



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

**Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε
Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευφροσύνη Θ. Ζώτου

Επιβλέπων: Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2012



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

Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευφροσύνη Θ. Ζώτου

Επιβλέπων: Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 4^η Οκτωβρίου 2012.

.....
Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....
Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Κανελλόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

.....

Ευφροσύνη Θ. Ζώτου

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

Copyright © Ευφροσύνη Θ. Ζώτου, 2012.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση των σύγχρονων τεχνολογιών πρόσβασης και διαδικτύου που μπορούν να βρουν εφαρμογή σε ένα Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο (Smart Grid) καθώς και η προσομοίωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης ενός τμήματος αυτού του δικτύου.

Το «Έξυπνο Δίκτυο» γενικά αναφέρεται στην προσπάθεια εκσυγχρονισμού του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και τη μετατροπή του σε ένα μοντέρνο, διαλειτουργικό δίκτυο που θα ενσωματώνει τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών στην υποδομή διανομής ενέργειας. Κύριο γνώρισμα της λειτουργίας του αποτελεί η αμφίδρομη ροή τόσο της ενέργειας όσο και των πληροφοριών. Τα έξυπνα χαρακτηριστικά του, που εντοπίζονται σε όλα τα στάδια –από την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή έως την κατανάλωση και την εμπορία ενέργειας– θα καταστήσουν το δίκτυο πιο αποδοτικό, εύρωστο, φιλικό προς το περιβάλλον και εύκολα διαχειρίσιμο, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος σε όλα τα συστατικά στοιχεία του δικτύου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα και μια προσπάθεια ορισμού τους. Αναφέρονται οι κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το σημερινό δίκτυο, οι οποίες πιέζουν προς τον εκσυγχρονισμό του και αναλύονται τα χαρακτηριστικά που καλείται να έχει το μελλοντικό δίκτυο. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τις τεχνολογίες επικοινωνιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο Έξυπνο Δίκτυο. Περιγράφονται οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται από τα συστήματα επικοινωνιών και εξετάζονται οι τεχνολογίες, ασύρματες και ενσύρματες, που μπορούν να εφαρμοστούν σε εφαρμογές Έξυπνου Δικτύου. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενέστερη αναφορά στην τεχνολογία PLC, η οποία είναι αναδυόμενη και κερδίζει συνεχώς το ενδιαφέρον. Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ συσκευών (Machine to Machine Communication), που μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε ένα Έξυπνο Δίκτυο. Το πέμπτο κεφάλαιο αφιερώνεται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), μία νεοεμφανιζόμενη αλλά πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται, σε περιβάλλον Matlab, προσομοίωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που εξυπηρετείται από έναν έξυπνο δρομολογητή. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης, όπου αλλάζει το σχήμα μετάδοσης, και αξιολογείται η συνολική επίδοση του συστήματος. Το τελευταίο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της διπλωματικής εργασίας, εκφράζοντας τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν και προτείνοντας θέματα μελλοντικής έρευνας.

Λέξεις κλειδιά: Έξυπνο Δίκτυο, Τεχνολογίες Πρόσβασης, Επικοινωνίες Γραμμών Ισχύος (PLC), Ευρυζωνικότητα σε Γραμμές Ισχύος (BPL), Επικοινωνίες Συσκευών (M2M), Διαδίκτυο των Πραγμάτων, IoT.

Abstract

The aim of this diploma thesis is the study and analysis of modern access and internet technologies that can be applied in a Smart Grid, as well as the simulation of the telecommunication traffic in a part of such network.

Smart grid generally refers to the modernization of the existing aging power grid, turning it into a modern, interoperable network that integrates information and communication technologies in the energy distribution infrastructure. Bidirectional flow of both energy and information is its main feature. The smart characteristics, evident at all stages –from production, transmission and distribution to consumption as well as pricing of energy– will render the network more efficient, robust, environmental-friendly and manageable, while facilitating the monitoring and control of all components of the grid.

The first chapter is an introduction to Smart Grid and its definition. The main challenges today's grid is facing, which are pressing towards its modernization, are mentioned and its required features are analyzed. The second chapter covers the communication technologies that can be used in a Smart Grid. It describes the conditions that must be met by the communication systems and examines the wired and wireline technologies that can be applied in smart grid applications. The third chapter is an extensive reference to PLC, an emerging technology that gains more and more attention. The fourth chapter deals with Machine to Machine communication (M2M), which can also be used in Smart Grids. Chapter five is dedicated to Internet of Things (IoT), a slowly emerging but promising technology. In chapter six we perform, in Matlab environment, simulation of communication traffic flow served by a smart router. Results for different simulation scenarios, where the transmission scheme varies, are presented and the overall system performance is evaluated. The last chapter is the conclusion of this project, expressing the general results and proposing future research subjects.

Key words: Smart Grid, Access Technologies, Power Line Communications (PLC), Broadband over Power Lines (BPL), Machine to Machine Communications (M2M), Internet of Things (IoT).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Αθανάσιο Παναγόπουλο, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω την ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη μου στον κύριο Χαράλαμπο Πήτα, Διδάκτωρ Ε.Μ.Π., για το χρόνο του, το ενδιαφέρον του και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την ενθάρρυνση, τη συμπαράσταση και τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract	7
Ευχαριστίες.....	9
Κατάλογος εικόνων	13
Κατάλογος Πινάκων	14
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα - Smart Grid	15
1.1 Προκλήσεις και ανάγκες.....	18
1.2 Πλαίσιο και χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων μεταφοράς	21
Κεφάλαιο 2: Τεχνολογίες επικοινωνιών και Έξυπνο Δίκτυο	27
2.1 Προϋποθέσεις για το σύστημα επικοινωνιών	28
2.2 Προκλήσεις	30
2.3 Αρχιτεκτονική του Δικτύου Επικοινωνιών	30
2.3.1 Wide Area Networks.....	31
2.3.2 Field area networks	31
2.3.3 Home Area Networks	32
2.4 Τεχνολογίες επικοινωνιών για εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων	34
2.4.1 Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies)	35
2.4.1.1 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LAN)	35
2.4.1.2 WiMAX.....	36
2.4.1.3 Κυψελωτές Επικοινωνίες (Cellular network Communication).....	36
2.4.1.4 ZigBee	37
2.4.1.5 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks – WMN).....	38
2.4.1.6 Δορυφορικές επικοινωνίες.....	38
2.4.1.7 Άλλες πιθανές Ασύρματες Τεχνολογίες	39
2.4.2 Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wireline/Wired Technologies)	40
2.4.2.1 Powerline Communication (PLC)	41
2.4.2.2 Digital Subscriber Lines (DSL)	42
Κεφάλαιο 3: Επικοινωνία μέσω γραμμής ρεύματος - Power Line Communication (PLC).....	49
3.1 Η κατάσταση της PLC προτυποποίησης	51
3.1.1 Narrowband PLC Πρότυπα	51
3.1.2 Το πρότυπο TIA-1113	52
3.1.3 Το πρότυπο IEEE 1901 Broadband over Power Lines.....	52
3.1.4 Το πρότυπο ITU-T G.hn Home Networking	53

3.2	PLC και Έξυπνο Δίκτυο.....	53
3.2.1	Εφαρμογές PLC στο Δίκτυο	54
3.2.1.1	PLC για δίκτυα Υψηλής Τάσης.....	54
3.2.1.2	PLC για δίκτυα Μέσης Τάσης	55
3.2.1.3	PLC για δίκτυα Χαμηλής Τάσης	56
Κεφάλαιο 4:	Επικοινωνία μεταξύ συσκευών (Machine to Machine Communication – M2M).....	59
Κεφάλαιο 5:	Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT)	65
5.1	Κύριες Τεχνολογίες για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	67
5.1.1	Ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID).....	68
5.1.2	Τεχνολογία αισθητήρων.....	68
5.1.3	Έξυπνη Τεχνολογία	69
5.1.4	Νανοτεχνολογία	69
5.2	Η Αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων.....	69
5.3	Οι γενικές εφαρμογές του IoT.....	70
5.4	Οι εφαρμογές του IoT στο Έξυπνο δίκτυο.....	71
Κεφάλαιο 6:	Αξιολόγηση της επίδοσης τηλεπικοινωνιακού δικτύου Smart Grid	73
6.1	Αρχιτεκτονική δικτύου προσομοίωσης.....	73
6.2	Τηλεπικοινωνιακή κίνηση	74
6.2.1	Χρόνοι άφιξης και διάρκεια συνόδων.....	74
6.2.2	Μοντελοποίηση Εφαρμογής	74
6.3	Υλοποίηση στο Matlab	75
6.3.1	Παραγωγή πακέτων και Segmentation.....	76
6.3.2	Ουρές αναμονής και σχήματα μετάδοσης (Schedulers).....	78
6.4	Σενάρια Προσομοίωσης	79
6.4.1	Περίπτωση 1.....	80
6.4.2	Περίπτωση 2.....	83
6.4.3	Περίπτωση 3.....	85
6.4.4	Περίπτωση 4.....	87
6.5	Συμπεράσματα Προσομοιώσεων.....	88
Κεφάλαιο 7:	Συμπεράσματα Διπλωματικής Εργασίας	91
7.1	Σύνοψη συμπερασμάτων.....	91
7.2	Μελλοντική έρευνα.....	91
Βιβλιογραφία.....		93

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1 Ένα παράδειγμα του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου	15
Εικόνα 1.2 Όραμα ενός Έξυπνου Δικτύου μεταφοράς	20
Εικόνα 1.3 Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις ενός Έξυπνου δικτύου	21
Εικόνα 2.1 Τα στρώματα επικοινωνιών ενός Έξυπνου Δικτύου	27
Εικόνα 2.2 Κατηγοριοποίηση των υποψήφιας Τεχνολογιών Επικοινωνιών	34
Εικόνα 4.1 Η αρχιτεκτονική του δικτύου ενός συστήματος επικοινωνίας M2M	61
Εικόνα 4.2 Διαδικασία μετατροπής των ακατέργαστων πρώτων δεδομένων σε πληροφορίες, γνώση και τελικά χρήσιμη υπηρεσία. (Πυραμίδα της γνώσης)	62
Εικόνα 5.1 Μια νέα διάσταση	66
Εικόνα 5.2 Κύριες Τεχνολογίες στο IoT	67
Εικόνα 5.3 Σενάρια εφαρμογής του IoT	70
Εικόνα 5.4 Η δομή του IoT εφαρμοσμένη στο Έξυπνο Δίκτυο.....	71
Εικόνα 6.1 Αρχιτεκτονική του τμήματος προσομοίωσης.....	73
Εικόνα 6.2 Αφίξεις κλήσεων στον προσομοιωτή	76
Εικόνα 6.3 Σχηματική αναπαράσταση των τρόπων μετάδοσης: α) Σύστημα FIFO, β) Πολλαπλές ουρές αναμονής, μία για κάθε τύπο εφαρμογής, γ) Πολλαπλές ουρές αναμονής για τις public εφαρμογές και ξεχωριστή ουρά για smart grid πακέτα, δ) Διπλές ουρές αναμονής για κάθε εφαρμογή.	79
Εικόνα 6.4 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 1α	80
Εικόνα 6.5 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 1α.....	80
Εικόνα 6.6 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 1β.....	81
Εικόνα 6.7 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 1β.....	81
Εικόνα 6.8 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 1γ.	82
Εικόνα 6.9 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 1γ.	82
Εικόνα 6.10 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 2α.	83
Εικόνα 6.11 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 2α.	83
Εικόνα 6.12 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 2β.....	84
Εικόνα 6.13 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 2β.....	84
Εικόνα 6.14 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 2γ.	85
Εικόνα 6.15 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 3α.....	85
Εικόνα 6.16 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 3β.....	86
Εικόνα 6.17 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 3γ	86
Εικόνα 6.18 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 4δ.....	87
Εικόνα 6.19 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 4δ.....	87
Εικόνα 6.20 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 4γ	88

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 Σύνομη σύγκριση μεταξύ του υπάρχοντος και του έξυπνου δικτύου	18
Πίνακας 2-1 Ασύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνιών για τα Έξυπνα Δίκτυα	40
Πίνακας 2-2 Συγκριτικός Πίνακας Τεχνολογιών Έξυπνου Δικτύου	44
Πίνακας 4-1 Κύρια στοιχεία της επικοινωνίας M2M και οι προκλήσεις τους.....	61
Πίνακας 6-1 Χαρακτηριστικά κίνησης πηγών	75
Πίνακας 6-2 Πίνακας Κλήσεων.....	76
Πίνακας 6-3 Στοιχεία του πίνακα πακέτων	77
Πίνακας 6-4 Πακέτα μετά τη διαδικασία του Segmentation.....	78

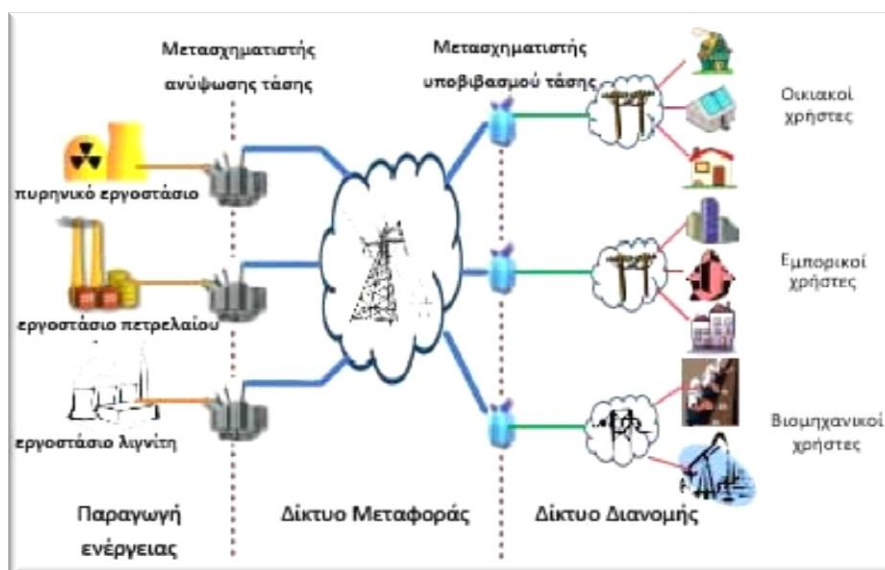
Κεφάλαιο 1:

Εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα - Smart Grid

Τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η παραγωγή, η μετάδοση, η διανομή και τα φορτία. Η ενέργεια παράγεται από μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής και τροφοδοτείται σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης. Η μεταφερόμενη πάνω από μεγάλες αποστάσεις ισχύς μεταβιβάζεται, μέσω μιας σειράς μετασχηματιστών διανομής, στα τελικά κυκλώματα για τη διανομή στους καταναλωτές.

Το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει προοδευτικά αναπτυχθεί πάνω από έναν αιώνα, από το αρχικό σχέδιο των τοπικών DC δικτύων χαμηλής τάσης, στα τριφασικά AC δίκτυα υψηλής τάσης και τελικά στα μοντέρνα ογκώδη διασυνδεδεμένα δίκτυα με διάφορα επίπεδα τάσης και πολλαπλά, πολύπλοκα ηλεκτρικά συστατικά στοιχεία.

Τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, που μας εξυπηρετούν για δεκαετίες, στηρίζονται κατά βάση στα ορυκτά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του πετρελαίου, του άνθρακα και του φυσικού αερίου ως πηγές ενέργειας. Αυτά τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμα και τα αποθέματά τους στη γη καταναλώνονται ταχύτατα. Η αναδυόμενη ενεργειακή κρίση καλεί την παγκόσμια προσοχή να στραφεί στην ανεύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας που μπορούν να στηρίξουν μια μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της βιομηχανίας. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας που έχουν προσδιοριστεί περιλαμβάνουν την αιολική, την ηλιακή, την παλιρροιακή, τη γεωθερμική, την υδροηλεκτρική ενέργεια και τη βιομάζα, οι οποίες ονομάζονται επίσης πράσινη ενέργεια γιατί δεν απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν σημαντικά συμπληρώματα και αντικαταστάτες των ορυκτών καυσίμων λόγω της διάρκειας εκμετάλλευσής τους και τη φιλικότητα προς το περιβάλλον.



Εικόνα 1.1 Ένα παράδειγμα του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου

Η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, μαζί με την πολύπλοκη φύση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο ήδη καταπονημένο δίκτυο, όπως διακοπές ρεύματος, βυθίσεις τάσης και υπερφορτίσεις, τα οποία μειώνουν σημαντικά την ποιότητα ρεύματος και την αξιοπιστία.

Το υπάρχον δίκτυο, λοιπόν, βρίσκεται υπό μεγάλη πίεση από τις διάφορες προκλήσεις και ανάγκες που προκύπτουν από το περιβάλλον, τους καταναλωτές, την αγορά αλλά και από θέματα της υπάρχουσας υποδομής. Αυτές οι προκλήσεις και ανάγκες είναι περισσότερο σημαντικές και επείγουσες από ποτέ και θα οδηγήσουν το δίκτυο σε επέκταση αλλά και σε ενίσχυση των λειτουργιών του προς εξυπνότερα χαρακτηριστικά, με τη βοήθεια των ταχύτατα αναπτυσσόμενων τεχνολογιών. Για να ξεπεράσουμε τέτοια προβλήματα, προέβλεψε μια νέα έννοια, ενός ηλεκτρικού δικτύου επόμενης γενιάς, ένα έξυπνο δίκτυο. Η στροφή στην ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς ώστε να είναι πιο έξυπνα έχει συνοπτικά οριστεί ως “Έξυπνο Δίκτυο”(Smart Grid), ενώ άλλες ονομασίες αποτελούν τα IntelliGrid, GridWise, FutureGrid, κλπ. .

Τα αναμενόμενα οφέλη από ένα σύγχρονο ηλεκτρικό δίκτυο είναι πολλά καθώς ένα έξυπνο δίκτυο:

- Βελτιώνει την αξιοπιστία και την ποιότητα της ενέργειας
- Βελτιστοποιεί την αξιοποίηση των εγκαταστάσεων και αποτρέπει την κατασκευή εφεδρικών (για φορτία αιχμής) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Ενισχύει τη χωρητικότητα και την αποδοτικότητα των υπάρχοντων ηλεκτρικών δικτύων
- Βελτιώνει την ανθεκτικότητα προς βλάβες/διακοπές
- Επιτρέπει την προληπτική συντήρηση και την αυτό-αποκατάσταση σε περίπτωση διαταραχών του συστήματος
- Διευκολύνει την ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Χρησιμοποιεί κατανεμημένες πηγές ενέργειας
- Αυτοματοποιεί τη συντήρηση και τη λειτουργία
- Μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επιτρέποντας τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και νέων πηγών ενέργειας
- Μειώνει την κατανάλωση πετρελαίου, μειώνοντας την ανάγκη για ανεπαρκή παραγωγή κατά τις περιόδους χρήσης αιχμής
- Παρουσιάζει ευκαιρίες για τη βελτίωση της ασφάλειας του δικτύου
- Δίνει τη δυνατότητα μετάβασης σε plug-in ηλεκτρικά οχήματα και νέων επιλογών αποθήκευσης της ενέργειας
- Αυξάνει τις επιλογές των καταναλωτών
- Δίνει τη δυνατότητα για νέα προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές και επιτρέπει την πρόσβαση των καταναλωτών σε αυτά

Ο όρος Έξυπνο Δίκτυο δεν έχει ακριβή έννοια. Η χροιά του μπορεί να αποδοθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες και η ερμηνεία του από τους ειδικούς των διαφόρων πεδίων πιθανότατα θα διαφέρει. Διαφορετικοί ορισμοί του Έξυπνου δικτύου περιλαμβάνουν:

- Η Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Τεχνολογίας (European Technology Platform) το ορίζει ως:

Ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί έξυπνα να ενοποιήσει τις δράσεις όλων των συνδεδεμένων σε αυτό χρηστών –παραγωγούς, καταναλωτές και αυτούς που κάνουν και τα δυο– με σκοπό την αποδοτική διανομή βιώσιμων, οικονομικών και ασφαλών ηλεκτρικών προμηθειών.

- Σύμφωνα με το Τμήμα Ενέργειας των ΗΠΑ:

Ένα Έξυπνο Δίκτυο χρησιμοποιεί την ψηφιακή τεχνολογία για να βελτιώσει την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα (τόσο την οικονομική όσο και την ενεργειακή) του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας –από τη μεγάλη παραγωγή, μέσω των συστημάτων μεταφοράς, έως τους καταναλωτές– και έναν αυξανόμενο αριθμό μέσων αποθήκευσης και κατανεμημένης παραγωγής.

- Σε άλλη αναφορά το Έξυπνο Δίκτυο ορίζεται:

Ένα Έξυπνο Δίκτυο χρησιμοποιεί αισθητήρες, ενσωματωμένη επεξεργασία και ψηφιακές επικοινωνίες για να καταστήσει το ηλεκτρικό δίκτυο παρατηρήσιμο (ικανό να υπολογιστεί και να απεικονιστεί), ελέγξιμο (διαχειρίσιμο και ικανό να βελτιστοποιηθεί), αυτοματοποιημένο (ικανό να προσαρμοστεί και να αυτό-θεραπευτεί), πλήρως διασυνδεδεμένο (πλήρως διαλειτουργικό με τα υπάρχοντα συστήματα και με την ικανότητα να ενσωματώσει ένα διαφορετικό σύνολο πηγών ενέργειας).

Επιπλέον ορισμοί αναφέρονται σε ένα Έξυπνο Δίκτυο που:

- Συνεπάγεται τη μετατροπή σε ένα ικανό για μετάδοση πληροφοριών και άκρως διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας, που περικλείει την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή.
- Δημιουργεί την πλατφόρμα για την ανάπτυξη έξυπνων τεχνολογιών που βελτιώνουν τη διαχείριση φορτίου και την απόκριση ζήτησης.
- Θα κάνει τα συστήματα μεταφοράς ενέργειας των χωρών πιο αποδοτικά, θα ενθαρρύνει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και θα παρέχει στους καταναλωτές καλύτερο έλεγχο της χρήσης και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Είναι μια ακριβή μοντερνοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου που περιλαμβάνει την υποστήριξη πραγματικού-χρόνου, αμφίδρομης ψηφιακής επικοινωνίας μεταξύ των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού και των όλο και πιο συνειδητοποιημένων ενεργειακά καταναλωτών.
- Είναι μια συλλογή ιδεών/σχεδίων για την παροχή ενέργειας επόμενης γενιάς, που περιλαμβάνει νέα στοιχεία παροχής ισχύος, παρακολούθηση και έλεγχο σε όλο το δίκτυο ενέργειας και περισσότερες και πιο ενημερωμένες επιλογές για τους καταναλωτές.

- Είναι ένα σύγχρονο, βελτιωμένο, ανθεκτικό και αξιόπιστο ηλεκτρικό δίκτυο που στηρίζει την περιβαλλοντική διαχείριση, είναι ασφαλές, οικονομικά αποδοτικό και είναι ένας κύριος μοχλός για την οικονομική σταθερότητα και ανάπτυξη.
- Είναι ένα σύγχρονο ηλεκτρικό σύστημα. Χρησιμοποιεί αισθητήρες, παρακολούθηση, επικοινωνίες, αυτοματισμό και υπολογιστικά συστήματα για να βελτιώσει την ευελιξία, την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος.
- Είναι μια υποδομή που δίνει έμφαση στον ενεργό αντί στον παθητικό έλεγχο.

Συνοψίζοντας κάποιους ορισμούς, θα λέγαμε ότι ο όρος Έξυπνο Δίκτυο αναφέρεται σε ένα τελείως εκσυγχρονισμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παρακολουθεί, προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων από άκρο σε άκρο. Πρόκειται για μια υποδομή που στόχο έχει την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας μέσω αυτομάτου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, σύγχρονης δομής επικοινωνιών, τεχνολογιών αισθητήρων/μετρητών και σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας βασισμένων στη βελτιστοποίηση της ζήτησης, τη διαθεσιμότητα της ενέργεια και του δικτύου κ.ά. Το σύστημα περιλαμβάνει κεντρικές και κατακεντρωμένες ηλεκτρικές γεννήτριες μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και σύστημα διανομής χαμηλής τάσης σε βιομηχανικούς χρήστες ή συστήματα αυτοματισμού οικιακών κτηρίων, σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και σε τελικούς καταναλωτές. Το έξυπνο δίκτυο θα χαρακτηρίζεται από αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου, ευρέως κατακεντρωμένου δικτύου διανομής ενέργειας. Ενσωματώνει στο δίκτυο τα πλεονεκτήματα των κατακεντρωμένων υπολογιστικών συστημάτων και των επικοινωνιών, για τη μεταφορά σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών με σκοπό την εξισορρόπηση της παροχής και της ζήτησης ρεύματος

Πίνακας 1-1 Σύνοψη σύγκριση μεταξύ του υπάρχοντος και του έξυπνου δικτύου

Υπάρχον Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Ηλεκτρομηχανολογικό	Ψηφιακό
Μονόδρομη επικοινωνία	Αμφίδρομη επικοινωνία
Κεντρική παραγωγή	Κατακεντρωμένη παραγωγή
Λίγοι αισθητήρες	Αισθητήρες παντού
Χειροκίνητη παρακολούθηση	Αυτο-παρακολούθηση
Χειροκίνητη αποκατάσταση/επαναφορά	Αυτο-θεραπεία
Βλάβες και διακοπές ρεύματος	Προσαρμοστικότητα και νησιδοποίηση
Περιορισμένος έλεγχος	Εις βάθος έλεγχος
Λίγες επιλογές των πελατών	Πολλές επιλογές των πελατών

1.1 Προκλήσεις και ανάγκες

Στην αναφορά [1] οι προσκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει και οι ανάγκες του μελλοντικού έξυπνου δικτύου μεταφοράς συνοψίζονται σε τέσσερις κατηγορίες.

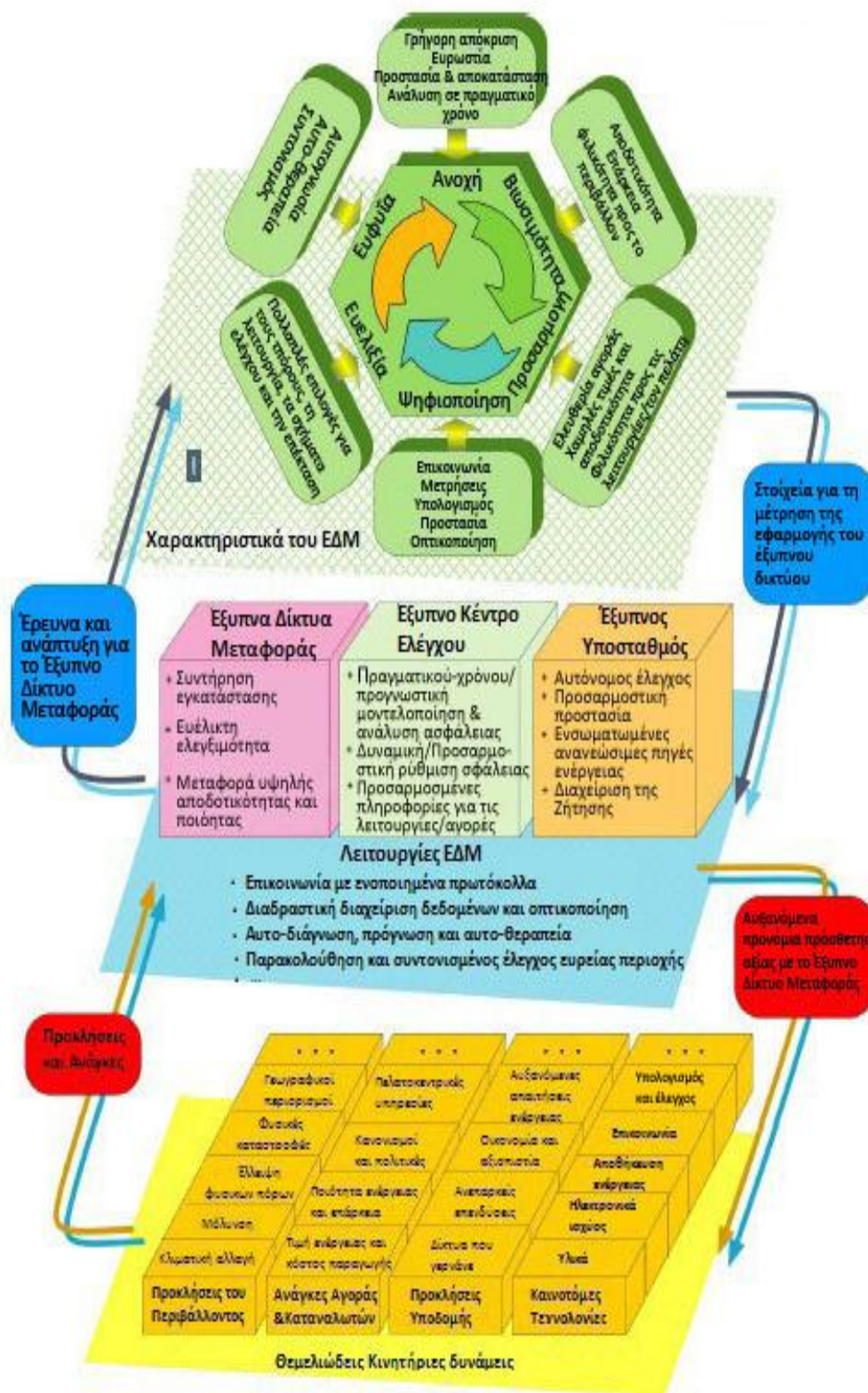
α) *Περιβαλλοντικές προκλήσεις.* Η παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όντας η μεγαλύτερη δημιουργημένη από τον άνθρωπο πηγή εκπομπής CO₂, πρέπει να αλλάξει ώστε να αμβλυνθεί η κλιματική αλλαγή. Παράλληλα, έχει προβλεφθεί ανεπάρκεια ορυκτών

καυσίμων στις επόμενες δεκαετίες. Φυσικές καταστροφές, όπως θύελλες, σεισμοί και τυφώνες μπορούν εύκολα να καταστρέψουν το δίκτυο μεταφοράς. Τέλος, ο διαθέσιμος και κατάλληλος χώρος για τη μελλοντική επέκταση του δικτύου έχει μειωθεί δραματικά.

β) *Ανάγκες αγοράς/καταναλωτών.* Χρειάζεται να αναπτυχθούν ολοκληρωμένες τεχνολογίες λειτουργίας του συστήματος αλλά και πολιτικές για την αγορά ενέργειας, ώστε να στηρίξουν τη διαφάνεια και την ελευθερία της ανταγωνιστικής αγοράς. Η ικανοποίηση των πελατών από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να βελτιωθεί με την παροχή υψηλού λόγου ποιότητας/τιμής και με τη δυνατότητα των καταναλωτών να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο.

γ) *Προκλήσεις Υποδομής.* Η υπάρχουσα υποδομή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει στοιχεία που γερνούν γρήγορα. Με την πίεση των αυξανόμενων απαιτήσεων φορτίου, η συμφόρηση του δικτύου γίνεται όλο και χειρότερη. Τα γρήγορα εργαλεία online ανάλυσης, η ευρείας ζώνης παρακολούθηση, οι μετρήσεις και ο έλεγχος, και η γρήγορη και ακριβής προστασία κρίνονται ως απαραίτητα στοιχεία για να βελτιωθεί η αξιοπιστία των δικτύων.

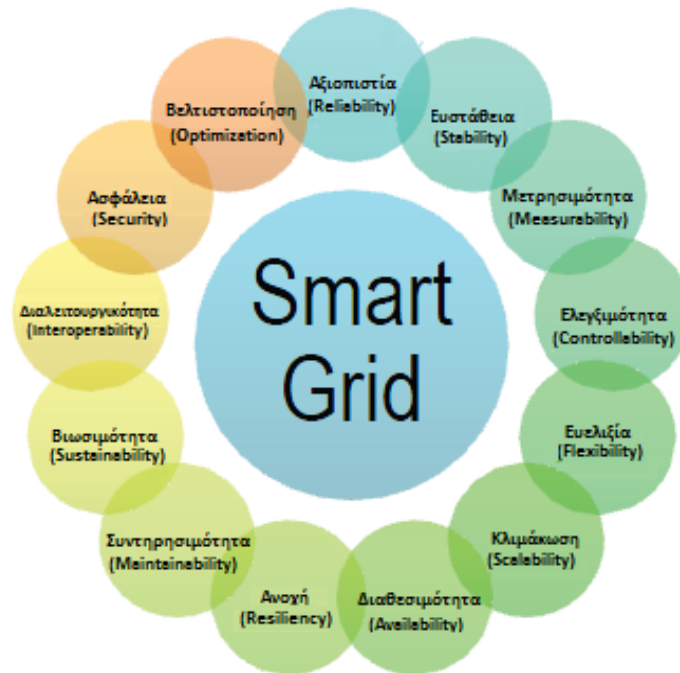
δ) *Καινοτόμες Τεχνολογίες.* Από τη μία πλευρά, οι καινοτόμες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων νέων υλικών, προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος και τεχνολογιών επικοινωνιών, δεν είναι ακόμα ώριμες ή εμπορικά διαθέσιμες για την επανάσταση των δικτύων μεταφοράς. Από την άλλη, στο υπάρχον δίκτυο υπάρχει έλλειψη συμβατότητας για να δεχθεί την εφαρμογή smart-point τεχνολογιών στα πρακτικά δίκτυα.



Εικόνα 1.2 Όραμα ενός Έξυπνου Δικτύου μεταφοράς

1.2 Πλαίσιο και χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων μεταφοράς

Στην εικόνα 1.3 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που καλείται να έχει ένα έξυπνο δίκτυο, τα οποία αναλύονται παρακάτω. Όπως φαίνεται, διασυνδέονται με μια στενή σχέση αιτίου-αποτελέσματος το ένα με το άλλο και αποτελούν προκλήσεις που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός έξυπνου δικτύου.



Εικόνα 1.3 Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις ενός Έξυπνου δικτύου

Αξιοπιστία και Ευστάθεια (Reliability and Stability)

Με τον όρο *αξιοπιστία* αναφερόμαστε στην ικανότητα ενός συστήματος ή και στοιχείων αυτού να εκτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό δεδομένες συνθήκες για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία έχει ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Σε γενικές γραμμές, ερμηνεύει τη λειτουργική υγεία και το βαθμό μεταβλητότητας όλου του συστήματος. Επιπλέον, παρουσιάζει την κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας που το έξυπνο δίκτυο θα διατηρήσει σύμφωνα με αποτελεσματικές μετρήσεις και εκτιμήσεις. Με την αξιοπιστία απαιτούμε οι βλάβες του συστήματος να συμβαίνουν με μικρή πιθανότητα, ενώ σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά, η επίπτωσή του στο συνολικό σύστημα να είναι ελάχιστη και το δυσλειτουργικό στοιχείο να αντικατασταθεί ή επιδιορθωθεί όσο το δυνατόν συντομότερα. Η αξιοπιστία εξαρτάται από την επίτευξη άλλων καθοριστικών παραγόντων, που περιγράφονται στις παρακάτω υποενότητες.

Η *ευστάθεια* ενός συστήματος καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που το χαρακτηρίζει. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να εγγυάται σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος, να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου, με την εφαρμογή κατανεμημένης

ηλεκτροπαραγωγής (Distributed Generation - DG) και αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες εκτάσεις, και να αποκλείει διάφορα ανεπιθύμητα περιστατικά.

Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα (Measurability and Controllability)

Η διακοπή υπηρεσιών και οι βλάβες είναι περιστατικά σοβαρά και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Είναι σημαντικό να είναι *μετρήσιμα* και *ελέγξιμα* με τρόπο ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν σκόπιμες εκτιμήσεις και αξιολογήσεις. Το έξυπνο δίκτυο είναι σε θέση να εντοπίζει και να διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω δυναμικών μετρήσεων και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου. Παράλληλα, θα πρέπει να υπάρχει κάποιος βαθμός παρατηρησιμότητας και διαφάνειας με στόχο την αποτελεσματική ανάλυση, διαχείριση, καθώς και την πρόβλεψη και αντίδραση στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις του δικτύου. Ο πλούτος πληροφοριών των δεδομένων, που ουσιαστικά καθιστά το δίκτυο έξυπνο πρέπει επίσης να είναι μετρήσιμος, παρατηρήσιμος και διαχειρίσιμος.

Ευελιξία και Κλιμάκωση (Flexibility and Scalability)

Το δίκτυο κινείται από μια κεντρική δομή σε πολλαπλά αποκεντρωμένα μικροδίκτυα (Microgrids - MGs). Η *κλιμάκωση* του έξυπνου δικτύου είναι σημαντικό να οριστεί καλά. Μέσω της νησιδοποίησης (islanding), τα μικροδίκτυα προσπαθούν να ενσωματώσουν την κατανεμημένη παραγωγή (DG) και την αποθήκευση ενέργειας για να συνεισφέρουν ενέργεια στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε περιόδους ζήτησης αιχμής. Η λειτουργία της νησίδας εισάγει μια έννοια ενός γιγάντιου έξυπνου δικτύου που αποτελείται από πολλαπλά μικρά έξυπνα δίκτυα. Κάθε τοπικό δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ως προς τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management - DSM), το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφάλειας.

Η *ευελιξία* επιτρέπει στο έξυπνο δίκτυο να παρέχει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται. Θα λέγαμε ότι παρουσιάζει τέσσερις πτυχές: α) επεκτασιμότητα για μελλοντική ανάπτυξη με τη διείδυση καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής, β) προσαρμοστικότητα στις ποικίλες γεωγραφικές τοποθεσίες και τα κλίματα, γ) πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου για το συντονισμό των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου, δ) απρόσκοπτη συμβατότητα με τα διάφορα συλ λειτουργίας της αγοράς και plug-and-play ικανότητα να φιλοξενήσει σταδιακή αναβάθμιση, με συστατικά υλικού και λογισμικού, της τεχνολογίας.

Η ευελιξία μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί σε ένα σύνολο προτύπων (standards) που λειτουργούν στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus και ZigBee, ούτως ώστε να είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα σε όλο τον κόσμο.

Διαθεσιμότητα (Availability)

Η *διαθεσιμότητα* της ενέργειας και των επικοινωνιών είναι ουσιώδης για τη ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των

δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Ο βαθμός διαθεσιμότητας πόρων που απαιτείται, ειδικά όταν πρόκειται για θέματα που σχετίζονται με την *καθυστέρηση* (latency) ή την *ασφάλεια*, είναι υψηλός. Για παράδειγμα, στα συστήματα προστασίας και ελέγχου της γραμμής η καθυστέρηση χρειάζεται να είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου, αλλά μια επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service - DoS) μπορεί να επιδεινώσει την επίδοση του δικτύου κάνοντας τους servers ή τις υπηρεσίες προσωρινά μη διαθέσιμες. Ο *πλεονασμός* (redundancy) θα μπορούσε να είναι ένα μέτρο επίλυσης του προβλήματος. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του θα εξαρτηθεί από το πώς θα σχεδιαστεί το σύστημα για να αποφεύγει παράλληλα το επακόλουθο κόστος της μεγάλης πολυπλοκότητας δικτύου, καθώς και από το θέμα της κλιμάκωσης.

Ανθεκτικότητα (Resiliency)

Ο βαθμός της *ανθεκτικότητας* καθορίζει πόσο πραγματικά αξιόπιστο είναι το έξυπνο δίκτυο όταν συμβαίνουν διάφορα περιστατικά. Γενικά, το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τους οποιουσδήποτε εσωτερικούς ή εξωτερικούς κινδύνους. Ειδικά από τη σκοπιά της ασφάλειας, η ανθεκτικότητα αναπαριστά την ικανότητα ανάκτησης και αποκατάστασης μετά από τις οποιεσδήποτε διαταραχές ή δυσλειτουργίες, μέσω μιας εύρωστης διαδικασίας γρήγορης απόκρισης. Η ικανότητα αυτή της αυτό-θεραπείας καθιστά το δίκτυο ικανό να επαναπροσδιορίζεται δυναμικά ώστε να ανακάμψει από επιθέσεις, διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες δραστηριότητες και βλάβες των κατασκευαστικών στοιχείων του. Τα ευάλωτα ηλεκτρικά στοιχεία είναι πιθανότατα οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας, καθώς και οι πυρηνικοί σταθμοί με διαρροή. Σχέδια έκτακτης ανάγκης απαιτούνται για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσμενών περιπτώσεων.

Δυνατότητα συντήρησης (Maintainability)

Η *συντηρησιμότητα* αντανακλά ουσιαστικά τη μακροβιότητα και την αξιοπιστία ενός συστήματος. Συνήθως δείχνει την ικανότητά του να εκτελεί αποτελεσματικά και αποδοτικά μια σειρά δράσεων για εργασίες συντήρησης. Οι διαδικασίες που γίνονται ειδικά κατά τη συντήρηση περιλαμβάνουν την επιθεώρηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση. Το έξυπνο δίκτυο θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει τη συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών (π.χ. εγκαταστάσεις, εξοπλισμός, συστήματα, υποσυστήματα, ασφάλεια του δικτύου και διαχείριση) να επιδιορθώνονται γρήγορα και με τρόπο οικονομικά αποδοτικό. Παρομοίως, η υψηλή αποδοτικότητα εργατώρας, καθώς και των εργαλείων και του εξοπλισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το σύστημα συντήρησης του δικτύου.

Βιωσιμότητα (Sustainability)

Η άνοδος της ανησυχίας για το περιβάλλον αλλά και οι κίνδυνοι από τη ζήτηση αιχμής καθιστούν κρίσιμη απαίτηση για τη λειτουργία του έξυπνου δικτύου μεταφοράς τη *βιωσιμότητα*, η οποία παρουσιάζεται ως επάρκεια, αποδοτικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ικανοποιηθεί με

την εφαρμογή προσιτών εναλλακτικών ενεργειακών πόρων, την αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας στη λειτουργία του συστήματος παροχής και μετριάσμού της συμφόρησης δικτύου. Οι καινοτόμες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να προκαλούν λιγότερη μόλυνση ή εκπομπές και να είναι ανεξαρτημένες από τον άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

Η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της συνολικής επίδοσης του συστήματος θα εξαρτηθεί κατά κύριο λόγο από τη *διαλειτουργικότητα* που παρουσιάζει η υποδομή. Τα κατασκευαστικά στοιχεία του έξυπνου δικτύου προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για τη διασύνδεση τόσο της ενέργειας όσο και των επικοινωνιών. Αυτή η δυνατότητα απαιτείται κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνιών, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Αδέξια αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ των ποικιλόμορφων μερών θα επιβράδυνε το χρόνο απόκρισης και θα υποβάθμιζε τη λειτουργία του συνολικού συστήματος καθώς και την αποδοτικότητα.

Ασφάλεια (Security)

Η έννοια της *ασφάλειας* απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Μια ασφαλής και σίγουρη συνδεσιμότητα μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα αλλά και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας. Διάφορα υπάρχοντα μέτρα και εργαλεία ασφαλείας αποτελούν στοιχειώδεις απαιτήσεις για το έξυπνο δίκτυο, όπως τα συστήματα Firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (virtual private network - VPN), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (virtual local area network- VLAN) και ο έλεγχος πρόσβασης.

Βελτιστοποίηση (Optimization)

Η *βελτιστοποίηση* της λειτουργίας και των στοιχείων ενεργητικού του έξυπνου δικτύου είναι επιτακτική ανάγκη. Μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια των προηγμένων τεχνολογιών και των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών (Intelligent electronic devices - IEDs), καθώς και με ευφυή διαχείριση και αυτοματισμό, εξισορροπώντας ταυτόχρονα μια ποικιλομορφία μεταβλητών και tradeoffs. Το έξυπνο δίκτυο καλείται να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με όρους α) αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, β) αποδοτικότητας μετατροπής και χρήσης της ενέργειας, γ) ποιότητας παραγωγής και διανομής ενέργειας, δ) διαθεσιμότητας για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων, ε) αποτελεσματικότητας και ακρίβειας των δεδομένων και των επικοινωνιών, στ) χρονικής απόκρισης και διαχείρισης σφαλμάτων, ζ) οικονομικό κέρδος. Εν τω μεταξύ, η μείωση του κόστους κεφαλαίου, η πολυπλοκότητα του δικτύου και η χρήση των πόρων είναι αποφασιστικής σημασίας για το έξυπνο δίκτυο που θα αναπτυχθεί στην πράξη.

Εκτός από όσα απεικονίζονται και αναλύθηκαν παραπάνω, ως επιπλέον ιδιότητες ενός μελλοντικού έξυπνου δικτύου θα μπορούσαμε να σημειώσουμε και τα εξής:

Ψηφιοποίηση (Digitalization)

Το έξυπνο δίκτυο θα χρησιμοποιεί μια μοναδική, ψηφιακή πλατφόρμα για γρήγορη και αξιόπιστη ανίχνευση, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμό, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση και συντήρηση ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς. Πρόκειται για θεμελιώδες χαρακτηριστικό που θα διευκολύνει την υλοποίηση άλλων έξυπνων λειτουργιών. Αυτή η πλατφόρμα χαρακτηρίζεται από φιλική προς το χρήστη απεικόνιση για ενημέρωση ευαίσθητων καταστάσεων αλλά και από υψηλή ανοχή προς ανθρωπογενή λάθη.

Ευφυΐα (Intelligence)

Ευφυείς τεχνολογίες και ανθρώπινη τεχνογνωσία θα ενσωματωθούν στο έξυπνο δίκτυο μεταφοράς. Αυτό-επίγνωση της κατάστασης λειτουργίας του συστήματος θα είναι διαθέσιμη με τη βοήθεια online ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου, όπως ανάλυση της σταθερότητας τάσης/γωνίας και της ασφάλειας. Θα υπάρχει, επίσης, αυτό-θεραπεία για να ενισχύσει την ασφάλεια του δικτύου μεταφοράς μέσω συντονισμένων σχημάτων προστασίας και ελέγχου.

Προσαρμογή (Customization)

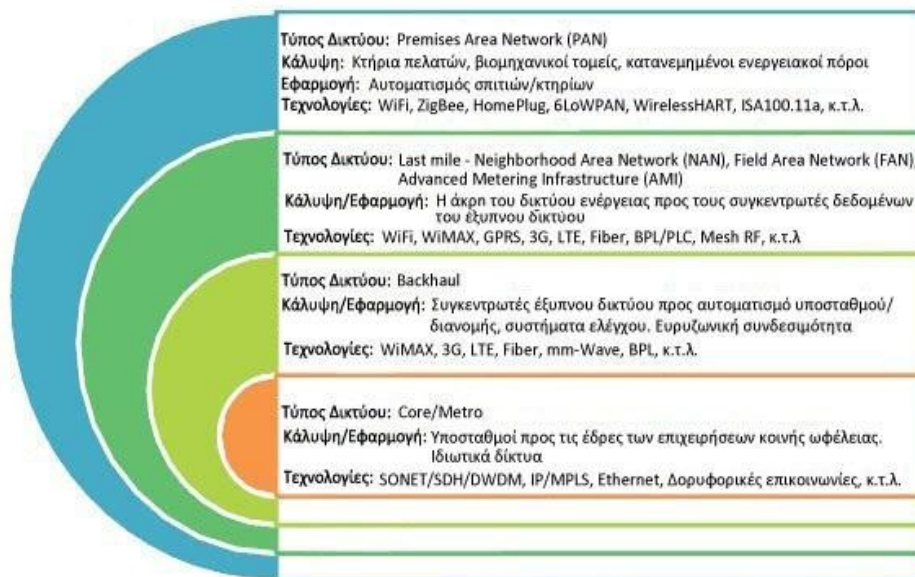
Ο σχεδιασμός του έξυπνου δικτύου μεταφοράς θα είναι, για την ευκολία των φορέων εκμετάλλευσης, προσαρμοσμένος στον πελάτη, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες του και τη διαλειτουργικότητά του. Επίσης, θα εξυπηρετεί τους πελάτες παρέχοντας περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας για έναν υψηλότερο λόγο ποιότητας/τιμής. Το έξυπνο δίκτυο θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά.

Κεφάλαιο 2:

Τεχνολογίες επικοινωνιών και Έξυπνο Δίκτυο

Ένα επικοινωνιακό σύστημα είναι το βασικό στοιχείο για μια υποδομή έξυπνου δικτύου. Για να πετύχουμε αυτή την έξυπνη συμπεριφορά του, θα χρησιμοποιηθούν προηγμένες τεχνολογίες και εφαρμογές από τις οποίες θα παράγεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός δεδομένων, τα οποία με τη σειρά τους θα διατίθενται για περαιτέρω ανάλυση, έλεγχο και εξυπηρέτηση των διαφόρων λειτουργιών. Συνεπώς, είναι κρίσιμο για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να προσδιορίσουν τις απαιτήσεις για τις επικοινωνίες και να βρουν την καλύτερη επικοινωνιακή δομή που θα χειρίζεται τα παραγόμενα δεδομένα και θα παρέχει αξιόπιστες, ασφαλείς και οικονομικά αποδοτικές υπηρεσίες σε ολόκληρο το σύστημα.

Την επικοινωνιακή δομή ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου συνθέτουν στην ουσία τέσσερις τομείς δικτύωσης: ο *πυρήνας* (core) ή αλλιώς κορμός (backbone), ο *τομέας μεσαίων μιλίων* (middle-mile) ή backhaul, ο *τομέας τελευταίων μιλίων* (last-mile) ή πρόσβαση/διανομή (access/distribution) καθώς και τα *σπίτια* και τα *κτήρια* (Premises Area Network). Το σχήμα δείχνει τα τυπικά επίπεδα επικοινωνιών για τα έξυπνα δίκτυα. Οι τέσσερις τομείς, που διασυνδέονται ο ένας με τον άλλον, υποστηρίζονται από διάφορες τεχνολογίες και συγκεντρώνουν ουσιαστικά την επικοινωνιακή υποδομή του έξυπνου δικτύου.



Εικόνα 2.1 Τα στρώματα επικοινωνιών ενός Έξυπνου Δικτύου

Το δίκτυο πυρήνα στηρίζει τη σύνδεση μεταξύ των πολυάριθμων υποσταθμών και των εδρών των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Το δίκτυο WAN απαιτεί υψηλή χωρητικότητα και διαθεσιμότητα εύρους ζώνης για να διαχειριστεί τα “βουνά” δεδομένων που μεταφέρονται από άλλους τομείς, καθώς και από τους πολλαπλούς μεσολαβητές. Το δίκτυο κορμού είναι συνήθως χτισμένο σε οπτικές ίνες.

Ο τομέας μεσαίων μιλίων συνδέει τους συγκεντρωτές δεδομένων στο AMI (Advanced Metering Infrastructure) με τον αυτοματισμό υποσταθμών/διανομής και τα κέντρα ελέγχου που σχετίζονται με τη λειτουργία των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Αυτός ο τομέας όχι μόνο χρειάζεται να παρέχει ευρυζωνικά μέσα, αλλά απαιτεί η εγκατάσταση του δικτύου του να είναι όσο το δυνατόν πιο εύκολη και αποδοτική οικονομικά. Επιπλέον, οι διαδρομές και οι συνδέσεις μέσω των οποίων θα ρέουν τα δεδομένα πρέπει να είναι ευέλικτες και αδιάλειπτες. Το πιο σημαντικό είναι η συνολική απόδοση να είναι προβλέψιμη για την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων πριν την είσοδο στον κορμό.

Ο τομέας τελευταίων μιλίων καλύπτει τις περιοχές των FAN/NAN και AMI και είναι υπεύθυνος τόσο για τη συλλογή δεδομένων από τους έξυπνους μετρητές όσο και για τη μεταφορά τους στους συγκεντρωτές. Υπάρχει ποικιλία ασύρματων και ενσύρματων τεχνολογιών που είναι διαθέσιμες για να εφαρμοστούν στον τομέα αυτό, οι οποίες θα πρέπει όμως να παρέχουν ευρυζωνική ταχύτητα και ασφάλεια.

Το δίκτυο των κτηρίων κερδίζει μεγαλύτερη προσοχή όντας ο τελευταίος τομέας του έξυπνου δικτύου. Οι τεχνολογίες επικοινωνιών που υποστηρίζουν Home Area Networks (HAN) καθώς και τον σχετιζόμενο αυτοματισμό κτηρίων θα βασιστούν κατά κύριο λόγο στα πρότυπα IEEE 802.15.4, IEEE 802.11 και PLC. Η διαχείριση της ενέργειας του σπιτιού που θα συμβαίνει στα HAN θα ρυθμίζει αρκετά στοιχεία, όπως θερμοστάτες, HVAC (θέρμανση, εξαερισμό και κλιματισμό), έξυπνες συσκευές, έλεγχο φωτισμού, οικιακό αυτοματισμό, PHEV/EV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle/ Electric Vehicle) και DG. Η συλλογή και μεταφορά δεδομένων από αυτόν τον τομέα πρέπει να χαρακτηρίζονται από σταθερότητα, ακρίβεια και ασφάλεια.

2.1 Προϋποθέσεις για το σύστημα επικοινωνιών

Τα κατάλληλα επικοινωνιακά δίκτυα για εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας χρειάζεται να παρέχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και υπηρεσίες, που είναι στενά συνδεδεμένα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τα διαχωρίζουν από άλλα δίκτυα.

1. *Η υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα είναι τυπικές απαιτήσεις σχεδόν για κάθε σύστημα επικοινωνίας. Δεδομένου ότι θα διασυνδέεται ένας μεγάλος αριθμός συσκευών και θα χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας, η διασφάλιση της αξιοπιστίας ενός τέτοιου ετερογενούς και μεγάλου δικτύου δεν είναι τετριμμένη υπόθεση. Ακόμη, οι κόμβοι πρέπει να είναι προσπελάσιμοι υπό οποιοσδήποτε συνθήκες. Ενώ συνήθως αυτό δεν είναι πρόβλημα σε ένα ενσύρματο δίκτυο, μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για ασύρματες ή powerline υποδομές, γιατί τα κανάλια επικοινωνίας μπορεί να αλλάξουν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Στην ειδική περίπτωση των συστημάτων μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος (powerline systems), μια τέτοια αλλαγή μπορεί να εισαχθεί κατά τη διαχείριση του δικτύου διανομής το οποίο εξισορροπεί το φορτίο κατανάλωσης ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως στο επίπεδο μέσης τάσης. Οι δράσεις μεταγωγής ξεκινούν μέσω διαφόρων SCADA συστημάτων και συστημάτων ελέγχου (ή ακόμα και χειροκίνητα) χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία δεν μπορούν να τροποποιηθούν. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει άμεσος τρόπος να*

ενημερωθεί το σύστημα διαχείρισης της επικοινωνίας σχετικά με τις αλλαγές τοπολογίας. Λόγω αυτού, το ίδιο το σύστημα επικοινωνίας θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι εύρωστο.

2. Η *αυτόματη διαχείριση των πλεονασμών (redundancies)* σχετίζεται στενά με την προηγούμενη προϋπόθεση. Καθώς μερικές εφαρμογές είναι χρονο-κρίσιμες (time-critical), οι πραγματικού χρόνου ιδιότητες του δικτύου πρέπει να διατηρηθούν ακόμα και κατά τις αλλαγές τοπολογίας. Όπως προαναφέρθηκε, οι αλλαγές αυτές δε θα πρέπει να θεωρηθούν ως έκτακτες καταστάσεις που οφείλονται σε συνθήκες σφάλματος, αλλά εμφανίζονται κατά την κανονική λειτουργία.

3. *Υψηλή κάλυψη και αποστάσεις.* Προφανώς, οι κόμβοι που θα συνδέονται μέσω του δικτύου επικοινωνιών είναι διανεμημένοι σε μια ευρεία περιοχή. Το σύστημα επικοινωνίας πρέπει να είναι, λοιπόν, ευρέως διαθέσιμο και ικανό να παρέχει μεγάλη κάλυψη.

4. *Μεγάλος αριθμός των κόμβων επικοινωνίας.* Αν υποθέσουμε ότι είναι συνδεδεμένος μόνο ένας μετρητής ενέργειας ανά καταναλωτή, ένας πρωτεύων σταθμός μπορεί να εφοδιάσει έως και δεκάδες χιλιάδες κόμβων, ιδίως σε περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση πολυκατοικιών. Παρότι τα πακέτα εντολών και δεδομένων είναι συνήθως μικρά, ο συνολικός όγκος δεδομένων προς μετάδοση στο δίκτυο είναι ουσιαστικός και η επιβάρυνση της επικοινωνίας (communication overheads) μπορεί να γίνει ζήτημα.

5. *Κατάλληλη καθυστέρηση επικοινωνίας (delay) και απόκριση του συστήματος.* Η διαχείριση της ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) χρειάζεται να φροντίσει για διάφορες κατηγορίες δεδομένων, όπως δεδομένα μετρήσεων, ελέγχου, ή δεδομένα συναγερού. Το σύστημα επικοινωνίας πρέπει να υποστηρίζει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας για κάθε εφαρμογή. Ιδιαίτερη σημασία απαιτούν τα κρίσιμα δεδομένα, τα οποία πρέπει να παραδοθούν άμεσα. Έτσι, ίσως χρειαστεί να προβλεφθεί για τη μετάδοση ένα κανάλι για γρήγορα γεγονότα, όπως πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου ή συναγερού από τους μετρητές στο σημείο ελέγχου.

6. *Ασφάλεια επικοινωνίας.* Τα δεδομένα που σχετίζονται με τη διανομή ενέργειας θεωρούνται κρίσιμα, ιδιαιτέρως όταν σχετίζονται με θέματα τιμολόγησης ή ελέγχου του ηλεκτρικού δικτύου. Για το λόγο αυτό, η ασφαλής επικοινωνία είναι σημαντική. Έρευνες μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας έδειξαν ότι η ακεραιότητα (όχι κακόβουλη τροποποίηση) και η αυθεντικότητα (δηλαδή η προέλευση και τα δικαιώματα πρόσβασης είναι εγγυημένα) είναι οι πιο σημαντικοί στόχοι για την ασφάλεια των δικτύων διανομής, ενώ το θέμα του απορρήτου δεν θεωρείται πρωτεύον ζήτημα.

7. *Ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης.* Για κάθε κατανεμημένο σύστημα επικοινωνίας, πρέπει να έχει γίνει πρόβλεψη για μηχανισμούς που διευκολύνουν όχι μόνο την αρχική εγκατάσταση, αλλά ιδίως τη συντήρηση της υποδομής κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Χαρακτηριστικά όπως ο εντοπισμός σφάλματος και η ανάλυση της κατάστασης σφάλματος, η εύκολη ενημέρωση των επιχειρήσεων και του λογισμικού και η απομακρυσμένη ρύθμιση των παραμέτρων είναι ουσιώδη.

2.2 Προκλήσεις

Η μεγαλύτερη πρόκληση για την τεχνολογία των επικοινωνιών είναι να παρέχει εύρωστα, ασφαλή και διαλειτουργικά δίκτυα.

- **Διαλειτουργικότητα:** Το Έξυπνο Δίκτυο θα συνδέει ένα μεγάλο αριθμό στοιχείων από ανόμοια δίκτυα μεταφοράς και διανομής, πηγές παραγωγής και καταναλωτές. Περαιτέρω, το Έξυπνο Δίκτυο θα αποτελείται από ετερογενείς αρχιτεκτονικές δικτύου, τεχνολογίες και πρότυπα. Για παράδειγμα, μικρής εμβέλειας ασύρματα (π.χ. Bluetooth, UWB, Wi-Fi, ZigBee) και ενσύρματα δίκτυα (π.χ. PLC, Ethernet) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διασύνδεση συσκευών σε τοπικό επίπεδο (π.χ. για παροχή επικοινωνιών για οικιακό αυτοματισμό, έξυπνη μέτρηση, αυτοματισμό υποσταθμών ή για συστήματα ελέγχου της παραγωγής ισχύος), ενώ οι κυψελωτές (π.χ. GPRS), οι 4G τεχνολογίες (π.χ. 802.16m και LTE) ή οι ενσύρματες ευρυζωνικές (π.χ. xDSL, HFC, FTTH) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δικτύωση ευρείας περιοχής. Η επίτευξη της διαλειτουργικότητας των συστημάτων επικοινωνιών και των αρχιτεκτονικών που υποστηρίζουν τα Έξυπνα Δίκτυα απαιτεί συμφωνία ως προς τη χρήση, μια ερμηνεία των διεπαφών και των μηνυμάτων που μπορεί να γεφυρώσει αρμονικά τα διαφορετικά πρότυπα και τις τεχνολογίες.

- **Ασφάλεια και εμπιστευτικότητα:** Στο Έξυπνο Δίκτυο οι λειτουργίες του δικτύου ενσωματώνουν τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ICT – Information and Communications Technologies) για να διευκολύνεται η αποτελεσματική παρακολούθηση, ο έλεγχος και η διαχείριση των συστημάτων, πάνω από αμφίδρομες ζεύξεις επικοινωνίας (π.χ. στις έξυπνες μετρήσεις, στη διαχείριση ενέργειας κτηρίων και σε εφαρμογές εξισορρόπησης φορτίου). Οι κίνδυνοι ασφάλειας στα Έξυπνα Δίκτυα δεν προέρχονται απλά από φυσικά τρωτά σημεία, όπως στην περίπτωση των παραδοσιακών δικτύων, αλλά συνδέονται και με τα συστήματα επικοινωνιών. Παρουσιάζεται η δυνατότητα σε εισβολείς να χειριστούν υπηρεσίες σε σπίτια και επιχειρήσεις αποκτώντας, για παράδειγμα, τον έλεγχο των έξυπνων μετρητών και διαταράσσοντας την εξισορρόπηση του φορτίου με την ξαφνική αύξηση ή μείωση της ζήτησης ενέργειας. Ως εκ τούτου, τα δίκτυα επικοινωνιών ενός Έξυπνου Δικτύου απαιτούν ουσιαστικά προληπτικά μέτρα ασφάλειας. Ένα ακόμα σημαντικό σημείο είναι το θέμα του απορρήτου, ιδίως αναφορικά με τα δεδομένα της χρήσης ενέργειας του κάθε καταναλωτή, αυτά δηλαδή που συλλέγονται από τους έξυπνους μετρητές. Αν και τα δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες και τους μετρητές θα μπορούσαν να ωφελήσουν κατά πολύ τις λειτουργίες του δικτύου για τη βελτιωμένη αποδοτικότητα της κατανάλωσης ενέργειας, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ικανών μηχανισμών προστασίας αυτών, για τη διασφάλιση της ιδιωτικής ζωής και ταυτόχρονα της εμπορικής αξίας των σχετικών με την ενέργεια δεδομένων.

2.3 Αρχιτεκτονική του Δικτύου Επικοινωνιών

Η υποδομή επικοινωνίας στο έξυπνο δίκτυο πρέπει να υποστηρίζει τις αναμενόμενες λειτουργικές δυνατότητες και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις επίδοσης. Καθώς η υποδομή αυτή συνδέει ένα τεράστιο αριθμό ηλεκτρικών συσκευών και διαχειρίζεται την περίπλοκη επικοινωνία τους, είναι οργανωμένη σε μια ιεραρχική υποδομή με διασυνδεδεμένα

επιμέρους υποδίκτυα, το καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για ξεχωριστή γεωγραφική περιοχή. Γενικά, τα δίκτυα επικοινωνιών μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: δίκτυα WAN (Wide Area Networks), δίκτυα FAN (Field Area Networks) και δίκτυα HAN (Home Area Networks).

2.3.1 Wide Area Networks

Τα δίκτυα WAN σχηματίζουν τη ραχοκοκαλιά που συνδέει τα κατακεκολλημένα, μικρότερα δίκτυα που εξυπηρετούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες θέσεις. Όταν τα κέντρα ελέγχου βρίσκονται μακριά από τους υποσταθμούς ή τους τελικούς καταναλωτές, οι μετρήσεις πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται από τις ηλεκτρικές συσκευές μεταφέρονται στα κέντρα ελέγχου μέσω των δικτύων WAN και, κατά την αντίστροφη κατεύθυνση, τα WAN αναλαμβάνουν τη μεταφορά εντολών από τα κέντρα ελέγχου προς τις συσκευές.

Για βέλτιστη επίγνωση των συνθηκών σε μια ευρεία περιοχή, οι φορείς RTO (Regional Transmission Operator) χρειάζονται πολλές πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου. Η επίγνωση αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση στους υποσταθμούς γρήγορων, χρονικά σφραγισμένων και πραγματικού χρόνου πληροφοριών για το σύστημα, που προέρχονται από εξειδικευμένους ηλεκτρικούς αισθητήρες (δηλαδή τις μονάδες PMUs). Οι συσκευές PMU καταγράφουν πληροφορίες για το διάνυσμα του ρεύματος και της τάσης με συχνότητα δειγμάτων ως 60 Hz. Οι πληροφορίες, κατόπιν, χρησιμοποιούνται από τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας (EMS) στα κέντρα ελέγχου για την παροχή βελτιωμένης εκτίμησης, παρακολούθησης, ελέγχου και προστασίας της κατάστασης λειτουργίας.

Τα δίκτυα WAN, επίσης, συντελούν στην επικοινωνία μεταξύ των IEDs και των κέντρων ελέγχου. Οι έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές εγκαθίστανται κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς και στους υποσταθμούς για να καταγράφουν τις πληροφορίες από τα συστήματα SCADA και να ενεργούν βάσει των εντολών ελέγχου και προστασίας που στέλνουν τα κέντρα ελέγχου. Επιπλέον, για να υποστηριχθεί στα κέντρα ελέγχου η λήψη των υψηλής ταχύτητας δεδομένων από τα στοιχεία PMU, απαιτείται ένα δίκτυο υψηλού εύρους ζώνης.

Επί του παρόντος, οι υποσταθμοί επικοινωνούν με τα κέντρα ελέγχου χρησιμοποιώντας point-to-point τηλεφωνικές ή μικροκυματικές ζεύξεις. Έτσι, υπό την απουσία ενός δικτύου υψηλής ταχύτητας, τα ψηφιακά δεδομένα από τις μονάδες PMU περιορίζονται εντός των υποσταθμών και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά από τα κέντρα ελέγχου, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη ενός υψηλού εύρους ζώνης δικτύου WAN στο σύστημα του έξυπνου δικτύου.

2.3.2 Field area networks

Τα δίκτυα FAN συνιστούν τη μονάδα επικοινωνίας για τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί αισθητήρες στα τροφοδοτικά και τους μετασχηματιστές της διανομής, οι έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές (IEDs) ικανές να εκτελούν

εντολές ελέγχου από τα συστήματα DMS (Distribution Management System), οι καταναλωτές ενεργειακοί πόροι (Distributed Energy Resources – DER) στα συστήματα διανομής, οι σταθμοί φόρτισης plug-in ηλεκτρικών οχημάτων (PEVs) και οι έξυπνοι μετρητές στις εγκαταστάσεις των πελατών αποτελούν τις κύριες πηγές πληροφοριών προς παρακολούθηση και έλεγχο από τα συστήματα DMS στα κέντρα ελέγχου. Οι εφαρμογές του συστήματος ενέργειας στον τομέα της διανομής χρησιμοποιούν δίκτυα FAN για να μοιράζονται και να ανταλλάσσουν πληροφορίες.

Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε με βάση τον τομέα, οπότε είναι αυτές που σχετίζονται με τις γραμμές μεταφοράς, τους αισθητήρες, τους ρυθμιστές τάσης κ.τ.λ, είτε με βάση τους καταναλωτές, οπότε σχετίζονται γενικά με τους τελικούς καταναλωτές, όπως σπίτια, κτήρια, βιομηχανικούς χρήστες κ.τ.λ. Οι δυο κατηγορίες εφαρμογών που λειτουργούν στον τομέα της διανομής έχουν διαφορετικές κρίσιμες απαιτήσεις. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές βασισμένες στους καταναλωτές (σε αυτές περιλαμβάνονται τα AMI, DR, LMS κ.ά.) απαιτούν το δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ της επιχείρησης κοινής ωφέλειας και του καταναλωτή να είναι επεκτάσιμο, κάτι που θα επέτρεπε την προσθήκη περισσότερων εφαρμογών και καταναλωτών στο μέλλον, ενώ η ευαισθησία ως προς το χρόνο δεν είναι μεγάλο θέμα για αυτές. Από την άλλη, οι βασισμένες στον τομέα εφαρμογές (περιλαμβάνονται εφαρμογές SCADA και OMS, παρακολούθηση και έλεγχο των DER, κ.ά.) είναι πιο ευαίσθητες φύσεως όσον αφορά το χρόνο. Ως εκ τούτου, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να επιλέξουν να υιοθετήσουν είτε αφιερωμένα δίκτυα επικοινωνίας σε κάθε κατηγορία εφαρμογών, είτε ένα ενιαίο και κοινόχρηστο δίκτυο για τις δυο κατηγορίες. Ένα κοινόχρηστο δίκτυο θα ελαχιστοποιήσει το κόστος ανάπτυξης, ενώ τα ξεχωριστά δίκτυα έχουν το πλεονέκτημα της δυνατότητας επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο και της πρόσθετης ασφάλειας.

2.3.3 Home Area Networks

Τα οικιακά δίκτυα απαιτούνται στον τομέα του καταναλωτή, για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των έξυπνων συσκευών στο χώρο των πελατών και για την εφαρμογή νέων λειτουργιών όπως DR και AMI.

Τα πρώτα HAN εμφανίστηκαν προς τα τέλη της δεκαετίας του '90 και άρχισαν να εξαπλώνονται από τις αρχές του 2000 με την ανάπτυξη του Διαδικτύου. Πλέον, με την εμφάνιση και ανάπτυξη του έξυπνου δικτύου, τα de facto πρότυπα (Ethernet και 802.11 Wi-Fi) δικτύωσης HAN θα πρέπει να αναμένουν και νέες αφίξεις στον τομέα αυτό, με τις κύριες διαφορές τους να στρέφονται γύρω από τους ρυθμούς δεδομένων και την κατανάλωση ενέργειας. Το Διαδίκτυο και οι τεχνολογίες γύρω από αυτό αναπτύχθηκαν με στόχο τη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω ενός δικτύου σε διακοπτόμενα, θα λέγαμε, διαστήματα. Οι ανάγκες ενός έξυπνου δικτύου, όμως, είναι αρκετά διαφορετικές, απαιτώντας σχετικά χαμηλό εύρος ζώνης αλλά τακτική και αδιάλειπτη επικοινωνία. Εντός σπιτιού, για παράδειγμα, συσκευές όπως θερμοστάτες, συστήματα HVAC, συστήματα οικιακού αυτοματισμού ή διαχείρισης οικιακής ενέργειας, μετρητές νερού και μετρητές ηλεκτρικού ρεύματος θα διασυνδέονται και θα επικοινωνούν, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες να αντιλαμβάνονται και να διαχειρίζονται καλύτερα την κατανάλωση ενέργειας.

Οι συσκευές αυτές έχουν μικρότερες απαιτήσεις εύρους ζώνης, αλλά προϋποθέτουν τακτική και συνεχή ροή δεδομένων.

Γενικά, υπάρχει πληθώρα προτύπων και πρωτοκόλλων που ανταγωνίζονται για την κυριαρχία στην αγορά των έξυπνων δικτύων. Με τόσες πολλές συσκευές που χρειάζεται να συνδεθούν στο δίκτυο, επαφίεται στο συμφέρον των καταναλωτών και των κατασκευαστών να καθορίσει τα πιο αξιόλογα από αυτά και να επιλέξει όποια υπερτερούν ως προς τη διαλειτουργικότητα, την κλίμακα οικονομίας και την ευκολία υιοθέτησης.

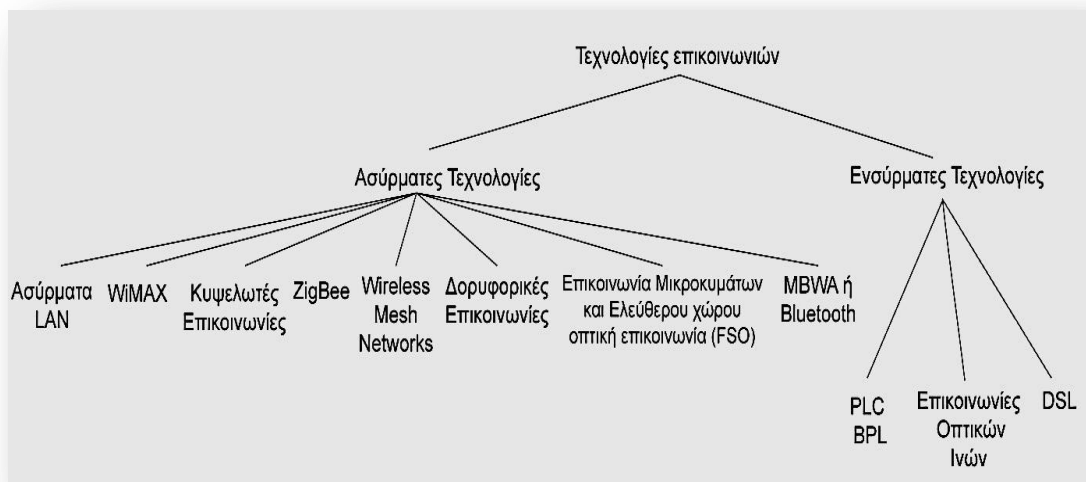
Με τόσες συσκευές που αναμένεται να ενσωματωθούν στα έξυπνα δίκτυα, εύλογα τίθεται το ερώτημα πώς πρόκειται να συνδεθούν. Φαίνεται να υπάρχουν δυο διαφορετικές σκέψεις για την αρχιτεκτονική HAN και τον τρόπο που σχετίζεται με την επιχείρηση κοινής ωφέλειας. Η πρώτη είναι πως η επιχείρηση, που παραδοσιακά ελέγχει το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής υποδομής, αν όχι ολόκληρη, θα είναι σε θέση να ελέγχει όλες τις συσκευές εντός σπιτιού για να διαχειρίζεται καλύτερα το δίκτυο. Η δεύτερη προβλέπει πως η επιχείρηση θα έχει πρόσβαση σε μία πύλη εντός σπιτιού αλλά ο καταναλωτής ελέγχει τι συμβαίνει μέσα στο σπίτι ή το αναθέτει σε τρίτους. Αυτή η επιλογή είναι πιο βολική γιατί ταιριάζει τόσο στους καταναλωτές, που θα νιώθουν άβολα να μπορεί η επιχείρηση να χειρίζεται τις συσκευές μέσα στο ίδιο τους το σπίτι, όσο και στους παρόχους και τους κατασκευαστές, που ασχολούνται με τη διαλειτουργικότητα.

Τα πρότυπα για τα δίκτυα HAN μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες, αυτά που χρειάζονται νέα καλώδια, αυτά που δεν απαιτούν νέα καλώδια και τα ασύρματα, με κάθε κατηγορία να έχει πλεονεκτήματα αλλά και αδυναμίες. Στην ενσύρματη δικτύωση το πλέον διαδεδομένο, και χωρίς ανταγωνισμό, πρότυπο είναι το Ethernet. Στην περίπτωση που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε την υπάρχουσα καλωδίωση αντί να εγκαταστήσουμε ένα νέο δίκτυο, οι επιλογές που υπάρχουν σχεδόν σε κάθε σπίτι είναι οι τηλεφωνικές γραμμές και οι γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος. Υπάρχουν πρότυπα και τεχνολογίες και για τις δυο περιπτώσεις, αλλά δεδομένου ότι ένας από τους κύριους στόχους του έξυπνου δικτύου είναι να παρακολουθεί και να ελαχιστοποιεί τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, η χρήση των γραμμών ρεύματος έχει το προβάδισμα. Ένας επιπλέον λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η περιορισμένη κάλυψη των τηλεφωνικών γραμμών στην κατασκευή του σπιτιού. Το HomePlug είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο για επικοινωνία μέσω ηλεκτρικών γραμμών, το HomePNA χρησιμοποιεί τις τηλεφωνικές γραμμές ή ομοαξονικά καλώδια, ενώ το G.hn είναι ένα ITU πρότυπο για δικτύωση μέσω γραμμών ρεύματος, τηλεφωνικών γραμμών ή ομοαξονικών καλωδίων, με ρυθμούς δεδομένων έως 1Gbps. Από την άλλη μεριά, μεγάλο ενδιαφέρον κερδίζει συνεχώς η ασύρματη σύνδεση των συσκευών, μια τάση που αναμένεται να συνεχιστεί. Δυο από τις εξέχουσες ασύρματες τεχνολογίες που ανταγωνίζονται στο χώρο των έξυπνων δικτύων είναι τα πρότυπα IEEE 802.11n (WiFi) και το 802.15.4 (που χρησιμοποιεί το ZigBee).

2.4 Τεχνολογίες επικοινωνιών για εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων

Οι απαιτήσεις ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου μερικές φορές μπορεί να είναι δύσκολο να οριστούν, ειδικά σε εφαρμογές που τώρα αναδύονται όπως τα έξυπνα δίκτυα ενέργειας. Οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη είναι η απόδοση του καναλιού (throughput), που συχνά αναφέρεται και ως ταχύτητα ή εύρος ζώνης και η καθυστέρηση καναλιού (latency). Αν οι στόχοι που τίθενται για αυτούς τους παράγοντες δεν επιτευχθούν, το σύστημα δεν έχει καμία πιθανότητα επιτυχίας. Παράγοντες που έπονται αλλά είναι επίσης σημαντικοί, είναι η αξιοπιστία και η ασφάλεια. Η απόδοση του καναλιού καθορίζει πόση πληροφορία είναι δυνατό να σταλεί από ένα σημείο σε ένα άλλο σε δεδομένο χρόνο. Σε αναλογικά συστήματα η απόδοση είναι ανάλογη του εύρους ζώνης και συνήθως δίνεται σε Hertz, ενώ στα ψηφιακά συστήματα συνήθως υπολογίζεται σε bits ανά λεπτό (bps).

Πολλές τεχνολογίες δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα έξυπνο δίκτυο στους τομείς της μεταφοράς, της διανομής και στο τελικό επίπεδο των καταναλωτών, αλλά καμία από αυτές δεν ταιριάζει απόλυτα σε όλες τις εφαρμογές. Κάποια τεχνολογία ή ακόμα καλύτερα ένα υποσύνολο τεχνολογιών θα ταιριάζει περισσότερο σε εφαρμογές συγκεκριμένου τομέα ή σε εφαρμογές που έχουν παρόμοιες επικοινωνιακές ανάγκες.



Εικόνα 2.2 Κατηγοριοποίηση των υποψήφιων Τεχνολογιών Επικοινωνιών

Η υιοθέτηση των διάφορων τεχνολογιών για τις επικοινωνίες των έξυπνων δικτύων θα εξαρτηθεί τελικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δικτύου και τις καθορισμένες απαιτήσεις. Μικρές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, για παράδειγμα, μπορεί να εκμεταλλευθούν τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα και να συνεργαστούν με άλλους ώστε να μειώσουν το κεφαλαιουχικό και λειτουργικό κόστος. Αντιθέτως, οι μεγάλες επιχειρήσεις θα είναι σε θέση να φτιάξουν το δικό τους δίκτυο για να αποφύγουν την κοινή χρήση εύρους ζώνης, με στόχο να έχουν μεγαλύτερα κέρδη από το

επενδυμένο κεφάλαιο. Επιπλέον, οι γεωγραφικές ανάγκες, οι στόχοι του έργου αλλά και οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που θα διατίθενται στους καταναλωτές θα επηρεάσουν τις επιλογές των τεχνολογιών που θα εφαρμοστούν.

2.4.1 Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies)

Γενικά, τα σήματα στις ασύρματες επικοινωνίες υφίστανται σημαντική εξασθένηση λόγω μετάδοσης και αντιμετωπίζουν παρεμβολές από το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, τα ασύρματα δίκτυα συνήθως παρέχουν συνδέσεις μικρών αποστάσεων με συγκριτικά χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων.

Η εφαρμογή ασύρματων τεχνολογιών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ενσύρματες, όπως μικρό κόστος εγκατάστασης, κινητικότητα, κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών, γρήγορη εγκατάσταση κ.ά. Ωστόσο, για κάθε τεχνολογία υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να διευθετηθούν πριν την χρήση της στο περιβάλλον των έξυπνων δικτύων. Κάποιες κοινές ανησυχίες για τις ασύρματες τεχνολογίες είναι: 1) Οι ασύρματες τεχνολογίες που λειτουργούν σε μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων είναι πιο ευάλωτες σε φαινόμενα θορύβου και παρεμβολής, 2) Οι ασύρματες τεχνολογίες με αδειοδοτημένο φάσμα αντιμετωπίζουν λιγότερες παρεμβολές, αλλά είναι συγκριτικά μια δαπανηρή λύση, 3) η ασφάλεια για τα ασύρματα μέσα επικοινωνίας είναι, εκ φύσεως, μικρότερη.

Ασύρματες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων παρουσιάζονται παρακάτω.

2.4.1.1 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LAN)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (LAN), βασισμένα στο πρότυπο IEEE 802.11, παρέχουν εύρωστη, υψηλής ταχύτητας επικοινωνία σημείου-προς-σημείο (point-to-point) και σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint), σε ρυθμούς των 1 και 2Mbps. Στο πρότυπο αυτό υιοθετήθηκε τεχνολογία απλωμένου φάσματος που επιτρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια ζώνη συχνοτήτων από πολλούς χρήστες με ελάχιστη παρεμβολή σε άλλους χρήστες. Το πρότυπο IEEE 802.11b, γνωστό επίσης και ως Wi-Fi, προσφέρει μέγιστο ρυθμό δεδομένων στα 11Mbps και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz με διαμόρφωση DSSS. Επιπλέον, πρόσφατα διαθέσιμες τεχνολογίες βασισμένες στο IEEE 802.11a και 802.11g μπορούν να επιτύχουν ρυθμούς μέχρι 54 Mbps. Το IEEE 802.11a λειτουργεί στα 5.4GHz με OFDM διαμόρφωση και το IEEE 802.11g, γνωστό ως ενισχυμένο Wi-Fi, λειτουργεί στα 2,4GHz με DSSS διαμόρφωση. Το IEEE 802.11n, βασισμένο σε τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output) προορίζεται να αυξήσει τους ρυθμούς μεταφοράς, φτάνοντας τα 600Mbps, ενώ το IEEE 802.11i, γνωστό ως WPA-2, ενισχύει την ασφάλεια στα ασύρματα LANs χρησιμοποιώντας προηγμένα πρότυπα κρυπτογράφησης (AES).

Η εφαρμογή ασύρματων LAN πλεονεκτεί σε σχέση με τα ενσύρματα γιατί είναι εύκολο να εγκατασταθούν, λιγότερο ακριβά και παρέχουν κινητικότητα των συσκευών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, όπως στον αυτοματισμό και την προστασία υποσταθμών διανομής και στην απεικόνιση και τον έλεγχο των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DERs), ειδικά σε περιπτώσεις απομακρυσμένων, μικρών υποσταθμών

και DERs, όπου οι απαιτήσεις για ρυθμούς μετάδοσης και ασύρματες παρεμβολές είναι συγκριτικά χαμηλότερες.

2.4.1.2 WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX (Worldwide inter-operability for Microwave Access) είναι μέρος της σειράς προτύπων 802.16 για δίκτυα WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Κύριος στόχος του WiMAX είναι να επιτύχει διαλειτουργικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο για μικροκυματική πρόσβαση. Το 2001, όταν εκδόθηκε το πρώτο σχέδιο του IEEE 802.16, όριζε το ευρύ φάσμα των 10-66GHz για τις επικοινωνίες. Κατόπιν, δημοσιεύτηκε ένα υποσύνολο του φάσματος για διαλειτουργικότητα. Στις σταθερές επικοινωνίες αφιερώθηκαν οι ζώνες 3.5 και 5.8GHz, ενώ στις κινητές επικοινωνίες ανατέθηκαν οι ζώνες 2.3, 2.5 και 3.5GHz. Τα φάσματα των 2.3, 2.5, 3.5GHz είναι αδειοδοτημένα, ενώ των 5.8GHz είναι μη αδειοδοτημένο. Το WiMAX παρέχει ρυθμούς δεδομένων μέχρι 70Mbps και απόσταση κάλυψης ως 48km. Ωστόσο, η κάλυψη και η ταχύτητα του δικτύου είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα το ένα προς το άλλο. Τα αδειοδοτημένα φάσματα επιτρέπουν μετάδοση υψηλότερης ισχύος και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, κάτι που τα καθιστά πιο κατάλληλα για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

Μερικές από τις εφαρμογές των έξυπνων δικτύων όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το WiMAX είναι: 1) Ασύρματα Αυτόματα Συστήματα Ανάγνωσης Μετρητών (WAMRS), 2) Τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (Real-time Pricing), 3) Ανίχνευση και αποκατάσταση διακοπής λειτουργίας.

Στα πλεονεκτήματα της σημερινής τεχνολογίας WiMAX συμπεριλαμβάνονται το μικρότερο κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας, η ομαλή επικοινωνία, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (ως τα 75Mbps), το επαρκές εύρος ζώνης και η επεκτασιμότητα.

Ένα από τα αρνητικά του WiMAX είναι ότι το εύρος ζώνης διαμοιράζεται με τους χρήστες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι συχνότητες πάνω από 10GHz δεν μπορούν να διαδοθούν μέσω εμποδίων. Έτσι, ειδικά για αστικές περιοχές, οι χαμηλότερες συχνότητες είναι πιο χρήσιμες, όμως έχουν ήδη αδειοδοτηθεί. Άρα, ο πιο πιθανός τρόπος να χρησιμοποιήσουν οι πάροχοι των έξυπνων δικτύων αυτή την τεχνολογία είναι να τη μισθώσουν από άλλον. Επίσης, το WiMAX παρουσιάζει ασυμμετρία των ταχυτήτων στις ζεύξεις ανόδου και καθόδου, ενώ το trade off μεταξύ απόστασης και ρυθμού μετάδοσης αποτελεί μια ακόμη αδυναμία.

2.4.1.3 Κυψελωτές Επικοινωνίες (Cellular network Communication)

Το υπάρχον δίκτυο κυψελωτών επικοινωνιών είναι μια καλή επιλογή τόσο για την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, όσο και μεταξύ απομακρυσμένων κόμβων. Χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή επικοινωνιών, οι επιχειρήσεις αποφεύγουν σημαντικό κόστος και χρόνο που θα απαιτούνταν για τη δημιουργία μιας νέας και αποκλειστικής υποδομής.

Οι 3G (3rd Generation) / 4G (4th Generation) τεχνολογίες λειτουργούν στο φάσμα 824-894MHz/1900MHz, που είναι οι αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων. Οι ρυθμοί μεταφοράς

δεδομένων αυτής της τεχνολογίας έχουν βελτιωθεί τελευταία, αλλά η απόσταση κάλυψης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της κυψελωτής υπηρεσίας. Η τοπολογία του δικτύου αποτελείται από κυψέλες, οι οποίες καλύπτουν μια ευρεία περιοχή και εξυπηρετούνται η καθεμία από τουλάχιστον ένα ασύρματο πομπό χαμηλής ισχύος, γνωστό ως σταθμό βάσης. Κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί διαφορετικό σύνολο συχνοτήτων από τις γειτονικές της, ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή και να παρέχεται εγγυημένο εύρος ζώνης εντός των ορίων της.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, το σημαντικότερο είναι ότι τα κυψελωτά δίκτυα υπάρχουν ήδη. Έτσι, όπως έχει αναφερθεί, οι πάροχοι δε θα επιβαρυνθούν με κόστος κατασκευής. Επίσης, παρέχεται επαρκές εύρος ζώνης για αρκετές από τις εφαρμογές, ενώ με την πρόσφατη ανάπτυξη στις 3G / 4G τεχνολογίες, ο ρυθμός δεδομένων και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) βελτιώνονται πολύ γρήγορα.

Από την άλλη, μερικές κρίσιμες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων χρειάζονται αδιάλειπτη διαθεσιμότητα επικοινωνιών. Ωστόσο, το κυψελωτό δίκτυο θα χρησιμοποιείται παράλληλα και από την αγορά των καταναλωτών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση του δικτύου ή μείωση της επίδοσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ακόμη, οι κυψελωτές επικοινωνίες είναι πιθανόν ακατάλληλες για εφαρμογές που σχετίζονται με πολλά δεδομένα και απαιτούν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης.

2.4.1.4 ZigBee

Το ZigBee είναι μια αξιόπιστη, αποτελεσματική ως προς το κόστος, ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών, σχετικά χαμηλή σε κατανάλωση ισχύος, ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, κόστος εφαρμογής και πολυπλοκότητα. Είναι ιδανική τεχνολογία για έξυπνο φωτισμό, παρακολούθηση της ενέργειας, οικιακό αυτοματισμό κλπ. Το ZigBee και το ZigBee Smart Energy Profile (SEP) έχουν αναγνωριστεί ως τα πιο κατάλληλα πρότυπα για εφαρμογές έξυπνου δικτύου στον οικιακό τομέα. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ζώνη των 868MHz στην Ευρώπη, 915MHz στην Βόρεια Αμερική και 2.4GHz παγκοσμίως. Στη ζώνη των 2.4GHz, που λειτουργούν πιο συχνά οι πομποδέκτες, έχει 16 κανάλια εύρους 5MHz το καθένα και χρησιμοποιεί την OQPSK τεχνική διαμόρφωσης. Επιλέγεται αυτό το σχήμα, που είναι μια παραλλαγή της κλασικής QPSK, επειδή απαιτεί λιγότερη ισχύ συγκριτικά με παρόμοια σχέδια διαμόρφωσης, ενώ επιτυγχάνει την ίδια ή καλύτερη απόδοση (throughput). Το ZigBee προσφέρει ρυθμούς δεδομένων 20-250Kbps και κάλυψη 10-100m.

Θεωρείται πολύ καλή επιλογή για μετρήσεις (metering) και διαχείριση ενέργειας και είναι ιδανικό για εφαρμογές έξυπνων δικτύων χάρη στην απλότητα, την κινητικότητα που παρέχει, την ευρωστία, τις χαμηλές απαιτήσεις εύρους ζώνης, τη λειτουργία του σε μη αδειοδοτημένο φάσμα και την ευκολία εφαρμογής του.

Υπάρχουν, όμως, κάποιοι περιορισμοί στη χρήση του ZigBee σε πρακτικές εφαρμογές, όπως οι μικρές ικανότητες επεξεργασίας, το μικρό μέγεθος μνήμης, οι μικρές απαιτήσεις καθυστέρησης και οι παρεμβολές από άλλες συσκευές που μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης.

2.4.1.5 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks – WMN)

Ένα δίκτυο πλέγματος (mesh network) είναι ένα ευέλικτο δίκτυο αποτελούμενο από μια ομάδα κόμβων, όπου νέοι κόμβοι μπορούν να ενταχθούν στην ομάδα και κάθε κόμβος μπορεί να δράσει ως ανεξάρτητος δρομολογητής. Τα WMN συχνά αποτελούνται από πελάτες πλέγματος (mesh clients), δρομολογητές πλέγματος (mesh routers) και πύλες. Οι πελάτες είναι συχνά φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές, ενώ οι δρομολογητές πλέγματος προωθούν κίνηση από και προς τις πύλες, οι οποίες μπορούν, αλλά δεν είναι απαραίτητο, να είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Η περιοχή κάλυψης των ραδιοκόμβων, που λειτουργεί ως ένα ενιαίο δίκτυο, καλείται μερικές φορές σύννεφο πλέγματος. Τα δίκτυα αυτά είναι αξιόπιστα και προσφέρουν πλεονασμό. Αυτού του είδους τα δίκτυα έχουν, επίσης, την ιδιότητα της αυτό-θεραπείας, που επιτρέπει στα σήματα επικοινωνιών να βρίσκουν εναλλακτική διαδρομή μέσω των ενεργών κόμβων, σε περίπτωση που οποιοσδήποτε κόμβος εγκαταλείψει το δίκτυο.

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος και τα δίκτυα χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού (low-power and low-rate, LPLR) παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνιακή υποδομή των έξυπνων δικτύων. Τα WMN, αρχικά σχεδιασμένα για επικοινωνία σε επίπεδο κοινότητας ή γειτονιάς, θεωρούνται μία από τις προβλεπόμενες προσεγγίσεις για να υποστηρίξουν τα έξυπνα δίκτυα. Βασίζονται κυρίως στο πρότυπο IEEE 802.11 για να παρέχουν αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική δικτύωση πλέγματος, με εύκολη εγκατάσταση και εφαρμογή και αποτελούν μια προσιτή επένδυση. Μπορούν να διαχειρίζονται αποδοτικά εφαρμογές των έξυπνων δικτύων, ταυτόχρονα με άλλες χρήσεις που δεν αφορούν έξυπνα δίκτυα. Από την άλλη, τα LPLR δίκτυα εφαρμόζουν, γενικά, το πρότυπο IEEE 802.15.4 και αποτελούνται από πολυάριθμες συσκευές, οι οποίες είναι βασισμένες σε αισθητήρες.

2.4.1.6 Δορυφορικές επικοινωνίες

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια καλή λύση για τον απομακρυσμένο έλεγχο και την παρακολούθηση, αφού παρέχουν παγκόσμια κάλυψη και γρήγορη εγκατάσταση. Σε ορισμένα σενάρια όπου δεν υπάρχει υποδομή επικοινωνίας, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένους υποσταθμούς και παραγωγή, οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση. Τέτοιου είδους επικοινωνία μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί και απαιτεί μόνο την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού δορυφορικής επικοινωνίας. Εδώ ας σημειωθεί ότι ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ήδη εγκαταστήσει τέτοιον εξοπλισμό για την παρακολούθηση των αγροτικών υποσταθμών.

Επιπλέον, μια αποκλειστικά επίγεια αρχιτεκτονική είναι ευάλωτη σε καταστροφές ή βλάβες του συστήματος επικοινωνίας. Κατά συνέπεια, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία και η παράδοση της κρίσιμης κίνησης δεδομένων σε περιπτώσεις καταστροφών ή βλαβών του επίγειου συστήματος επικοινωνιών, οι δορυφόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρικό σύστημα για τα υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειθούν και τα μειονεκτήματα των δορυφορικών επικοινωνιών, καθώς υπάρχουν δυο σημαντικές αδυναμίες. Πρώτον, ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας έχει σημαντικά υψηλότερη καθυστέρηση από αυτή ενός επίγειου συστήματος. Αυτό καθιστά κάποια πρωτόκολλα π.χ. TCP, τα οποία είχαν αρχικά σχεδιαστεί

για επίγεια επικοινωνία, ακατάλληλα για τις δορυφορικές επικοινωνίες. Δεύτερον, τα χαρακτηριστικά ενός δορυφορικού καναλιού ποικίλλουν ανάλογα με την επίδραση της εξασθένησης και τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό την επίδοση ολόκληρου του συστήματος επικοινωνίας.

2.4.1.7 Άλλες πιθανές Ασύρματες Τεχνολογίες

i) Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)

Το πρότυπο 802.20 για MBWA παρέχει υψηλό εύρος ζώνης, μεγάλη κινητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση (latency) στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων κάτω από τα 3.5GHz, χρησιμοποιώντας τα θετικά χαρακτηριστικά των IEEE 802.11 WLANs και IEEE 802.16 WMANs. Είναι επίσης γνωστό ως MobileFi. Προσφέρει σε πραγματικό χρόνο μέγιστο ρυθμό δεδομένων από 1Mbps έως 20Mbps. Αυτό το πρότυπο βελτιστοποιείται για να παρέχει πλήρη κινητικότητα μέχρι και ταχύτητα οχημάτων των 250km/h.

Το IEEE 802.20 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές έξυπνων δικτύων, όπως ευρυζωνική επικοινωνία για plug-in ηλεκτρικά οχήματα, για απεικόνιση ή στα συστήματα SCADA. Καθώς, όμως, είναι μία νέα αναδυόμενη τεχνολογία, δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμες υποδομές επικοινωνίας για αυτή και, επί του παρόντος, η χρήση της μπορεί να είναι μια δαπανηρή επιλογή.

ii) Ψηφιακή Τεχνολογία Μικροκυμάτων (Digital Microwave Technology)

Η τεχνολογία αυτή λειτουργεί στην αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων των 2-40GHz και παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων έως 155Mbps. Η μικροκυματική τεχνολογία προσφέρει κάλυψη πολύ μεγάλων αποστάσεων, ως 60km. Δέχεται δεδομένα από τη θύρα Ethernet ή ATM και τα μεταφέρει στην άλλη σαν μικροκύματα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα έξυπνα δίκτυα για να υποστηρίξει επικοινωνία σημείου προς σημείο, αλλά είναι επιρρεπής σε δυο είδη εξασθένησης σήματος, παρεμβολές λόγω πολλαπλών διαδρομών (multipath interference) και λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Τέλος, η κρυπτογράφηση, για λόγους ασφαλείας, μπορεί να επιφέρει πρόσθετη καθυστέρηση καθώς χρειάζεται μεγαλύτερου μεγέθους μηνύματα.

iii) Ελεύθερου χώρου οπτική επικοινωνία (Free-space optical communication)

Η οπτική επικοινωνία ελεύθερου χώρου είναι μια τεχνολογία οπτικής επικοινωνίας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει το φως που μεταδίδεται στον ελεύθερο χώρο για τη μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο. Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης με χαμηλό ρυθμό σφαλμάτων bit. Επιπρόσθετα, είναι πολύ ασφαλής λόγω της υψηλής κατευθυντικότητας και της στενότητας των ακτινών. Πέρα από την παροχή μεγάλων αποστάσεων σημείου-προς-σημείο επικοινωνίας σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές, οι ασύρματες οπτικές τεχνολογίες παρέχουν επίσης λύσεις σημείου-προς-σημείο για χρήση σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, όπου οι λύσεις μικροκυμάτων δεν είναι πρακτικές από τη σκοπιά της παρεμβολής. Ωστόσο, η οπτική επικοινωνία ελεύθερου χώρου, όπως και

η τεχνολογία μικροκυμάτων, είναι τεχνολογίες οπτικής επαφής (line-of-sight, LOS). Ως εκ τούτου, τα χαρακτηριστικά και η ποιότητα της επικοινωνίας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα εμπόδια (π.χ. από κτήρια και λόφους) και από περιβαλλοντικούς περιορισμούς (π.χ. βροχή).

iv) Bluetooth

Το Bluetooth συμπεριλαμβάνεται στο πρότυπο IEEE 802.15.1 για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (wireless personal area network- WPAN). Είναι πρότυπο χαμηλής ισχύος και μικρού εύρους φάσματος. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ISM ζώνη των 2.4-2.4835GHz και παρέχει ρυθμό μεταφοράς 721Kbps. Οι συσκευές με ρύθμιση Bluetooth αποτελούνται από την πλήρη δομή 7 επιπέδων κατά OSI. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να διευκολύνει τόσο την επικοινωνία σημείου προς σημείο, όσο και σημείου προς πολλαπλά σημεία. Ανάλογα με τη ρύθμιση παραμέτρων της επικοινωνίας, προσφέρει κάλυψη μεταξύ 1m-100m. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τοπικές, online εφαρμογές απεικόνισης ως μέρος των συστημάτων αυτοματισμού των υποσταθμών.

Οι συσκευές αυτές επηρεάζονται πολύ από τριγύρω επικοινωνιακές ζεύξεις και μπορεί να παρεμβάλουν με τα, βασισμένα στο IEEE 802.11, ασύρματα LAN δίκτυα. Γενικά, το Bluetooth προσφέρει ασθενή ασφάλεια συγκριτικά με άλλα πρότυπα.

Πίνακας 2-1 Ασύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνιών για τα Έξυπνα Δίκτυα

Ασύρματη Τεχνολογία	Ρυθμός Δεδομένων	Κάλυψη (προσεγγιστικά)	Πιθανές Εφαρμογές σε Έξυπνα Δίκτυα
Ασύρματα LAN	1-54Mbps	100m	Προστασία και αυτοματισμός της διανομής
WiMAX	70Mbps	48km	WMAR (Wireless Automatic Meter Reading)
Κυψελωτές	60-240Kbps	10-50km	SCADA και παρακολούθηση απομακρυσμένης διανομής
ZigBee	20-250Kbps	10-100m	Άμεσος έλεγχος φορτίου οικιακών συσκευών
MobileFi	20Mbps	Vehicular Std.	Επικοινωνία για PEVs και απομακρυσμένη παρακολούθηση
Digital Microwave	155Mbps	60km	Transfer trip (point-to-point)
Bluetooth	721Kbps	1-100m	Τοπικές εφαρμογές online παρακολούθησης

2.4.2 Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wireline/Wired Technologies)

Οι ενσύρματες τεχνολογίες, όπως οι οπτικές ίνες και το BPL (Broadband over Power lines), μπορεί να προτιμηθούν από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όταν είναι ήδη διαθέσιμες στις εξυπηρετούμενες περιοχές και όταν μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις επίδοσης. Βέβαια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή επικοινωνιακών δικτύων και αφιερωμένα καλώδια που είναι διαφορετικά από τις ηλεκτρικές γραμμές. Αυτά τα ειδικά αφιερωμένα δίκτυα απαιτούν επιπλέον επένδυση για την εγκατάσταση των καλωδίων, αλλά μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερη καθυστέρηση για την επικοινωνία.

Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται, τα ενσύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν τα SONET/SDH, Ethernet, DSL και ομοαξονικού καλωδίου δίκτυα πρόσβασης.

Το DSL και τα ομοαξονικά καλώδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Η προς το παρόν διαθέσιμη τεχνολογία επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μέσω DSL και ομοαξονικών καλωδίων με ρυθμό ως 10Mbps.

Οι τεχνολογίες οπτικών ινών και οπτικών δικτύων, όπως η επόμενη γενιάς Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση και Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (SONET/SDH), είναι ικανές να παρέχουν διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων στα επίπεδα πρόσβασης, συγκέντρωσης και πυρήνα, οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ 155Mbps και 160Gbps. Προσφέρουν πλατφόρμες που παρέχουν πολλαπλές υπηρεσίες, οι οποίες υποστηρίζουν εφαρμογές IP και Ethernet. Ως αποτέλεσμα της απλότητας του Ethernet και της αποδοτικότητάς του σχετικά με το κόστος, η υιοθέτηση του IP με MPLS (MultiProtocol Label Switching) για την επίτευξη μεταφοράς πάνω από SONET/SDH στα υπάρχοντα δίκτυα μεταγωγής πακέτων (γνωστά ως carrier Ethernet) θα ενισχύσει την αξιοπιστία, την ποιότητα υπηρεσίας και την ασφάλεια για τις κρίσιμες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων. Το Ethernet είναι σήμερα σε θέση να προσφέρει ταχύτητες ενός Gbps στο Gigabit Ethernet (GbE) και 10 Gbps στο 10GbE. Τα αναδυόμενα 40GbE/100GbE με άφθονη χωρητικότητα θα είναι επωφελή για τη συνολική κίνηση δεδομένων στο έξυπνο δίκτυο.

Ομοίως, τα Ethernet και Gigabit παθητικά οπτικά δίκτυα (EPON/GPON) χρησιμοποιούν οπτικές-ηλεκτρικές προσεγγίσεις για την παροχή επαρκούς χωρητικότητας για την παράδοση μεγάλων δεδομένων, καθώς και υψηλής ταχύτητας μετάδοσης στα δίκτυα πρόσβασης. Εκμεταλλεύονται την πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing - WDM). Η χρήση διαφορετικών μηκών κύματος, τόσο για την κίνηση ανόδου (upstream) όσο και καθόδου (downstream), επιτρέπει μεγάλη ευελιξία στη δρομολόγηση και μεταγωγή οπτικών σημάτων.

2.4.2.1 Powerline Communication (PLC)

Ο σκοπός της τεχνικής αυτής ήταν να χρησιμοποιήσει τις ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς ως επικοινωνιακό μέσο ώστε να παρέχει ένα δίκτυο επικοινωνιών όπως το Διαδίκτυο, αλλά ταυτόχρονα να υποστηρίζει τις κλασικές υπηρεσίες που σχετίζονται με τη διανομή ενέργειας, π.χ. έλεγχο φορτίου και απομακρυσμένη ανάγνωση μετρητών. Η τεχνολογία PLC, στην οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο, ουσιαστικά περιλαμβάνει το δίκτυο μεταφοράς μέσης τάσης (MT) καθώς και το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (XT). Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο PLC είναι κυρίως στενού εύρους ζώνης (narrowband -NB) που λειτουργούν σε χαμηλές συχνότητες (μερικά kHz) και ευρυζωνικές (broadband - BB) που λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (εκατοντάδες MHz). Τα σήματα δεδομένων μεταδίδονται με υψηλή ταχύτητα (2-3Mbps) μέσω του PLC. Σε ένα τυπικό PLC δίκτυο, οι έξυπνοι μετρητές συνδέονται στο συγκεντρωτή δεδομένων μέσω ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς και τα δεδομένα μεταφέρονται στο κέντρο δεδομένων με τεχνολογίες κυψελωτών δικτύων. Για παράδειγμα, οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή, όπως ένας έξυπνος μετρητής με βάση πομποδέκτη, μπορεί να συνδεθεί στη γραμμή μεταφοράς και να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει τα δεδομένα των μετρήσεων σε μια κεντρική τοποθεσία. Τα πρωτόκολλα πρόσβασης μέσου που χρησιμοποιούνται στην PLC υποδομή βασίζονται στις τοπολογίες master-slave αστέρα, δακτυλίου με σκυτάλη, αρτηρίας με TDM και την Aloha ή CSMA-CD τεχνική.

Το PLC μπορεί να θεωρηθεί μια υποσχόμενη τεχνολογία για τις εφαρμογές των έξυπνων δικτύων εξαιτίας του γεγονότος ότι η υπάρχουσα υποδομή μειώνει το κόστος εγκατάστασης

μιας επικοινωνιακής υποδομής. Οι προσπάθειες προτυποποίησης στα PLC δίκτυα, η αποδοτικότητα ως προς το κόστος, η παρουσία τους παντού και η ευρέως διαθέσιμη υποδομή των PLC είναι οι λόγοι που το κάνουν δυνατό και δημοφιλές. Βέβαια, το στοιχείο της ασφάλειας είναι κρίσιμο. Η εμπιστευτικότητα, ο έλεγχος ταυτότητας-αυθεντικότητας, η ακεραιότητα, η παρέμβαση του χρήστη είναι μερικά από τα κρίσιμα θέματα στις επικοινωνίες των έξυπνων δικτύων.

Η χρήση σε οικιακά δίκτυα (HAN) είναι η μεγαλύτερη εφαρμογή για την PLC τεχνολογία. Ακόμη, μπορεί να φανεί κατάλληλη σε αστικές περιοχές για εφαρμογές όπως έξυπνες μετρήσεις, παρακολούθηση και έλεγχος, μιας και η PLC υποδομή καλύπτει ήδη τις περιοχές που είναι στο εύρος της επικράτειας υπηρεσιών των εταιριών κοινής ωφελείας.

Παρόλα αυτά, το PLC αντιμετωπίζει προβλήματα εξασθένησης, θορύβου και παραμόρφωσης, που συναντώνται στις RF επικοινωνίες όταν υλοποιούνται μέσω των καλωδίων ηλεκτρικής ενέργειας. Μιας και οι ηλεκτρικές γραμμές δεν είχαν αρχικά σχεδιαστεί για μετάδοση δεδομένων, πρέπει να αντιμετωπιστεί ένας αριθμός σημαντικών θεμάτων και προκλήσεων στο PLC.

- Διαφορετική αντίσταση και κατάσταση καναλιού
- Μη-λευκός θόρυβος στη φύση
- Εξασθένηση εξαρτώμενη από τη συχνότητα που σχετίζεται με τη θέση των εξόδων (outlets), τις γεωγραφικά διαφορετικές δομές καλωδίωσης και τον αριθμό/τύπο των συνδεδεμένων ηλεκτρικών συσκευών
- Αλλαγή φάσης (από μονοφασική σε τριφασική και vice versa) μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών αρχιτεκτονικών.

Γενικά, οι ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς ως μέσο μετάδοσης είναι αντίξοο και θορυβώδες περιβάλλον που κάνει δύσκολη τη μοντελοποίηση του καναλιού. Το χαρακτηριστικό του χαμηλού εύρους ζώνης (20Kbps για δίκτυα σε επίπεδο γειτονιάς (Neighborhood area networks) περιορίζει την PLC τεχνολογία ως προς τις εφαρμογές που χρειάζονται μεγαλύτερο εύρος. Επιπλέον, η τοπολογία του δικτύου, ο αριθμός και τύπος των συνδεδεμένων συσκευών στις ηλεκτρικές γραμμές, η απόσταση καλωδίωσης μεταξύ πομπού και δέκτη, όλα επηρεάζουν δυσμενώς την ποιότητα του σήματος που μεταδίδεται πάνω από τις γραμμές. Η ευαισθησία του PLC στις διαταραχές και η εξάρτηση από την ποιότητα του σήματος είναι τα μειονεκτήματα που το καθιστούν ακατάλληλο για μεταφορά δεδομένων. Ωστόσο, έχουν προταθεί υβριδικές λύσεις στις οποίες η PLC τεχνολογία συνδυάζεται με άλλες, δηλαδή GPRS ή GSM, για την παροχή πλήρους συνδεσιμότητας.

2.4.2.2 Digital Subscriber Lines (DSL)

Πρόκειται για μια τεχνολογία υψηλής ταχύτητας μεταφοράς ψηφιακών δεδομένων που χρησιμοποιεί τα καλώδια του τηλεφωνικού δικτύου. Η ήδη υπάρχουσα υποδομή των DSL γραμμών μειώνει το κόστος εγκατάστασης. Έτσι, πολλές επιχειρήσεις επιλέγουν το DSL για τα έργα των έξυπνων δικτύων τους. Ωστόσο, η απόδοση (throughput) της DSL σύνδεσης εξαρτάται από το πόσο μακριά είναι ο συνδρομητής από το τηλεφωνικό κέντρο που τον εξυπηρετεί και κάτι τέτοιο δυσκολεύει τον χαρακτηρισμό της επίδοσης της DSL τεχνολογίας.

Η ευρεία διαθεσιμότητα, το χαμηλό κόστος και η υψηλού εύρους μετάδοση δεδομένων αποτελούν τους πιο σημαντικούς λόγους που θέτουν το DSL στις πρώτες θέσεις των υποψήφιων τεχνολογιών για τους παρόχους ηλεκτρισμού στην εφαρμογή της ιδέας των έξυπνων δικτύων.

Από την άλλη, η αξιοπιστία και ο πιθανός χρόνος μη-λειτουργίας της DSL τεχνολογίας πιθανόν να μην είναι αποδεκτοί για κρίσιμες εφαρμογές. Η εξάρτηση από την απόσταση και η έλλειψη προτυποποίησης μπορεί να προκαλέσουν επιπλέον προβλήματα. Τα επικοινωνιακά συστήματα που βασίζονται σε DSL απαιτούν την εγκατάσταση και τακτική συντήρηση καλωδίων και συνεπώς δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αγροτικές περιοχές εξαιτίας του κόστους εγκατάστασης καθορισμένης υποδομής για περιοχές χαμηλής πυκνότητας.

Πίνακας 2-2 Συγκριτικός Πίνακας Τεχνολογιών Έξυπνου Δικτύου

Microwave 5.8, 6, 11, 18, 23, 60-80 GHz	WiMAX (802.16 d/e/m)	Mesh (802.11 ή 802.16)	LTE
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ			
Υψηλής χωρητικότητας point-to-point ασύρματη μεταφορά για τα τμήματα backhaul ή backbone των τηλ/κών συστημάτων	Wireless metropolitan area network (MAN), περιλαμβάνοντας ASN και CSN	Το ασύρματο δίκτυο πλέγματος εξωτερικού χώρου (WMN) είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας που απαρτίζεται από ραδιοκόμβους οργανωμένους σε μια τοπολογία πλέγματος	Βελτιώσεις στην 3G UMTS κινητή δικτύωση, βελτιωμένες υπηρεσίες πολυμέσων
ΠΡΟΤΥΠΑ			
FCC Part 101, Part 15	IEEE 802.16d-2004, 802.16e-2005, 802.16m	IEEE 802.11, 802.16, λειτουργώντας βάσει των κανόνων FCC Part 15	3GPP Release 9
ΧΡΗΣΗ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ			
Backhaul και backbone μεταφορά για διάφορες εφαρμογές όπως SCADA, AMI, Αυτοματισμός Διανομής και Απόκριση Ζήτησης	AMI Backhaul, SCADA Backhaul, Απόκριση ζήτησης, Mobile Workforce, Επιτήρηση μέσω βίντεο	Last-mile σύνδεση πρόσβασης στους κόμβους σπιτιών και κτηρίων, AMI backhaul, αυτοματισμός διανομής, απόκριση ζήτησης, απομακρυσμένη παρακολούθηση	AMI Backhaul, SCADA Backhaul, Απόκριση Ζήτησης, Mobile Workforce, Επιτήρηση μέσω βίντεο
ΚΥΡΙΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ			
Μεγάλο εύρος διαθέσιμων χωρητικότητας, συχνοτήτων, ρυθμίσεων. Πλήρως κατανοητά μοντέλα εγκατάστασης. Μεγάλη ασφάλεια	Αυξημένη αξιοπιστία και ασφάλεια. Απλό, επεκτάσιμο δίκτυο. Μεγάλη εμβέλεια. Πιο γρήγορες ταχύτητες από το 3G. Ποικιλία εξοπλισμού (CPE) και σχεδίων πύλης/σταθμού βάσης.	Σύνδεση μη-οπτικής επαφής. Συνδέσεις MIMO. Εύκολη επέκταση. Ο σχεδιασμός πλέγματος επιτρέπει καλύτερη κάλυψη γύρω από εμπόδια ή σε περίπτωση βλάβης κόμβου. Εύκολη, γρήγορη, οικονομικά αποδοτική εγκατάσταση. Ασφάλεια και κρυπτογράφηση δεδομένων	Χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή χωρητικότητα. Πλήρως ενσωματωμένο με το 3GPP, συμβατό με προηγούμενες 3GPP εκδόσεις. Πλήρης κινητικότητα για βελτιωμένες υπηρεσίες πολυμέσων. Χαμηλή κατανάλωση ισχύος
ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ			
Μόνο point-to-point συνδέσεις. Συμφόρηση συχνοτήτων σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ενδεικνύεται κυρίως για υψηλής χωρητικότητας, πλήρως αμφίδρομες εφαρμογές	Υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Ευάλωτα ως προς την ασφάλεια. Trade-off μεταξύ υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης και μεγαλύτερων αποστάσεων. Ασύμμετρες ταχύτητες άνω και κάτω ζεύξης. Το εύρος ζώνης διαμοιράζεται μεταξύ των χρηστών. Ανταγωνισμός με τα μελλοντικά 4G πρότυπα για υψηλής χωρητικότητας δίκτυα.	Αυξημένη καθυστέρηση λόγω των πολλαπλών διαδρομών. Αυξημένη πολυπλοκότητα των πρωτοκόλλων (MAC, δρομολόγησης, διαχείρισης, ασφάλειας). Η αρχιτεκτονική πλέγματος αυξάνει το κόστος και την πολυπλοκότητα του δικτύου με κάθε επιπρόσθετο κόμβο	Μη διαθέσιμο σε αρκετές αγορές/ ακόμα σε φάση αξιολόγησης σε άλλες. Υψηλό κόστος εξοπλισμού. Ασαφής ακόμα διαφοροποίηση των προμηθευτών. Έλλειψη πείρας στο σχεδιασμό LTE δικτύων. Πρόσβαση των εταιριών κοινής ωφέλειας στο φάσμα.

3G Cellular	PLC	WLAN (802.11b/g/n)	Zigbee (802.15.4)
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ			
Το 3G περιλαμβάνει ευρείας ζώνης ασύρματη σύνδεση, τηλεφώνου, βιντεοκλήσεων και ασύρματη μεταφορά δεδομένων, όλα σε ένα κινητό περιβάλλον	Συστήματα για τη μεταφορά δεδομένων σε έναν αγωγό που χρησιμοποιείται επίσης για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας	Ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) εσωτερικού χώρου, οικιακά δίκτυα (HAN)	Χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος, ασύρματο πρότυπο πλέγματος για ασύρματα οικιακά δίκτυα (WHANs) ή δίκτυα PAN
ΠΡΟΤΥΠΑ			
UM, SDMA2000, EV-DO, EDGE	Διάφορα ανταγωνιστικά: G.hn/G.9960. IEEE 1901	IEEE 802.11b/g/n. Το IEEE Working group παρέχει υποστήριξη και ενημερώσεις	IEEE 802.15.4. Η ZigBee Alliance διατηρεί το πρότυπο
ΧΡΗΣΗ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ			
AMI Backhaul, Δίκτυα Επικοινωνιών, Mobile Workforce	Αυτοματισμός υποσταθμού, AMI Backhaul, Απομακρυσμένη παρακολούθηση, Αυτοματισμός διανομής	Οικιακή δικτύωση, οικιακός αυτοματισμός	Οικιακό δίκτυο για τη διαχείριση και παρακολούθηση της ενέργειας. Έξυπνοι μετρητές. Έξυπνος φωτισμός, συσκευές και ηλεκτρονικός εξοπλισμός
ΚΥΡΙΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ			
Ευρέως αναπτυγμένη, σταθερή και ώριμη τεχνολογία. Προτυποποιημένη. Χαμηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή δικτύου. Μεγαλύτερη κάλυψη. Μεγάλη επιλογή προμηθευτών	Χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα δίκτυα των αγωγών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία φτάνουν ως τα αστικά κέντρα, κτήρια, επιχειρήσεις κ.τ.λ.	Χαμηλού κόστους chip sets - οικονομικές συσκευές καταναλωτών. Ευρέως διαδεδομένη χρήση και τεχνολογία - χαμηλού κόστους εγκατάσταση. Ευσταθή και ώριμα πρότυπα	Χαμηλό κόστος. Χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Αυτό-οργάνωση δικτύου πλέγματος - ασφαλής, αξιόπιστη δικτύωση. Χαμηλοί ρυθμοί δεδομένων - το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό χρηστών
ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ			
Ανάγκη πύργων/σταθμών βάσης. Μη κάλυψη ορισμένων απομακρυσμένων περιοχών. Η τεχνολογία είναι σε φάση μετάβασης προς το LTE. Μη κατάλληλη για εφαρμογές πολλών δεδομένων/ υψηλού εύρους. Τα δημόσια κυψελωτά δίκτυα δεν είναι σταθερά/ασφαλή για κρίσιμες εφαρμογές	Ο εξειδικευμένος εξοπλισμός παραμένει υψηλού κόστους. Ανήκουν σε εταιρίες που μπορεί να προτιμήσουν οπτικές ίνες ή μικροκύματα και να πουλήσουν/ μισθώσουν την πλεονάζουσα χωρητικότητα. Τα πρότυπα σε φάση προσχεδίου. Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή	Η μικρή κάλυψη και οι μικρές αποστάσεις περιορίζουν την ευρεία χρήση. Προκύπτουν θέματα ασφάλειας με τα πολλαπλά δίκτυα που λειτουργούν σε ίδιες τοποθεσίες	Οι προδιαγραφές για την έξυπνη ενέργεια είναι ακόμα υπό ανάπτυξη. Ο κατασκευαστής πρέπει να συμμετάσχει στη ZigBee Alliance

Microwave 5.8, 6, 11, 18, 23, 60-80 GHz	WiMAX (802.16 d/e/m)	Mesh (802.11 ή 802.16)	LTE
ΓΕΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ			
Point-to-point ασύρματη μεταφορά για φωνή, δεδομένα, βίντεο κ.τ.λ. για διάφορες ?? Δικτύου περιλαμβάνοντας RAN (Radio access network), WAN, backhaul, backbone κ.τ.λ.	Ευρυζωνική κινητή ή οικιακή συνδεσιμότητα σε ολόκληρες πόλεις ή χώρες (εναλλακτικά του GSM, CDMA). Οικονομικά αποδοτική εξυπηρέτηση αραιοκατοικημένων περιοχών. Triple play διανομή - ευρυζωνικό internet, VoIP και IPTV υπηρεσίες	Δημοφιλής τεχνολογία για last mile, ευρυζωνική πρόσβαση σε δημοτικές και αγροτικές περιοχές. Τα δίκτυα πλέγματος προσφέρουν βελτιωμέ-νη αξιοπιστία και επεκτασιμότητα. Μπορούν να υπερτεθούν ή να αντικαταστήσουν τα copper-DSL και FTTH	Δίκτυο επόμενης γενιάς για κινητές τηλεπικοινωνίες παρέχοντας υψηλή αποδοτικότητα φάσματος, πολύ χαμηλή καθυστέρηση, βελτιωμένη εμπειρία χρήστη
ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ			
5, 16, 06, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 18, 23, 26, 32, 38 GHz. E-band 70-80 GHz. Unlicensed: 2.4, 5.8 GHz	2.3, 2.5, 3.5 GHz αδειοδοτημένες ζώνες. Χρησιμοποιούνται επίσης τα 450 MHz, 700 MHz	900 MHz, 2.4 GHz, 5.8 GHz (μη αδειοδοτημένα)	700 MHz, AWS 1700/2100 MHz, IMT 2500 MHz, GSM 900 MHz, UMTS 1900/2100 MHz, GSM 1800 MHz, PCS 1900 MHz, Cellular 850 MHz
ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ			
5, 10, 20, 30, 40, 50, 80 MHz (ANSI/FCC)	Τυπική ανάθεση εύρους ζώνης καναλιού είναι τα 20 ή 25 MHz (Η.Π.Α) ή τα 28 MHz (Ευρώπη)	20 MHz για 802.11a/g 20/40 MHz για 802.1n	1.4, 3, 5, 10, 15 και 20 MHz, επεκτάσιμο εύρος ζώνης φέροντος, υποστηρίζει και FDD και TDD
ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΛΥΨΗΣ			
Εξαρτάται από τη συχνότητα και το έδαφος αλλά μπορούν να επιτευχθούν ζεύξεις σημείου-προς-σημείο έως 40 μίλια	3-4 μίλια. Μεγαλύτερες αποστάσεις μπορούν να καλυφθούν με χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων	Η κάλυψη στα σημεία πρόσβασης είναι όμοια με τα 802.11b/g/n. Η απόσταση μεταξύ των ραδιοκόμβων ποικίλει ανάλογα με τη συχνότητα και τις ζεύξεις οπτικής επαφής (0-15 μίλια) και μη οπτικής επαφής (0-3 μίλια)	Ακτίνα 2-3 μιλίων (αστική περιοχή) Ακτίνα 5-7 μιλίων (αγροτική περιοχή)
ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Χωρητικότητα/Ρυθμαπόδοση (ανά κανάλι, ανά πόλωση): τυπικά μέχρι 310/360 Mbps TDM/Ethernet Πάνω από 1Gbps χρησιμοποιώντας κάθετη πόλωση κ.τ.λ.	Τυπικά 4-16 Mbps	Οι ρυθμοί δεδομένων εξαρτώνται από την απόσταση της ζεύξης. Βέλτιστοι ρυθμοί δεδομένων όπως στο 802.11 b/g/n (54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6, 4.5, 3, 2.25, 1.5 Mbps). Μέχρι 300Mbps για εξωτερικούς χώρους	SISO μέγιστοι ρυθμοί της τάξης των 100 Mbps (DL), 50Mbps (UL). 2x2 MIMO: 172.8 (DL), 57,6 Mbps (UL). 4x4 MIMO: 326.4 Mbps (DL) 86.4 (UL)
ΚΟΣΤΟΣ			
Χαμηλό - Μέτριο. Μικρότερο κόστος σε σύγκριση με τις οπτικές ίνες με μεγαλύτερη ευκολία εγκατάστασης.	Μέτριο - Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες είναι σχετικά υψηλές, τα λειτουργικά έξοδα είναι χαμηλά. Οι τιμές των chip συνεχίζουν να πέφτουν	Μέτριο - Ώριμη τεχνολογία: Χαμηλές έως μέτριες κεφαλαιουχικές δαπάνες, ανάλογα με τη χωρητικότητα και τα προηγμένα χαρακτηριστικά QoS και δρομολόγησης. Το κόστος εγκατάστασης εξαρτάται από τον αριθμό κόμβων και πυλών.	Υψηλό - πρώιμο στάδιο έγκρισης στην τιμολόγηση για τον εξοπλισμό. Φάσμα δαπανηρό
ΩΡΙΜΟΤΗΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ			
Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν εγκαταστήσει δίκτυα μικροκυμάτων εδώ και δεκαετίες λόγω της υψηλής αξιοπιστίας τους και τις απαιτήσεις υψηλής επίδοσης δικτύου	Ώριμη. Πάνω από 500 εγκαταστάσεις παγκοσμίως. Έχει προταθεί το νέο 802.16m πρότυπο - μέχρι και 4 φορές γρηγορότερες ταχύτητες	Η τεχνολογία πλέγματος είναι μια ώριμη τεχνολογία με μεγάλη ποικιλία προμηθευτών και συσκευών. Ήδη χρησιμοποιείται ευρέως για εφαρμογές Έξυπνου Δικτύου	Επιδείξει της τεχνολογίας παγκοσμίως από το 2010. Οι υλοποιήσεις είναι επί του παρόντος σε δοκιμαστική φάση. Υλοποιήσεις μεγάλης κλίμακας μελλοντικά (2-3 χρόνια)

3G Cellular	PLC	WLAN (802.11 b/g/n)	Zigbee (802.15.4)
ΓΕΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ			
Κινητή τηλεφωνία, δυνατότητα σύνδεσης tablet για κλήσεις φωνής και βίντεο, πρόσβαση στο Internet και Mobile TV	Συστήματα για τη μεταφορά δεδομένων μέσω αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος για WAN εφαρμογές. Δημοφιλή στην Ευρώπη όπου ο σχεδιασμός των ηλεκτρικών δικτύων υποστηρίζει οικιακή πρόσβαση	Ασύρματη δικτύωση για LAN και WAN. Ευρέως χρησιμοποιούμενη για ασύρματα LAN εσωτερικού χώρου. Τα δίκτυα εξωτερικού χώρου εφαρμόζουν αρχιτεκτονική τύπου πλέγματος για πιο ελαστική κάλυψη	Συγκεκριμένες εφαρμογές ραδιοσυχνότητων που απαιτούν χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων, μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας και ασφαλή δικτύωση. ...
ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ			
GSM: 380 MHz - 1.9 GHz CDMA/EV-DO: 800 MHz ως 1.9 GHz	Τα RF κύματα ταξιδεύουν σε συχνότητες των 1.7-80 MHz. Οι περισσότεροι πάροχοι βασίζονται στο φάσμα 1-30MHz για BPL μετάδοση	Μη αδειοδοτημένα: 2.4 και 5 GHz DSSS, OFDM	ISM: 868MHz, 915MHz, 2.4GHz (unlicensed). Κωδικοποίηση DSSS
ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ			
GSM: 200 kHz CDMA: 1.23 MHz (1.25MHz για EV-DO)	Wide band: 1200 (Hz). Medium band: 600 (Hz)	20MHz για 802.11 a/g. 20/40 MHz για 802.1n	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΛΥΨΗΣ			
3-5 μίλια (λοφώδης έκταση) μέχρι 30-45 μίλια (επίπεδο έδαφος)	Αποστάσεις πάνω των 15 km μπορούν να επιτευχθούν πάνω από ένα δίκτυο μέσης τάσης.	Σε εσωτερικό χώρο: ως 100 m Σε εξωτερικό χώρο: ως 250 m	Μέχρι 50 μέτρα
ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
cdma2000/EVDO rev B: μέχρι 14.7Mbps HSPA+: έως 28Mbps (DL), 22Mbps (UL)	Οι ρυθμοί δεδομένων ποικίλουν ευρέως. Χαμηλής συχνότητας φέροντα (100-200kHz): λίγες εκατοντάδες bits/sec. Μεγαλύτεροι ρυθμοί δεδομένων σημαίνουν μικρότερη εμβέλεια	802.11b: μέχρι 11 Mbps 802.11a/g/h/j : μέχρι 54 Mbps 802.11n: >100 Mbps	20 ως 250kbps, ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων
ΚΟΣΤΟΣ			
Μέτριο - Υψηλό. Οι 3G υπολοίσεις θα επιβαρυνθούν με αυξανόμενες, επαναλαμβανόμενες δαπάνες ανά Mbyte	Υψηλό, ειδικά για εφαρμογές στην Αμερική όπου ο σχεδιασμός του δικτύου είναι ανεπαρκής για BPL συγκριτικά με την Ευρώπη.	Χαμηλό - Αναπτύσσεται και χρησιμοποιείται ευρέως στην αγορά	Χαμηλό - Αναπτύχθηκε ως χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος προϊόν για εφαρμογές μικρού εύρους ζώνης
ΩΡΙΜΟΤΗΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ			
Πολύ ώριμη τεχνολογία αλλά θα αντικατασταθεί σταδιακά από μελλοντικά πρότυπα όπως το LTE στα επόμενα χρόνια	Πιο δημοφιλής τεχνολογία στην Ευρώπη από ότι στην Β.Αμερική. Έχουν επιτυχώς χρησιμοποιηθεί για δεκαετίες τόσο μονόδρομα όσο και αμφίδρομα συστήματα	Το WiFi είναι μια ώριμη, αποδεδειγμένα διαλειτουργική τεχνολογία. Διαθέσιμη μεγάλη ποικιλία προμηθευτών και δομών τιμολόγησης	Αρκετά νέα τεχνολογία. Οι προδιαγραφές επικυρώθηκαν το 2004, συνεχιζόμενες προδιαγραφές ακόμα σε εξέλιξη

Κεφάλαιο 3:

Επικοινωνία μέσω γραμμής ρεύματος - Power Line Communication (PLC)

Η επικοινωνία μέσω γραμμής ρεύματος είναι ένα σύστημα για τη μεταφορά δεδομένων μέσω ενός αγωγού που χρησιμοποιείται επίσης για τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών PLC χρειάζεται για διαφορετικές εφαρμογές, που κυμαίνονται από αυτοματισμό σπιτιού μέχρι πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, διανέμεται μέσω της μέσης τάσης και χρησιμοποιείται στα κτήρια σε χαμηλή τάση. Οι περισσότερες τεχνολογίες PLC περιορίζονται σε ένα σύνολο καλωδίων (όπως καλωδίωση σε ένα μόνο κτήριο), αλλά ορισμένες μπορούν να διέλθουν μεταξύ δύο επιπέδων, για παράδειγμα να διασχίσουν το δίκτυο διανομής αλλά και την κτηριακή καλωδίωση. Συνήθως οι μετασχηματιστές εμποδίζουν τη μετάδοση του σήματος, το οποίο απαιτεί πολλαπλές τεχνολογίες ώστε να σχηματιστούν πολύ μεγάλα δίκτυα. Διάφοροι ρυθμοί δεδομένων και συχνότητες χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές περιπτώσεις.

Τα συστήματα PLC λειτουργούν εισάγοντας στο σύστημα καλωδίωσης ένα σήμα διαμορφωμένου φέροντος. Διαφορετικοί τύποι PLC χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά μετάδοσης σήματος του χρησιμοποιούμενου καλωδίου ρεύματος. Μιας και τα συστήματα διανομής ενέργειας προοριζόταν αρχικά για τη μετάδοση AC ρεύματος στις συχνότητες των 50 ή 60Hz, τα κυκλώματα ηλεκτρικών καλωδίων έχουν περιορισμένη ικανότητα να μεταφέρουν υψηλότερες συχνότητες. Το πρόβλημα της μετάδοσης είναι ένας περιοριστικός παράγοντας για κάθε τύπο επικοινωνίας PLC.

Οι ρυθμοί δεδομένων και τα όρια αποστάσεων ποικίλλουν ευρέως για τα διάφορα πρότυπα PLC. Τα χαμηλής συχνότητας φέροντα (περίπου 100-200kHz) στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης μπορούν να μεταφέρουν ένα ή δύο αναλογικά κυκλώματα φωνής/τηλεμετρίας ή κυκλώματα ελέγχου, με ένα ρυθμό δεδομένων των λίγων εκατοντάδων bits ανά δευτερόλεπτο. Ωστόσο, αυτά τα κυκλώματα μπορεί να καλύπτουν απόσταση πολλών χιλιομέτρων. Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων συνεπάγονται, γενικά, μικρότερη εμβέλεια –ένα τοπικό δίκτυο (LAN) που λειτουργεί με ρυθμούς εκατομμυρίων bits/sec μπορεί να καλύψει μόνο έναν όροφο ενός κτηρίου γραφείων, αλλά ελαχιστοποιεί την ανάγκη για εγκατάσταση ειδικής καλωδίωσης δικτύου.

Οι επικοινωνίες μέσω γραμμών ρεύματος είναι παλιά ιδέα, που χρονολογείται από τις αρχές του 1900, όταν υποβλήθηκαν οι πρώτες ευρεσιτεχνίες σε αυτόν τον τομέα. Από τότε, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία για την εξ αποστάσεως μέτρηση και τον έλεγχο του φορτίου, χρησιμοποιώντας αρχικά λύσεις μονού φέροντος στενού εύρους ζώνης (single carrier narrowband) που λειτουργούσαν στις χαμηλές ζώνες συχνοτήτων (Audio/Low Frequency bands) και πετύχαιναν ρυθμούς δεδομένων που κυμαίνονταν από λίγα bps σε λίγα kbps. Καθώς η τεχνολογία ωριμάζε και ο χώρος εφαρμογής διευρύνθηκε, άρχισαν να εμφανίζονται στην αγορά τα ευρυζωνικά PLC συστήματα, λειτουργώντας στη ζώνη υψηλών συχνοτήτων (High Frequency band) 2-30 MHz

και πετυχαίνοντας ρυθμούς μέχρι και 200Mbps. Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον της βιομηχανίας έχει επίσης μεγαλώσει γύρω από το λεγόμενο «υψηλού ρυθμού δεδομένων» NB-PLC (high data rate NB-PLC), που είναι βασισμένο σε σχήματα πολλαπλού φέροντος και λειτουργεί στη ζώνη μεταξύ 3-500 kHz.

Η τεχνολογία PLC χρησιμοποιείται επίσης για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης στο διαδίκτυο σε οικιακούς χρήστες, ευρυζωνικής συνδεσιμότητας LAN εντός σπιτιού/γραφείου /οχημάτων και την παροχή ικανοτήτων διοίκησης και ελέγχου για αυτοματισμό και απομακρυσμένες μετρήσεις. Το βασικό κίνητρο για τη χρήση PLC είναι ότι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει μια υποδομή η οποία είναι πολύ πιο εκτεταμένη και διεισδυτική από ότι οποιαδήποτε ενσύρματη ή ασύρματη εναλλακτική λύση, έτσι ώστε σχεδόν κάθε συσκευή που τροφοδοτείται από γραμμή ρεύματος μπορεί να παρέχει επιπρόσθετες υπηρεσίες.

Παρά την υπόσχεση του PLC να αποτελέσει καταλύτη μιας πληθώρας εφαρμογών του παρόντος και του μέλλοντος, δεν έχει ακόμα πετύχει τη μεγάλη διείσδυση στην αγορά που εμπίπτει στις δυνατότητές του. Ωστόσο, ένας νέος επιτακτικός λόγος για τη χρήση PLC προβάλλει πλέον: η πρόσφατη ώθηση για τον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας πληροφοριακής οδού αφιερωμένη στη διαχείριση της μεταφοράς και διανομής ενέργειας, το λεγόμενο Έξυπνο Δίκτυο. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι το Έξυπνο Δίκτυο θα υποστηρίζεται από ένα ετερογενές σύνολο τεχνολογιών δικτύου, καθώς δεν υπάρχει μοναδική λύση που να ταιριάζει σε όλα τα σενάρια.

Η τεχνολογία PLC μπορεί να χωριστεί στις εξής κατηγορίες:

Υπέρ-Στενής Ζώνης - Ultra Narrow Band (UNB): Τεχνολογίες που λειτουργούν σε πολύ χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων (~100 bps) στη ULF ζώνη συχνοτήτων (0.3-3 kHz) ή στο πάνω μέρος της SLF ζώνης (30-300 Hz). Ένα ιστορικό παράδειγμα μιας μονόδρομης ζεύξης επικοινωνίας που υποστηρίζει εφαρμογές ελέγχου φορτίου είναι η τεχνολογία RCS (Ripple Carrier Signaling), η οποία λειτουργεί στα 125 – 2.000 kHz και είναι σε θέση να μεταφέρει αρκετά bps χρησιμοποιώντας απλή ASK (Amplitude Shift Keying) διαμόρφωση. Πιο πρόσφατα παραδείγματα είναι τα συστήματα Turtle AMR (Automated Meter Reading) που μεταφέρουν δεδομένα σε εξαιρετικά χαμηλή ταχύτητα (~0.001 bps) και τα συστήματα TWACS (Two-Way Automatic Communications System) που μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα με ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των bits ανά κύκλο συχνότητας δικτύου, δηλαδή 100 bps στην Ευρώπη και 120 bps στη Βόρεια Αμερική. Η UNB-PLC τεχνολογίες έχουν πολύ μεγάλο φάσμα λειτουργίας (150km και παραπάνω). Παρότι ο ρυθμός δεδομένων ανά σύνδεση είναι χαμηλός, τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιούν διάφορες μορφές παραλληλοποίησης και αποτελεσματικής διευθυνσιοδότησης που προσφέρουν καλές δυνατότητες κλιμάκωσης. Παρά το γεγονός ότι αυτές οι UNB λύσεις είναι μονοπωλιακές, είναι πολύ ώριμες τεχνολογίες, βρίσκονται στον τομέα εδώ και τουλάχιστον δυο δεκαετίες και έχουν χρησιμοποιηθεί από εκατοντάδες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας.

Στενής Ζώνης - Narrowband (NB): Τεχνολογίες που λειτουργούν στις the VLF/LF/MF ζώνες (3-500 kHz), οι οποίες περιλαμβάνουν τις ευρωπαϊκές CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) ζώνες (3-148.5 kHz), την FCC (Federal Communications Commission) ζώνη (10-490 kHz) των Η.Π.Α., την ιαπωνική ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) ζώνη (10-450 kHz), και την κινεζική ζώνη (3-500 kHz).

Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Χαμηλού Ρυθμού Δεδομένων - Low Data Rate (LDR): Τεχνολογίες μονού φέροντος που προσφέρουν ρυθμούς δεδομένων λίγων kbps. Τυπικά

παραδείγματα LDR NB-PLC τεχνολογιών είναι συσκευές που ανταποκρίνονται στις ακόλουθες συστάσεις: ISO/IEC 14908-3 (LonWorks), ISO/IEC 14543-3-5 (KNX), CEA-600.31 (CEBus), IEC 61334-3-1, IEC 61334-5 (FSK και Spread-FSK) κ.τ.λ.

- Υψηλού Ρυθμού Δεδομένων - High Data Rate (HDR): Τεχνολογίες πολλαπλού φέροντος (multicarrier technologies) με ρυθμούς δεδομένων εύρους από δεκάδες kbps μέχρι και 500 kbps. Τυπικά παραδείγματα HDR NB-PLC τεχνολογιών είναι αυτές οι συσκευές που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής των εν εξελίξει σχεδίων προτύπων: ITU-T G.hnem, IEEE 1901.2. Επιπλέον παραδείγματα, που δε βασίζονται σε οργανισμούς ανάπτυξης προτύπων (SDO - Standards developing organization) είναι τα PRIME και G3-PLC.

Ευρείας Ζώνης - Broadband (BB-PLC ή BPL): Τεχνολογίες που λειτουργούν στις HF/VHF ζώνες (1.8-250 MHz) και έχουν ρυθμούς δεδομένων φυσικού στρώματος (PHY rate) από μερικά Mbps μέχρι αρκετές εκατοντάδες Mbps. Τυπικά παραδείγματα BB-PLC τεχνολογιών είναι οι συσκευές που είναι σύμφωνες με τις συστάσεις TIA-1113 (HomePlug 1.0), IEEE 1901 και ITU-T G.hn (G.9960/G.9961). Επιπλέον παραδείγματα είναι τα HomePlug AV/Extended, HomePlug Green PHY, HD-PLC, UPA Powermax και Gige MediaXtreme.

Ανάλογα με το πώς χρησιμοποιείται, η τεχνολογία BPL χωρίζεται σε **access BPL**, όταν η μετάδοση δεδομένων γίνεται μέσω του ηλεκτρικού δικτύου, και σε **in-home BPL**, όταν χρησιμοποιείται για μετάδοση δεδομένων εντός ενός κτηρίου (σπίτι, γραφείο).

3.1 Η κατάσταση της PLC προτυποποίησης

Μια ολοκληρωμένη και ενημερωμένη ανάλυση των PLC προτύπων μπορεί να βρεθεί στην αναφορά [22]. Στη συνέχεια εστιάζουμε στις πιο πρόσφατες εξελίξεις προτυποποίησης που σημειώθηκαν τόσο στο NB όσο και στο BB-PLC.

3.1.1 Narrowband PLC Πρότυπα

Ένα από τα πρώτα LDR NB-PLC πρότυπα που επικυρώθηκαν είναι το πρότυπο ANSI/EIA 709.1, γνωστό επίσης και ως LonWorks. Εκδόθηκε από την μη κερδοσκοπική οργάνωση ANSI (American National Standards Institute) το 1999 και έγινε ένα διεθνές πρότυπο το 2008 (ISO/IEC 14908-1). Αυτό το επτά στρωμάτων OSI πρωτόκολλο παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών που επιτρέπουν στο πρόγραμμα εφαρμογής μιας συσκευής να στέλνει και να λαμβάνει μηνύματα από άλλες συσκευές στο δίκτυο χωρίς να χρειάζεται να ξέρει την τοπολογία του δικτύου ή τις λειτουργίες των άλλων συσκευών. Οι LonWorks πομποδέκτες είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε μία από δύο περιοχές συχνοτήτων ανάλογα με την τελική εφαρμογή. Όταν ρυθμιστούν για χρήση σε εφαρμογές ηλεκτρικών δικτύων χρησιμοποιείται η ζώνη CENELEC A, ενώ οικιακές/εμπορικές/βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούν τη ζώνη C. Εφικτοί ρυθμοί δεδομένων είναι της τάξης των λίγων kbps.

Οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες PLC που εφαρμόζονται σήμερα βασίζονται σε διαμόρφωση FSK ή Spread-FSK, όπως ορίζονται στα πρότυπα IEC 61334-5-2 και IEC 61334-5-1 αντίστοιχα.

Υπάρχει, βέβαια, σήμερα ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον σε λύσεις HDR NB-PLC που λειτουργούν στις CENELEC/FCC/ARIB ζώνες και είναι ικανές να παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων από τις LDR NB-PLC επιλογές. Για παράδειγμα, η πρόσφατη πρωτοβουλία PRIME (Powerline Related Intelligent Metering Evolution) έχει κερδίσει την υποστήριξη της βιομηχανίας στην Ευρώπη και έχει καθορίσει μια HDR NB-PLC λύση, βασισμένη στη διαμόρφωση OFDM, που λειτουργεί στη ζώνη CENELEC-A και παρέχει ρυθμούς δεδομένων έως 125 kbps. Μια παρόμοια πρωτοβουλία, η G3-PLC, επίσης εμφανίστηκε πρόσφατα. Είναι μια προδιαγραφή για τις HDR NB-PLC εφαρμογές, βασίζεται στην OFDM διαμόρφωση, υποστηρίζει το IPv6 πρωτόκολλο Διαδικτύου και μπορεί να λειτουργήσει στη ζώνη 10 – 490 kHz.

Σήμερα υπάρχουν δυο προσπάθειες για την προτυποποίηση των HDR NB-PLC τεχνολογιών που υποστηρίζονται από Οργανισμούς Ανάπτυξης Προτύπων (SDO), οι οποίες ξεκίνησαν στις αρχές του 2010: η ITU-T G.hnem και η IEEE 1901.2. Ο στόχος των G.hnem και 1901.2 προτύπων είναι να καθορίσουν μια HDR NB-PLC τεχνολογία πολύ χαμηλής πολυπλοκότητας η οποία να παρέχει βελτιστοποιημένη διαχείριση ενέργειας, που εκτείνεται σε εφαρμογές οικιακών δικτύων (Home Area Networks) έως εφαρμογές προηγμένων υποδομών μέτρησης (AMI) ή σε εφαρμογές Υβριδικών Οχημάτων με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV), και λειτουργεί πάνω από γραμμές τόσο εναλλασσόμενου όσο και συνεχούς ρεύματος. Τα πρότυπα θα υποστηρίζουν επικοινωνία μέσω του μετασχηματιστή MT/XT, πάνω από τις γραμμές μέσης τάσης και πάνω από τις εσωτερικές και εξωτερικές γραμμές χαμηλής τάσης, υποστηρίζοντας ρυθμούς δεδομένων μέχρι 500 kbps, αναλόγως τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Στα πλαίσια του πεδίου εφαρμογής αυτών των προτύπων υπάρχει επίσης η σχεδίαση μηχανισμών συνύπαρξης μεταξύ των τεχνολογιών HDR NB-PLC και μεταξύ των HDR και των υφιστάμενων LDR NB-PLC προτυποποιημένων τεχνολογιών.

3.1.2 Το πρότυπο TIA-1113

Το πρώτο BB-PLC ANSI πρότυπο στο κόσμο προς έγκριση είναι το TIA-1113. Βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις προδιαγραφές του HomePlug 1.0 που ορίζει ρυθμό δεδομένων φυσικού στρώματος 14 Mbps βασισμένο σε OFDM διαμόρφωση. Τα φέροντα διαμορφώνονται είτε με BPSK είτε με QPSK ανάλογα την ποιότητα των καναλιών και τη λειτουργικότητα. Το στρώμα MAC για το HomePlug 1.0 στηρίζεται στο σύστημα CSMA/CA που διαθέτει προσαρμοζόμενο μηχανισμό διαχείρισης παραθύρου σε συνδυασμό με τέσσερα επίπεδα προτεραιότητας. Προϊόντα με βάση τις προδιαγραφές TIA-1113/HomePlug 1.0 έχουν παρουσιάσει επιτυχία στις οικιακές και βιομηχανικές αγορές .

3.1.3 Το πρότυπο IEEE 1901 Broadband over Power Lines

Η ομάδα εργασίας για το πρότυπο IEEE 1901 συστάθηκε το 2005 για να ενοποιήσει τις τεχνολογίες γραμμών ρεύματος (PL), με στόχο την ανάπτυξη ενός προτύπου για συσκευές που υποστηρίζουν επικοινωνία υψηλής ταχύτητας (>100 Mbps) χρησιμοποιώντας συχνότητες κάτω των 100 MHz και αφορούν τόσο εφαρμογές οικιακών δικτύων όσο και εφαρμογές πρόσβασης. Το πρότυπο εγκρίθηκε το 2010 και ορίζει δύο BB-PLC τεχνολογίες, μία βασισμένη σε FFT-OFDM και μία σε Wavelet-OFDM. Ένα βασικό στοιχείο του προτύπου

είναι η παρουσία ενός υποχρεωτικού μηχανισμού συνύπαρξης, που ονομάζεται πρωτόκολλο ISP (Inter-System Protocol), ο οποίος επιτρέπει στις, βασισμένες στο πρότυπο 1901, PLC συσκευές να μοιράζονται δίκαια το μέσο, ανεξάρτητα από τις διαφορές τους στο φυσικό στρώμα. Επιπλέον, επιτρέπει στις συσκευές αυτές να συνυπάρχουν με συσκευές που βασίζονται στο πρότυπο ITU-T G.hn. Το πρωτόκολλο ISP είναι ένα νέο στοιχείο που είναι μοναδικό στο περιβάλλον γραμμών ρεύματος.

Οι συσκευές που συμμορφώνονται με το πρότυπο πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίζουν ρυθμό δεδομένων τουλάχιστον 100 Mbps και να περιλαμβάνουν το ISP στην εφαρμογή τους. Υποχρεωτικά χαρακτηριστικά επιτρέπουν στις συσκευές που ακολουθούν το IEEE 1901 να πετύχουν ρυθμούς δεδομένων ~200 Mbps, ενώ η χρήση προαιρετικού εύρους ζώνης που εκτείνεται πάνω από τα 30 MHz επιτρέπει την επίτευξη κάπως μεγαλύτερων ρυθμών. Ωστόσο, οι βελτιώσεις στο ρυθμό λόγω της χρήσης υψηλότερων συχνοτήτων είναι συχνά οριακές και χαρακτηρίζονται από μικρή εμβέλεια, λόγω της μεγαλύτερης εξασθένησης του μέσου και την παρουσία τηλεοπτικών καναλιών πάνω από τα 80 MHz.

3.1.4 Το πρότυπο ITU-T G.hn Home Networking

Η ITU-T ξεκίνησε το πρόγραμμα G.hn το 2006 με στόχο την ανάπτυξη μιας παγκόσμιας πρότασης για έναν ενιαίο πομποδέκτη οικιακού δικτύου, ο οποίος θα είναι ικανός να λειτουργεί πάνω από όλα τα είδη οικιακής (in-home) καλωδίωσης, όπως τηλεφωνικές γραμμές, γραμμές ρεύματος, ομοαξονικό καλώδιο και καλώδιο κατηγορίας 5 (CAT 5) και με παρεχόμενους ρυθμούς μέχρι 1Gbps. Το φυσικό στρώμα του G.hn επικυρώθηκε από την ITU-T τον Οκτώβριο του 2009 ως σύσταση G.9960, ενώ το στρώμα δεδομένων τον Ιούνιο του 2010 ως σύσταση G.9961. Η τεχνολογία απευθύνεται σε οικιακά κτίρια και δημόσιους χώρους, όπως μικρά γραφεία και οικιστικές μονάδες ή ξενοδοχεία και δεν καλύπτει PLC εφαρμογές πρόσβασης όπως κάνει το IEEE 1901. Η συμμόρφωση προς τις ITU-T συστάσεις G.9960/G.9961 δεν απαιτεί υποστήριξη για συνύπαρξη και έτσι η υποστήριξη του ISP είναι προαιρετική για τους συμβατούς με το G.hn πομποδέκτες.

3.2 PLC και Έξυπνο Δίκτυο

Η αντιπαράθεση για το ποιος είναι ο πραγματικός ρόλος του PLC στο Έξυπνο Δίκτυο είναι ακόμα ανοιχτή. Ενώ ορισμένοι συνιστούν ότι αποτελεί κατάλληλη επιλογή για πολλές εφαρμογές, άλλοι εκφράζουν ανησυχίες και εξετάζουν τις ασύρματες επικοινωνίες ως πιο σίγουρη εναλλακτική. Χωρίς αμφιβολία, το Έξυπνο Δίκτυο θα αξιοποιήσει πολλαπλά είδη τεχνολογιών, από οπτικές ίνες έως ασύρματες και ενσύρματες επικοινωνίες. Ως προς το PLC, οι σκεπτικιστές ισχυρίζονται ότι έχει ασαφές καθεστώς προτυποποίησης και ότι προσφέρει ρυθμούς δεδομένων που είναι πολύ μικροί, ενώ άλλοι ότι τα PLC μόντεμ είναι ακόμα πολύ ακριβά και ότι παρουσιάζουν θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Ωστόσο, οι πρόσφατες εξελίξεις στο τομέα των PLC επικοινωνιών ξεκαθαρίζουν αρκετά αυτές τις ανησυχίες. Μεταξύ των ενσύρματων επιλογών, το PLC είναι η μόνη τεχνολογία που έχει κόστος ανάπτυξης συγκρίσιμο με αυτό των ασύρματων λύσεων, μιας και οι γραμμές είναι ήδη εκεί.

Τα θεμελιώδη οφέλη που προσφέρει το PLC όταν υιοθετείται σε εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων ή και πιο γενικά σε εφαρμογές εταιριών κοινής ωφέλειας είναι, συνοπτικά, τα παρακάτω:

1. Οι εφαρμογές των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας σχεδόν πάντα απαιτούν πλεονασμό (redundancy) στον τομέα της προστασίας και του ελέγχου και αυτή η ανάγκη για πλεονασμό προϋποθέτει πλεονάζοντα κανάλια επικοινωνίας. Η τεχνολογία PLC επιτρέπει την εκμετάλλευση της υπάρχουσας καλωδιακής υποδομής μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος ανάπτυξης τέτοιων καναλιών.
2. Η χρήση του PLC επιτρέπει να συγχωνευτούν, κατά κάποιο τρόπο, οι παραδοσιακά ξεχωριστές λειτουργίες της ανίχνευσης και της επικοινωνίας, καθώς ένας PLC πομποδέκτης μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να εναλλάσσεται μεταξύ της λειτουργίας ως αισθητήρα και ως μόντεμ.
3. Οι γραμμές μεταφοράς ισχύος συχνά αντιπροσωπεύουν την πιο άμεση διαδρομή μεταξύ των ελεγκτών και των έξυπνων ηλεκτρονικών συσκευών (IEDs), σε σύγκριση με τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Επομένως, η επικοινωνία μέσω γραμμών ρεύματος προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όταν πρόκειται για εφαρμογές όπως η τηλεπροστασία, όπου είναι αποφασιστικής σημασίας να εξασφαλίζεται χαμηλή και οριοθετημένη καθυστέρηση.
4. Οι γραμμές μεταφορά παρέχουν μια οδό επικοινωνίας που είναι υπό τον άμεσο και πλήρη έλεγχο της εταιρίας κοινής ωφέλειας, θέμα αρκετά σημαντικό όταν η εταιρία λειτουργεί σε μια χώρα με απορρυθμισμένη αγορά τηλεπικοινωνιών.
5. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών PLC που μπορούν να βρουν θέση στις περισσότερες εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων. Έτσι, το PLC μπορεί πράγματι να παρέχει μια ευρεία κλάση τεχνολογιών ικανών να εφαρμοστούν ως λύση για την επικοινωνία, από το επίπεδο της μεταφοράς ισχύος μέχρι τα δίκτυα HAN.

3.2.1 Εφαρμογές PLC στο Δίκτυο

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί το PLC σε εφαρμογές κοινής ωφέλειας. Στη συνέχεια αναφέρονται οι κύριες εφαρμογές του στα Έξυπνα Δίκτυα σε όλα τα επίπεδα τάσης – από τις γραμμές υψηλής τάσης μέχρι και σε επίπεδο εντός σπιτιού.

3.2.1.1 PLC για δίκτυα Υψηλής Τάσης

Παρά το γεγονός ότι η μεγαλύτερη μετατροπή από το σημερινό δίκτυο στο αυριανό Έξυπνο Δίκτυο αναμένεται να λάβει χώρα κυρίως στην πλευρά της διανομής, το δίκτυο μεταφοράς θα πρέπει επίσης να υποβληθεί σε προοδευτικές αλλαγές, οι οποίες θα είναι, κατά τη γνώμη ορισμένων, πιο αργές από αυτές της διανομής και θα συμβούν με έναν εξελικτικό ρυθμό. Η διαθεσιμότητα ενός αξιόπιστου δικτύου επικοινωνίας στο επίπεδο της μεταφοράς είναι εξαιρετικής σημασίας για την υποστήριξη διαφόρων εφαρμογών, όπως εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου (PMU πάνω από WAMS), αναμετάδοση προστασίας (protective relaying), επέκταση των συστημάτων SCADA σε απομακρυσμένους σταθμούς, εποπτεία απομακρυσμένων σταθμών και έλεγχος του συστήματος ενέργειας. Υπάρχουν εγκατεστημένες PLC τεχνολογίες που λειτουργούν στις AC και DC γραμμές υψηλής τάσης έως και 1.100 kV και στη ζώνη 40-500 kHz, που επιτρέπουν ρυθμούς λίγων εκατοντάδων kbps και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα δίκτυα ΥΤ λόγω της υψηλής αξιοπιστίας τους, το σχετικά χαμηλό κόστος και επίτευξη μεγάλων αποστάσεων.

Οι πρώτες PLC συνδέσεις σε γραμμές ΥΤ εγκαταστάθηκαν γύρω στο 1920 με σκοπό την παροχή υπηρεσιών τηλεφωνίας και βασιζόταν στη διαμόρφωση SSB. Σήμερα, η χρήση PLC

στις γραμμές υψηλής τάσης είναι καλά εδραιωμένη και χιλιάδες ζεύξεις έχουν εγκατασταθεί σε περισσότερες από 120 χώρες με συνολικό μήκος κάποιων εκατομμυρίων χιλιομέτρων.

Εκτός από την παροχή συνδεσιμότητας στο επίπεδο της μεταφοράς, η τεχνολογία PLC πάνω από γραμμές ΥΤ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για απομακρυσμένη ανίχνευση σφαλμάτων. Για παράδειγμα, έχουν σημειωθεί πρόσφατα επιτυχή πειράματα για την ανίχνευση σπασμένων μονωτών, βραχυκυκλώματα μονωτών και θραύση καλωδίων. Σε άλλο παράδειγμα, η τεχνολογία αυτή φαίνεται χρήσιμη στον προσδιορισμό της αλλαγής του μέσου ύψους από το έδαφος των εναέριων αγωγών ΥΤ.

Προς το παρόν, είναι δυνατό να εκφραστεί μόνο συγκρατημένη αισιοδοξία σχετικά με τη χρήση του BB-PLC στην πλευρά της μεταφοράς, καθώς είναι αναγκαίες περαιτέρω δοκιμές και επικύρωση για να το φέρουν σε εμπορικό στάδιο.

3.2.1.2 PLC για δίκτυα Μέσης Τάσης

Μια σημαντική απαίτηση για το μελλοντικό Έξυπνο Δίκτυο είναι η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων σχετικά με την κατάσταση του δικτύου μέσης τάσης, δηλαδή πρέπει να μεταφερθούν μεταξύ των υποσταθμών εντός του δικτύου πληροφορίες για την κατάσταση του εξοπλισμού και τις συνθήκες της ροής ισχύος. Παραδοσιακά, οι υποσταθμοί μέσης τάσης δεν είναι εφοδιασμένοι με δυνατότητες επικοινωνίας, οπότε η χρήση της υπάρχουσας υποδομής γραμμών μεταφοράς αποτελεί μια ελκυστική λύση στο θέμα της εγκατάστασης νέων ζεύξεων επικοινωνίας.

Μερικές λειτουργίες αυτοματισμού υποσταθμών προϋποθέτουν οι έξυπνες συσκευές (IEDs) να επικοινωνούν με μία ή περισσότερες εξωτερικές IEDs. Για παράδειγμα, στην περίπτωση εντοπισμού και απομόνωσης σφαλμάτων και αποκατάστασης της υπηρεσίας, οι IEDs του υποσταθμού πρέπει να επικοινωνήσουν με εξωτερικές συσκευές, όπως διακόπτες, reclosers, ή sectionalizers. Σε ένα ακόμα παράδειγμα, η δυνατότητα dispatch της τάσης στο σύστημα διανομής απαιτεί επικοινωνία μεταξύ των IEDs του υποσταθμού και αυτών που τροφοδοτούν τη διανομή και εξυπηρετούνται από τον υποσταθμό. Όλες αυτές οι επικοινωνίες χρειάζονται συνδεσιμότητα χαμηλής ταχύτητας, που είναι εντός των δυνατοτήτων του PLC.

Ένα μεγάλο μέρος του εξοπλισμού MT έχει εγκατασταθεί εδώ και πάνω από 40 χρόνια. Η ανίχνευση βλαβών, καθώς και η παρακολούθηση για τη διασφαλιστεί μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε κρίσιμες καλωδιακές συνδέσεις αναδεικνύεται σε αναγκαιότητα, από άποψη λειτουργική, οικονομική αλλά και ασφάλειας. Οι περισσότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα περιλαμβάνουν επί τόπου έλεγχο. Ωστόσο, λειτουργικά, τα online διαγνωστικά εργαλεία είναι προτιμότερα και σύντομα θα γίνουν η κύρια τάση. Στην αναφορά [24] μελετάται η σύνδεση PLC σημάτων έως 95 kHz (ζώνη CENELEC A) για τη μεταφορά online διαγνωστικών δεδομένων, όπου οι συγγραφείς τονίζουν επίσης το πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης διαγνωστικών εργαλείων που εξυπηρετούν τον διττό σκοπό της ανίχνευσης και της επικοινωνίας.

Τα συστήματα DG ενδέχεται να οδηγήσουν, ακούσια, στη δημιουργία νησίδων (islands) απομονωμένων από το υπόλοιπο δίκτυο. Είναι σημαντικό τέτοια γεγονότα να ανιχνεύονται γρήγορα. Η χρήση LDR NB-PLC (ζώνη CENELEC A) για την είσοδο ενός σήματος στο σύστημα MT έχει αναλυθεί και δοκιμαστεί στην [25] και φαίνεται να είναι λιγότερο ακριβή σε σχέση με άλλες μεθόδους που βασίζονται σε τηλεφωνικά σήματα.

Τέλος, επιπλέον του απομακρυσμένου ελέγχου για την πρόληψη του φαινομένου της νησίδας, έχουν συζητηθεί και αναλυθεί κι άλλες εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση στην πλευρά MT, όπως μετρήσεις θερμοκρασίας των μετασχηματιστών λαδιού, μετρήσεις τάσης στο δευτερεύον των μετασχηματιστών ΥΤ/ΜΤ, μελέτη σφαλμάτων, μέτρηση ποιότητας ισχύος, κ.ά.

3.2.1.3 PLC για δίκτυα Χαμηλής Τάσης

Οι περισσότερες εφαρμογές PLC στα Έξυπνα Δίκτυα στη χαμηλή τάση είναι στις περιπτώσεις AMR/AMI, επικοινωνία οχήματος-προς-δίκτυο, DSM και ενεργειακή διαχείριση σπιτιού.

I. AMR (Automatic Meter Reading) και AMI (Advanced Metering Infrastructure)

Οι συσκευές UNB-PLC ήταν οι πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν για εφαρμογές AMR/AMI. Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα UNB-PLC χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τα σήματα διαδίδονται εύκολα μέσω μετασχηματιστών MT και ΧΤ. Επιπλέον, η τεχνολογία UNB-PLC δεν απαιτεί κάποιου είδους PL προσαρμογής, όπως θα έκαναν άλλες PLC τεχνολογίες που λειτουργούν σε μεγαλύτερες συχνότητες λόγω του low pass φαινομένου από τους πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος και τις αντιστάσεις των μετασχηματιστών διανομής. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες τα συστήματα UNB-PLC έχουν βιώσει σημαντική επιτυχία στην αγορά.

Ενδιαφέρον για AMI εφαρμογές κερδίζουν, επίσης, οι τεχνολογίες NB-PLC, το οποίο πηγάζει από την πρόσφατη δημιουργία δυο σχεδίων αφιερωμένων στην προτυποποίηση των NB-PLC πομποδεκτών (IEEE 1901.2 και ITU-T G.hnem). Η ικανότητα της HDR NB-PLC τεχνολογίας, όμως, να παρέχει σημαντικά υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς σε σχέση με την UNB-PLC έρχεται με το τίμημα του μειωμένου εύρους και, μερικές φορές, της σταθεροποίησης του μετασχηματιστή.

Πρέπει να τονίσουμε, βέβαια, ότι δεν προσφέρουν όλες οι τεχνολογίες PLC την ίδια αξιοπιστία και ικανότητα να προσπερνούν το μετασχηματιστή διανομής και συχνά αυτή η ικανότητα εξαρτάται από τον ίδιο το μετασχηματιστή.

II. Επικοινωνία οχήματος-προς-δίκτυο (Vehicle-to-Grid Communication, V2G)

Ένα όχημα PHEV φορτίζει την μπαταρία του συνδεδεμένο με έναν εξοπλισμό εφοδιασμού ηλεκτρικών οχημάτων (EVSE - Electric Vehicle Supply Equipment), ο οποίος με τη σειρά του είναι συνδεδεμένος στα καλώδια των κτηρίων ή τα καλώδια διανομής (σε αεροδρόμια, χώρους παρκινγκ, κ.τ.λ.). Ποικίλα σενάρια εφαρμογών μπορούν να δημιουργηθούν για την επικοινωνία μεταξύ των PHEV και των εταιριών κοινής ωφέλειας, π.χ. για τον έλεγχο του

τοπικού φορτίου αιχμής που αναπόφευκτα θα δημιουργήσουν τα οχήματα αυτά. Η διαθεσιμότητα μιας ζεύξης επικοινωνίας μεταξύ του αυτοκινήτου και του EVSE (και ακόμα και από τον εξοπλισμό EVSE προς το μετρητή, το Διαδίκτυο, το HAN, τις συσκευές, την εταιρία, κ.τ.λ.) θα είναι καταλύτης για την οποιαδήποτε εφαρμογή.

Το πρώτο χαρακτηριστικό πλεονέκτημα του PLC για την επικοινωνία οχήματος-προς-δίκτυο είναι το γεγονός πως μπορεί να εγκατασταθεί μια ξεκάθαρη φυσική σύνδεση μεταξύ του οχήματος κι ενός συγκεκριμένου EVSE, κάτι που δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί με μια ασύρματη λύση, ακόμα κι αν είναι μικρής εμβέλειας. Μια φυσική σύνδεση προσφέρει πλεονεκτήματα, ειδικά σε θέματα ασφάλειας και πιστοποίησης. Παρότι το PLC κανάλι παρεμποδίζεται ίσως από αρμονικές που υπάρχουν λόγω του μετατροπέα (inverter), υπάρχουν σήμερα αρκετές τρέχουσες δοκιμές τόσο πάνω στις BPL όσο και στις NB-PLC λύσεις. Από άποψη κόστους, ευκολία αναβάθμισης και παγκοσμίων κανονισμών, οι NB-PLC λύσεις πλεονεκτούν σε σχέση με το BPL και, δεδομένου ότι είναι επίσης άριστες επιλογές για μετρητές και συσκευές, η χρήση τους φαίνεται αρκετά δελεαστική.

III. Διαχείριση Ζήτησης (Demand Side Management)

Μια από τις κύριες DSM εφαρμογές είναι η απόκριση ζήτησης (Demand Response – DR), που λαμβάνει συνεχώς όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Η DR λειτουργία αναφέρεται στους μηχανισμούς διαχείρισης της ζήτησης αποκρινόμενη στις συνθήκες προσφοράς, δεδομένου ότι η παραγωγή ενέργειας δεν μπορεί να προγραμματιστεί νομοτελειακά, π.χ. ηλιακή και αιολική ενέργεια. Έτσι, η απόκριση ζήτησης είναι ένα μέσο για να μετριαστεί η ζήτηση αιχμής, αλλά και να αποκτήσουν οι καταναλωτές καλύτερη επίγνωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Εξαιτίας της μεγαλύτερης εξασθένησης που υφίστανται τα PLC σήματα στην πλευρά της χαμηλής τάσης, οι λύσεις BPL δεν είναι πάντα ιδανικές για εφαρμογές DR όταν εφαρμόζεται άμεσος έλεγχος του φορτίου, καθώς η απόσταση μεταξύ των συσκευών και του σημείου όπου εισάγεται το σήμα (στον έξυπνο μετρητή, στο μετασχηματιστή MT/XT) μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι πολύ μεγάλη. Από την άλλη, όταν η απόκριση ζήτησης υλοποιείται με έμμεσο έλεγχο, μέσω μιας πύλης, π.χ. σε ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας σπιτιού/κτηρίου (HEMS/BEMS), οι BPL λύσεις είναι τεχνικά επαρκείς και θα παρείχαν το πρόσθετο πλεονέκτημα της μεταφοράς με ασφάλεια δεδομένων από τις εφαρμογές του Έξυπνου Δικτύου στο HAN και vice versa. Αν και τεχνικά επαρκείς, μπορεί να προκύψουν ενδοιασμοί ως προς το κόστος τους και οι BPL τεχνολογίες να κριθούν υπερβολικές για την υλοποίηση DR. Χάρη στις πολύ μικρότερες απώλειες διαδρομής στις χαμηλότερες συχνότητες, οι λύσεις NB-PLC φαίνονται καλή ιδέα για τις DR εφαρμογές, τόσο για άμεσο όσο και για έμμεσο έλεγχο του φορτίου.

IV. Ενεργειακή Διαχείριση Σπιτιού (Home Energy Management - HEM)

Η ιδέα της διασύνδεσης εφαρμογών Έξυπνου Δικτύου με ενεργειακή διαχείριση σπιτιού κερδίζει συνεχώς το ενδιαφέρον και είναι έντονη η πεποίθηση πως θα συμβάλει στην αλλαγή του τρόπου με τον οποίο οι καταναλωτές διαχειρίζονται την κατανάλωση ενέργειας.

Ανεξάρτητα από οποιαδήποτε σύγκλιση στις επιλογές δικτύωσης για το Έξυπνο Δίκτυο, ποικίλες λύσεις BPL θα συνεχίσουν να εγκαθίστανται από τους καταναλωτές. Από αυτή την άποψη, η απομόνωση των Smart Grid εφαρμογών σε μία μπάντα (CENELEC/FCC/ARIB) και ο διαχωρισμός τους από τις παραδοσιακές εφαρμογές πρόσβασης στο Internet και ψυχαγωγίας που λειτουργούν με BB-PLC (αλλά επίσης με τη δυνατότητα σύνδεσής τους με ασφάλεια μέσω των συστημάτων διαχείρισης (HEMS)) φαίνεται μια καλή σχεδιαστική λύση, που εξισορροπεί αποτελεσματικά τις διάφορες απαιτήσεις αυτών των πολύ διαφορετικών εφαρμογών.

Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί πως σήμερα υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον προς τις υβριδικές AC/DC υποδομές καλωδίωσης. Εντός του σπιτιού, η ανάπτυξη μιας DC υποδομής θα επιφέρει μεγάλα οφέλη για την παραγωγή ενέργειας (φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου) και την αποθήκευση (επαναφορτιζόμενη μπαταρία). Τόσο η NB-PLC όσο και η BPL τεχνολογίες επωφελούνται από τη λειτουργία πάνω από DC γραμμές γιατί το κανάλι είναι χρονικά αμετάβλητο (time-invariant) και εξαφανίζεται ο κυκλοστατικός θόρυβος των συσκευών, με εξαίρεση τον κρουστικό θόρυβο που δημιουργείται από τους AC/DC μετατροπείς.

Κεφάλαιο 4:

Επικοινωνία μεταξύ συσκευών (Machine to Machine Communication – M2M)

Η M2M επικοινωνία χρησιμοποιεί τεχνολογίες για να επιτρέψει τόσο σε ασύρματα όσο και σε ενσύρματα συστήματα να συνδεθούν με συσκευές της ίδιας ικανότητας. Επιτρέπει σε συσκευές, όπως υπολογιστές, αισθητήρες, ενσωματωμένα συστήματα, κινητά, να επικοινωνούν μεταξύ τους και να παίρνουν αποφάσεις με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Οι συσκευές, δηλαδή, διαθέτουν πλέον την ευφυΐα να αποφασίζουν αυτόνομα βάσει των δεδομένων που συλλέγουν οι ίδιες ή άλλες συσκευές. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί μια *συσκευή* (όπως έναν αισθητήρα ή ένα μετρητή) για να καταγράψει ένα γεγονός (όπως η θερμοκρασία, το επίπεδο αποθεμάτων κλπ.) το οποίο αναμεταδίδεται μέσω ενός *δικτύου* (ασύρματο, ενσύρματο ή υβριδικό) σε μια *εφαρμογή* (πρόγραμμα λογισμικού), η οποία μεταφράζει το καταγεγραμμένο γεγονός σε *χρήσιμη πληροφορία* (για παράδειγμα, αντικείμενα που χρειάζονται ανεφοδιασμό).

Βασικές εφαρμογές είναι:

- Σύνδεση μηχανών/συσκευών με άλλες μηχανές, π.χ. απομακρυσμένα περιβάλλοντα παραγωγής
- Σύνδεση μηχανών με τα κέντρα υπηρεσιών, π.χ. αυτοκίνητα που ενημερώνουν τα κέντρα εξυπηρέτησης για θέματα συντήρησης
- Σύνδεση κέντρων υπηρεσιών με τις μηχανές, π.χ. αυτόματοι πωλητές που αναφέρουν την κατάσταση των αποθεμάτων σε ένα κεντρικό σύστημα καταγραφής
- Σύνδεση οχημάτων με μηχανές, π.χ. διαχείριση και τοποθεσία στόλου

Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών είναι μια νέα ιδέα, προερχόμενη από την αρχική τεχνολογία της τηλεμετρίας, που χρησιμοποιείται για αυτόματη μετάδοση και μέτρηση των δεδομένων από απομακρυσμένες πηγές, με ενσύρματο, ασύρματο ή άλλο τρόπο. Η ιδέα της τηλεμετρίας –απομακρυσμένες συσκευές και αισθητήρες που συλλέγουν και στέλνουν δεδομένα σε ένα κεντρικό σημείο για ανάλυση, είτε από ανθρώπους είτε από υπολογιστές– σίγουρα δεν είναι καινούρια. Η M2M τεχνολογία αναβαθμίζει αυτή την ιδέα εφαρμόζοντας σύγχρονη τεχνολογία δικτύωσης. Χρησιμοποιεί, δηλαδή, παρόμοιες τεχνολογίες αλλά πιο σύγχρονες εκδοχές τους. Η κύρια διαφορά μεταξύ τηλεμετρίας και M2M έγκειται στις επιχειρηματικές και επιχειρησιακές πτυχές, που θα επιτρέψουν στην M2M να εξαπλωθεί με πολλούς τρόπους.

Τρεις πολύ διαδεδομένες τεχνολογίες –τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, το Διαδίκτυο και οι προσωπικοί υπολογιστές– ενώνονται για να δημιουργήσουν την επικοινωνία μεταξύ συσκευών, ή για συντομία M2M. Η ιδέα υπόσχεται να προωθήσει τη χρήση της τηλεμετρίας από επιχειρήσεις, κυβερνήσεις αλλά και ιδιώτες. Οι M2M επικοινωνίες, για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πιο αποτελεσματική παρακολούθηση της κατάστασης σημαντικών δημοσίων υποδομών, όπως γεφυρών ή εγκαταστάσεων

επεξεργασίας του νερού, με μικρότερη ανθρώπινη παρέμβαση. Μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να διατηρούν αποθέματα ή να διευκολύνει τους επιστήμονες να διεξάγουν έρευνα. Καθώς στηρίζεται σε κοινή τεχνολογία, θα μπορούσε επίσης να βοηθήσει έναν οικιακό χρήστη ακόμα και σε απλές εργασίες, όπως να διατηρήσει το ιδανικό γκαζόν ή να φτιάξει τη λίστα με τα ψώνια απλά με το πάτημα ενός κουμπιού.

Τηλεμετρία εναντίον M2M επικοινωνιών

Στην επικοινωνία μεταξύ συσκευών, ένας απομακρυσμένος αισθητήρας συλλέγει δεδομένα και τα στέλνει ασύρματα σε ένα δίκτυο, από όπου κατόπιν δρομολογούνται, συχνά μέσω του Διαδικτύου, σε έναν εξυπηρετητή όπως έναν προσωπικό υπολογιστή. Από αυτό το σημείο, τα δεδομένα αναλύονται και αξιοποιούνται, σύμφωνα με το λογισμικό σε ισχύ.

Η τεχνολογία της τηλεμετρίας, με πολλούς τρόπους, ήταν ο πρόδρομος των πιο προηγμένων M2M συστημάτων επικοινωνιών. Τόσο η τηλεμετρία όσο και οι επικοινωνίες M2M μεταδίδουν δεδομένα μέσω ενός αισθητήρα. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι αντί για ένα τυχαίο ραδιοσήμα, οι M2M επικοινωνίες χρησιμοποιούν υπάρχοντα δίκτυα, όπως τα ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούνται από το κοινό, για να μεταδίδουν τα δεδομένα.

Οι αισθητήρες στις παλαιότερες επικοινωνίες τηλεμετρίας, ωστόσο, ήταν άκρως εξειδικευμένοι και συχνά χρειαζόταν ισχυρές πηγές ενέργειας για τη μετάδοση των δεδομένων. Επίσης, η συλλογή των δεδομένων μπορεί να ήταν ανομοιογενής εάν ένας απομακρυσμένος αισθητήρας βρισκόταν σε «νεκρό σημείο» και, ασφαλώς, η ανάλυση των δεδομένων υλοποιούνταν από ό,τι σήμερα θεωρούμε απαρχαιωμένους υπολογιστές.

Οι σύγχρονες M2M επικοινωνίες αποτελούν τεράστια βελτίωση σε αυτά τα συστήματα. Η πρόοδος της τεχνολογίας αισθητήρων προσφέρει αυξημένη ευαισθησία και ακρίβεια. Επίσης, οι υπολογιστές και το λογισμικό που εκτελούν τις αναλύσεις λειτουργούν σε ταχύτερο ρυθμό. Ωστόσο, η εκρηκτική αύξηση των δημοσίων ασύρματων δικτύων είναι πιθανότατα ο μεγαλύτερος λόγος που οι M2M επικοινωνίες έχουν επεκταθεί προς πολύ περισσότερους τομείς.

Πώς λειτουργεί η τεχνολογία M2M

Το να δουλέψει ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ συσκευών είναι μια βήμα-προς-βήμα διαδικασία. Τα κύρια στοιχεία που εμπλέκονται είναι αισθητήρες, ένα ασύρματο/ενσύρματο δίκτυο και ένας υπολογιστής, πιθανώς συνδεδεμένος στο Διαδίκτυο.

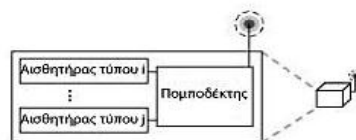
Πρώτα από όλα, πρέπει να τοποθετηθούν οι αισθητήρες σε στρατηγικής σημασίας σημεία. Από τους αισθητήρες αποστέλλονται δεδομένα πραγματικού χρόνου στο δίκτυο, που συχνά συνδέεται στο διαδίκτυο και τελικά, είτε μηχανικοί είτε αυτοματοποιημένα συστήματα θα παρακολουθούν την εισερχόμενη αυτή ροή δεδομένων χρησιμοποιώντας υπολογιστές με εξειδικευμένο λογισμικό.

Πίνακας 4-1 Κύρια στοιχεία της επικοινωνίας M2M και οι προκλήσεις τους

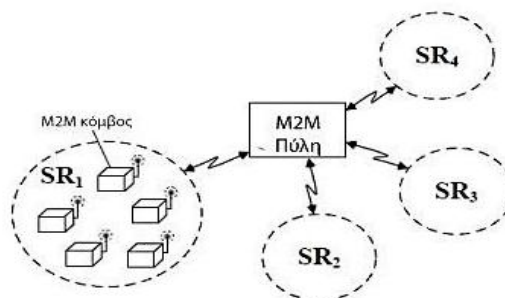
Υπηρεσία	<ul style="list-style-type: none"> - Οι μηχανές δουλεύουν για τους ανθρώπους εύρωστα και χωρίς τριβές - Πρότυπη διεπαφή για την ενίσχυση της καινοτομίας στο οικοσύστημα
Υπολογισμός	<ul style="list-style-type: none"> - Οι απαντήσεις υπολογίζονται πριν από τις ερωτήσεις - Βέλτιστη κατανομή των συσκευών και cloud ευφυΐα
Επικοινωνία	<ul style="list-style-type: none"> - Μηδενική προσπάθεια για τη σύνδεση μεγάλου αριθμού και πυκνότητας σταθερών και κινούμενων συσκευών με υψηλή ενεργειακή απόδοση - Πλήρης ασφάλεια και απόρρητο των δεδομένων
Αισθητήρες	<ul style="list-style-type: none"> - Χαμηλής ισχύος για να μη χρειάζεται αλλαγή μπαταρίας - "ZeroTouch" ανάπτυξη και διαχείριση συσκευών

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, η τεχνολογία M2M μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα κύρια επίπεδα. Οι αισθητήρες συλλέγουν τα δεδομένα, οι μονάδες επικοινωνίας μεταδίδουν τις πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί, οι υπολογιστικές μονάδες αναλύουν τις πληροφορίες και τα στρώματα υπηρεσιών αναλαμβάνουν δράση.

Ένα M2M δίκτυο επικοινωνιών αποτελείται από ένα σύνολο M2M κόμβων και M2M πυλών. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1(α), ένας M2M κόμβος διαθέτει πολλαπλούς αισθητήρες για τη συλλογή διαφορετικών τύπων δεδομένων (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) και έναν πομποδέκτη για τη μετάδοση των δεδομένων σε μια M2M πύλη μέσω επικοινωνιακών πρωτοκόλλων, π.χ. WiFi, ZigBee, UMTS, LTE, WiMAX. Μέσα από ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης (π.χ. GPS) ένας κόμβος M2M μπορεί να λάβει πληροφορίες για τη θέση του. Μια M2M πύλη, η οποία συνήθως είναι εφοδιασμένη με μόνιμη παροχή ρεύματος, έχει ισχυρή ικανότητα υπολογισμού και μετάδοσης. Βασικό καθήκον της M2M πύλης είναι να εκτελεί υπολογισμούς επί των συλλεγμένων δεδομένων.



(α) Τα στοιχεία ενός M2M κόμβου



(β) M2M πύλη, M2M κόμβος και SRs

Εικόνα 4.1 Η αρχιτεκτονική του δικτύου ενός συστήματος επικοινωνίας M2M

Η πιο πολλά υποσχόμενη M2M εφαρμογή είναι η πραγματικού χρόνου παρακολούθηση. Σε αυτού του είδους τις εφαρμογές, η περιοχή παρακολούθησης ενός M2M δικτύου επικοινωνίας διαιρείται σε διάφορες περιοχές ανίχνευσης (Sensing Regions – SRs). Σε κάθε περιοχή μπορεί να υπάρχουν ένας ή περισσότεροι τύποι δεδομένων που πρόκειται να συλλεχθούν και οι τιμές για ένα συγκεκριμένο τύπο από διαφορετικούς M2M κόμβους είναι ίδιες πάνω κάτω οι ίδιες σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η εικόνα 4.1(β) παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός M2M δικτύου με τέσσερις SRs. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, υπάρχουν μια M2M πύλη και πέντε M2M κόμβοι στην περιοχή SR1.

Κάθε M2M κόμβος μπορεί να έχει διάφορες ικανότητες ανίχνευσης καθώς κάθε κόμβος μπορεί να διαθέτει διαφορετικού τύπου αισθητήρες ώστε να συλλέγει διαφορετικά είδη δεδομένων. Υπάρχουν δυο καταστάσεις λειτουργίας για ένα M2M κόμβο: ενεργή λειτουργία (active mode) και λειτουργία αδράνειας (sleep mode). Η περίοδος που ο κόμβος βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (κατάσταση αδράνειας) καλείται ενεργή περίοδος (περίοδος αδράνειας). Κατά την ενεργή περίοδο ο κόμβος συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήρες του και έπειτα τα μεταδίδει, μαζί με πληροφορίες χρόνου και τοποθεσίας, στην πύλη. Μετά τη μετάδοση ο κόμβος μεταβαίνει σε κατάσταση αδράνειας, στην οποία μένει για κάποιο χρονικό διάστημα, ώστε να ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας.

Μελλοντικά, ένας τεράστιος αριθμός αισθητήρων πρόκειται να εγκατασταθεί. Το κόστος εξυπηρέτησης τέτοιων αισθητήρων αποτελεί σημαντική ανησυχία. Ως εκ τούτου, αποτελεί πρόκληση μια τεχνολογία αισθητήρων που απαιτεί ελάχιστη ή ακόμα και μηδενική προσπάθεια για την ανάπτυξη και συντήρησή της. Επιπλέον, ένα σημαντικό κόστος της υπηρεσίας αισθητήρων είναι η αντικατάσταση μπαταριών. Είναι συχνά σχεδόν αδύνατο να αντικατασταθούν οι μπαταρίες αισθητήρων από τη στιγμή που αυτοί τοποθετηθούν. Συνεπώς, ακόμα μία πρόκληση είναι ο σχεδιασμός αισθητήρων χαμηλής ισχύος ή σχεδιασμός τέτοιος ώστε να μην απαιτείται αλλαγή μπαταρίας κατά τη διάρκεια ζωής του αισθητήρα.

Αφότου οι αισθητήρες συλλέξουν τα δεδομένα, το επόμενο βήμα είναι να κοινοποιήσουν τις πληροφορίες που συγκέντρωσαν. Πολλοί από τους αισθητήρες θα συνδέονται ασύρματα μέσω συστημάτων όπως Bluetooth, WiFi, ή 3G/4G κυψελωτά δίκτυα. Η σύνδεση του αυξανόμενου αριθμού συσκευών είναι μεγάλη πρόκληση. Οι περισσότεροι σταθμοί βάσης έχουν σχεδιαστεί να παρέχουν ένα ορισμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας μέχρι ένα συγκεκριμένο αριθμό χρηστών. Όταν υπάρχουν πάρα πολλοί χρήστες ταυτόχρονα, κάποιοι από αυτούς δε θα λάβουν υπηρεσία. Δεδομένου ότι ο αριθμός των συσκευών θα είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος από τον αριθμό των ανθρώπινων χρηστών, το πρόβλημα αυτό θα γίνει ακόμα πιο σοβαρό.



Εικόνα 4.2 Διαδικασία μετατροπής των ακατέργαστων πρώτων δεδομένων σε πληροφορίες, γνώση και τελικά χρήσιμη υπηρεσία. (Πυραμίδα της γνώσης)

Οι συνδεδεμένες συσκευές (αισθητήρες) μπορούν να παράγουν ωκεανούς δεδομένων. Σύμφωνα με τη Cisco, ο αριθμός των αντικειμένων στο διαδίκτυο υπερέβη τον αριθμό των ανθρώπων το 2008 ή το 2009, μια τάση που επιταχύνει κάθε χρόνο. Έτσι, στο μέλλον η ποσότητα των δεδομένων που παράγονται από συσκευές θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται από τους ανθρώπους. Ωστόσο, χρειαζόμαστε επίπεδα ευφυΐας για να μετατρέψουμε αυτά τα δεδομένα σε σοφία (Εικόνα 4.2). Σε αυτή τη νέα εποχή πληροφορικής, η ανάλυση των δεδομένων και το πλαίσιο της θα διαδραματίσουν ένα σημαντικό ρόλο.

Τελικά, μετά την κατανόηση των πλαισίων, οι μηχανές είτε θα πρέπει να λάβουν κατάλληλη δράση, είτε να παρακινήσουν τους ανθρώπους για κατάλληλη δράση. Ιδανικά, θα πρέπει οι συσκευές να δουλεύουν για τους ανθρώπους.

Εφαρμογές των επικοινωνιών M2M

Είναι εύκολο να καταλάβει κανείς γιατί οι επικοινωνίες μηχανής-με-μηχανή έχουν τόσες πολλές εφαρμογές. Με καλύτερους αισθητήρες, ασύρματα δίκτυα και αυξημένη υπολογιστική ικανότητα, η ανάπτυξη μιας M2M επικοινωνίας έχει νόημα για πολλούς τομείς.

Οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν M2M επικοινωνίες τόσο στη συλλογή ενεργειακών προϊόντων, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, όσο και στην τιμολόγηση των πελατών. Ο έλεγχος της κυκλοφορίας είναι ακόμα ένα δυναμικό περιβάλλον που μπορεί να επωφεληθεί από τις επικοινωνίες M2M. Σε ένα τυπικό σύστημα, αισθητήρες παρακολουθούν μεταβλητές όπως είναι η ένταση της κίνησης και η ταχύτητα και στέλνουν αυτές τις πληροφορίες σε υπολογιστές που χρησιμοποιούν κατάλληλο λογισμικό, το οποίο ελέγχει συσκευές ελέγχου της κυκλοφορίας, όπως τα φώτα και μεταβλητές ενημερωτικές πινακίδες. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα εισόδου, το λογισμικό χειρίζεται τις συσκευές ελέγχου της κίνησης ώστε να μεγιστοποιείται η ροή της κυκλοφορίας. Η τηλεϊατρική προσφέρει άλλη μία χρήση. Παραδείγματος χάριν, ορισμένοι ασθενείς με καρδιακά προβλήματα φορούν ειδικές συσκευές παρακολούθησης, οι οποίες συλλέγουν πληροφορίες για τον τρόπο που λειτουργεί η καρδιά. Τα δεδομένα στέλνονται σε εμφυτευμένες συσκευές που δημιουργούν ένα σοκ για να διορθώσουν ένα ασταθή ρυθμό. Οι επιχειρήσεις επίσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις επικοινωνίες M2M για παρακολούθηση των αποθεμάτων και για ασφάλεια.

Πίνακας 4.2 Εφαρμογές των M2M Επικοινωνιών

Κατηγορία	Παραδείγματα
Ασφάλεια	Συστήματα συναγερμού, Παρακολούθηση συμφόρησης και κίνησης, Έλεγχος πρόσβασης, Αντίγραφα ασφαλείας για την προσγείωση, Ασφάλεια οδηγού/αυτοκινήτου
Μεταφορές	Βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας, Διαχείριση της τάξης, Σχεδιασμός/Υπολογισμός διαδρομής, Έλεγχος της θερμοκρασίας, Διαχείριση στόλου, Πληροφορίες κίνησης, Πλοήγηση
Ιατρική φροντίδα	Διαχείριση ασθενειών, Προσωπική άσκηση, Τηλεδιάγνωση, Προγραμματισμός ραντεβού, Διατροφικές συμβουλές, on-line ιατρικός φάκελος, Παρακολούθηση ζωτικών σημάτων, Υποστήριξη των ηλικιωμένων ή των ανάπηρων,
Γεωργία	Άρδευση, Δοσολογία λιπασμάτων
Συσκευές Καταναλωτών	Ψηφιακή κάμερα, Ψηφιακή κορνίζα
Μετρήσεις	Ενέργειας, Μετρητές στάθμευσης, Νερού, Αερίου/βενζίνης, Έλεγχος του ηλεκτρικού δικτύου, Βιομηχανικές μετρήσεις
Οικονομικές Υπηρεσίες	Μηχανήματα αυτόματης πώλησης, Σημεία Πώλησης, Μηχανήματα τυχερών παιχνιδιών

Η M2M έρχεται να βοηθήσει και να καταστήσει ικανή τη ροή δεδομένων μεταξύ μηχανών και μηχανών και, τελικά, μεταξύ μηχανών και ανθρώπων. Ανεξάρτητα από τον τύπο της συσκευής ή των δεδομένων, οι πληροφορίες συνήθως ρέουν με τον ίδιο γενικό τρόπο -από μια συσκευή, μέσω ενός δικτύου και στη συνέχεια μέσω μιας πύλης σε ένα σύστημα όπου μπορούν να επανεξεταστούν ή να εκτελεστούν.

Μέσα σε αυτό το βασικό πλαίσιο, υπάρχουν πολλές διαφορετικές επιλογές να γίνουν όπως πώς η συσκευή είναι συνδεδεμένη, τι τύπος επικοινωνίας χρησιμοποιείται, και πώς τα δεδομένα χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, ακόμα κι αν μπορεί να είναι περίπλοκη η διαδικασία, από τη στιγμή που μια εταιρία ξέρει τι θέλει να κάνει με τα δεδομένα, οι επιλογές για την εγκατάσταση της εφαρμογής είναι συνήθως άμεσες.

Όταν πρόκειται για τα λεπτότερα σημεία της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών, κάθε εγκατάσταση είναι μοναδική. Ωστόσο, υπάρχουν τέσσερα βασικά στάδια –συλλογή, μετάδοση και αξιολόγηση των δεδομένων και απόκριση στις διαθέσιμες πληροφορίες– που είναι κοινά σε σχεδόν κάθε εφαρμογή M2M.

Κεφάλαιο 5:

Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT)

Από τις πολλές νεοεμφανιζόμενες τεχνολογίες, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) είναι από τις πιο υποσχόμενες και έρχεται να προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες αλλά και προκλήσεις. Πρόκειται για μια μελλοντική κατάσταση, κατά την οποία καθημερινά αντικείμενα, όπως κινητά τηλέφωνα, αυτοκίνητα, οικιακές συσκευές, ρούχα, ακόμη και τρόφιμα, θα συνδέονται ασύρματα στο διαδίκτυο μέσω έξυπνων μικροκυκλωμάτων και θα μπορούν να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα.

Το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» περιγράφει ένα όραμα όπου τα αντικείμενα γίνονται μέρος του Διαδικτύου: όπου κάθε αντικείμενο είναι μονοσήμαντα προσδιορισμένο και προσβάσιμο στο δίκτυο, η θέση και η κατάσταση του είναι γνωστή, όπου υπηρεσίες και ευφυΐα έχουν προστεθεί σε αυτό το διευρυμένο Διαδίκτυο, συνδυάζοντας τον ψηφιακό και φυσικό κόσμο, επηρεάζοντας τελικά το επαγγελματικό, προσωπικό και κοινωνικό μας περιβάλλον.

Πριν την αναλυτικότερη παρουσίασή του, κρίνεται σκόπιμο να ξεκαθαριστεί πως ενώ ορισμένοι εξισώνουν τη νέα αυτή τεχνολογία με την επικοινωνία μηχανής με μηχανή (M2M), μια τέτοια ταύτιση δεν είναι σωστή.

Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών ορίζεται ως οι τεχνολογίες που επιτρέπουν σε μηχανές, τυπικά (μικρούς) υπολογιστικούς αισθητήρες που εκτελούν ειδικά καθήκοντα (ευφυΐα) να επικοινωνούν ή να αναμεταδίδουν πληροφορίες που απαιτούνται, συνήθως μέσω απλών πρωτοκόλλων, αλλά πιο πρόσφατα πάνω από το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) μέσω ασύρματης ή ενσύρματης επικοινωνίας, ακόμα και μέσω Υπηρεσίας Σύντομου Μηνύματος (SMS).

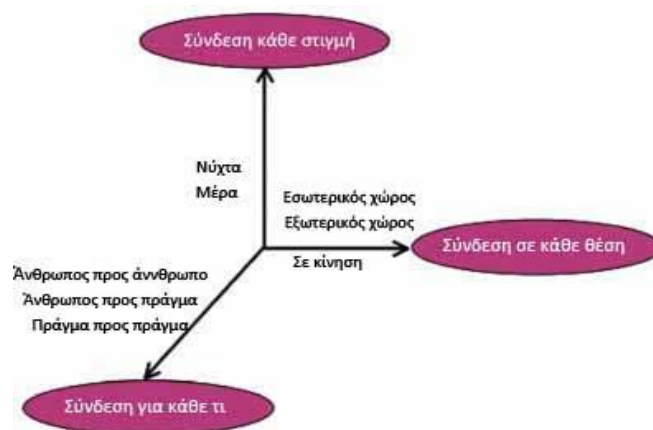
Όμως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι πολύ περισσότερα από την M2M τεχνολογία. Αφορά την αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα γύρω μας, ακόμη και με στατικά μη-έξυπνα αντικείμενα, και την αύξηση τέτοιων αλληλεπιδράσεων σε πλαίσια που παρέχονται από τη γεωγραφική θέση, το χρόνο και ούτω καθεξής. Ακόμα και μη-ευφυείς/μη-συνδεδεμένες συσκευές μπορούν να ενταχθούν στο IoT μέσω π.χ. ενός έξυπνου τηλεφώνου που λειτουργεί ως πύλη για το Διαδίκτυο. Έχει να κάνει, για παράδειγμα, με την αλληλεπίδραση μέσω barcode (γραμμικού κώδικα) με το βιβλίο που διαβάζουμε, μέσω NFC (Near Field Communication – Επικοινωνία κοντινού πεδίου) με μια αφίσα, ή με μια διαφήμιση σε εφημερίδα μέσω μικρού κώδικα.

Έτσι, η M2M τεχνολογία δεν συνιστά το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, αλλά είναι υποσύνολό του.

Σε μια έκθεση του 2005 η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union - ITU) πρότεινε ότι «Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα συνδέσει τα αντικείμενα του κόσμου τόσο με αισθητηριακό όσο και έξυπνο τρόπο». Συνδυάζοντας διάφορες τεχνολογικές εξελίξεις, η ITU περιγράφει τέσσερις διαστάσεις στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων: *προσδιορισμός των στοιχείων* (τοποθέτηση ετικετών - “tagging things”), *αισθητήρες και ασύρματα δίκτυα αισθητήρων* (αίσθηση των πραγμάτων - “feeling things”), *ενσωματωμένα συστήματα* (“thinking things”) και *νανοτεχνολογία* (“shrinking things”).

Ο ορισμός των «πραγμάτων» στο όραμα του IoT είναι πολύ ευρύς και περιλαμβάνει μια ποικιλία φυσικών στοιχείων. Αυτά περιλαμβάνουν προσωπικά αντικείμενα που κουβαλάμε, όπως έξυπνα τηλέφωνα ή ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Επίσης περιλαμβάνει στοιχεία του περιβάλλοντός μας (είτε πρόκειται για το σπίτι, το αυτοκίνητο ή την εργασία μας), καθώς και πράγματα που είναι εφοδιασμένα με ετικέτες (RFID ή άλλες) που διασυνδέονται μέσω συσκευής-πύλης (π.χ. ένα έξυπνο τηλέφωνο). Με βάση την παραπάνω θεώρηση των «πραγμάτων», ένας τεράστιος αριθμός συσκευών και πραγμάτων θα συνδέεται στο Διαδίκτυο, παρέχοντας το καθένα δεδομένα και πληροφορίες και ορισμένα, ακόμα και υπηρεσίες.

Το όραμα αυτό ενισχύει τη συνδεσιμότητα από το «**κάθε-στιγμή, σε κάθε-θέση**» για «**κάθε-έναν**» στο «**κάθε-στιγμή, σε κάθε-θέση**» για «**κάθε-τι**».



Εικόνα 5.1 Μια νέα διάσταση

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων διαφέρει, επίσης, από τα δίκτυα αισθητήρων ή το Διαδίκτυο, αλλά είναι «υλικά αντικείμενα που συνδέονται στο διαδίκτυο», που σημαίνει: πρώτον, ο πυρήνας και το θεμέλιο του IoT είναι ακόμα το Διαδίκτυο –βασίζεται στο Διαδίκτυο ως μια διεύρυνση και επέκταση του δικτύου– και δεύτερον, γίνεται διεύρυνση των πελατών του σε οποιαδήποτε πράγματα, ώστε να επιτευχθεί ανταλλαγή πληροφοριών και επικοινωνία. Ως εκ τούτου, αν και δεν υπάρχει αυστηρός ορισμός, μπορούμε να

ορίσουμε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ως το δίκτυο που χρησιμοποιεί συσκευές ραδιοσυχνικής αναγνώρισης (RFID - radio frequency identification), υπέρυθρους αισθητήρες, συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης, σαρωτές λέιζερ και άλλες αισθητήριες διατάξεις πληροφοριών, σύμφωνα με το συμφωνημένο πρωτόκολλο, σε κάθε στοιχείο συνδεδεμένο στο Διαδίκτυο για ανταλλαγή πληροφοριών και επικοινωνία, προκειμένου να επιτευχθούν έξυπνες λειτουργίες αναγνώρισης, εντοπισμού θέσης, παρακολούθησης και διαχείρισης.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει τρία σημαντικά χαρακτηριστικά:

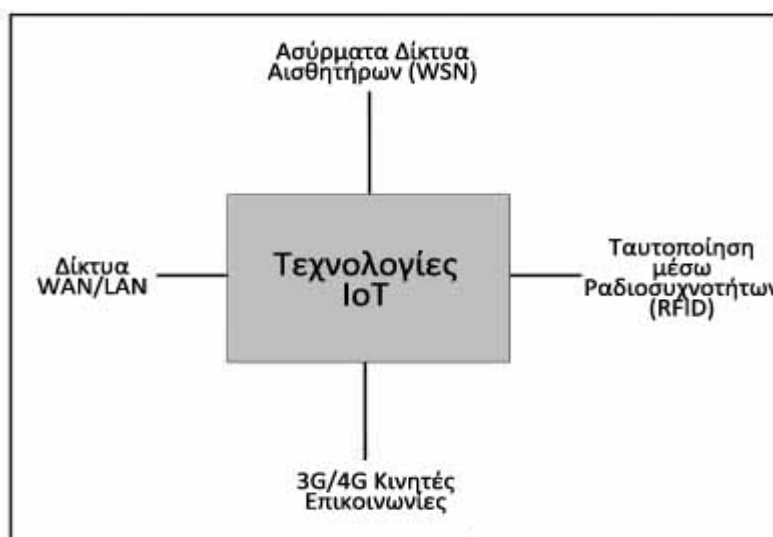
1. *Ολοκληρωμένη αίσθηση* χρησιμοποιώντας RFID τεχνολογία, αισθητήρες και δυο διαστάσεων κώδικα για τη συλλογή πληροφοριών από αντικείμενα οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή.

2. *Αξιόπιστη μετάδοση*. Ακριβής και σε πραγματικό χρόνο παροχή πληροφοριών από τα αντικείμενα, εμπλέκοντας διάφορα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και το Διαδίκτυο.

3. *Έξυπνη επεξεργασία* χρησιμοποιώντας έξυπνους τρόπους όπως το cloud computing και η ασαφής αναγνώριση (fuzzy identification) για να αναλύσει και να επεξεργαστεί τεράστιες ποσότητες δεδομένων και πληροφοριών, με σκοπό την εφαρμογή ευφυούς ελέγχου στα αντικείμενα.

5.1 Κύριες Τεχνολογίες για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι μια τεχνολογική επανάσταση που αντιπροσωπεύει το μέλλον της πληροφορικής και των επικοινωνιών και η ανάπτυξή του χρειάζεται υποστήριξη από κάποιες καινοτόμες τεχνολογίες. Μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αλληλεπίδρασης και τελειοποίησης της τεχνολογίας ανίχνευσης σήματος, των επικοινωνιών μικρής εμβέλειας, τη μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις, την έξυπνη ανάλυση και τη διαχείριση. Οι μείζονος σημασίας τεχνολογίες που θα κυριαρχήσουν στις IoT εφαρμογές είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN), η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και οι κινητές επικοινωνίες μαζί με τα υπάρχοντα LAN/WAN δίκτυα, όπως παρουσιάζει και η εικόνα 5.2. Στην έκθεση της ITU, αναφέρονται τέσσερις καθοριστικής σημασίας εφαρμοσμένες τεχνολογίες: η RFID, οι τεχνολογίες αισθητήρων, οι έξυπνες τεχνολογίες και η νανοτεχνολογία.



Εικόνα 5.2 Κύριες Τεχνολογίες στο IoT

5.1.1 Ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID)

Η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων θεωρείται από τους βασικούς μοχλούς της ανάπτυξης του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Τα αντικείμενα θα πρέπει να προσδιορίζονται έτσι ώστε να μπορούν να συνδεθούν. Η RFID τεχνολογία, που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για τον προσδιορισμό των στοιχείων, μπορεί να παρέχει αυτή τη λειτουργία.

Το RFID σύστημα καλύπτει διάφορες ζώνες συχνοτήτων από τα 124 kHz ως τα 5.8 GHz, όπως 124 kHz, 135 kHz, 13.56 MHz, 470 MHz, 900 MHz, 2.4 GHz και 5.8 GHz. Διαφορετικές συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες περιπτώσεις εφαρμογών. Το χαμηλής συχνότητας σύστημα RFID έχει ισχυρή δυνατότητα διείσδυσης και μπορεί να διαπεράσει σχεδόν κάθε αντικείμενο, εκτός από μέταλλο, χωρίς να επηρεάσει τη λειτουργία ανάγνωσης και γραφής. Αντίθετα, η ικανότητα διείσδυσης του RFID συστήματος υψηλής συχνότητας είναι μικρή, αλλά το εύρος μετάδοσης είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του συστήματος χαμηλής συχνότητας.

Η τεχνολογία αποτελείται από ετικέτες/αναμεταδότες, ένα πρόγραμμα ανάγνωσης και ένα υπολογιστικό σύστημα υποστήριξης. Η ετικέτα έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό (ID) και μια κεραία για να μεταδίδει/λαμβάνει ραδιοκύματα από τον αναγνώστη που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση. Ο αναγνώστης διαβιβάζει πληροφορίες που έλαβε από τις ετικέτες στον σύστημα υποστήριξης για επικύρωση και το σύστημα υποστήριξης εκτελεί τις εφαρμογές σύμφωνα με τα δεδομένα που έλαβε από τον αναγνώστη. Οι RFID ετικέτες μπορεί να είναι ενεργητικές ή παθητικές. Οι ενεργητικές ετικέτες έχουν onboard παροχή ισχύος και έχουν μεγάλη εμβέλεια ανάγνωσης με ρυθμό ραδιοφάρου (beacon rate), τυπικά, από 1 ως 15 δευτερόλεπτα. Από την άλλη, οι παθητικές ετικέτες είναι φτηνές και μικρές με μικρό εύρος ανάγνωσης. Μια παθητική ετικέτα δεν έχει τροφοδοσία από μόνη και απορροφά ενέργεια από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργεί η κεραία της συσκευής ανάγνωσης. Επίσης, υπάρχουν ημι-παθητικές και ημι-ενεργητικές ετικέτες. Μερικές φορές η τεχνολογία RFID έχει επισημανθεί ως αντικατάσταση του bar code, αλλά το RFID σύστημα μπορεί να κάνει πολύ περισσότερα από αυτό. Επιπλέον του προσδιορισμού στοιχείων, μπορεί να παρακολουθεί τα στοιχεία σε πραγματικό χρόνο για να πάρει σημαντικές πληροφορίες για την τοποθεσία και την κατάστασή τους.

Με λίγα λόγια, ένας από τους κρίσιμους παράγοντες της IoT υποδομής είναι ο προσδιορισμός τρισεκατομμυρίων αντικειμένων και η RFID παρέχει μια σημαντική τεχνολογική υποστήριξη για την απαίτηση αυτή. Συνεπώς, μια ώριμη τεχνολογία RFID παρέχει μια ισχυρή στήριξη για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

5.1.2 Τεχνολογία αισθητήρων

Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό μικροσκοπικών κόμβων αισθητήρων με δυνατότητα ανίχνευσης των αντικειμένων και του περιβάλλοντος στο φυσικό κόσμο και επικοινωνίας στον ψηφιακό κόσμο των συστημάτων υπολογιστών για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Οι αισθητήρες μπορούν να θεωρηθούν τα «αισθητήρια όργανα» του υλικού κόσμου και παρέχουν τις ακατέργαστες πληροφορίες για την επεξεργασία, τη μετάδοση, την ανάλυση και την ανατροφοδότηση πληροφοριών. Οι κόμβοι συλλέγουν και προωθούν τα δεδομένα στο σταθμό βάσης για την από κοινού παρακολούθηση των φυσικών αντικειμένων ή των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η κίνηση. Στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSN) υπάρχουν, συνήθως, ένας ή περισσότεροι σταθμοί βάσης και αρκετοί κόμβοι αισθητήρων. Ο σταθμός βάσης λειτουργεί ως η αξιόπιστη κεντρική αρχή και, επίσης, χρησιμεύει ως επεξεργαστής δεδομένων που συνδέει το δίκτυο αισθητήρων με τον εξωτερικό κόσμο.

5.1.3 Έξυπνη Τεχνολογία

Οι έξυπνες τεχνολογίες είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί συγκεκριμένος σκοπός, χρησιμοποιώντας γνώση εκ των προτέρων. Τα αντικείμενα που καθίστανται έξυπνα μετά την εμφύτευση έξυπνων τεχνολογιών μπορούν να επικοινωνούν με τους χρήστες ενεργά ή παθητικά. Το περιεχόμενο και η κατεύθυνση των σημαντικότερων ερευνών περιλαμβάνουν θεωρία τεχνητής νοημοσύνης, προηγμένες τεχνολογίες και συστήματα αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής, έξυπνα συστήματα και τεχνολογία ελέγχου, ευφυή επεξεργασία σήματος.

5.1.4 Νανοτεχνολογία

Η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των προϊόντων σε πολλές βιομηχανίες και κλάδους, μεταξύ των οποίων η ιατρική, η ενέργεια και οι μεταφορές. Η χρήση νανοτεχνολογίας σημαίνει ότι τα αντικείμενα που αλληλεπιδρούν και συνδέονται το ένα με το άλλο μπορεί να είναι τα μικρότερα.

Πρόσφατα, η νανοτεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ευαίσθητων υλικών υψηλής επίδοσης και νέων μεθόδων παραγωγής αισθητήρων, όπως η τεχνολογία μικροηλεκτρονικομηχανικών συστημάτων (MEMS – MicroElectroMechanical Systems) που επεκτείνει σημαντικά το πεδίο εφαρμογής των αισθητήρων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και προωθεί την ανάπτυξη της βιομηχανίας αισθητήρων.

5.2 Η Αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να διαιρεθεί σε τρία επίπεδα: το στρώμα αντίληψης (perception layer), το στρώμα δικτύου (network layer) και το στρώμα εφαρμογής (application layer).

Το **στρώμα αντίληψης** αποτελείται από δύο-διαστάσεων κωδικό ετικέτας και αναγνώστη κωδικού, RFID ετικέτα και αναγνώστη, κάμερα, GPS, όλα τα είδη των αισθητήρων, δίκτυο αισθητήρων, M2M τερματικά, πύλη αισθητήρα (gateway) κ.ά. Η κύρια λειτουργία του στρώματος αντίληψης είναι η αντίληψη και ταυτοποίηση των αντικειμένων και η συλλογή πληροφοριών.

Το **στρώμα δικτύου** αποτελεί ένα συγκλίνον δίκτυο το οποίο σχηματίζεται από όλα τα είδη δικτύων επικοινωνιών και το διαδίκτυο. Έχει γίνει ευρέως αποδεκτό ότι αυτό το τμήμα είναι το πιο ώριμο κομμάτι. Εξάλλου, τα κέντρα διαχείρισης και πληροφοριών του IoT είναι τμήματα του στρώματος δικτύου. Το στρώμα δικτύου, δηλαδή, όχι μόνο έχει την ικανότητα της λειτουργίας δικτύου, αλλά θα πρέπει να βελτιώνει την ικανότητα της λειτουργίας πληροφοριών. Παρέχει και επεξεργάζεται πληροφορίες από τα στρώματα αντίληψης, σαν να είναι το νευρικό κέντρο και ο εγκέφαλος της δομής, ολοκληρώνοντας τη μεταφορά πληροφοριών και δεδομένων μεταξύ του στρώματος αντίληψης και του στρώματος εφαρμογής. Το στρώμα δικτύου είναι η υποδομή ώστε να γίνει το IoT καθολική υπηρεσία.

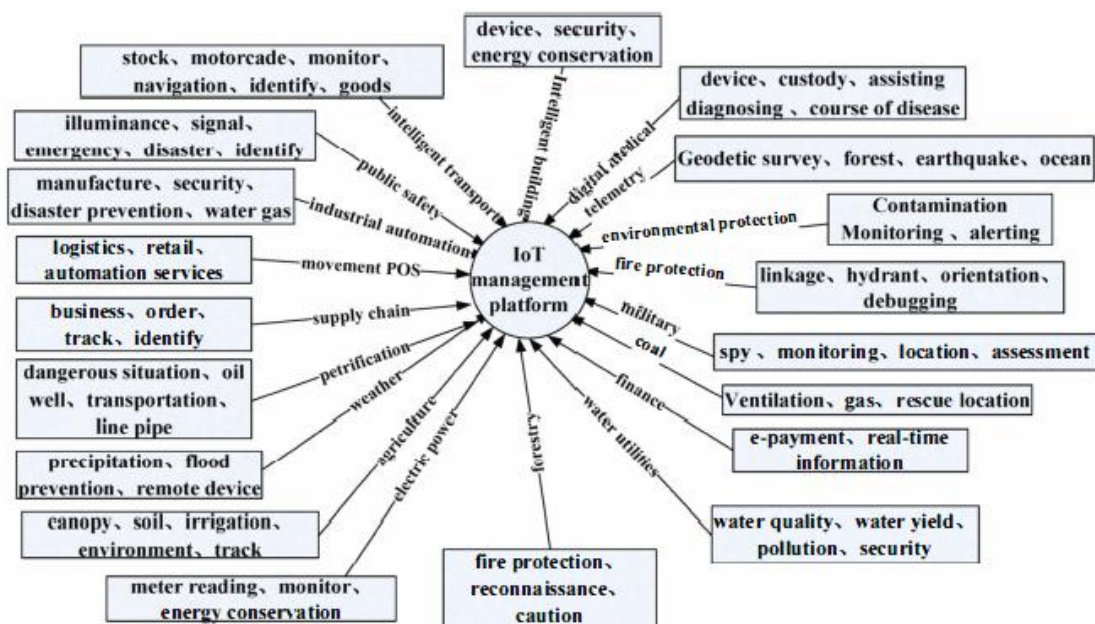
Το **στρώμα εφαρμογής** αποτελείται κυρίως από είδη συστημάτων εφαρμογών, με κύριες λειτουργίες τη σύγκλιση, τη μετατροπή, την ανάλυση και την ανταλλαγή δεδομένων, καθώς και τη σχετική πλατφόρμα υποστήριξης για τους χρήστες. Παράλληλα, το στρώμα αυτό προσφέρει επίσης διεπαφή εφαρμογής του διαδικτύου των πραγμάτων και υπηρεσίες εφαρμογής για τις συσκευές και τα τερματικά των χρηστών. Το στρώμα εφαρμογής είναι η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με την τεχνογνωσία της

βιομηχανίας για να επιτευχθεί μια ευρεία σειρά ευφών λύσεων εφαρμογών. Μέσω του στρώματος αυτού, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να επιτύχει, τελικά, την ενσωμάτωση της τεχνολογίας πληροφοριών με τη βιομηχανία. Θα έχει μεγάλη επίδραση στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Το κεντρικό στοιχείο του στρώματος εφαρμογής είναι η ανταλλαγή πληροφοριών και η ασφάλεια των πληροφοριών.

Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, πως, επί του παρόντος, δεν υπάρχει κάποια ευρέως αποδεκτή αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η πιο αντιπροσωπευτική δομή είναι αυτή της EPC Global που υποστηρίζεται από Ευρώπη και Η.Π.Α και το ιαπωνικό UID (Ubiquitous ID) IoT σύστημα.

5.3 Οι γενικές εφαρμογές του IoT

Παρότι η εφαρμογή του IoT είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο, έχει σημειώσει επιτυχία σε ορισμένους τομείς. Προς το παρόν, η εφαρμογή του επικεντρώνεται κυρίως στην υλικοτεχνική υποδομή, σε στρατιωτικά θέματα, στην παρακολούθηση και τη διαχείριση, στην ιατρική φροντίδα κ.ά.



Εικόνα 5.3 Σενάρια εφαρμογής του IoT

Σύμφωνα με τα ίδια τα χαρακτηριστικά του, θα πρέπει να παρέχονται οι ακόλουθες κατηγορίες υπηρεσιών:

1. Υπηρεσία Δικτύωσης: αναγνώριση/ταυτοποίηση, επικοινωνία και τοποθέτηση αγαθών.
2. Πληροφοριακή Υπηρεσία: συλλογή, αποθήκευση και αναζήτηση πληροφοριών.
3. Υπηρεσία Λειτουργίας: απομακρυσμένη ρύθμιση παραμέτρων, παρακολούθηση, λειτουργία και έλεγχος.
4. Υπηρεσία Ασφάλειας: διαχείριση χρηστών, έλεγχος πρόσβασης, εκδήλωση συναγερμού, ανίχνευση εισβολής, πρόληψη επιθέσεων.
5. Υπηρεσία Διαχείρισης: διάγνωση βλαβών, βελτιστοποίηση απόδοσης, αναβαθμίσεις του συστήματος, υπηρεσίες διαχείρισης της τιμολόγησης.

Ο γενικός τύπος υπηρεσιών του IoT που αναφέρθηκαν μπορούν να επεκταθούν βάσει των απαιτήσεων της εκάστοτε εφαρμογής του στους διάφορους τομείς. Στην εικόνα 5-3 φαίνονται τα μελλοντικά πλαίσια χρήσης του IoT.

5.4 Οι εφαρμογές του IoT στο Έξυπνο δίκτυο

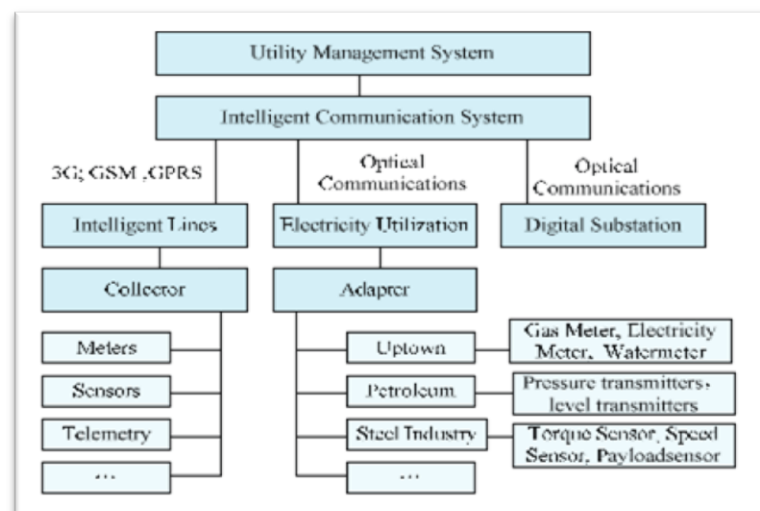
Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν τρία σημαντικά υποσυστήματα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη διανομή ενέργειας και την χρησιμοποίησή της. Πρόσφατα, το Διαδίκτυο των πραγμάτων έχει ευρέως αναγνωριστεί ως μια υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να ενισχύσει όλα αυτά τα υποσυστήματα, γεγονός που το καθιστά βασική συνιστώσα των επόμενης γενιάς συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, των έξυπνων δικτύων.

Τα κύρια σενάρια εφαρμογής του IoT στα έξυπνα δίκτυα είναι:

- Στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της μονάδας, των κατανεμημένων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, της περιοχής των σταθμών παραγωγής, των ρύπων και των εκπομπών αερίων, της ενεργειακής κατανάλωσης, του υλικού του άνθρακα, της αιολικής μονάδας παραγωγής, των φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, της αποθήκευσης ενέργειας, της διασύνδεσης ηλεκτρικής ενέργειας κτλ.

- Το IoT επίσης χρησιμοποιείται ευρέως για την παρακολούθηση των γραμμών μεταφοράς, για την προστασία των πύργων, για έξυπνους υποσταθμούς, για την αυτοματοποίηση της διανομής, για την παρακολούθηση της κατάστασης διανομής, για τη διαχείριση της λειτουργίας και του εξοπλισμού.

- Το IoT χρησιμοποιείται κυρίως για τους έξυπνους μετρητές και τη μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας, τη σύγκλιση του πολύ-δικτύου, για τα ηλεκτρικά οχήματα και τη φόρτισή τους, για την παρακολούθηση και διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης, για τη διαχείριση ζήτησης (DSM), κ.ά.



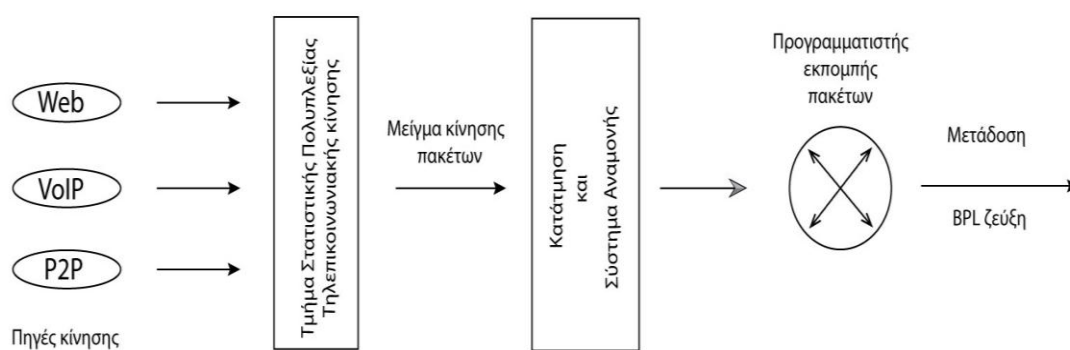
Εικόνα 5.4 Η δομή του IoT εφαρμοσμένη στο Έξυπνο Δίκτυο

Κεφάλαιο 6:

Αξιολόγηση της επίδοσης τηλεπικοινωνιακού δικτύου Smart Grid

6.1 Αρχιτεκτονική δικτύου προσομοίωσης

Στο κομμάτι αυτό της εργασίας, θέλουμε να προσομοιώσουμε μέρος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης ενός δικτύου Smart Grid και τη διαχείρισή της από έναν δρομολογητή. Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε την αποδοτικότητα του συστήματος και να επιλέξουμε τελικά τον καλύτερο τρόπο εξυπηρέτησης της κίνησης και το βέλτιστο σχήμα μετάδοσης, με βάση τις ανάγκες που παρουσιάζει ένα Έξυπνο Δίκτυο. Το σύστημα που εξετάζουμε και που φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 6-1 είναι πλήρως παραμετροποιημένο σε όλα τα στάδια, ώστε να υπάρχει δυνατότητα αλλαγών σε πολλά σημεία και μεγάλη ευελιξία στις επιλογές προσομοίωσης. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, έχουμε ως απαίτηση το σύστημά μας να παρέχει και να διασφαλίζει την απαραίτητη ποιότητα υπηρεσίας (QoS).



Εικόνα 6.1 Αρχιτεκτονική του τμήματος προσομοίωσης

Ως πηγές κίνησης εξετάζουμε τρεις περιπτώσεις εφαρμογών – web browsing, VoIP και P2P – τις οποίες ενεργοποιούν οι χρήστες, οι οποίοι εισέρχονται στο σύστημα σε τυχαίες χρονικές στιγμές ζητώντας διαφορετικές υπηρεσίες και διαφορετική ποιότητα και εξέρχονται μετά από τυχαίο χρονικό διάστημα. Σε δεύτερο στάδιο, οι κλήσεις των υπηρεσιών που γίνονται από τους χρήστες πολυπλέκονται στατιστικά και παράγεται το μίγμα κίνησης (traffic mix), το οποίο στη συνέχεια οδηγείται στο τμήμα παραγωγής πακέτων. Στο σημείο αυτό, για κάθε σύνοδο δημιουργούνται τα αντίστοιχα πακέτα, από ξεχωριστή διαδικασία ανάλογα με τον τύπο εφαρμογής που αφορούν. Αφού γίνει και η πολυπλεξία των πακέτων, οδηγούνται στο σύστημα αναμονής όπου και παραμένουν μέχρι να εξυπηρετηθούν και να μεταδοθούν, αφού προηγουμένως κατατμηθούν σε blocks, πάνω από μία ζεύξη BPL.

6.2 Τηλεπικοινωνιακή κίνηση

Ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα, ανάλογα με το σχεδιασμό του, μπορεί να υποστηρίξει μια ποικιλία υπηρεσιών προς τους χρήστες, όπως web browsing, VoIP, μετάδοση βίντεο και μεταφορά αρχείων. Εδώ επιλέξαμε να προσομοιώσουμε, τόσο σε επίπεδο συνόδου όσο και σε επίπεδο πακέτων, την τηλεπικοινωνιακή κίνηση που παράγεται, όπως αναφέρθηκε ήδη, από εφαρμογές **web browsing**, **VoIP** και **P2P**.

6.2.1 Χρόνοι άφιξης και διάρκεια συνόδων

Η προσομοίωση της κίνησης σε επίπεδο συνόδου βασίζεται στα παρακάτω μεγέθη:

- Το συνολικά προσφερόμενο φορτίο **L** στο σύστημα.
- Το ποσοστό συμμετοχής **p_i** της κάθε υπηρεσίας *i* στο συνολικό φορτίο.
- Το μέσο bitrate **R_i** του χρήστη που λαμβάνει την υπηρεσία *i*.
- Τη μέση διάρκεια της συνόδου **μ_i** της κάθε υπηρεσίας.

Το προσφερόμενο φορτίο **L** του συστήματος υπολογίζεται βάσει της σχέσης :

$$L = n_{load} \cdot Capacity$$

όπου **Capacity** είναι η χωρητικότητα του συστήματος και **n_{load}** ο παράγοντας κανονικοποιημένου προσφερόμενου φορτίου (normalized offered load).

Η διάρκεια της κάθε συνόδου ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή **μ_i**. Ο ρυθμός άφιξης της υπηρεσίας *i* υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση

$$\lambda_i = \frac{L * p_i}{R_i * \mu_i}$$

ενώ ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων της υπηρεσίας *i* ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή :

$$t_{interarrival} = \frac{1}{\lambda_i}$$

6.2.2 Μοντελοποίηση Εφαρμογής

Σύμφωνα με την αναφορά [48], μια εφαρμογή μπορεί να μοντελοποιηθεί με έναν από τους δύο τρόπους:

- Τα μεγέθη Μέσο PCO (Packet Call Object) μέγεθος (bytes), Μέσο PCO Overhead (bytes), Inter-arrival time (sec) και Session time (sec) προσδιορίζονται και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των μεγεθών Μέσο μέγεθος συνόδου (bytes) και Μέσος Ρυθμός (bits/sec), όπου:

$$\begin{aligned} \text{AverageRate} &= \frac{\text{AvSizePacketCallObject} + \text{PacketOverhead}}{\text{InterarrivalTime}} * 8 \\ \text{AvSessionSize} &= \frac{\text{AverageRate} * \text{MeanSessionTime}}{8} \end{aligned}$$

- Τα μεγέθη Μέσο PCO μέγεθος (bytes), Μέσο PCO Overhead (bytes), κλήσεις πακέτων ανά σύνοδο και χρόνος συνόδου (sec) προσδιορίζονται και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των Μέσο Μέγεθος Συνόδου (bytes) και Μέσος Ρυθμός (bits/sec), όπου:

$$\text{AvSessionSize} = (\text{AvSizePacketCallObject} + \text{PacketOverhead}) * \text{PacketCallsPerSession}$$

$$\text{AverageRate} = \frac{\text{AvSessionSize} * 8}{\text{MeanSessionTime}}$$

6.3 Υλοποίηση στο Matlab

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία, η προσομοίωση σε επίπεδο συνόδου υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab. Η χωρητικότητα του συστήματος θεωρήθηκε 10Mbps και ο παράγοντας $\eta_{\text{load}}=0.8$. Συνεπώς το προσφερόμενο φορτίο είναι:

$$L = 0.8 * 10\text{Mbps} \Rightarrow L = 8\text{Mbps}.$$

Ο αριθμός των υπηρεσιών που εξετάζουμε είναι $N=12$ και, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτές είναι τύπου web browsing, VoIP και P2P.

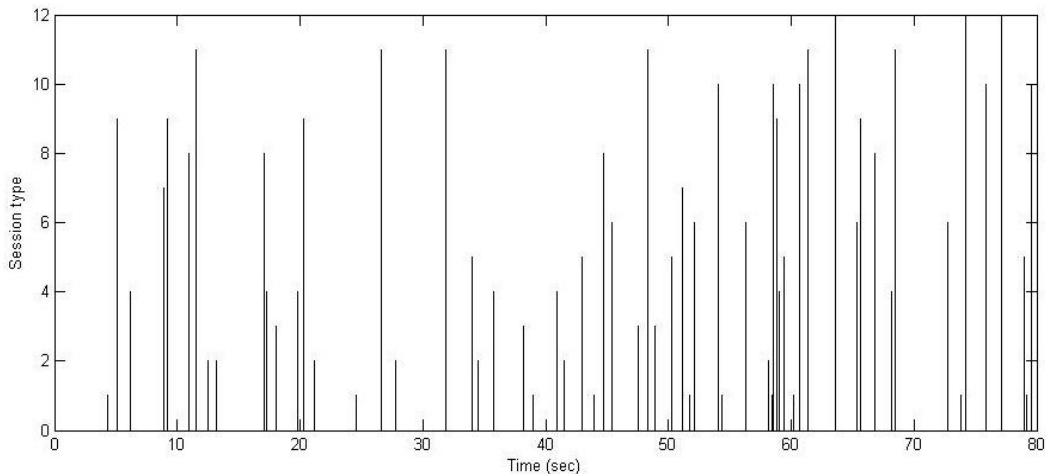
Φυσικά, για τις πιθανότητες εμφάνισης της κάθε υπηρεσίας θα πρέπει να ισχύει ότι :

$$0 \leq p_i \leq 1, \text{ για κάθε } i \in [0, 12] \text{ και } \sum_{i=1}^N p_i = 1$$

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι υπηρεσίες και τα βασικά μεγέθη του μοντέλου προσομοίωσης, το οποίο τρέχουμε για $t=80\text{sec}$.

Πίνακας 6-1 Χαρακτηριστικά κίνησης πηγών

Υπηρεσία	Τύπος Υπηρεσίας	p_i (%)	R_i (kbps)	μ_i (sec)
2D Web Browser 32kbps	1	0,06	32	150
2D Web Browser 64kbps	2	0,11	64	150
2D Web Browser 128kbps	3	0,12	128	150
3D Web Browser 64kbps	4	0,07	64	150
3D Web Browser 128kbps	5	0,1	128	150
VoIP (Toll Quality) 64kbps	6	0,03	64	130
VoIP (MP3 Quality) 128kbps	7	0,055	128	130
VoIP (Home Theater Quality) 256kbps	8	0,1	256	130
P2P File Sharing (small) 64kbps	9	0,1	64	220
P2P File Sharing (small) 128kbps	10	0,085	128	150
P2P File Sharing (large) 64kbps	11	0,095	64	280
P2P File Sharing (large) 128kbps	12	0,075	128	120



Εικόνα 6.2 Αφίξεις κλήσεων στον προσομοιωτή

Κάθε κλήση υπηρεσίας χαρακτηρίζεται από το χρόνο γέννησης, τη διάρκεια, τον τύπο υπηρεσίας στον οποίο ανήκει, την προτεραιότητα της υπηρεσίας, ανάλογα με το αν είναι smart grid ή public υπηρεσία, και το session ID της.

Πίνακας 6-2 Πίνακας Κλήσεων

Χρόνος άφιξης (sec)	Διάρκεια (sec)	Τύπος υπηρεσίας	Προτεραιότητα Υπηρεσίας	Session ID
8,873	8,4579	1	0	4
8,895	6,7634	7	1	5
9,243	251,6925	9	0	6
10,935	232,4718	8	0	7
11,556	2,8282	11	0	8
12,496	319,0246	2	1	9
13,173	65,6475	2	1	10
17,113	1,3233	8	0	11
17,239	95,1344	4	0	12
18,098	120,3195	3	0	13
19,802	108,5863	4	0	14
20,283	529,8686	9	0	15
21,192	67,1032	2	1	16

6.3.1 Παραγωγή πακέτων και Segmentation

Για κάθε κλήση υπηρεσίας που έχει προκύψει στο σύστημα, ακολουθεί η διαδικασία της παραγωγής των πακέτων, με βάση τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της κάθε υπηρεσίας. Τα πακέτα στη συνέχεια πολυπλέκονται στατιστικά, βάσει του χρόνου άφιξης, με τα πακέτα των υπόλοιπων κλήσεων. Κάθε πακέτο προσδιορίζεται από το χρόνο άφιξης και το μέγεθός του, τον τύπο της υπηρεσίας και το ID της κλήσης που αφορά, καθώς και από την

προτεραιότητα που έχει για μετάδοση. Τα πακέτα των smart grid υπηρεσιών έχουν προτεραιότητα 1 και είναι τα πρώτα υποψήφια για μετάδοση σε συγκεκριμένη περίπτωση σχήματος μετάδοσης, η οποία εξετάζεται παρακάτω.

Πίνακας 6-3 Στοιχεία του πίνακα πακέτων

Χρόνος άφιξης πακέτου (sec)	Μέγεθος πακέτου (Bytes)	Session ID	Τύπος Υπηρεσίας	Προτεραιότητα πακέτου
91,0218	1880	7	8	0
91,0222	750	62	5	0
91,0239	200	38	6	0
91,0253	1500	62	5	0
91,0256	200	57	6	0
91,0295	1500	62	5	0
91,0310	933	62	5	0
91,0317	200	31	6	0
91,0317	200	41	6	0
91,0332	750	62	5	0
91,0413	945	62	5	0
91,0438	1500	62	5	0
91,0454	200	52	6	0
91,0478	458	36	7	1
91,0501	200	31	6	0
91,0528	200	57	6	0
91,0529	1880	54	8	0
91,0534	200	41	6	0
91,0548	1500	62	5	0

Πριν τη μετάδοσή τους, τα πακέτα αντιστοιχίζονται με τη διαδικασία του Segmentation σε blocks δεδομένου μεγέθους. Το μέγεθος του block επιλέγεται ή καθορίζεται με βάση τη σχέση:

$$\text{BlockSize (Bytes)} = \frac{\text{TTI (sec)} * \text{Capacity (bps)}}{8}$$

όπου TTI είναι το χρονικό διάστημα μετάδοσης και Capacity η χωρητικότητα του συστήματος μετάδοσης.

Ουσιαστικά, για κάθε πακέτο που πρόκειται να αποσταλεί συγκρίνεται το μέγεθός του με ένα πρότυπο μέγεθος, το BlockSize. Σε περίπτωση που το πακέτο είναι μικρότερο από αυτό το μέγεθος, αποστέλλεται τελικά ένα πακέτο με μέγεθος ίσο με το BlockSize, που περιέχει όμως χρήσιμη πληροφορία ίση με το αρχικό μέγεθος του πακέτου. Στην περίπτωση που το πακέτο είναι μεγαλύτερο, τεμαχίζεται σε επιμέρους πακέτα που το καθένα έχει μέγεθος ίσο με το BlockSize. Η χρήσιμη πληροφορία συνολικά από τα επιμέρους πακέτα είναι και πάλι ίση με το αρχικό μέγεθος του πακέτου.

Πίνακας 6-4 Πακέτα μετά τη διαδικασία του Segmentation

Χρόνος άφιξης πακέτου (sec)	Μέγεθος πακέτου (Bytes)	Session ID	Τύπος Υπηρεσίας	Προτεραιότητα πακέτου
91,0218	500	7	8	0
91,0218	500	7	8	0
91,0218	500	7	8	0
91,0218	500	7	8	0
91,0222	500	62	5	0
91,0222	500	62	5	0
91,0239	500	38	6	0
91,0253	500	62	5	0
91,0253	500	62	5	0
91,0253	500	62	5	0
91,0256	500	57	6	0
91,0295	500	62	5	0
91,0295	500	62	5	0
91,0295	500	62	5	0
91,0310	500	62	5	0
91,0310	500	62	5	0
91,0317	500	31	6	0
91,0317	500	41	6	0
91,0332	500	62	5	0
91,0332	500	62	5	0

Όπως φαίνεται στον πίνακα 6-4, τα αρχικά πακέτα έχουν καταταμηθεί σε Blocks συγκεκριμένου μεγέθους (BlockSize = 500 bytes). Τα blocks που προέρχονται από το ίδιο αρχικό πακέτο χαρακτηρίζονται από ίδιο χρόνο γέννησης, ενώ ίδιες τιμές έχουν επίσης και τα πεδία Session ID, Τύπος Υπηρεσίας και Προτεραιότητα πακέτου.

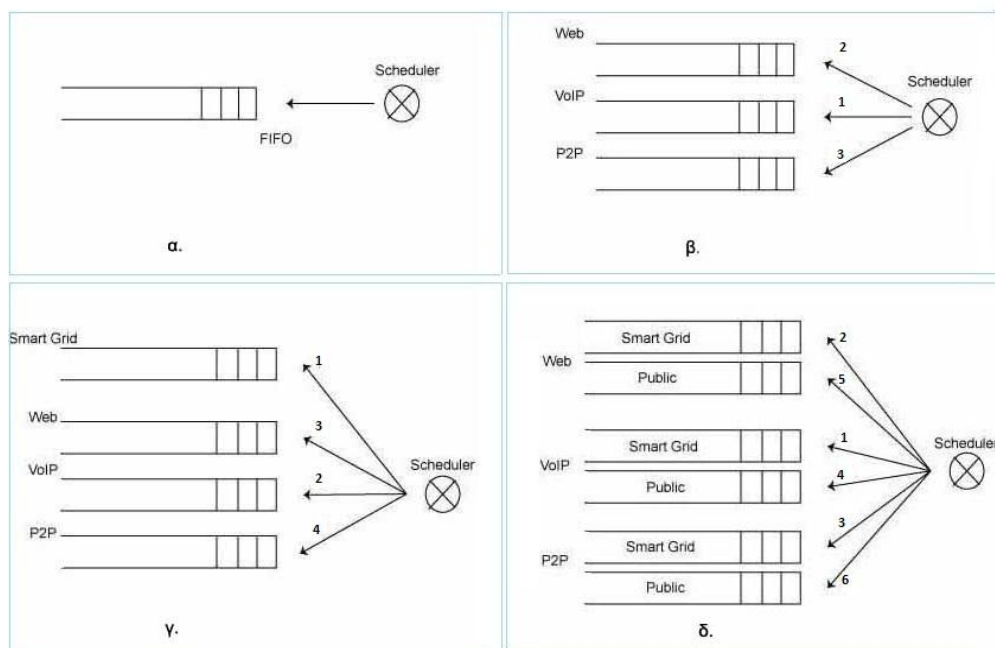
6.3.2 Ουρές αναμονής και σχήματα μετάδοσης (Schedulers)

Τα πακέτα που δημιουργούνται εισέρχονται σε ουρές αναμονής από όπου και θα μεταδοθούν, αφού καταταμηθούν σε blocks, σύμφωνα με τα διαφορετικά σχήματα μετάδοσης. Τα πακέτα εισέρχονται στις ουρές αναμονής τη στιγμή της γέννησής τους αλλά εξέρχονται από αυτές βάσει του ΤΤΙ. Σε κάθε ΤΤΙ εξυπηρετείται συγκεκριμένος αριθμός (N) από blocks, ανάλογα με το σενάριο προσομοίωσης.

Έχουμε τις εξής περιπτώσεις σχημάτων μετάδοσης:

1. Υπάρχει μόνο μία ουρά αναμονής και κάθε πακέτο εξυπηρετείται ισότιμα, ανάλογα με το χρόνο εμφάνισής του (FIFO).
2. Υπάρχουν διαφορετικές ουρές αναμονής, μία για κάθε τύπο εφαρμογής. Υψηλότερη προτεραιότητα για μετάδοση έχουν τα πακέτα των VoIP εφαρμογών, μετά των web εφαρμογών και τέλος των P2P.

3. Υπάρχει μία ουρά αναμονής για τα πακέτα όλων των smart grid εφαρμογών και τρεις διαφορετικές ουρές για τις public εφαρμογές, μια για κάθε τύπο. Υψηλότερη προτεραιότητα έχουν τα πακέτα των smart grid εφαρμογών και ακολουθούν οι public εφαρμογές όπως στην περίπτωση 2.
4. Για καθέναν από τους 3 τύπους εφαρμογών υπάρχουν δυο ουρές αναμονής, μία για τις smart grid υπηρεσίες και μία για τις public. Τα πακέτα εξυπηρετούνται και πάλι με σειρά προτεραιότητας. Πρώτα για μετάδοση είναι αυτά των smart grid εφαρμογών, με προτεραιότητα που καθορίζεται πάλι όπως στην περίπτωση 2. Αν όλες οι ουρές αναμονής για τις smart grid εφαρμογές είναι άδειες σε κάποιο ΤΤΙ, εξυπηρετούνται οι public υπηρεσίες με σειρά όπως στο 2.



Εικόνα 6.3 Σχηματική αναπαράσταση των τρόπων μετάδοσης: α) Σύστημα FIFO, β) Πολλαπλές ουρές αναμονής, μία για κάθε τύπο εφαρμογής, γ) Πολλαπλές ουρές αναμονής για τις public εφαρμογές και ξεχωριστή ουρά για smart grid πακέτα, δ) Διπλές ουρές αναμονής για κάθε εφαρμογή.

6.4 Σενάρια Προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το σύστημα είναι παραμετροποιημένο σε όλα τα στάδιά του. Συνεπώς, θα μπορούσαμε κατά την προσομοίωση να μεταβάλλουμε αρκετές διαφορετικές παραμέτρους (π.χ. χρόνος προσομοίωσης, μέση διάρκεια κλήσεων, ρυθμοί άφιξης, Segmentation Size, αριθμός blocks (N) που εξυπηρετούνται ανά ΤΤΙ). Προκειμένου, ωστόσο, να είναι ευκολότερη η αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων θα εξετάσουμε πιο συγκεκριμένες περιπτώσεις. Έτσι, θεωρούμε ότι έχουμε το ίδιο μίγμα κίνησης/πακέτων σε όλες τις περιπτώσεις και ίδιο segmentation size (500 bytes), αλλά αλλάζουμε τα σχήματα αναμονής-μετάδοσης και τις παραμέτρους τους (ΤΤΙ και N).

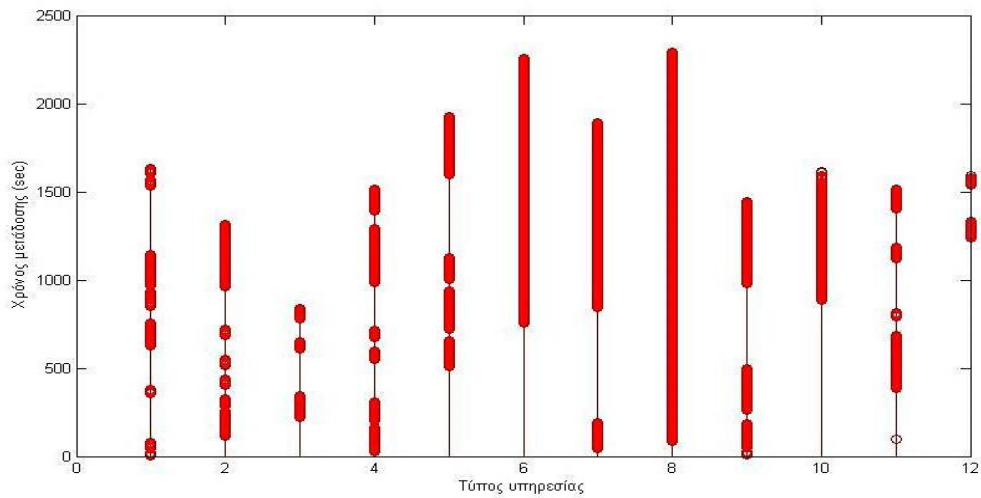
6.4.1 Περίπτωση 1

Χρησιμοποιείται ο πρώτος τύπος Scheduler και οι εξής τιμές παραμέτρων:

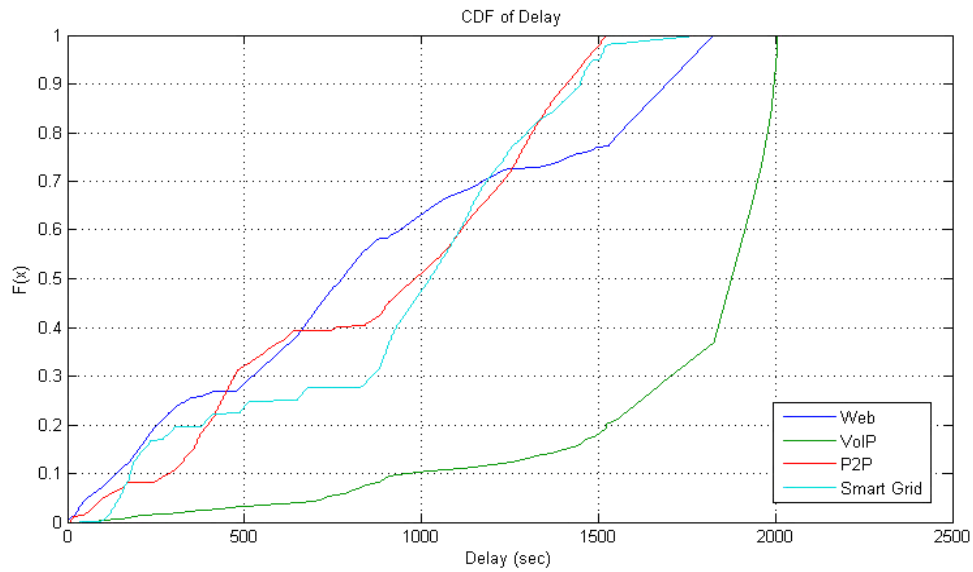
A.

- TTI = 0.01 sec
- N (Number of Blocks) = 1

Σύμφωνα με τη σχέση του τμήματος 6.2.1, η χωρητικότητα του συστήματος είναι Capacity=400 Kbps.



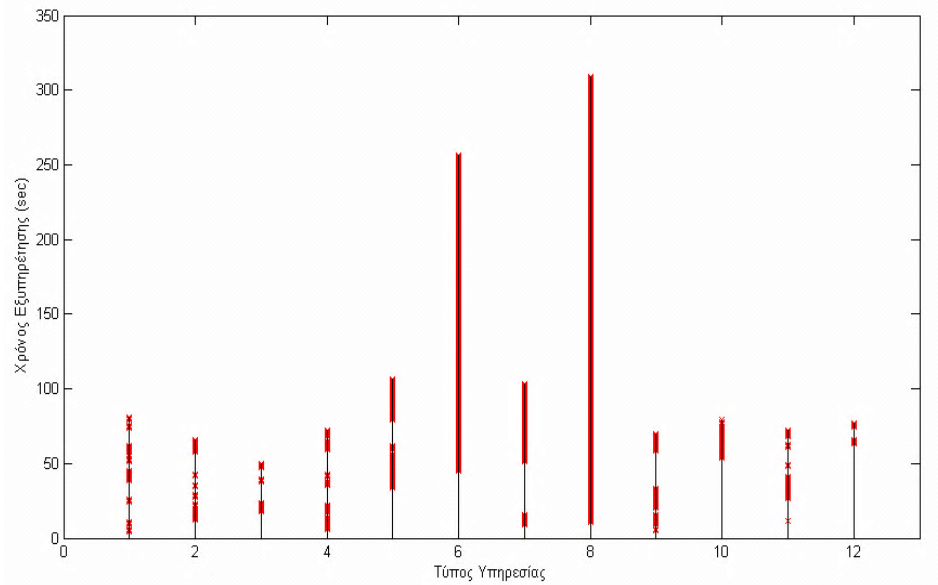
Εικόνα 6.4 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 1α



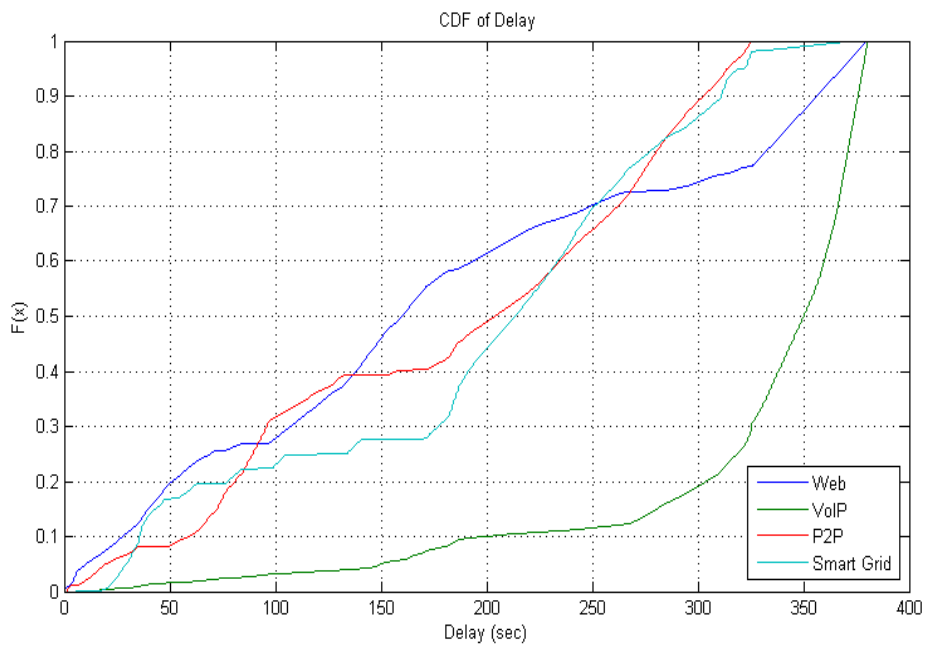
Εικόνα 6.5 Καυστέρηση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 1α.

B.

- TTI = 0.01 sec
- N (Number of Blocks) = 4
- Capacity = 1.6 Mbps



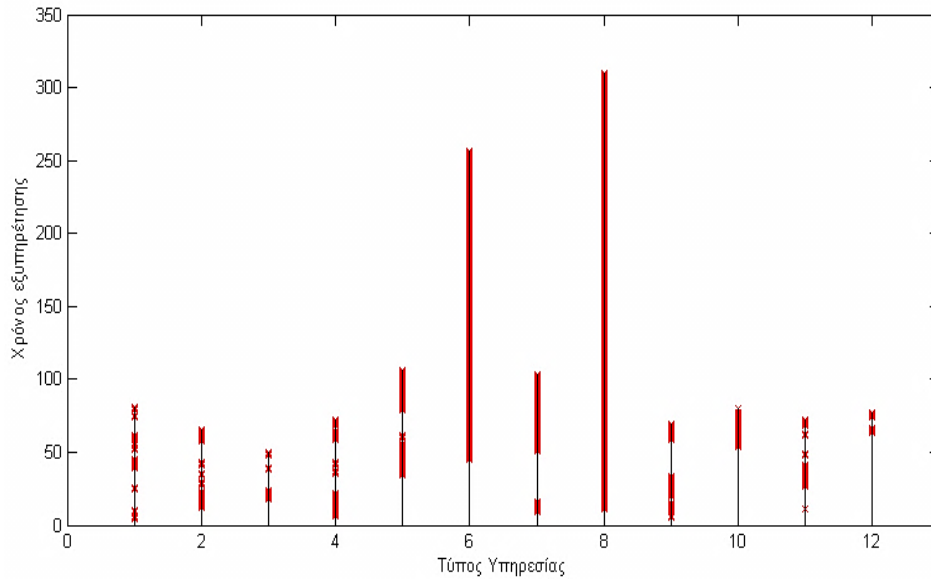
Εικόνα 6.6 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 1β.



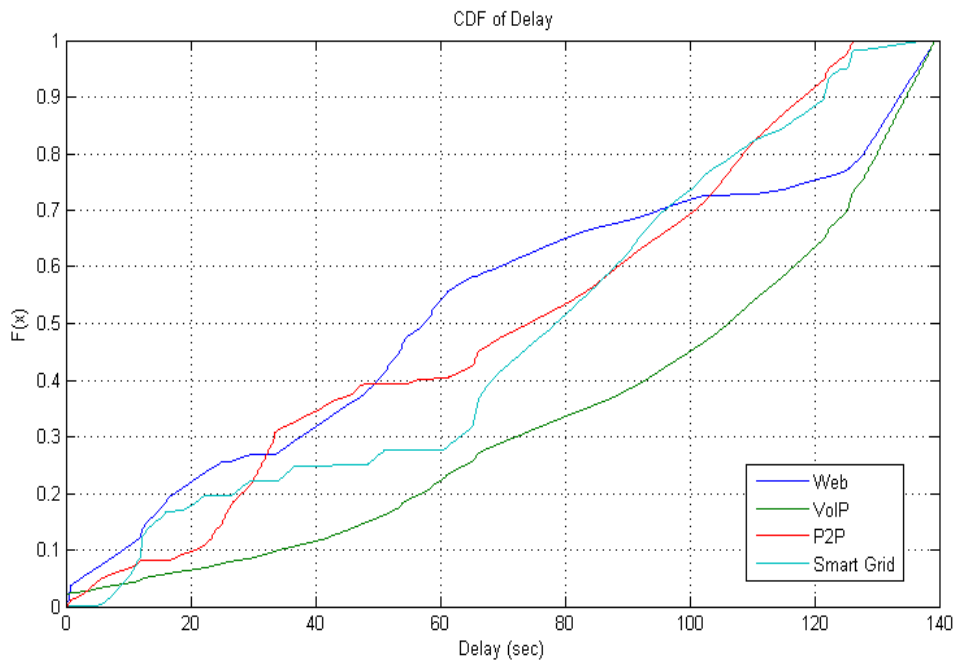
Εικόνα 6.7 Καθυστερήση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 1β.

Γ.

- TTI = 0.01 sec
- N (Number of Blocks) = 8
- Capacity = 3.2 Mbps



Εικόνα 6.8 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 1γ.



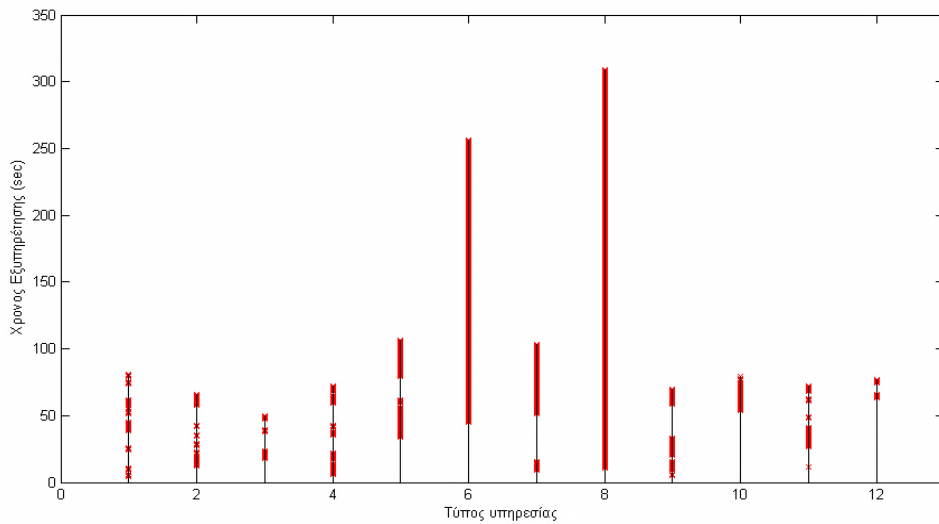
Εικόνα 6.9 Καθυστέριση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 1γ.

6.4.2 Περίπτωση 2

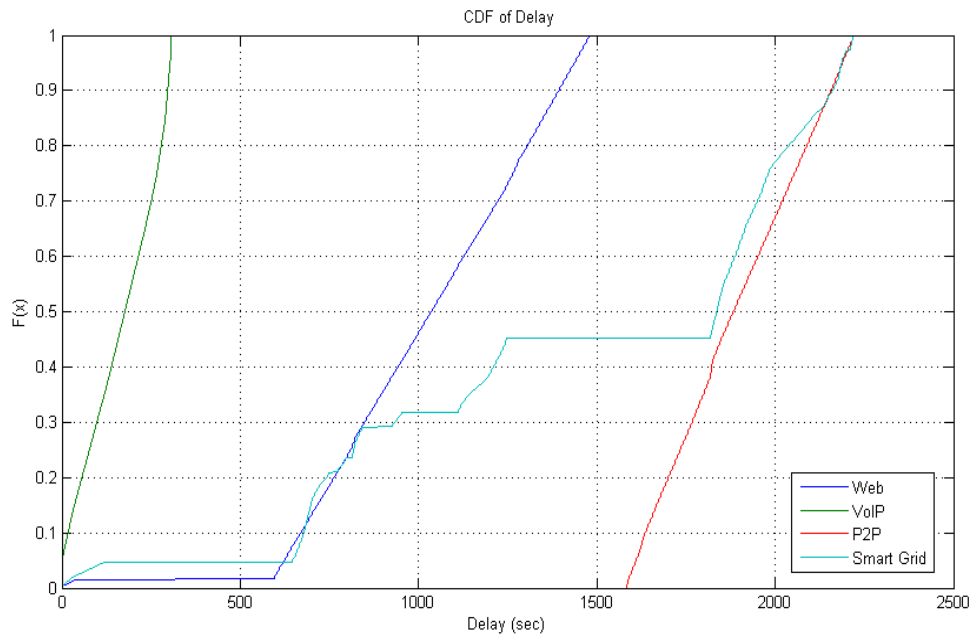
Χρησιμοποιείται το δεύτερο είδος σχημάτων μετάδοσης (εικόνα 6-3 (β)).

A.

- TTI = 0.01 sec
- N = 1
- Capacity = 400 Kbps



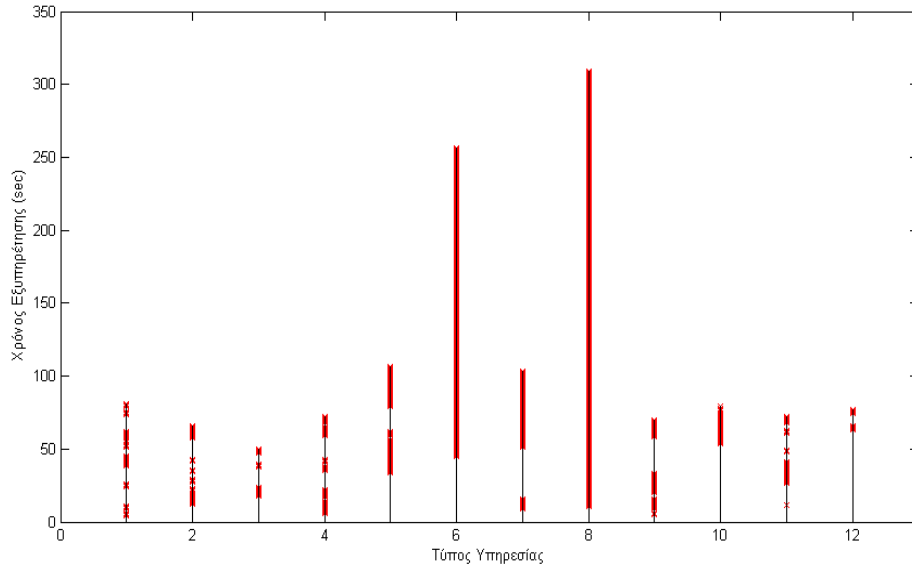
Εικόνα 6.10 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 2α.



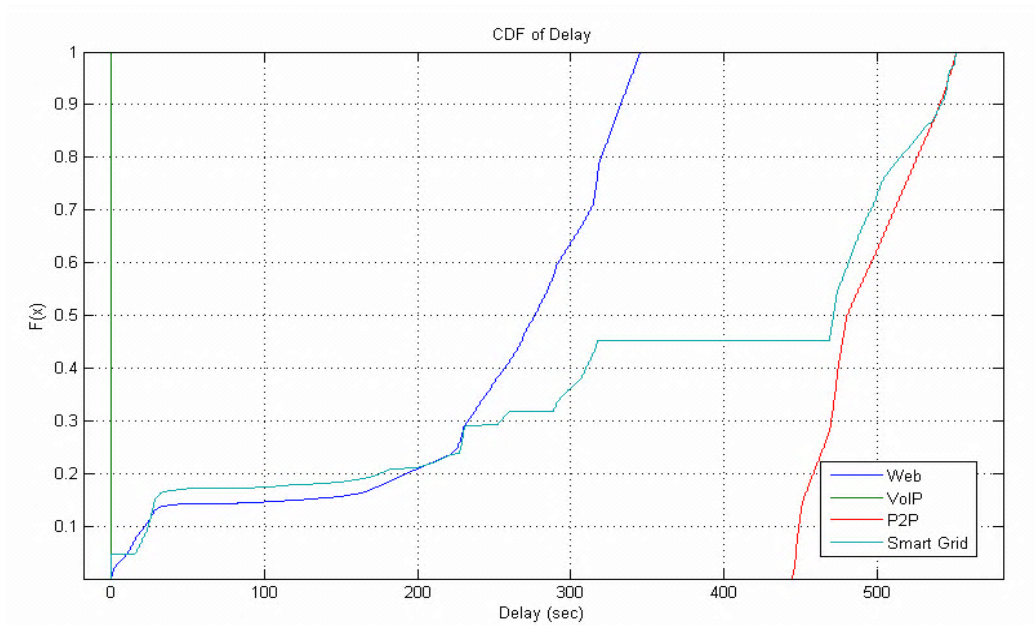
Εικόνα 6.11 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, Περίπτωση 2α.

B.

- TTI = 0.01 sec
- N = 4
- Capacity = 1.6 Mbps



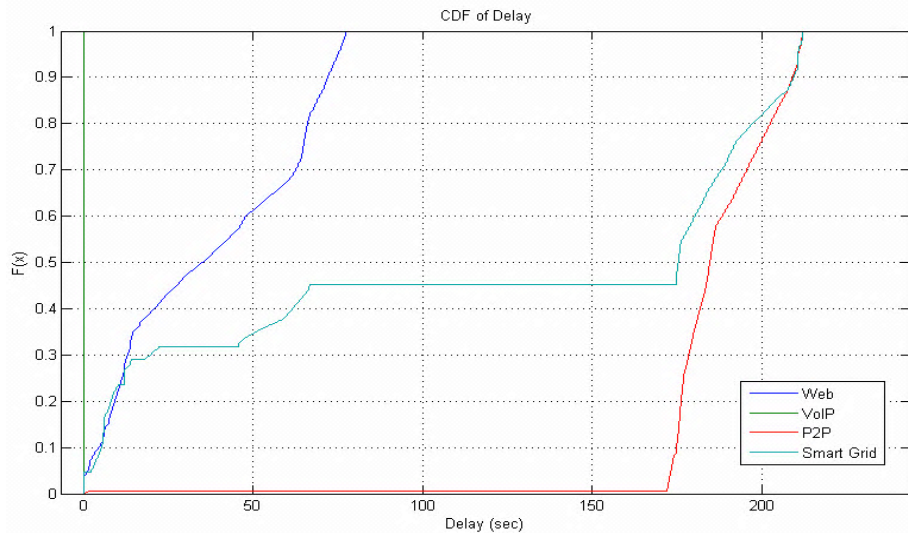
Εικόνα 6.12 Χρόνος εξυπηρέτησης πακέτων ανά τύπο υπηρεσίας, Περίπτωση 2β.



Εικόνα 6.13 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 2β.

Γ.

- TTI = 0.01 sec
- N (Number of Blocks) = 8
- Capacity = 3.2 Mbps



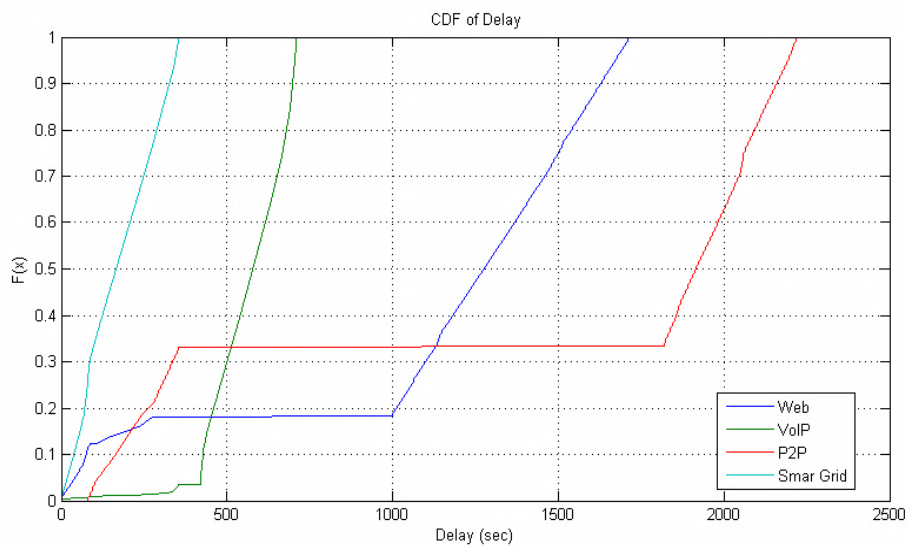
Εικόνα 6.14 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 2γ.

6.4.3 Περίπτωση 3

Χρησιμοποιείται το τρίτο σχήμα μετάδοσης (εικόνα 6-3 (γ)).

A.

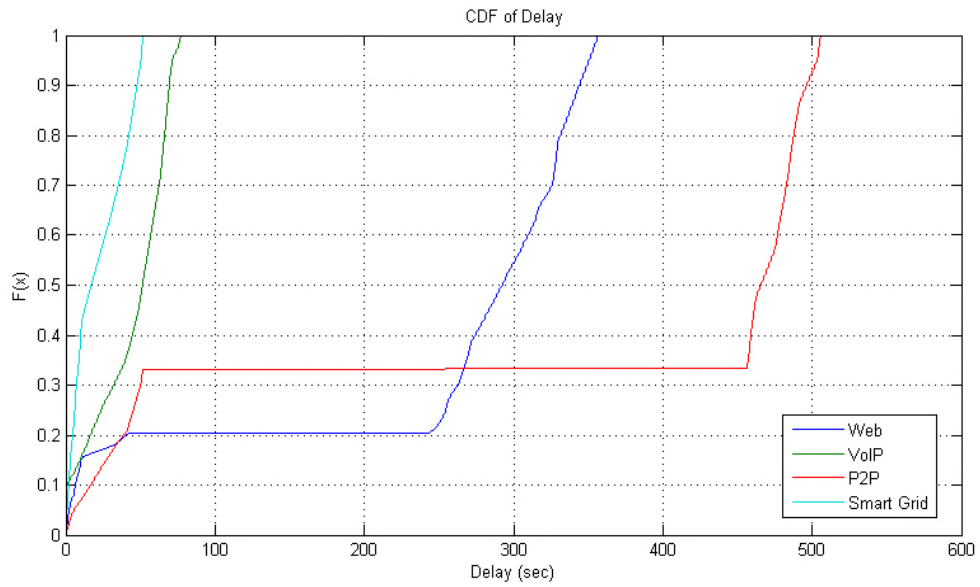
- TTI = 0.01 sec
- N = 1
- Capacity = 400 Kbps



Εικόνα 6.15 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 3α

B.

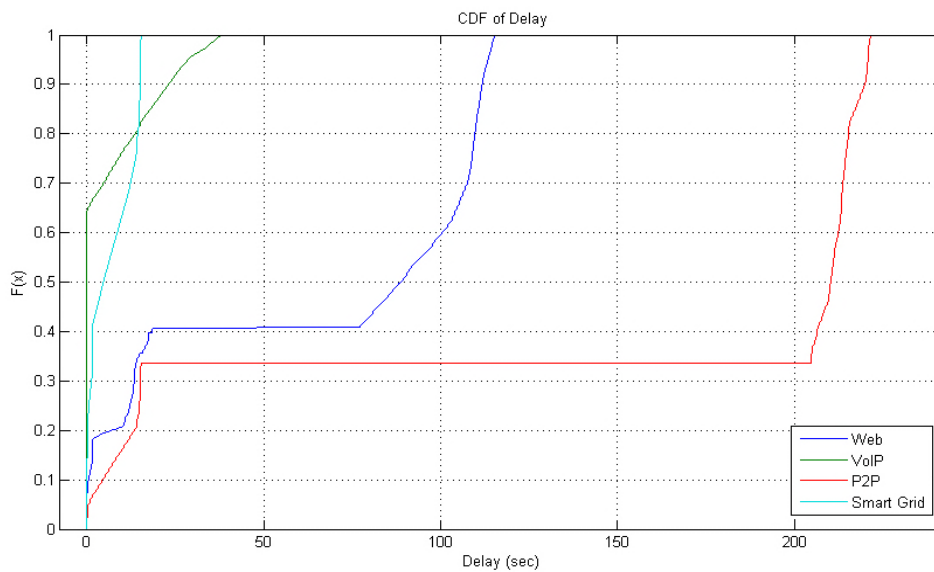
- TTI = 0.01 sec
- N = 4
- Capacity = 1.6 Mbps



Εικόνα 6.16 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 3β

Γ.

- TTI = 0.01 sec
- N = 8
- Capacity = 3.2 Mbps



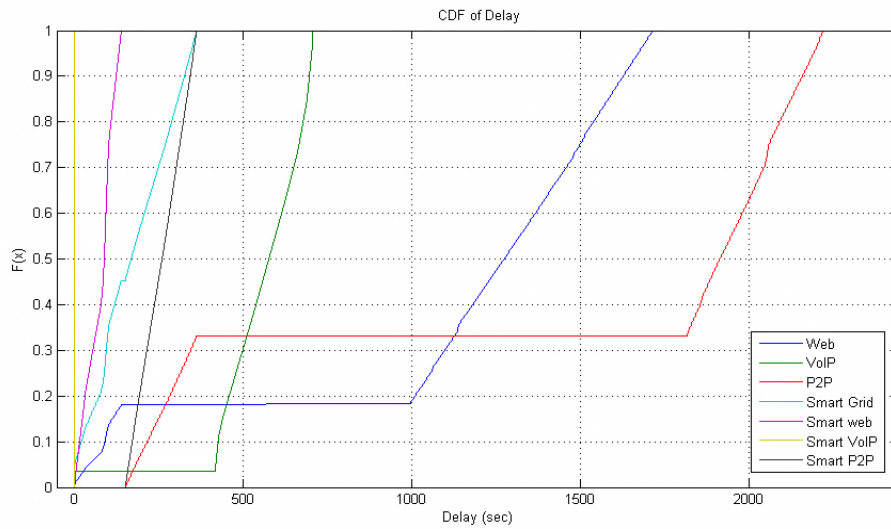
Εικόνα 6.17 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 3γ

6.4.4 Περίπτωση 4

Για το τέταρτο σχήμα μετάδοσης (εικόνα 6-3 (δ)) έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

A.

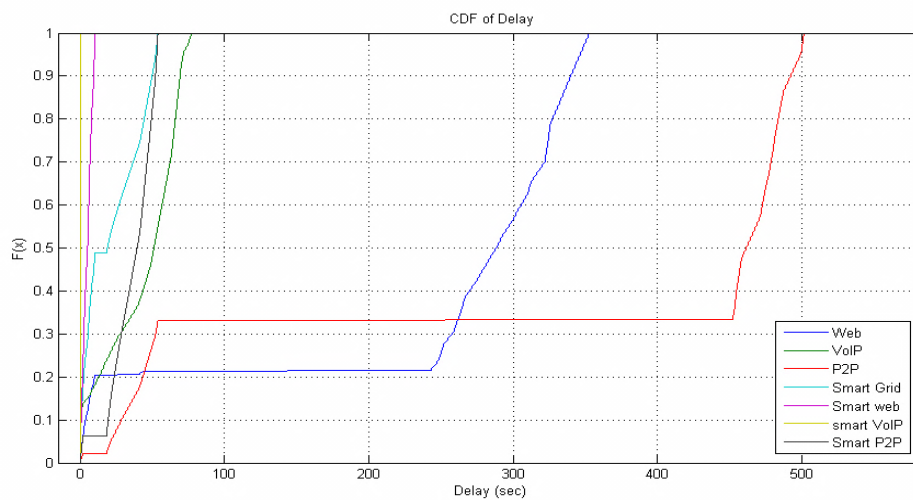
- TTI = 0.01 sec
- N = 1
- Capacity = 400 Kbps



Εικόνα 6.18 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 4δ

B.

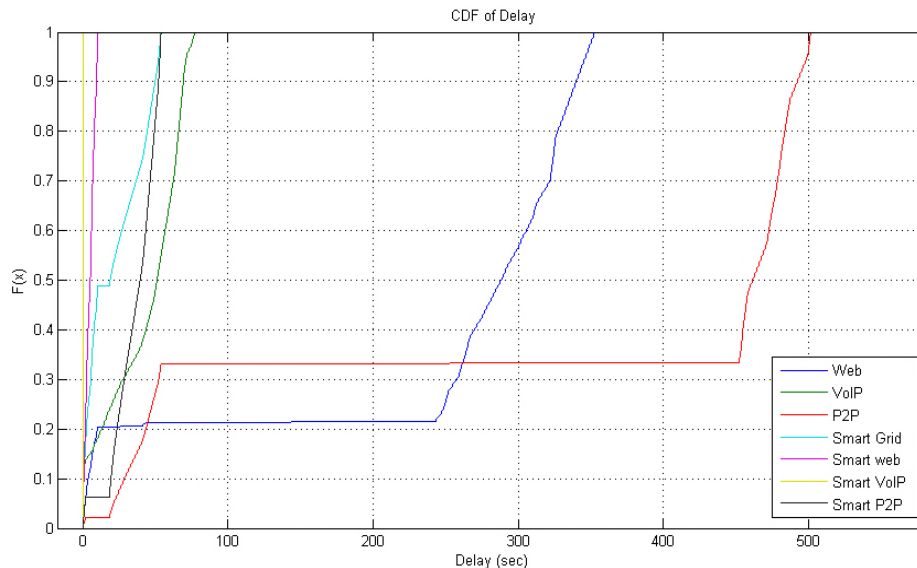
- TTI = 0.01 sec
- N = 4
- Capacity = 1.6 Mbps



Εικόνα 6.19 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 4δ

Γ.

- TTI = 0.01 sec
- N = 8
- Capacity = 3.2 Mbps



Εικόνα 6.20 Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων, 4γ

6.5 Συμπεράσματα Προσομοιώσεων

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων βλέπουμε, αρχικά, ότι στην πρώτη περίπτωση σχήματος μετάδοσης η καθυστέρηση παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά για τους διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Αν και οι VoIP εφαρμογές διαφοροποιούνται λίγο, εμφανίζοντας κάπως μεγαλύτερες τιμές καθυστέρησης, και οι τρεις εφαρμογές έχουν συνολικά παρόμοια εικόνα. Η εικόνα αυτή μάλιστα επαναλαμβάνεται, σχεδόν αναλλοίωτη, μεταξύ των υποπεριπτώσεων, όπου αλλάζει ο αριθμός N των blocks που εξυπηρετούνται ταυτόχρονα, με κύρια διαφορά ότι μειώνονται σημαντικά οι παρατηρούμενες τιμές καθυστέρησης.

Αλλάζοντας σχήμα μετάδοσης (περίπτωση 2) αλλάζουν αρκετά και τα αποτελέσματα, τα οποία δεν παρουσιάζουν ομοιότητες με πριν. Οι VoIP εφαρμογές έχουν πλέον τη μικρότερη καθυστέρηση, γεγονός αναμενόμενο, καθώς κατά την εξυπηρέτηση έχουν προτεραιότητα. Απεναντίας, τόσο οι web όσο και οι P2P εφαρμογές έχουν επιβαρυνθεί και συνολικά εμφανίζουν μειωμένη απόδοση. Η ελάχιστη καθυστέρηση που παρουσιάζουν είναι πολύ αυξημένη, σε σχέση με την αντίστοιχη πρώτη περίπτωση, κάτι που παρατηρείται εντονότερα στην περίπτωση των P2P εφαρμογών, ως αποτέλεσμα της χαμηλότερης προτεραιότητας που τους είχε δοθεί. Διαφορές παρατηρούνται και ανάμεσα στις υποπεριπτώσεις, ιδίως στις περιπτώσεις VoIP όπου αυξάνοντας το N οδηγούμαστε σε

σχεδόν μηδενική καθυστέρηση. Για όλες τις εφαρμογές, βέβαια, αύξηση του N συνεπάγεται, όπως και πριν, χαμηλότερη συνολική καθυστέρηση.

Στο τρίτο σχήμα μετάδοσης, πάλι παρατηρούμε διαφορές στις γραφικές παραστάσεις της καθυστέρησης, σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στη διαφορετική μεταχείριση που έχουν τα πακέτα των υπηρεσιών από το κάθε σύστημα μετάδοσης. Για παράδειγμα, η διαφορά που εντοπίζεται στις καθυστερήσεις των web και P2P εφαρμογών σε σύγκριση με την περίπτωση 2, παρότι η προτεραιότητα μεταξύ των public εφαρμογών είναι ίδια με πριν, οφείλεται στα πακέτα των smart grid περιπτώσεων και της υψηλότερης προτεραιότητας που έχουν. Τα πακέτα αυτά εξυπηρετούνται το συντομότερο δυνατόν από τη στιγμή εισόδου τους στο σύστημα, συνεπώς αντιμετωπίζουν χαμηλή καθυστέρηση, κάτι που αποτυπώνεται στις αντίστοιχες καμπύλες. Η σημαντικότερη διαφορά αφορά τα πακέτα των smart grid εφαρμογών, που αποτυπώνονται με γαλάζιο στα σχήματα. Ενώ στις περιπτώσεις 1 και 2 η καθυστέρηση που υφίστανται είναι τυχαία και αρκετά υψηλή, πλέον ελαχιστοποιείται.

Στο τέταρτο σχήμα μετάδοσης, δίνονται οι γραφικές παραστάσεις των καθυστερήσεων της κάθε εφαρμογής, τόσο συνολικά (με μπλε, πράσινο και κόκκινο) όπως πριν, όσο και συγκεκριμένα για τα smart grid πακέτα της καθεμίας (με μωβ, κίτρινο και μαύρο). Με γαλάζιο παρουσιάζεται, ξανά, η συνολική καθυστέρηση των smart grid πακέτων, ανεξάρτητα από την εφαρμογή που αφορούν. Παρατηρούμε ότι οι καθυστερήσεις συμβαδίζουν με τις προτεραιότητες που έχουν δοθεί κατά την εξυπηρέτηση.

Κεφάλαιο 7:

Συμπεράσματα Διπλωματικής Εργασίας

7.1 Σύνοψη συμπερασμάτων

Τα Έξυπνα Δίκτυα κερδίζουν συνεχώς το ενδιαφέρον και αναμφίβολα θα αποτελέσουν θέμα πολλών μελλοντικών μελετών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχοληθήκαμε με τις τεχνολογίες επικοινωνιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτά και εκτελέσαμε προσομοιώσεις της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που διέρχεται από έναν δρομολογητή Έξυπνου Δικτύου. Από τα αποτελέσματα προκύπτει, αρχικά, πως αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος συνεπάγεται συνολικά χαμηλότερη καθυστέρηση. Επιπλέον, γίνεται φανερό ότι για τις κρίσιμες εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση απαιτείται ένα σχήμα μετάδοσης το οποίο θα τις εξυπηρετεί με προτεραιότητα. Ωστόσο, η προτεραιότητα αυτή έχει ως αντίκτυπο αύξηση της καθυστέρησης που υφίστανται οι υπόλοιπες εφαρμογές, ιδιαίτερα αυτές που έχουν τη μικρότερη βαρύτητα. Χρειάζεται, λοιπόν, προσεκτικός σχεδιασμός και κατάλληλη επιλογή των σχημάτων μετάδοσης και των παραμέτρων τους, ώστε σε κάθε περίπτωση να εξασφαλίζεται αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας για τις όλες εφαρμογές.

7.2 Μελλοντική έρευνα

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και να επεκταθούν από μελλοντικές μελέτες. Αρχικά, θα μπορούσαν να μοντελοποιηθούν και προσομοιωθούν περισσότερες υπηρεσίες, όπως μετάδοση βίντεο και IPTV, ή υπηρεσίες διαφορετικών ρυθμών δεδομένων. Επίσης, η προσομοίωση μπορεί να υλοποιηθεί με διαφορετικό λογισμικό πακέτο. Ενδεικτικά, τα προγράμματα Ornet, Omnet και NS2 αποτελούν πολύ καλές επιλογές για προσομοίωση και αξιολόγηση της επίδοσης ενός δικτύου. Εναλλακτικά, θα μπορούσε κανείς να βασιστεί στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, επιλέγοντας, για παράδειγμα, C++.

Οι νέες τεχνολογίες επικοινωνιών, όπως M2M, IoT και WSN, ως αναδυόμενες, αναμένεται να προσελκύσουν όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον και να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Περαιτέρω θέματα, συνεπώς, μπορούν να αποτελέσουν η μελέτη των πρωτόκολλων που χρησιμοποιούνται σε αυτές και η εκτίμηση της επίδοσης τους ως προς την εξυπηρέτηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Βιβλιογραφία

- [1] Fangxing Li, Wei Qiao, Hongbin Sun, Hui Wan, Jianhui Wang, Yan Xia, Zhao Xu, Pei Zhang, "Smart Transmission Grid: Vision and Framework", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 2, Sep. 2010
- [2] V.K. Sood, D. Fischer, J.M. Eklund, T. Brown "Developing a Communication Infrastructure for the Smart Grid", IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 22-23 Oct., 2009
- [3] Zhou Xue-song , Cui Li-qiang, Ma You-jie, "Research on Technology of Smart Grid", IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS), 2010
- [4] Wenye Wang, Yi Xu, Mohit Khanna, "A survey on the communication architectures in smart grid", *Computer Networks*, vol.55, no. 15, pp. 3604–3629, 27 October 2011
- [5] Sooriyabandara, M., Ekanayake, J., "Smart Grid - Technologies for its realization", IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), Dec. 2010
- [6] V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati, G. P. Hancke, "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7, no. 4, Nov. 2011
- [7] Chun-Hao Lo, Nirwan Ansari, "The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects", *IEEE Communications Surveys & Tutorial*, vol. 14, no. 3, pp. 799-821, 2012
- [8] Sauter, T., Lobashov, M., "End-to-End Communication Architecture for Smart Grids", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 4, April 2011
- [9] Aggarwal, A., Kunta, S., Verma, P.K., "A Proposed Communications Infrastructure for the Smart Grid", Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Jan. 19-21, 2010
- [10] Parikh, P.P., Kanabar, M.G., Sidhu, T.S., "Opportunities and Challenges of Wireless Communication Technologies for Smart Grid Applications", IEEE Power and Energy Society General Meeting, Jul. 25-29, 2010
- [11] Simoes, M.G., Roche, R., Kyriakides, E., Miraoui, A., Blunier, B., McBee, K., Suryanarayanan, S., Nguyen, P., Ribeiro, P., "Smart-Grid Technologies and Progress in Europe and the USA", IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Sept. 17-22, 2011
- [12] Lauby, M.G., "Reliability Considerations for Application of Smart Grid Technologies", IEEE Power and Energy Society General Meeting, Jul. 25-29, 2010
- [13] National Instruments, "The Basics of ZigBee Transmitter Testing", 07 Nov., 2009 <http://www.ni.com/white-paper/6631/en>
- [14] Laverty, D.M., Morrow, D.J., Best, R., Crossley, P.A. "Telecommunications for Smart Grid: Backhaul solutions for the Distribution Network", IEEE Power and Energy Society General Meeting, Jul. 25-29, 2010
- [15] Pathak, P.H., Dutta, R., "A Survey of Network Design Problems and Joint Design Approaches in Wireless Mesh Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, no. 3, pp. 396-428, 2011

- [16] U.S. Department of Energy , “Home Area Networks and the Smart Grid”, <http://energy.gov/>.
- [17] Galli, S., Scaglione, A., Zhifang Wang, “For the Grid and Through the Grid, The Role of Power Line Communications in the Smart Grid”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 99, no. 6, pp. 998-1027, June 2011
- [18] Galli, S., Scaglione, A., Zhifang Wang, “Power Line Communications and the Smart Grid”, 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), pp. 303-308, Oct. 4-6, 2010
- [19] Jianming Liu, Bingzhen Zhao, Jiye Wang, Yi Zhu, Jing Hu, “Application of power line communication in smart power Consumption”, IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), pp. 303-307, Mar. 28-31, 2010
- [20] S. Galli, M. Koch, H. Latchman, S. Lee, and V. Oksman, “Chap.7: Industrial and International Standards on PLC-based Networking Technologies,” in *Power Line Communications*, 1st ed., H. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, and T. Swart, Eds. New York, NY: John Wiley & Sons, 2010, ch. 7.
- [21] OPEN-Meter WP2 D2.1 part2 v2.3 “Description of state-of-the-art PLC-based access technology”, June 2009. Available at: <http://www.openmeter.com/?q=node/11>
- [22] Oksman, V., Jin Zhang, “G.HNEM: the new ITU-T standard on narrowband PLC technology”, *IEEE Communications Magazine*, vo. 49, no. 12, pp. 36-44, Dec. 2011
- [23] Huai-Lei Fu, Hou-Chun Chen, Lin, P., Yuguang Fang, “Energy-Efficient Reporting Mechanisms for Multi-Type Real-time Monitoring in Machine-to-Machine Communications Networks”, in IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), Mar. 25-30, 2012
- [24] Wietfeld C., Georg H., Groening S., Lewandowski C., Mueller C., Schmutzler J., “Wireless M2M Communication Networks for Smart Grid Applications,” in 11th European Wireless Conference, April 27-29, 2011
- [25] Yan Zhang, Rong Yu, Nekovee M., Yi Liu, Shengli Xie, Gjessing S., “Cognitive machine-to-machine communications: visions and potentials for the smart grid”, *IEEE Network*, vol. 23, no. 3, May-June 2012
- [26] S. Abdul Salam, S.A. Mahmud, G.M. Khan, H. S. Al-Raweshidy, “M2M communication in Smart Grids: Implementation scenarios and performance analysis”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), Apr. 1, 2012
- [27] Yen-Kuang Chen, “Challenges and Opportunities of Internet of Things”, 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC), pp. 383-388, Jan. 30 – Feb. 2, 2012
- [28] CISCO, “The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything,” Available at: http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- [29] M2M Communications, “What is M2M Communications”, <http://www.m2mcomm.com/about/what-is-m2m/index.html>
- [30] Castro Miguel, Jara Antonio J., Skarmeta Antonio F., “An Analysis of M2M Platforms: Challenges and Opportunities for the Internet of Things”, 6th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), July 4-6, 2012

- [31] Sarita Agrawal, Manik Lal Das, "*Internet of Things – A Paradigm Shift of Future Internet Applications*", Nirma University International Conference on Engineering, Dec. 8-10, 2011
- [32] Coetzee, L., Eksteen, J., "*The Internet of Things – Promise for the Future? An Introduction*", IST-Africa Conference Proceedings, 11-13 May, 2011
- [33] Lu Tan, Neng Wang, "*Future Internet: The Internet of Things*", 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 20-22 Aug. 2010
- [34] Li Li, Hu Xiaoguang, Chen Ke, He Ketai, "*The Applications Of WiFi-based Wireless Sensor Network In Internet Of Things And Smart Grid*", 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 21-23 June, 2011, pages: 789-793
- [35] Gan Gang, Lu Zeyong, Jiang Jun, "*Internet of Things Security Analysis*", 2011 International Conference on Internet Technology and Applications (iTAP), 16-18 Aug. 2011
- [36] Tongrang Fan, Yanzhao Chen, "*A Scheme of Data Management in the Internet Of Things*", 2nd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, 24-26 Sept. 2010, pages 110-114
- [37] Miao Yun, Bu Yuxin, "*Research on the Architecture and Key Technology of Internet of Things (IoT) Applied on Smart Grid*", International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE), Jun. 19-20, 2010
- [38] Yin Laiwu, Chen Deyun, Zhu Hongwei, "*Research on Key Technology of Internet of Things Based on FRID*", International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), Aug. 19-22, 2011
- [39] Kai Zhang, Dahai Han, Hongping Feng, "*Research on the complexity in Internet of Things*", International Conference on Advanced Intelligence and Awareness Internet (AIAI), Oct. 23-25, 2010
- [40] Yan Zhen, Lingkang Zeng, Xi Chen, Xiangzhen Li, Jianming Liu, "*Study of Architecture of Power Internet of Things*", IET International Conference on Communication Technology and Application (ICCTA 2011), Oct. 14-16, 2011
- [41] Xi Chen, Jianming Liu, Xiangzhen Li, Limin Sun, Yan Zhen, "*Integration of IoT with Smart Grid*", IET International Conference on Communication Technology and Application (ICCTA 2011), Oct. 14-16, 2011
- [42] Wu Shu-wen, "*Research on the Key Technologies of IOT Applied on Smart Grid*", International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), Sept. 9-11, 2011
- [43] Bui N., Castellani A.P., Casari P., Zorzi, M., "*The internet of energy: a web-enabled smart grid system*", *IEEE Network*, vol. 26, no. 4, pp. 39-45, Jul.-Aug. 2012
- [44] Ziming Zhu, Lambotharan S., Woon Hau Chin, Zhong Fan, "*Overview of demand management in smart grid and enabling wireless communication technologies*", *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 3, pp. 48-56, June 2012
- [45] Niyato D., Ping Wang, Hossain E., "*Reliability analysis and redundancy design of smart grid wireless communications system for demand side management*", *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 3, pp. 38-46, June 2012
- [46] Cosmas, J., Loo, J., Aggoun, A., Tsekleves, E., "*Matlab traffic and network flow model for planning impact of 3D applications on networks*", IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), Mar. 24-26, 2010

- [47] ISO/IEC 14908-3:2012, *“Information technology – Control network protocol – Part 3: Power line channel specification,”* Available at <http://www.iso.org/iso/home/store/>
- [48] ISO/IEC 14543-3-5:2007, *“Information technology – Home electronic system (HES) architecture -- Part 3-5: Media and media dependent layers – Power line for network based control of HES Class 1”*, Available at <http://webstore.iec.ch/>
- [49] CEA 600.31- 1998 (R2004), *“Power Line Physical Layer and Medium Specification,”* Available at <http://www.standardsfree.org/9447-CEA-CEA-600-31.html>
- [50] IEC 61334-5-2:1998, *“Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 5-2: Lower layer profiles - Frequency Shift Keying (S-FSK) profile”*.
- [51] IEC 61334-5-1:2001 *“Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 5-1: Lower layer profiles - Spread Frequency Shift Keying (S-FSK) profile”*.
- [52] IEC 61334-3-1 ed1.0 (1998-11), *“Distribution automation using distribution line carrier systems - Part 3-1: Mains signalling requirements - Frequency bands and output levels”*, Available at <http://webstore.iec.ch/>.
- [53] ITU-T G.hnem G.9955(12/11):*“Narrow-band OFDM power line communication transceivers - Physical layer specification,”* Available at: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9956> G.9956 (11/11): *“Narrow-band OFDM power line communication transceivers - Data link layer specification”*, Available at: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9956>
- [54] IEEE SA - P1901.2 *“Standard for Low Frequency (less than 500 kHz) Narrow Band Power Line Communications for Smart Grid Applications”*, <http://standards.ieee.org/develop/project/1901.2.html>
- [55] G3-PLC, *“Open Standard for Smart Grid Implementation”*, Available at: <http://www.maximintegrated.com/products/powerline/g3-plc/>
- [56] TIA-1113 (2008-4), *“Medium-Speed (up to 14 Mbps) Power Line Communications (PLC) Modems using Windowed OFDM,”* Telecommunications Industry Association (TIA), Available at: <ftp.tiaonline.org/>
- [57] IEEE 1901, *“Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications”*, Available at <http://standards.ieee.org/>
- [58] ITU-T G.hn, G.9960/G.9961 (06/10), *“Unified high-speed wireline-based home networking transceivers - System architecture and physical layer specification,”* Available at <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9960/en>.
- [59] HomePlug, *“HomePlug Green PHY Specification,”* Available: <http://www.homeplug.org/>