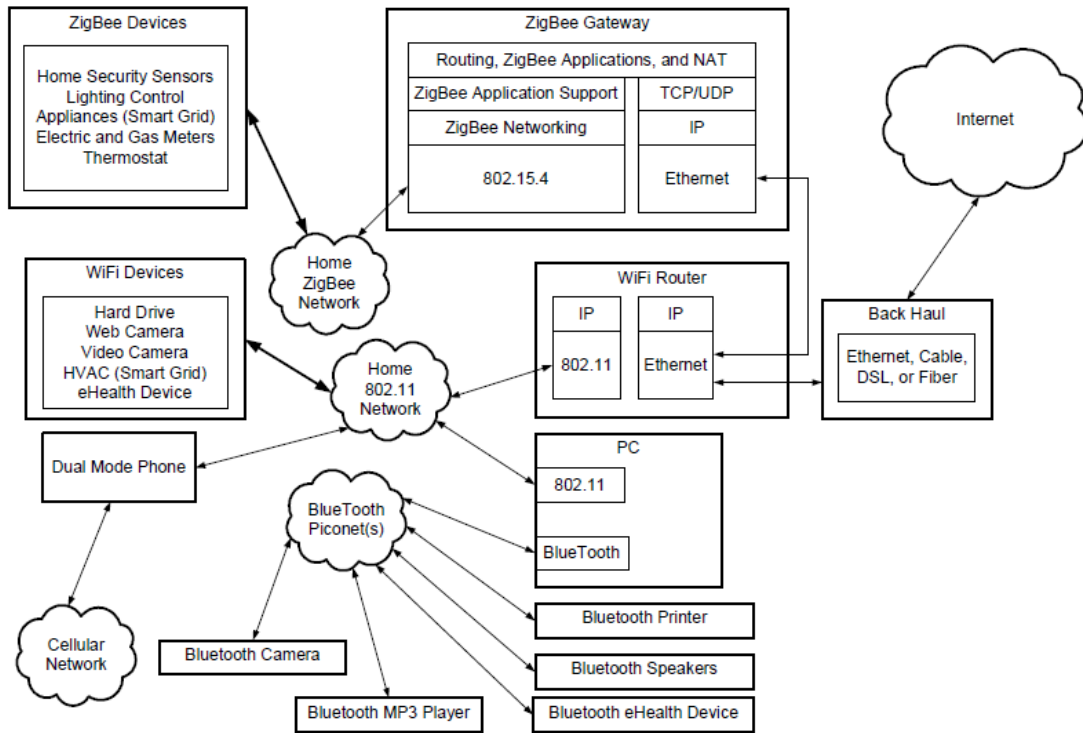
- *Θερμαντήρες* για νερό ή αέρα.
Παραδείγματα χρήσης τους αποτελούν τα στεγνωτήρια και τα πλυντήρια πιάτων.
- *Ρελέ ισχύος ή triac (διακόπτες ισχύος ημιαγωγών)* για λειτουργία on-off ή συνεχή παροχή ενέργειας.
Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κεντρικής παροχής ενέργειας και μπορούν να ενσωματωθούν σε ηλεκτρικές πρίζες.
- *Απλές μηχανικές διατάξεις κίνησης*, όπως ηλεκτρομηχανικές βαλβίδες, ελεγχόμενες από ρελέ για σύρτες θυρών και βαλβίδες ροής νερού.
- *Περίπλοκες μηχανικές διατάξεις κίνησης*, όπως κινητήρες και ηλεκτρονικά ισχύος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλυντήρια ρούχων.

3.2 M2M πύλες που χρησιμοποιούνται στο οικιακό δίκτυο

Το M2M δίκτυο χρειάζεται απαραίτητα μία M2M πύλη για να διευκολύνεται η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συσκευών που το απαρτίζουν. Επιπλέον, η M2M πύλη επιτρέπει τη διασύνδεση με εξωτερικά δίκτυα (backhaul) που θα διασυνδέονται τελικά με το Internet.

3.2.1 Έλλειψη πόρων και προβλήματα δρομολόγησης σε δίκτυα οικιακού αυτοματισμού.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε ένα οικιακό δίκτυο είναι αναγκαίο να υποστηρίζονται διάφορες εφαρμογές και διαφορετικά πρωτόκολλα.



Σχήμα 3.2 Ένα οικιακό M2M δίκτυο

Στο Σχ.3.2 απεικονίζεται ένα οικιακό M2M δίκτυο που μπορεί να δομηθεί με εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα [4]. Τρία τοπικά δίκτυα (802.15.4 (ZigBee), 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth) επικοινωνούν μέσω των αντίστοιχων πυλών τους, με το εξωτερικό δίκτυο κορμού που συνδέεται με το Internet. Φαίνεται η αντιστοίχιση κάθε εφαρμογής με τις διαθέσιμες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες. Συνδέονται συστήματα ασφαλείας, έξυπνοι μετρητές καθώς και συστήματα φωτισμού, κλιματισμού, τηλε-επιτήρησης, ψυχαγωγίας και υπολογιστές. Η δυνατότητα ελέγχου, απομακρυσμένα ή από το εσωτερικό της οικίας, όλων αυτών των συσκευών του οικιακού δικτύου είναι πολύ ελκυστική. Όμως, με την αρχιτεκτονική αυτή δημιουργείται η ανάγκη, οι χρήστες να διαχειρίζονται τρία διαφορετικά δίκτυα που με ξεχωριστές πύλες υποστηρίζουν διαφορετικές εφαρμογές.

Από την πύλη (ZigBee gateway) και το δρομολογητή (WiFi router) του ΣΧ.3.2, ζητούνται πολύ περισσότερες λειτουργίες, πέραν της βασικής δρομολόγησης πακέτων.

3.2.1.1 Μεταφραστές Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)

Οι πύλες του Σχ.3.2 πρέπει να υποστηρίζουν εφαρμογές μετάφρασης δικτυακών διευθύνσεων (Network Address Translation – NAT) ώστε να διευκολύνεται η επικοινωνία μεταξύ των τοπικών δικτύων [11]. Ένας NAT επιτρέπει σε πολλούς υπολογιστές να μοιράζονται μία κοινή δημόσια διεύθυνση IP. Κάθε υπολογιστής στο τοπικό δίκτυο έχει μοναδική τοπική IP διεύθυνση και όλη η επικοινωνία με δημόσιους κόμβους του Internet διέρχεται από το NAT, όπου είναι αποθηκευμένος ένας πίνακας μετάφρασης με διευθύνσεις και θύρες. Ειδικότερα, όταν μία συσκευή σε τοπικό δίκτυο με NAT αποστέλλει πακέτα σε απομακρυσμένο προορισμό μέσω Internet, ο NAT συλλέγει κάθε πακέτο και αντικαθιστά την τοπική IP διεύθυνση προέλευσης (source IP address) και τη θύρα με τη δημόσια IP διεύθυνση και θύρα. Αντίστροφη διαδικασία στην IP διεύθυνση προορισμού πραγματοποιείται σύμφωνα με τον πίνακα μετάφρασης, όταν καταφθάνουν πακέτα από το Internet με προορισμό το τοπικό δίκτυο. Επομένως, οι εφαρμογές NAT προκαλούν αρκετά προβλήματα στο δίκτυο, αφού αυξάνουν την πολυπλοκότητα των εφαρμογών που χρησιμοποιούν αποκλειστικά IPv4 διευθύνσεις. Τέτοια προβλήματα θα ενταθούν περισσότερο σε ένα οικιακό δίκτυο που μπορεί να πρέπει να υποστηρίξει μέχρι και 100 συσκευές, πολλές από τις οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα διευθυνσιοδότησης.

3.2.1.2 Ενεργειακές Απαιτήσεις M2M δικτύων

Η ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας από τους M2M κόμβους αυξάνει τις απαιτήσεις της M2M πύλης. Οι M2M κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με τους λιγότερους δυνατούς πόρους ώστε να εξοικονομούν ενέργεια και να αυξάνεται η διάρκεια ζωής των μπαταριών των συσκευών. Η M2M πύλη πρέπει να γνωρίζει πώς κατανέμονται οι ενεργειακοί και υπολογιστικοί πόροι στο δίκτυο και να διαχειρίζεται τα δεδομένα ώστε να ελαχιστοποιεί τη χρήση τους. Για να επιτευχθεί αυτό, η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται από τις M2M συσκευές πρέπει να γίνεται στην M2M πύλη και όχι στις ίδιες τις συσκευές, στις περιπτώσεις όπου αυτό είναι δυνατό.

Κοινός κανόνας σε όλα τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα M2M δίκτυα είναι οι συσκευές που λειτουργούν αυτόνομα με μπαταρία να μεταβαίνουν σε κατάσταση αδράνειας επί όσο το δυνατό περισσότερο χρόνο, χωρίς να υποβαθμίζονται οι προβλεπόμενες αποδόσεις του δικτύου. Ο χρόνος αδράνειας μπορεί να κυμαίνεται από μερικά λεπτά της ώρας έως αρκετές μέρες. Επομένως, η M2M πύλη πρέπει, εκτός των άλλων, να γνωρίζει επίσης τα διαστήματα κατά τα οποία οι συσκευές είναι αδρανείς ή έτοιμες για επικοινωνία. Επίσης, τα διάφορα μηνύματα και οι εντολές που ανταλλάσσονται μεταξύ των M2M κόμβων και της M2M πύλης πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να επιτρέπουν στις συσκευές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας να έχουν αποδοτικούς κύκλους αδράνειας.

Οι μεγάλες περίοδοι αδράνειας των συσκευών έχουν σημαντική αρνητική επίπτωση στους αλγόριθμους δρομολόγησης στα M2M δίκτυα. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν δεν χρησιμοποιηθούν συσκευές με μπαταρία. Εντούτοις, είναι αναγκαία η χρήση τέτοιων συσκευών όταν κοντά σε κάθε συσκευή με μπαταρία δεν υπάρχει κάποια συσκευή με τροφοδοσία από το ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι, όταν εμπλέκονται στη δρομολόγηση συσκευές που αδρανοποιούνται συχνά, η τοπολογία του δικτύου θα μεταβάλλεται συνεχώς, καθώς κόμβοι θα μεταβαίνουν και θα εξέρχονται συχνά από κατάσταση αδράνειας.

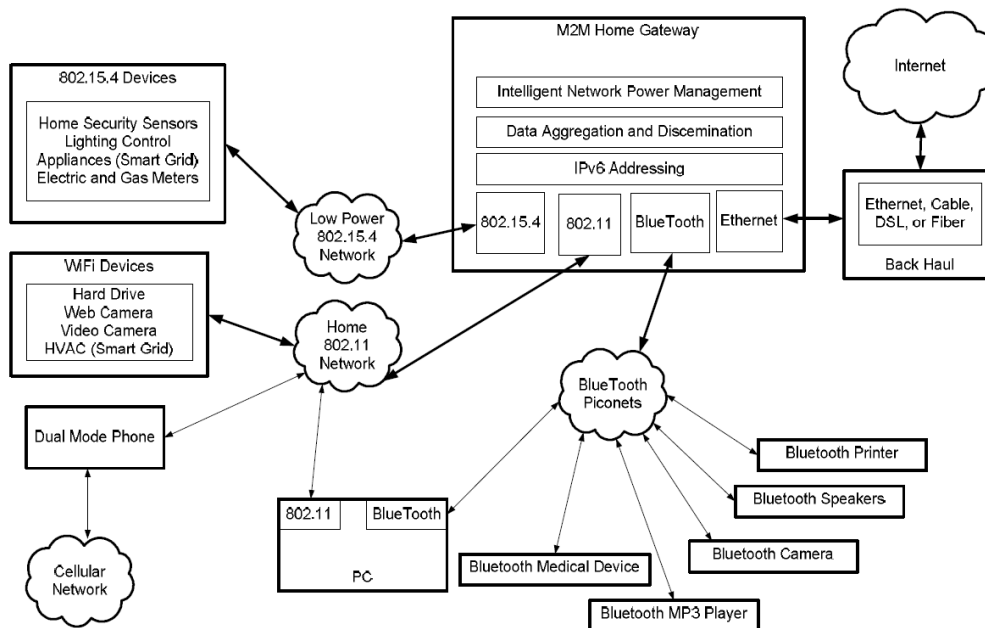
Πρόσθετος παράγοντας που διαμορφώνει δυναμικά την τοπολογία του δικτύου είναι η μετακίνηση ορισμένων συσκευών εντός της οικίας. Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί αυτό είναι η δημιουργία διαδρομών δρομολόγησης μεταξύ των κόμβων του δικτύου, αντίστοιχα με τη ζήτηση από τον κόμβο-πηγή, και η διατήρησή τους μόνο επί όσο διάστημα απαιτείται. Τέτοιας μορφής πρωτόκολλα δρομολόγησης χρησιμοποιούνται από πολλά ενεργειακά πρωτόκολλα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρεται το ZigBee (Ad Hoc On-Demand Distance Vector - AODV) [12]. Σε ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί AODV, οι αδρανείς κόμβοι που δεν συμμετέχουν ενεργά στην επικοινωνία δεν διατηρούν πληροφορίες δρομολόγησης ούτε συμμετέχουν στις περιοδικές ενημερώσεις των πινάκων δρομολόγησης. Οι περισσότεροι υπολογισμοί, όπως η επεξεργασία των απαντήσεων των άλλων κόμβων για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής πραγματοποιούνται από τον κόμβο-πηγή. Για την επιλογή της κατάλληλης

διαδρομής, εκτός από την ελαχιστοποίηση του πλήθους των μεταπηδήσεων, μπορεί να ληφθεί υπόψη και η εναπομένουσα διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών που είναι υποψήφιος να αποτελέσουν κόμβους μιας διαδρομής.

Άλλες τεχνικές αντιμετώπισης του προβλήματος που προκαλεί η δυναμική διαμόρφωση της τοπολογίας σε ένα οικιακό δίκτυο περιλαμβάνουν την αποστολή πακέτων από τον κόμβο-πηγή μόνο προς τον πλησιέστερο M2M κόμβο που τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι, αντί να δρομολογούνται συνεχώς πακέτα προς M2M κόμβους με μεγάλους κύκλους αδράνειας, η δρομολόγηση γίνεται προς M2M κόμβους που μπορούν να αποθηκεύσουν το μήνυμα μέχρι να εξέλθει κάποια συσκευή χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας από την κατάσταση αδράνειας.

3.2.2 Ολοκληρωμένη M2M πύλη (Integrated M2M gateway)

Σύμφωνα με το [1] , καθώς το οικιακό δίκτυο ωριμάζει και αναπτύσσεται, οι διαφορετικές M2M πύλες που απεικονίζονται στο Σχ.3.3 πρέπει να συγκλίνουν σε μοναδική ολοκληρωμένη πύλη. Η ολοκληρωμένη πύλη θα διαχειρίζεται με ευφυή τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες όλων των κόμβων του δικτύου και θα παρέχει πιο αποδοτικό τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των δικτύων εντός της οικίας, και θα αποτελεί δίαυλο με το δίκτυο κορμού εκτός οικίας. Επιπλέον, η ολοκληρωμένη πύλη θα γνωρίζει τους διαθέσιμους πόρους κάθε συσκευής συνδεδεμένης στο οικιακό δίκτυο, ώστε να πραγματοποιεί έξυπνη δρομολόγηση και να διαχειρίζεται αποδοτικά τη μνήμη των M2M κόμβων του δικτύου. Μια τέτοια πύλη μπορεί να παρέχει απομακρυσμένη διαχείριση του οικιακού δικτύου μέσω του Internet, αποτελώντας το μοναδικό σημείο επικοινωνίας των χρηστών με το οικιακό δίκτυο. Με αυτή την επιλογή, τα διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο δεν απασχολούν τους χρήστες. Η πύλη θα επωμιστεί το βάρος της συλλογής δεδομένων από το δίκτυο, καθώς θα είναι συνεχώς συνδεδεμένη στο Internet και ενεργή. Ο χρήστης θα μπορεί να εποπτεύει ή να ελέγχει την κατάσταση του οικιακού δικτύου μέσω μιας μοναδικής M2M πύλης χωρίς να χρειάζεται να διαχειρίζεται περισσότερες.



Σχήμα 3.3 Η ολοκληρωμένη M2M πύλη

Πέρα από τη βασική σύγκλιση των τοπικών πυλών σε μία ολοκληρωμένη πύλη όπως αυτή στο Σχ.3.3, η χρήση της τεχνολογίας των «ραδιοεπικοινωνιών λογισμικού» (Software-Defined Radio, SDR) και η επικοινωνία μέσω κυψελωτών δικτύων αποτελούν επιλογές που θα μπορούσαν να κάνουν την M2M πύλη ενός οικιακού δικτύου αποδοτικότερη ως μέσο διαχείρισης των επικοινωνιών του οικιακού δικτύου.

3.2.3 Software-Defined Radio (SDR)

Λόγω της ευελιξίας που προσφέρει, έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για το τι είναι το Software-Defined Radio. Ο ορισμός που έχει δοθεί από το SDR Forum σε συνεργασία με την IEEE αναφέρει ότι το SDR είναι ένα ραδιοσύστημα (radio) στο οποίο ορισμένες ή όλες οι λειτουργίες του φυσικού επιπέδου (physical layer) εκτελούνται μέσω λογισμικού [13].

Ένα ραδιοσύστημα είναι μια ασύρματη διάταξη η οποία έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει ή να μεταδίδει σήματα που μεταφέρουν πληροφορίες σε κάποια συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στη σημερινή εποχή, ραδιοσυστήματα είναι ενσωματωμένα σε πλήθος συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα, τηλεοράσεις, προσωπικοί υπολογιστές, αυτοκίνητα κ.α. Στους

συμβατικούς πομποδέκτες υπάρχουν περιορισμοί στη διαλειτουργικότητα, που μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με αλλαγές στο υλικό, με μεγάλο, ωστόσο, κόστος. Αντίθετα, η τεχνολογία SDR αποτελεί αποδοτική και σχετικά φθηνή λύση στο πρόβλημα αυτό, επιτρέποντας την κατασκευή ευέλικτων, ευρυζωνικών και πολυλειτουργικών συσκευών που μπορούν να βελτιωθούν μέσω αναβαθμίσεων λογισμικού. Στα SDR συστήματα, η μέχρι τώρα υλοποίηση στοιχείων στο υλικό, όπως μίκτες, φίλτρα, ενισχυτές κ.α., γίνεται μέσω λογισμικού που εκτελείται είτε σε προσωπικούς υπολογιστές είτε σε ενσωματωμένα συστήματα. Η χρήση της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος επιτρέπει την πραγματοποίηση ή υλοποίηση λειτουργιών, όπως διαμόρφωση/αποδιαμόρφωση σημάτων, παραγωγή σημάτων, κωδικοποίηση κ.α..

Τα πλεονεκτήματα των SDR διατάξεων είναι πολυάριθμα. Στους κατασκευαστές ραδιοσυστημάτων η τεχνολογία αυτή επιτρέπει τη δημιουργία μίας οικογένειας προϊόντων που ακολουθούν κοινή αρχιτεκτονική και μπορούν να προωθηθούν στην αγορά ταχύτερα από άλλα. Επιπλέον, η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού μειώνει το κόστος παραγωγής ηλεκτρονικών συσκευών σε μεγάλο βαθμό. Τέλος, η δυνατότητα απομακρυσμένης ενημέρωσης του λογισμικού επιτρέπει την επίλυση προβλημάτων χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία των συστημάτων ενώ ταυτοχρόνως μειώνει το χρόνο αλλά και το κόστος συντήρησης.

Για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών προϊόντων και υπηρεσιών, η SDR τεχνολογία εισάγει νέα χαρακτηριστικά και δυνατότητες που μπορούν να ενσωματωθούν στις υπάρχουσες υποδομές δικτύων, χωρίς να απαιτούν μεγάλες κεφαλαιουχικές δαπάνες. Η χρήση αρχιτεκτονικής κοινής πλατφόρμας για μία ευρύτερη οικογένεια προϊόντων ραδιοσυστημάτων μειώνει τα λογιστικά και λειτουργικά έξοδα, επιτρέποντας σε νέα προϊόντα να γίνονται εμπορικά διαθέσιμα, ταχύτερα και ευκολότερα. Τέλος, με τις απομακρυσμένες αναβαθμίσεις λογισμικού, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών μπορούν να εισάγουν νέα χαρακτηριστικά στο δίκτυο τους που θα φέρουν νέα έσοδα. Όσον αφορά τους τελικούς χρήστες, η SDR τεχνολογία αποβλέπει στη μείωση του κόστους χρησιμοποίησης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, επιτρέποντάς τους να επικοινωνούν με οποιονδήποτε, όποτε χρειαστεί και με κάθε διαθέσιμο τρόπο

Συνεπώς, η σχεδίαση μίας οικιακής M2M πύλης βασισμένης σε SDR τεχνολογία, θα περιλαμβάνει υποσυστήματα που θα επικοινωνούν ταυτόχρονα με διαφορετικά πρωτόκολλα και σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (multicarrier and multiband products).

Τέλος, ενώ η SDR τεχνολογία προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, υπάρχουν και δυσκολίες στη σχεδίαση και την υλοποίησή συμβατών διατάξεων, όπως η δυσκολία σχεδιασμού λογισμικού που θα υποστηρίζεται από διαφορετικά συστήματα και θα ανταποκρίνεται σε διαφορετικά πρότυπα, καθώς και η δυσκολία σχεδιασμού ασυρμάτων διεπαφών και αλγορίθμων για την υποστήριξη διαφορετικών πρωτοκόλλων.

3.2.4 Κυψελωτά δίκτυα και φεμτοκυψέλες

Καθώς το οικιακό δίκτυο συνεχίζει να εξελίσσεται, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη καλύτερης υποστήριξης των συσκευών που μετακινούνται συχνά εντός και εκτός της οικίας, όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές. Η επικοινωνία τέτοιων συσκευών δεν πρέπει να επηρεάζεται από το αν βρίσκονται εντός της οικίας ή σε απόσταση χιλιομέτρων. Συνήθως, οι εύκολα φορητές συσκευές αποτελούν τη πιο βολική διεπαφή του χρήστη με το οικιακό δίκτυο. Μερικά παραδείγματα αποτελούν η κοινή χρήση πολυμεσικού περιεχομένου μεταξύ ενός φορητού υπολογιστή και της τηλεόρασης ή απλώς η ρύθμιση του θερμοστάτη μέσω κινητού τηλεφώνου.

Αρκετές συσκευές κυψελωτών δικτύων υποστηρίζουν και το πρωτόκολλο Wi-Fi ώστε να μπορούν να επικοινωνούν και εντός των οικιακών δικτύων. Συνδέονται με κυψελωτά δίκτυα εκτός της οικίας, ενώ μεταβαίνουν σε Wi-Fi σύνδεση εντός της οικίας. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί οι συσκευές να υποστηρίζουν πολλαπλές τεχνολογίες πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παραγωγής τους.

Εναλλακτικά, μπορεί να επιτρέπεται η διαχείριση ενός οικιακού δικτύου από φεμτοκυψέλες. Οι φεμτοκυψέλες είναι μια μικρογραφία σταθμού βάσης κυψελωτού δικτύου, που επικοινωνεί με το δίκτυο κορμού με IP πρωτόκολλο και

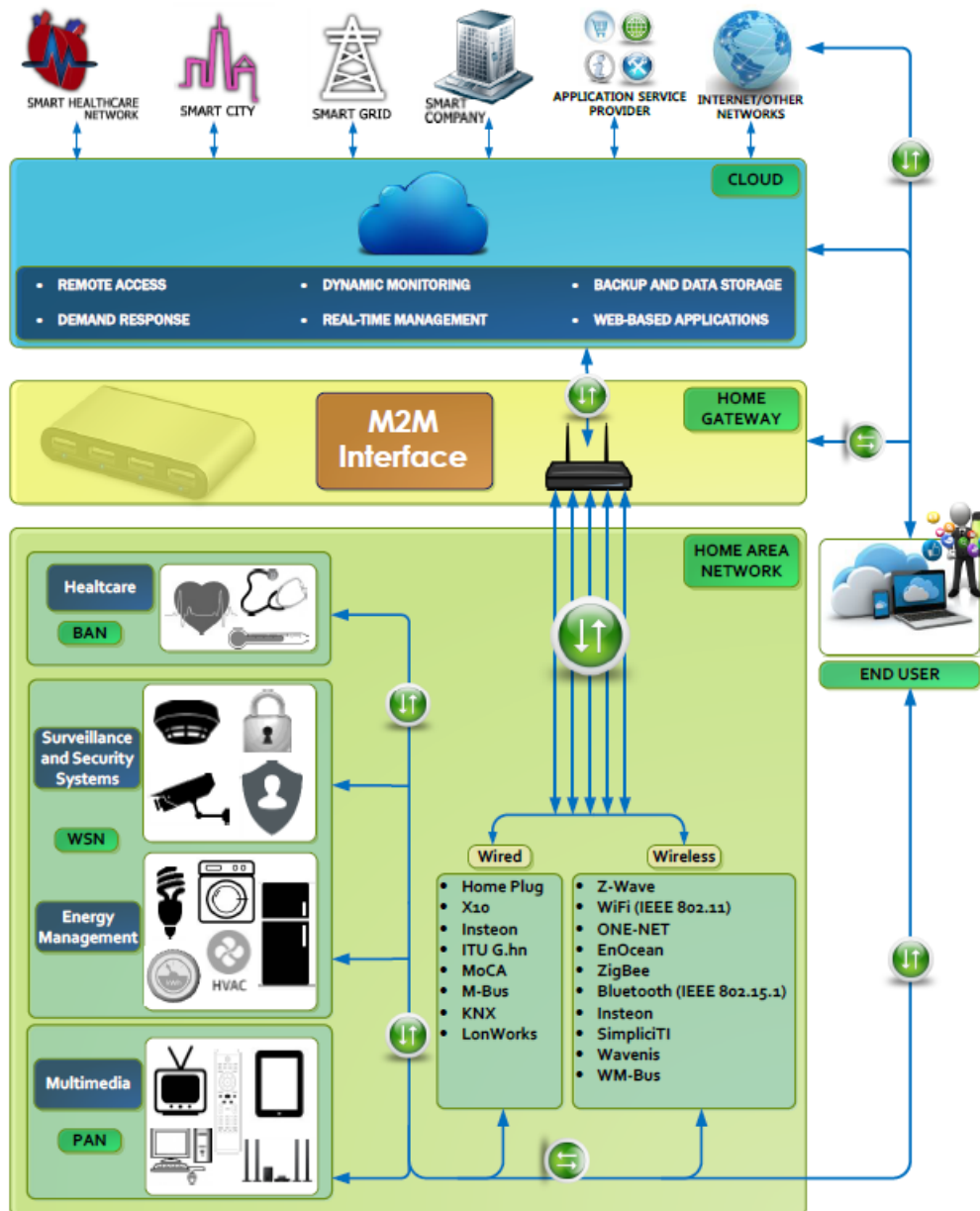
υποστηρίζει τα υπόλοιπα πρωτόκολλα των τοπικών δικτύων που βρίσκονται στο εσωτερικό των οικιών. Γενικότερα, οι φεμτοκυψέλες είναι ασύρματα σημεία πρόσβασης χαμηλής ισχύος και μικρής ακτίνας κάλυψης που λειτουργούν σε καθορισμένο φάσμα. Επιτρέπουν στον πάροχο του δικτύου να βελτιώσει σημαντικά την κάλυψή του σε εσωτερικούς χώρους, ειδικά όπου η πρόσβαση είναι περιορισμένη ή ανύπαρκτη (κατοικίες, μετρό, εταιρείες, κτλ). Επιπλέον, οι φεμτοκυψέλες συντελούν στην αποσυμφόρηση του φορτίου της μακροκυψέλης, εξυπηρετώντας τους χρήστες που βρίσκονται εντός κτιρίων. Συνεπώς, η μακροκυψέλη αποδίδει τους πόρους της σε μικρότερο αριθμό χρηστών, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα εξυπηρέτησής τους [14]. Δηλαδή, οι φεμτοκυψέλες δεν συντελούν μόνο στη βελτίωση κάλυψης του δικτύου σε εσωτερικούς χώρους, αλλά και στην αύξηση της συνολικής απόδοσης του δικτύου. Τέλος, οι φορητές συσκευές δεν θα χρειάζεται να υποστηρίζουν πολλαπλές φυσικές ζεύξεις, επειδή θα μπορούν να συνδεθούν στη φεμτοκυψέλη με τη διεπαφή ραδιοσυχνοτήτων που έχουν ήδη εγκατεστημένη.

3.2.5 Συμπεράσματα

Η ολοκληρωμένη M2M πύλη, οι τεχνολογίες SDR και οι φεμτοκυψέλες μπορούν να συμβάλουν στο να καταστεί η οικιακή πύλη ισχυρότερη και οι συσκευές του οικιακού δικτύου αποδοτικότερες ως προς την ενέργεια και την πολυπλοκότητα, διατηρώντας χαμηλό κόστος. Το αποτέλεσμα είναι ένα δίκτυο με μεγαλύτερη αξία τόσο για τους οικιακούς χρήστες όσο και για τους παρόχους υπηρεσιών. Οι ένοικοι των οικιών ωφελούνται, καθώς θα μπορούν να συνδεθούν με περισσότερες συσκευές στο οικιακό δίκτυο, η διαχείριση και ο έλεγχος του οποίου θα γίνεται με απλό και εύκολο τρόπο. Επιπλέον, θα καταστούν διαθέσιμες περισσότερες υπηρεσίες. Από την άλλη πλευρά, οι πάροχοι υπηρεσιών επωφελούνται από τη δημιουργία νέων ευκαιριών για κέρδη λόγω των επιπλέον συσκευών που θα συνδέονται στο δίκτυο και των περισσότερων υπηρεσιών.

3.3 Υπηρεσίες στο έξυπνο σπίτι

Το σύνολο των τεχνολογιών M2M στην οικία με στόχο να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των κατοίκων μέσα από την παροχή διάφορων υπηρεσιών είναι γνωστό ως οικιακός αυτοματισμός. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι βασικές εφαρμογές του οικιακού αυτοματισμού και ορισμένες υπηρεσίες.



Σχήμα 3.4 Πρόσβαση στις συσκευές στο έξυπνο σπίτι μέσω του παγκόσμιου πλαισίου δικτύων

3.3.1 Έλεγχος φωτισμού

Ένα σύστημα ελέγχου φωτισμού καθίσταται ευφυής λύση ελέγχου της συμπεριφοράς του φωτισμού βασισμένη στο οικιακό δίκτυο και εξαρτάται από την παρουσία ή μη των ενοίκων. Ο έλεγχος φωτισμού μπορεί να γίνεται από μία ή περισσότερες, σταθερές ή φορητές συσκευές και παρέχει επαρκές φως όπου και όταν χρειάζεται. Ο φωτισμός απενεργοποιείται αυτόματα όταν δεν ανιχνεύεται η παρουσία των ενοίκων ή μειώνεται η έντασή του ανάλογα με το φυσικό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον, μπορεί να γίνεται και έλεγχος του φυσικού φωτισμού εντός της οικίας μέσω του αυτοματισμού των κουρτινών ανάλογα με το φως της ημέρας ή άμεσα από τους ενοίκους.

3.3.2 Έλεγχος κλιματισμού στην οικία (HVAC control)

Παρέχεται στους ενοίκους δυνατότητα να ελέγξουν τα οικιακά συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning). Συνήθως, χρησιμοποιούνται αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, σκόνης, καπνού ή CO₂ ώστε, για παράδειγμα, το σύστημα HVAC να αποφασίσει αν χρειάζεται η ανανέωση του αέρα και να ενεργοποιήσει το σύστημα εξαερισμού. Ο έλεγχος του κλιματισμού (A/C control) – εκμεταλλευόμενος τη δυνατότητα από απόσταση επικοινωνίας του με τους ενοίκους – μπορεί να ενεργοποιεί το κλιματιστικό ή να αυξάνει την ένταση ψύξης πριν ακόμα οι ένοικοι καταφθάσουν στον κλιματιζόμενο χώρο. Επίσης, η μονάδα κλιματισμού ρυθμίζει τα επίπεδα ψύξης με βάση τη θερμοκρασία εντός και εκτός του χώρου χωρίς την ανάγκη επιτήρησης από τους ενοίκους. Τέλος, το σύστημα ελέγχου θέρμανσης μπορεί να ελέγχει αν το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί με βέλτιστη ενεργειακή αποδοτικότητα αξιοποιώντας πληροφορίες από θερμοστάτες και, εφόσον χρειαστεί, ειδοποιεί τους ενοίκους.

3.3.3 Έξυπνη παρακολούθηση

Ευφυή συστήματα παρακολούθησης εξοπλισμένα με κάμερες καταγράφουν δραστηριότητες εντός και εκτός της οικίας και παρέχουν τη δυνατότητα σε παρόχους υπηρεσιών ασφάλειας να επιτηρούν από απόσταση. Επιπλέον, για

εξοικονόμηση εύρους ζώνης και μικρότερο κόστος, αισθητήρες κίνησης επιτρέπουν στο σύστημα επιτήρησης να αποστέλλει μόνο τις καταγραφές όπου ανιχνεύεται κίνηση.

3.3.4 Αυτοματοποιημένο σύστημα ασφαλείας

Οι κλειδαριές της εξώπορτας και των παραθύρων μπορούν να ενταχθούν στο οικιακό δίκτυο, ώστε να ελέγχεται η πρόσβαση στην οικία. Έτσι, όταν ανιχνεύεται μία μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στην οικία, οι αισθητήρες ειδοποιούν τους αρμόδιους ενεργοποιητές για να αποστείλουν ένα email, ένα γραπτό μήνυμα ή να κάνουν τηλεφωνική κλήση στις αρχές. Επιπλέον, οι θύρες μπορούν να κλειδώνουν αυτόματα μετά από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, από τη στιγμή όπου κάποιος εισέλθει ή εξέλθει του κτιρίου.

Στα οικιακά αυτοματοποιημένα συστήματα ασφαλείας συμπεριλαμβάνονται και συστήματα πυρασφάλειας, που είναι ζωτικής σημασίας. Όταν οι ιδιοκτήτες λείπουν, αισθητήρες καπνού μπορούν να ενημερώσουν άμεσα την πυροσβεστική και τον ιδιοκτήτη ώστε να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες.

3.3.5 Έλεγχος οικιακών συσκευών

Οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, ηχοσυστήματα κ.α. μπορούν να απενεργοποιούνται αυτόματα όταν διαπιστωθεί ότι δεν χρησιμοποιούνται. Η δυνατότητα αυτή αποτελεί εξέλιξη των μεθόδων χειροκίνητου ελέγχου της λειτουργίας των οικιακών συσκευών από ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή κινητά τηλέφωνα.

3.3.6 Ευφυής άρδευση και παροχή νερού

Κατάλληλα τοποθετημένοι αισθητήρες μετρούν το ύψος της βροχόπτωσης και την υγρασία. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η φυσική βροχόπτωση συνυπολογίζεται σε συνδυασμό με την αυτόματη άρδευση. Όταν βρέχει, δεν γίνεται ενεργοποίηση του συστήματος άρδευσης ή διακόπτεται η λειτουργία του όταν αρχίσει να βρέχει εφόσον ήταν ενεργοποιημένο.

3.3.7 Εφαρμογές υγείας και βιομέτρησης

Υπάρχουν δύο βασικά είδη συστημάτων οικιακού αυτοματισμού υγείας, τα ενσωματωμένα συστήματα υγείας και τα ιδιωτικά δίκτυα υγείας [15]. Ένα ενσωματωμένο σύστημα υγείας ενσωματώνει αισθητήρες και μικροεπεξεργαστές σε συσκευές, έπιπλα και ρουχισμό για τη συλλογή δεδομένων που αναλύεται ώστε να διαγνωστούν ασθένειες ή να ανιχνευτούν συμπεριφορές που μπορεί να οδηγήσουν σε ασθένειες. Τα ιδιωτικά δίκτυα υγείας χρησιμοποιούν ασύρματες τεχνολογίες για τη διασύνδεση φορητών συσκευών βιομετρήσεων και αποθηκεύουν τα δεδομένα σε μία οικιακή βάση δεδομένων υγείας. Σε έκτακτες περιπτώσεις, το σύστημα ειδοποιεί αυτόματα εξειδικευμένα κέντρα πρώτων βοηθειών.

3.3.8 Έξυπνοι μετρητές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί εκτενώς στο Κεφ.1, οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές του οικιακού αυτοματισμού. Σε ειδικές οθόνες παρουσιάζονται λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρισμού καθώς και το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή. Επίσης, οι έξυπνοι μετρητές μεταδίδουν στον πάροχο του ηλεκτρικού δικτύου πληροφορίες όπως στατιστικά χρήσης συσκευών, διάρκεια διακοπών παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και λεπτομέρειες για τις αντίστοιχες χρεώσεις.

3.3.9 Έξυπνες εφαρμογές και ενεργειακές ρυθμίσεις

Οι έξυπνες εφαρμογές ρυθμίζουν την κατανάλωση ενέργειας στην οικία. Έξυπνοι αλγόριθμοι μπορούν να παραμετροποιηθούν με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων ρυθμίσεων. Ενδεικτικά, τέτοια προγράμματα είναι η ενεργοποίηση των συσκευών με βάση τη μεταβαλλόμενη τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας ή ο περιορισμός της διάρκειας χρήσης ορισμένων συσκευών κ.α. Για παράδειγμα, με χρήση της υπηρεσίας αυτής μπορεί να καθυστερήσει η αυτόματη ενεργοποίηση του πλυντηρίου πιάτων, αποφεύγοντας τις ώρες αιχμής όπου η χρέωση είναι υψηλότερη, εκτός αν ο χρήστης ενεργοποιήσει τη συσκευή χειροκίνητα.

3.4 Οφέλη του οικιακού αυτοματισμού

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα πλεονεκτήματα του οικιακού αυτοματισμού έναντι συμβατικών λύσεων και τα οφέλη των ενοίκων από τις σχετικές υπηρεσίες και εφαρμογές.

3.4.1 Εξοικονόμηση ενέργειας

Αφού οι συσκευές θα είναι ενεργοποιημένες μόνο όταν είναι αναγκαίο, θα γίνει εμφανής η μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα και τη μείωση του λογαριασμού ρεύματος. Λόγω της απεικόνισης της ενεργειακής κατανάλωσης και του χρηματικού κόστους που αυτή συνεπάγεται σε πραγματικό χρόνο, οι χρήστες ενθαρρύνονται στην αναθεώρηση του τρόπου χρήσης των οικιακών συσκευών ως προς την ενεργειακή αποδοτικότητα.

3.4.2 Βελτιωμένη ασφάλεια

Χάρη στην παρακολούθηση της δραστηριότητας σε πραγματικό χρόνο παρέχεται η δυνατότητα στις αρχές, εάν καταστεί αναγκαίο, να περιορίσουν εξ αποστάσεως την πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων ατόμων στην οικία. Ακόμα και στην περίπτωση που ο χρήστης αμελήσει να ασφαλίσει την εξωτερική θύρα, το σύστημα φροντίζει προληπτικά να κλειδώσει αυτόματα. Τέλος, κάθε επείγουσα πληροφορία όπως ηλεκτρικές διαρροές και καπνός από δυσλειτουργικές οικιακές συσκευές, ανιχνεύεται και διαδίδεται άμεσα ενημερώνοντας τον ιδιοκτήτη, καθησυχάζοντας, έτσι, όσους απουσιάζουν από την οικία για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

3.4.3 Βελτίωση της άνεσης και της ποιότητας ζωής

Βελτιώνεται η οικιακή ατμόσφαιρα για τους ενοίκους, καθώς όταν αναμένεται η άφιξή τους, ρυθμίζεται αυτόματα η κατάλληλη θερμοκρασία. Συνεπώς, οι ένοικοι αποφεύγουν να εκτελούν καθημερινές λειτουργίες ρουτίνας, όπως το σβήσιμο του φωτισμού, την όπλιση του συναγερμού ή τη ρύθμιση του θερμοστάτη σε χαμηλή κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, ο οικιακός αυτοματισμός επιτρέπει τη διαμόρφωση του οικιακού περιβάλλοντος αντίστοιχα προς τις

προτιμήσεις των ενοίκων, με το πάτημα ενός κουμπιού στο κινητό τηλέφωνο ή στον υπολογιστή. Τέλος, ο ιδιοκτήτης έχει και οικονομικό όφελος, αφού μειώνονται η ανάγκη συχνής συντήρησης του εξοπλισμού και το κόστος λειτουργίας αφού αυξάνεται η διάρκεια ζωής των συσκευών.

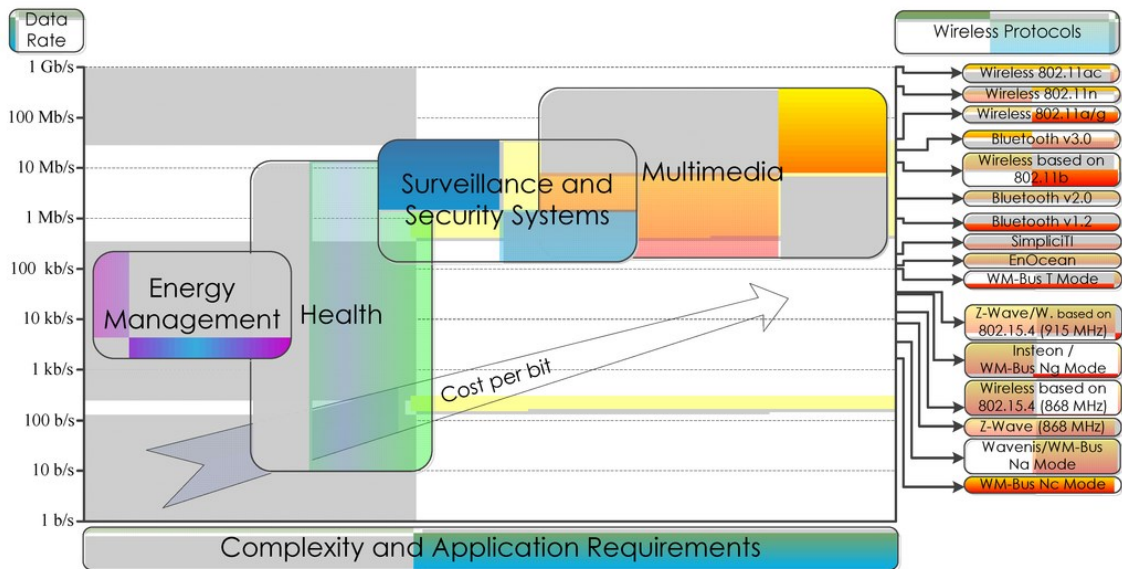
3.4.4 Περιβάλλον

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα του οικιακού αυτοματισμού είναι η θετική επίδραση που έχει στο περιβάλλον. Γίνεται αυξημένη αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μειώνεται η χρήση πετρελαίου. Επίσης, υπάρχει σημαντική συμβολή στη μείωση της ρύπανσης λόγω της ελάττωσης εκπομπών διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα.

4 Οργάνωση των Smart Home υπηρεσιών

4.1 Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών

Οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες την έξυπνη κατοικία έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ως προς το ρυθμό μετάδοσης και την ασφάλεια μετάδοσης δεδομένων. Στα σχήματα που ακολουθούν εντοπίζονται αναλυτικά οι απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης ως συνάρτηση της εφαρμογής. Οι υπηρεσίες της έξυπνης κατοικίας διακρίνονται σε 4 κατηγορίες: Διαχείριση ενέργειας, Υπηρεσίες υγείας, Συστήματα παρακολούθησης και ασφάλειας και Υπηρεσίες Πολυμέσων [16].



Σχήμα 4.1 Ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας για smart home. Εφαρμογές και ρυθμοί μετάδοσης

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		

Σχήμα 4.2 Ρυθμοί μετάδοσης αντίστοιχα με το είδος της εφαρμογής

Οι εφαρμογές έξυπνων μετρήσεων και οι υπηρεσίες οικιακής ενεργειακής διαχείρισης δεν εμφανίζουν υψηλές απαιτήσεις σε ρυθμούς μετάδοσης. Αντιθέτως, οι εφαρμογές του τομέα της υγείας και της βιομέτρησης σε επίπεδο οικίας εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία ως προς τις απαιτήσεις τους σε ρυθμούς μετάδοσης, αφού σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να απαιτηθούν ρυθμοί μετάδοσης μέχρι και 15Mbps. Συστήματα παρακολούθησης και ασφαλείας στο έξυπνο σπίτι απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, αντίστοιχα με τις υπηρεσίες που εξυπηρετούν. Εφαρμογές ανίχνευσης εισβολής και ελέγχου πρόσβασης δεν απαιτούν γενικά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, ακόμη και όταν τα περιστατικά ενεργοποίησης, π.χ. συναγερμός λόγω εισβολής στην οικία, πρέπει να γνωστοποιούνται με χαμηλή καθυστέρηση (low latency). Όμως, αν το σύστημα ασφαλείας περιλαμβάνει καταγραφή του video επιτήρησης, προκύπτουν ανάγκες για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Προς εξοικονόμηση εύρους ζώνης, τα συστήματα ασφαλείας μπορούν να ενεργοποιούνται (i) κατά τις νυκτερινές ώρες μόνο όταν ανιχνεύεται κίνηση, (ii) κατά τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας όταν

απαιτείται από τον ιδιοκτήτη και (iii) όταν το σύστημα αντιληφθεί την απουσία των ενοίκων. Τέλος, η κατηγορία που απαιτεί τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης είναι οι υπηρεσίες πολυμέσων. Η μετάδοση δεδομένων πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο είναι απαραίτητη για διάφορες εφαρμογές, όπως συνομιλίες, μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο ή μετάδοσης κατ' απαίτησης βίντεο. Οι υπηρεσίες βίντεο γίνονται ολοένα και περισσότερο δημοφιλείς. Ειδικά το Διαδικτυακό και το ασύρματο βίντεο έχουν γίνει μέρος της καθημερινότητας. Παρά τις εξελίξεις στο χώρο των σύγχρονων ασύρματων δικτύων που προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και χωρητικότητα, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων πάντα θα αποτελεί σπάνιο πόρο λόγω των φυσικών περιορισμών, ειδικά όταν πρόκειται για εφαρμογές υψηλής ποιότητας και ρυθμού μετάδοσης. Επομένως, η αποτελεσματική συμπίεση ψηφιακής πληροφορίας είναι απαραίτητη όσο ποτέ.

4.2 Τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις των HAN

Οι τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις στα HAN καθορίζονται από τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές που εξυπηρετούνται στο εσωτερικό των έξυπνων κατοικιών. Είναι σημαντικό να εντοπιστούν οι απαιτήσεις των HAN που θα εξασφαλίζουν την αποτελεσματική διακίνηση πληροφοριών μεταξύ των συσκευών ανά κατηγορία υπηρεσίας. Λόγω της συνύπαρξης διαφορετικών κατηγοριών υπηρεσιών στις έξυπνες κατοικίες, πρέπει να σχεδιαστεί αξιόπιστη επικοινωνία με ενιαία υποδομή εντός της οικίας. Εντούτοις, δεν θα ήταν τεχνικά και οικονομικά επωφελές να οριστούν οι ίδιες τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις για όλες τις οικιακές έξυπνες συσκευές. Ενδεικτικά, η παρακολούθηση της θερμοκρασίας χρειάζεται χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ενώ μία συσκευή αναγνώρισης προσώπων έχει αυξημένες απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Εκτός από το ρυθμό μετάδοσης, οι απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά των HAN διακρίνονται στις εξής κατηγορίες: *Ασφάλεια, Δικτύωση, Αξιοπιστία και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση.*

4.2.1 Ασφάλεια (Security)

Τα οικιακά δίκτυα είναι εκτεθειμένα σε εξωτερικές επιθέσεις από το Διαδίκτυο. Επιπλέον, άλλα τοπικά δίκτυα εντός ή εκτός μιας οικίας μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για να αποκτηθεί πρόσβαση σε ευαίσθητες πληροφορίες, όπως τα δεδομένα των έξυπνων μετρητών, ή για να τροποποιηθεί η δοσολογία φαρμάκων σε υπηρεσίες υγείας, θέτοντας σε κίνδυνο τη ζωή των ενοίκων. Συνεπώς, το HAN πρέπει (i) να πιστοποιεί την αυθεντικότητα όλων των συσκευών, (ii) να προστατεύει την ακεραιότητα των δεδομένων και την ιδιωτικότητα (π.χ. με κρυπτογράφηση) και (iii) να παρέχει προστασία έναντι αποπειρών επαναποστολής (replay attacks)³.

4.2.2 Δικτύωση (Network Operation)

Η *διαλειτουργικότητα* και η πληρότητα των υποδομών στο HAN επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του οικιακού δικτύου και την αποδοτικότητα της συνολικής επίδοσής του. Το οικιακό δίκτυο χρησιμοποιεί διάφορες τεχνολογίες και τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα, τα οποία πρέπει να συνυπάρχουν με διασφαλισμένη τη συνεχή ανταλλαγή δεδομένων. Χαμηλού επιπέδου διαλειτουργικότητα μπορεί να επιφέρει καθυστερήσεις στην απόκριση των συστημάτων και μείωση της συνολικής διακίνησης δεδομένων του συστήματος (throughout).

Επειδή είναι σημαντικό οι διαφορετικές συσκευές να μπορούν να τοποθετούνται κατά όχι δομημένο τρόπο (Ad Hoc) εντός μιας κατοικίας, ορισμένοι κόμβοι του οικιακού δικτύου πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίζουν τις παραμέτρους τους αυτόνομα και να αποκαθιστούν άμεση επικοινωνία με γειτονικούς κόμβους αισθητήρων ώστε να μαθαίνουν τη θέση τους και να φέρουν εις πέρας τις λειτουργίες τους.

Τέλος, στις δικτυακές απαιτήσεις ενός HAN περιλαμβάνεται η ικανότητα αυτό-οργάνωσης και η επιβιωσιμότητα κόμβων και εφαρμογών του οικιακού δικτύου. Πρέπει να έχουν προβλεφθεί ενδεχόμενες αλλαγές του οικιακού περιβάλλοντος, όπως η απώλεια ενός κόμβου λόγω εξαντλημένης μπαταρίας, ώστε το δίκτυο να προσαρμόζεται στη νέα κατάσταση ταχύτατα.

³ Προσπάθεια επαναποστολής (replay attack): Αποτελεί μία μορφή δικτυακής επίθεσης όπου μία έγκυρη μετάδοση δεδομένων επαναλαμβάνεται κακόβουλα ή καθυστερείται [17].

4.2.3 Αξιοπιστία (Dependability)

Αξιόπιστο είναι ένα HAN που έχει τη δυνατότητα να προσφέρει αδιάλειπτα και με ακρίβεια τις υπηρεσίες του. Ένα αξιόπιστο δίκτυο χαρακτηρίζεται από υψηλή *διαθεσιμότητα*, δηλαδή οι χρονικές περιόδους διακοπών λειτουργίας του (outage) αποτελούν ελάχιστο ποσοστό της συνολικής διάρκειας λειτουργίας του δικτύου. Η συνεχής λειτουργία του δικτύου πρέπει να διασφαλίζεται ακόμα και στην περίπτωση μερικών βλαβών. Τότε, πρέπει να ελαχιστοποιείται ο χρόνος διακοπής λειτουργίας και να ενεργοποιούνται ταχέως οι απαραίτητες επανεκκινήσεις του HAN.

Ως *ελαστικότητα* του δικτύου ορίζεται η δυνατότητα ανάκτησης προηγούμενων σταθερών καταστάσεων και η ανοχή σε βλάβες του δικτύου. Λόγω της φύσης τους, συγκρινόμενα με τα ενσύρματα δίκτυα, τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος είναι περισσότερο ευάλωτα σε απώλειες συνδέσεων ή αστοχίες/βλάβες κόμβων. Συνεπώς, η ελαστικότητα ενός ασύρματου HAN έναντι βλαβών αποτελεί σημαντικό σχεδιαστικό ζήτημα. Σε περιστατικά βλαβών, η πραγματική φερεγγυότητα του HAN συναρτάται με το βαθμό της ελαστικότητας του δικτύου. Κυρίως από την πλευρά της ασφάλειας, είναι σημαντική η δυνατότητα αποκατάστασης του HAN μετά από σειρά διαταραχών ή δυσλειτουργιών με εφαρμογή άρτιων διαδικασιών ταχείας απόκρισης, ειδικά όσον αφορά τις ευάλωτες ψηφιακές οικιακές συσκευές.

4.2.4 Ενεργειακή Βελτιστοποίηση (Energy Optimization)

Οι *ενεργειακές απαιτήσεις* των ασύρματων φορητών συσκευών αποτελούν σημαντικό παράγοντα σχεδίασης, όπως έχει ήδη αναφερθεί ειδικότερα για τις M2M πύλες (Κεφ.3.2.1.2). Οι προδιαγραφές των HAN για ισορροπημένη ενεργειακή κατανάλωση των συσκευών τους γίνονται περισσότερο αυστηρές και δεν θα χαλαρώσουν στο μέλλον. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν ασύρματους αισθητήρες, συσκευές τροφοδοτούμενες από μπαταρία και κινητό εξοπλισμό (π.χ. τηλέφωνα ή συσκευές ενσωματωμένες στο ανθρώπινο σώμα), και αποσκοπούν στο να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των συσκευών αυτών μέσω εξοικονόμησης ενέργειας.

4.2.5 Απαιτήσεις των HAN ανά κατηγορία υπηρεσιών

Στο Σχ.4.3 φαίνεται ο διαχωρισμός των υπηρεσιών στην έξυπνη οικία (όπως παρουσιάστηκαν στο Σχ.4.2) με βάση τις ανάγκες τους για εύρος ζώνης, ασφάλεια, αξιοπιστία, δικτύωση και κατανάλωση ενέργειας. Ισχυρότερος διαχωριστικός παράγοντας αποτελεί το εύρος ζώνης που απαιτείται για την εξυπηρέτηση κάθε υπηρεσίας.

HAN Requirements	Functional Areas											
	A			B			C			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.

Σχήμα 4.3 Απαιτήσεις και χαρακτηριστικά των HAN ανά κατηγορία υπηρεσιών.

Από πλευράς προδιαγραφών στο HAN, φαίνεται ότι ο τομέας των υπηρεσιών υγείας είναι ο περισσότερο απαιτητικός. Αυτό συμβαίνει επειδή η ενσωμάτωση ηλεκτρονικών αισθητήρων και διατάξεων στο ανθρώπινο σώμα, για διαγνωστικές, θεραπευτικές ή χειρουργικές λειτουργίες, χαρακτηρίζεται από πολύ αυστηρές τεχνικές και βιολογικές απαιτήσεις. Συγκριτικά με τους υπόλοιπους τομείς που σχετίζονται με το HAN, μόνο ο τομέας των υπηρεσιών υγείας περιλαμβάνει ιατρικές συσκευές που υποστηρίζουν μεγάλη κινητικότητα και ενεργειακή αυτονομία. Με δεδομένο ότι το ανθρώπινο σώμα έχει ανάγκη για υψηλή αυτονομία, πρέπει να εξασφαλιστεί η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) των επικοινωνιών στο ασύρματο δίκτυο του ανθρώπινου σώματος (WBAN – Wireless Body Area Network), ώστε να μην αλλοιώνεται η μετάδοση των σχετικών σημάτων από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Κατά κύριο λόγο, τέτοιες παρεμβολές μπορούν να προκύψουν από άλλα WBANs που υπάρχουν σε κοντινή απόσταση. Στα WBAN μπορούν να προκύψουν και άλλα ζητήματα, όπως το ανθρώπινο σώμα που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη μελέτη της διάδοσης και τον υπολογισμό της μέσης

απώλειας διαδρομής (average path loss) [18]. Επομένως, η σχεδίαση WBAN για εφαρμογές υγείας πρέπει να γίνει έτσι ώστε ακόμη και στην περίπτωση όπου η κατάστασή του επιδεινωθεί, το HAN να είναι σε θέση να διασφαλίσει τη μετάδοση των ζωτικής σημασίας πληροφοριών. Χειροτέρευση της κατάστασης του διαύλου επικοινωνίας για τα WBAN μπορεί να προκύψει ακόμα και από τις καθημερινές δραστηριότητες των προσώπων στο σώμα των οποίων είναι ενσωματωμένες οι έξυπνες συσκευές και οι αισθητήρες του WBAN. Στο [19] τα αποτελέσματα μετρήσεων της έντασης των σημάτων μεταξύ δύο συσκευών σε γειτονικά WBAN δείχνουν ότι η εξασθένηση, κυρίως λόγω σκίασης, μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη. Τέλος, λόγω της διαχείρισης ευαίσθητων πληροφοριών που σχετίζονται με την υγεία ασθενών, οι εφαρμογές υγείας πρέπει να προστατεύουν τις πληροφορίες από κακόβουλες τροποποιήσεις, πλαστοπροσωπία και υποκλοπές. Επίσης, τα καταναμεημένα στο WBAN προσωπικά δεδομένα μπορούν εύκολα να διαρρεύσουν όταν υπάρξει παραβίαση κάποιου κόμβου σε φυσικό επίπεδο. Συνεπώς, πρέπει (i) να διασφαλίζεται η ύπαρξη ενημερωμένων αντιγράφων των ευαίσθητων πληροφοριών, ώστε να μπορεί να γίνει άμεση ανάκτησή τους σε περίπτωση βλάβης/αστοχίας κάποιων κόμβων, (ii) η πρόσβαση σε δεδομένα ασθενών να είναι αυστηρά περιορισμένη μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες (π.χ. ιατρούς, νοσοκόμες, επιστήμονες και ασφαλιστικές εταιρίες) και (iii) τα δεδομένα να κρυπτογραφούνται για τη διατήρηση της ιδιωτικότητας των ασθενών.

Ως προς τις υπηρεσίες πολυμέσων, επειδή οι σχετικές συσκευές είναι σταθερές και το περιεχόμενο που μεταδίδουν δεν είναι συνήθως ευαίσθητο σε υποκλοπές πληροφορίας, η ανάγκη για ασφάλεια, αξιοπιστία και ενεργειακή αυτονομία δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα σχεδίασης. Παρόμοιες είναι οι απαιτήσεις και των υπηρεσιών ενεργειακής διαχείρισης κατοικιών, όπως ενεργοποίηση και απενεργοποίηση οικιακών συσκευών, έλεγχος κλιματισμού, συστήματα φωτισμού και παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο. Εξαίρεση αποτελούν οι υπηρεσίες έξυπνων μετρητών, η διακίνηση των δεδομένων των οποίων πρέπει να χαρακτηρίζεται από ασφάλεια και αξιοπιστία.

Τέλος, οι υπηρεσίες ασφάλειας και παρακολούθησης, που σχετίζονται με την προστασία προσώπων και αγαθών, χαρακτηρίζονται από διαφορετικά επίπεδα

προδιαγραφών που αντιστοιχούν στους στόχους τους και τις απαιτήσεις των ενοίκων. Εντούτοις, όλες οι σχετικές εφαρμογές απαιτούν ασφάλεια δικτύου και εμπιστευτικότητα λόγω της λειτουργίας που επιτελούν.

Το κατάλληλο τηλεπικοινωνιακό πρωτόκολλο κάθε υπηρεσίας επιλέγεται με κριτήρια (i) την εξοικονόμηση ενέργειας και (ii) την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους υλοποίησης. Από το Σχ.4.4 είναι φανερό ότι οι διάφορες υπηρεσίες έξυπνης κατοικίας εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στις τηλεπικοινωνιακές τους απαιτήσεις. Επομένως, κανένα από τα ασύρματα πρωτόκολλα δεν μπορεί να προσφέρει αυτοτελώς λύση σε όλες τις υπηρεσίες.

Wireless Protocols	Functional Areas											
	A			B			C			D		
ZigBee Over IEEE 802.15.4	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N
MiWi Over IEEE 802.15.4	Y ₁	Y ₁	Y ₁	Y ₁	N	N	Y ₁	N	N	N	N	N
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N
Z-Wave	Y	N	N	Y ₅	N	N	Y	N	N	N	N	N
Wi-Fi IEEE 802.11	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y	Y	Y
EnOcean	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Insteon	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
SimpliciTI	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N
Wavenis	Y	Y ₄	Y ₄	Y ₄	N	N	Y	N	N	N	N	N
WM-Bus	Y	Y ₄	Y ₄	Y ₄	N	N	Y	N	N	N	N	N
Isa100.11 Over IEEE 802.15.4	Y	Y ₁	Y ₁	N	N	N	Y	N	N	N	N	N
WirelessHART Over IEEE 802.15.4	Y	Y ₁	Y ₁	N	N	N	Y	N	N	N	N	N

1—Only 2.4 GHz; 2—Minimum requirements over-exceeded; 3—Up to 120 kbps; 4—Up to 100 kbps; 5—Up to 40 kbps; **Y** -yes complies **N** -not complies.

Σχήμα 4.4 Τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα ανά υπηρεσία

4.3 Πολιτικές Ομαδοποίησης

Στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα που βασίζονται στην ανταλλαγή πακέτων δεδομένων, ως *ομαδοποίηση πακέτων* ορίζεται η διαδικασία ενσωμάτωσης

πολλαπλών πακέτων σε ενιαία μονάδα μετάδοσης (single transmission unit), με στόχο να μειωθεί η επιβάρυνση (overhead) που οφείλεται στις επικεφαλίδες που φέρουν τα πολλαπλά πακέτα. Η ομαδοποίηση πακέτων είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου τα προς μετάδοση πακέτα έχουν σημαντική πληροφορία στην επικεφαλίδα ή όταν το μέσο μέγεθος πακέτου είναι μικρό σε σχέση με τη *μέγιστη μονάδα μεταφοράς (maximum transmission unit - MTU)*. Μέγιστη μονάδα μεταφοράς είναι το μέγιστο μέγεθος πακέτου IP που επιβάλλει το πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων. Διαφορετικά πρωτόκολλα ζεύξεων δεδομένων χαρακτηρίζονται από διαφορετικές MTU, όπως φαίνεται στον Πιν.4.1.

Ζεύξη δεδομένων	Ethernet	802.3	802.5	FDDI	ATM AAL5	PPP
MTU (bytes)	1500	1492	4464	4352	9180	296

Πίνακας 4-1 MTU για διάφορους τύπους ζεύξεων δεδομένων

Μία απλή πολιτική ομαδοποίησης που εφαρμόζει ένας συγκεντρωτής δικτύου γειτονιάς (NAN aggregator) αποτελεί η αναμονή του συγκεντρωτή επί συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μέχρι να συγκεντρωθεί ένας αριθμός πακέτων πριν την προώθησή τους στον τοπικό σταθμό βάσης και από εκεί μέσω του δικτύου κορμού στον τελικό προορισμό. Ωστόσο, αν πριν από τη συμπλήρωση του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος συγκεντρωθεί ικανό πλήθος πακέτων, αυτά προωθούνται στον τοπικό σταθμό βάσης και εκκινεί νέο διάστημα αναμονής.

4.4 Ανοχή των υπηρεσιών του HAN σε καθυστέρηση

Ως καθυστέρηση ενός δικτύου ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένα bit δεδομένων να μεταδοθεί από ένα τερματικό κόμβο σε έναν άλλο [20]. Η επιτρεπτή καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων σχετίζεται με τη σημασία της πληροφορίας που μεταφέρουν τα πακέτα. Πακέτα που μεταφέρουν μικρής σημασίας πληροφορία είναι επιτρεπτό να υποστούν καθυστέρηση κατά τη μετάδοσή τους (delay-tolerant). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν πακέτα υψηλής σημασίας, που πρέπει να μεταδίδονται με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση (non delay-tolerant). Αν και οι τελικοί χρήστες των υπηρεσιών του HAN ενδιαφέρονται συνήθως για τη συνολική καθυστέρηση του δικτύου, η τελευταία μπορεί να χωριστεί σε:

- *Καθυστέρηση επεξεργασίας* που οφείλεται στην επεξεργασία της επικεφαλίδας των πακέτων από τους δρομολογητές. Στο στάδιο αυτό ελέγχεται αν υπάρχουν λάθη σε επίπεδο bit με τη βοήθεια απλών σχημάτων διόρθωσης λαθών και προσδιορίζεται ο επόμενος προορισμός των πακέτων.
- *Καθυστέρηση ουράς αναμονής* που αποτιμά το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένα πακέτο αναμένει σε ουρά αναμονής ενός κόμβου μέχρι να αρχίσει η μετάδοσή του. Επηρεάζεται άμεσα από τη συμφόρηση στο δρομολογητή και την ισχύουσα πολιτική ομαδοποίησης. Συνεπώς, αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο, για την οποία υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής αντίστοιχα με τις απαιτήσεις κάθε υπηρεσίας.
- *Καθυστέρηση μετάδοσης* που είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μεταδοθούν L bits μέσω μιας ζεύξης με χωρητικότητα R bps, δηλαδή L/R sec.
- *Καθυστέρηση διάδοσης* που είναι ο χρόνος που απαιτεί ένα σήμα να φθάσει στον προορισμό του μέσω του διαύλου μετάδοσης.

Η κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών του HAN της παραγράφου [4.1](#) πρέπει να συνοδεύεται από πρόσθετη πληροφορία που περιγράφει την ανοχή κάθε υπηρεσίας σε καθυστέρηση.

4.4.1 Καθυστέρηση σε υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας

Ο όγκος δεδομένων που παράγεται από τις υπηρεσίες ενεργειακής διαχείρισης διαφόρων οικιακών δικτύων μίας περιοχής καταλήγει στο συγκεντρωτή του δικτύου γειτονιάς. Οι υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας είναι υπηρεσίες ανεκτικές σε καθυστέρηση. Πακέτα που παράγονται από τις υπηρεσίες αυτές μπορούν να υπόκεινται σε ομαδοποίηση στο συγκεντρωτή πριν προωθηθούν προς τον τοπικό σταθμό βάσης.

4.4.2 Καθυστέρηση σε υπηρεσίες υγείας

Οι υπηρεσίες υγείας εντάσσονται σε υπηρεσίες με χαμηλή ανεκτικότητα σε καθυστέρηση (non delay-tolerant). Οι υπηρεσίες υγείας μπορούν να χρησιμοποιούν τα κυψελωτά δίκτυα. Αντίστοιχα προς την αρχιτεκτονική του HAN στην επικοινωνία

τους με τον σταθμό βάσης τις περισσότερες φορές μεσολαβεί NAN συγκεντρωτής, όπου οι υπηρεσίες υγείας πρέπει να διαχωρίζονται σαφώς από άλλες υπηρεσίες. Λόγω της σημασίας των πληροφοριών που διακινούνται για την εξυπηρέτηση υπηρεσιών υγείας, επιβάλλονται αυστηρότερα κριτήρια κατά την ομαδοποίησή τους.

4.4.3 Καθυστέρηση στις υπηρεσίες ασφάλειας και παρακολούθησης

Ανάλογα με τη σημασία τους, επιλέγεται και η ανοχή σε καθυστέρηση των υπηρεσιών ασφάλειας και παρακολούθησης. Όταν η πληροφορία για κάποιο έκτακτο περιστατικό ασφαλείας εντός του οικιακού δικτύου μεταδίδεται προς το δίκτυο κορμού για να φθάσει στους υπεύθυνους ασφαλείας (π.χ. εταιρία συστημάτων ασφαλείας – συναγερμού), η ανοχή σε καθυστέρηση είναι ελάχιστη.

4.4.4 Καθυστέρηση σε υπηρεσίες πολυμέσων

Ως την ανοχή σε καθυστέρηση, οι υπηρεσίες πολυμέσων αποτελούν ιδιαίτερη κατηγορία. Αφορούν επικοινωνίες εντός του οικιακού δικτύου χωρίς να υπεισέρχεται NAN συγκεντρωτής και έχουν κυρίως ψυχαγωγικό χαρακτήρα. Οι απαιτήσεις τους σε εύρος ζώνης είναι μεγάλες λόγω της ροής δεδομένων (streaming) σε πραγματικό χρόνο, ήχου και εικόνας υψηλής ευκρίνειας. Αν και δεν είναι ανεκτικές στην καθυστέρηση λόγω της φύσης τους, έχουν μικρότερη προτεραιότητα σε σύγκριση με άλλες υπηρεσίες ζωτικής σημασίας στην έξυπνη κατοικία.

4.5 Επείγουσες υπηρεσίες

Αρκετές από τις υπηρεσίες της έξυπνης κατοικίας δεν απαιτούν άμεση αποστολή των δεδομένων που συλλέγουν προς τον σταθμό βάσης. Ενδεικτικά, για τις υπηρεσίες έξυπνων μετρητών, οι μετρήσεις σε οικιακό επίπεδο γίνονται ανά 15 λεπτά και το κέντρο διαχείρισης δεδομένων (MDMS) διαβάζει και επεξεργάζεται την πληροφορία που λαμβάνει από τα HAN μέσω των σταθμών βάσης (BS) σε ημερήσια βάση. Από την άλλη πλευρά, ορισμένες από τις υπηρεσίες που αναφέρθηκαν στο Κεφ.3 είναι ζωτικής σημασίας και η πληροφορία που παράγουν πρέπει να

προωθείται άμεσα στο διαχειριστή του δικτύου κορμού ή στις αρμόδιες αρχές. Οπότε, πρέπει να διαχωριστούν από τις υπόλοιπες ως επείγουσες και να αποκτήσουν την υψηλότερη προτεραιότητα. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών αποτελούν οι ακόλουθες:

- Το αυτοματοποιημένο σύστημα ασφαλείας ώστε να ειδοποιούνται άμεσα, χωρίς καθυστέρηση, οι ένοικοι ή και οι αρχές όταν διαπιστώνεται μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στην οικία.
- Τα αυτοματοποιημένα συστήματα πυρασφάλειας.
- Εφαρμογές υγείας και βιομέτρησης για την άμεση φροντίδα ευπαθών ομάδων πληθυσμού σε έκτακτα περιστατικά.

Η κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών αυτών μπορεί να γίνει με βάση την τιμή μιας σημαίας στην επικεφαλίδα των πακέτων που φέρουν αυτήν την πληροφορία. Όταν η σημαία είναι ενεργή, η επείγουσα πληροφορία αποστέλλεται απευθείας από το HAN στο σταθμό βάσης, χωρίς να υπόκειται σε πρόσθετη καθυστέρηση από ισχύουσες πολιτικές ομαδοποίησης (aggregation policies) στο δίκτυο NAN. Από την άλλη πλευρά, η κίνηση πακέτων που παράγεται από τις υπόλοιπες υπηρεσίες πρέπει να υπόκειται σε κατάλληλη πολιτική ομαδοποίησης, όπως ήδη αναφέρθηκε.

Κατηγορία υπηρεσίας	Ανοχή σε καθυστέρηση	Επείγουσα υπηρεσία
Διαχείριση ενέργειας	ΥΨΗΛΗ	-
Υπηρεσίες υγείας	ΧΑΜΗΛΗ	ΝΑΙ
Υπηρεσίες ασφάλειας και παρακολούθησης	ΧΑΜΗΛΗ	ΝΑΙ
Υπηρεσίες πολυμέσων	ΧΑΜΗΛΗ	-

Πίνακας 4-2 Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών ανάλογα με την καθυστέρηση

4.6 Συμπεράσματα

Με αφορμή τον έξυπνο μετρητή, τη διασύνδεσή του στο οικιακό δίκτυο και τις προδιαγραφές ακρίβειας, ασφάλειας, αξιοπιστίας, κλιμακωσιμότητας και ποιότητας υπηρεσίας που πρέπει να ικανοποιεί, αναπτύχθηκε γενικότερα η αρχιτεκτονική των M2M δικτύων. Τα M2M δίκτυα υπάρχουν σε ποικίλα περιβάλλοντα, γεγονός που

εισάγει περιορισμούς κατά την σχεδιάσή τους, όπως παρεμβολές με ηλεκτρονικό εξοπλισμό, υψηλές προδιαγραφές ποιότητας υπηρεσίας και απαιτήσεις ασφάλειας.

Όσον αφορά το HAN, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των συσκευών που μπορούν να διασυνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους, τόσο αυξάνεται και η αξία του οικιακού δικτύου για τους ενοίκους. Το μεγάλο εύρος εφαρμογών οικιακής δικτύωσης πολυάριθμων συσκευών που πρέπει να επικοινωνούν απαιτεί την ύπαρξη πολλών φυσικών διασυνδέσεων. Αναλύοντας τα ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τις υπηρεσίες που τα αξιοποιούν, έγινε φανερό ότι κανένα ασύρματο πρωτόκολλο δεν ικανοποιεί μόνο του όλες τις απαιτήσεις των λειτουργικών περιοχών της έξυπνης κατοικίας. Έτσι, το Ethernet, το ZigBee, το Bluetooth και τα 3G/4G αξιοποιούνται από τις υπηρεσίες του οικιακού δικτύου.

Η σχεδίαση ενός HAN πρέπει να γίνει χρησιμοποιώντας σωστή προτυποποίηση, πράγμα που επηρεάζει άμεσα τη σχεδίαση της M2M πύλης του οικιακού δικτύου. Συνεπώς, προκύπτει η ανάγκη κοινού συστήματος διευθυνσιοδότησης, δηλαδή η χρήση IPv6, λόγω του μεγάλου αριθμού κόμβων στο HAN και επειδή προσφέρει απλότητα, ασφάλεια και συμβατότητα με το Διαδίκτυο.

Τέλος, παρουσιάστηκαν οι υπηρεσίες που μπορούν να προσφερθούν στην έξυπνη κατοικία και κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τις απαιτήσεις τους σε ρυθμό μετάδοσης, ασφάλεια, αξιοπιστία και ενεργειακή κατανάλωση. Λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή των υπηρεσιών του HAN σε καθυστέρηση παρατηρείται η ανάγκη για διαφορετικές πολιτικές ομαδοποίησης ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας κατά τον σχεδιασμό του συγκεντρωτή του δικτύου γειτονιάς και της M2M πύλης του οικιακού δικτύου. Συνεπώς, προτείνεται η εισαγωγή της απαραίτητης πληροφορίας στην επικεφαλίδα των πακέτων κάθε υπηρεσίας στο HAN, ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός διαχωρισμός.

5 Βιβλιογραφία

- [1] Industrial, Scientific and Medical (ISM) radio bands
https://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band
- [2] Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII)
<https://en.wikipedia.org/wiki/U-NII>
- [3] Tanenbaum, A. S. (2002). Computer Networks (4th Edition). *Prentice Hall*, 912. Retrieved from <http://www.amazon.com/Computer-Networks-4th-Andrew-Tanenbaum/dp/0130661023>
- [4] Starsinic, M. (2010). System architecture challenges in the home M2M network. In *2010 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference* (pp. 1–7). IEEE. <http://doi.org/10.1109/LISAT.2010.5478336>
- [5] Lazaropoulos, A. G., & Cottis, P. G. (2009). Transmission characteristics of overhead medium-voltage power-line communication channels. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(3), 1164–1173.
<http://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.2008467>
- [6] Niyato, D., Xiao, L., & Wang, P. (2011). Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid. *Communications Magazine, IEEE*, 49(4), 53–59.
<http://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5741146>
- [7] Shamsi, P., & Fahimi, B. (2011). Remote control of smart appliances using MPEI. *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, (May). <http://doi.org/10.1109/PowerEng.2011.6036448>
- [8] Badami, V. V., & Chibat, N. W. (1998). Home appliances get smart. *IEEE Spectrum*, 35(8), 36–43. <http://doi.org/10.1109/6.708440>
- [9] <http://energy.gov/eere/buildings/appliance-and-equipment-standards-program>
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/Transducer>
- [11] Park, C., Jeong, K., Kim, S., & Lee, Y. (2008). NAT issues in the remote management of home network devices. *IEEE Network*, 22(5), 48–55.
<http://doi.org/10.1109/MNET.2008.4626232>
- [12] <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/>
- [13] http://www.wirelessinnovation.org/introduction_to_sdr
- [14] Chandrasekhar, V., Andrews, J. G., & Gatherer, A. (2008). Femtocell networks: A survey. *IEEE Communications Magazine*, 46(9), 59–67.
<http://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4623708>
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation_for_the_elderly_and_disabled
- [16] Mendes, T., Godina, R., Rodrigues, E., Matias, J., & Catalão, J. (2015). *Smart Home Communication Technologies and Applications: Wireless Protocol Assessment for Home Area Network Resources*. *Energies* (Vol. 8).
<http://doi.org/10.3390/en8077279>

- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Replay_attack
- [18] Dangi, K. G., & Panda, S. P. (2014). Challenges in Wireless Body Area Network-A survey. *Optimization, Reliability, and Information Technology (ICROIT), 2014 International Conference on*, 204–207.
<http://doi.org/10.1109/ICROIT.2014.6798337>
- [19] Boulis, A., Smith, D., Miniutti, D., Libman, L., & Tselishchev, Y. (2012). Challenges in body area networks for healthcare: The MAC. *IEEE Communications Magazine*, 50(5), 100–116.
<http://doi.org/10.1109/MCOM.2012.6194389>
- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/Network_delay