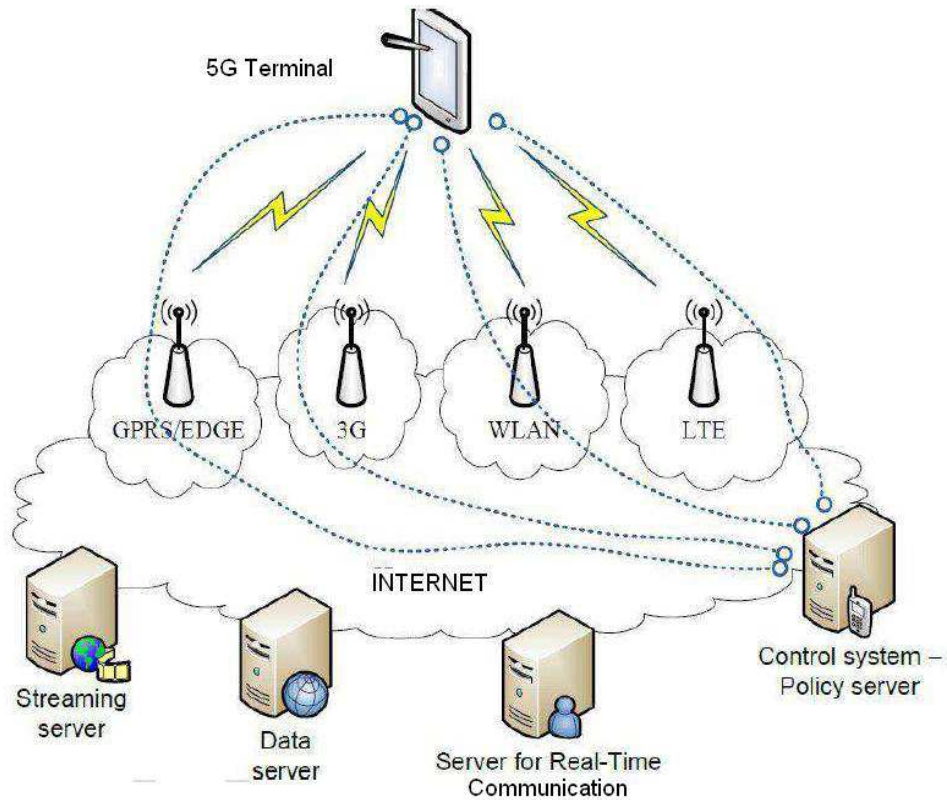




ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<Εξελίξεις και Μελλοντικές Προοπτικές των Ασύρματων Δικτύων>>



Του φοιτητή
Τυχάλα Κωνσταντίνου (ΑΜ:001483)

Επιβλέπων καθηγητής
κ. Αμανατιάδης Δημήτριος

Θεσσαλονίκη 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες καθώς και στην Ελλάδα, υπάρχει μια συνεχής διαβούλευση στον ακαδημαϊκό, τεχνικό και πολιτικό κόσμο για την ανάγκη ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς. Τα δίκτυα βασίζονται στην εκτεταμένη χρήση οπτικών ινών μέχρι και το συνδρομητή, και εξασφαλίζουν ένα ουσιαστικά απεριόριστο εύρος ζώνης, ικανό να καλύψει το σύνολο των μελλοντικών αναγκών του σε ταχύτητες πρόσβασης. Παράλληλα, οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών με την ανάπτυξη των τεχνολογιών WiMAX, 4G, καθώς και τη διαμόρφωση του LTE, προβάλλουν σαν μια εναλλακτική πρόταση δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς με συγκριτικά χαμηλότερες ταχύτητες αλλά σημαντικά μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη ευκολία υλοποίησης. Επιπρόσθετα μετά 4G συνεργατικά δίκτυα και προχωρόντας ακόμη μακρύτερα στο μέλλον, με τη τεχνολογία 5G αναμένονται σημαντικές εξελίξεις στη ταυτόχρονη πρόσβαση σε διάφορες τεχνολογίες, από κινητούς χρήστες.

ABSTRACT

In the past few years, many European countries along with Greece included, tend to consult on educational, industrial and political level, for the need of new generation networks development. These networks are based on the use of optical fibers to the consumers' end, ensuring unlimited bandwidth, enough to cover the future needs in access and speed. Meanwhile, technological advances on the field of wireless communications, with the deployment of WiMAX and 4G technologies , along with the the evolvent of LTE, seem to be an alternative proposal for next generation networks, with a slow connection on the one hand, but significant lower implementation cost and easy of installation. Additionally, with cooperative 4G networks and by proceeding even farther in the future, with 5G technology expected major developments in concurrent access to various technologies, from mobile users.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη δύο ανθρώπων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου. Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αμανατιάδη Δημήτριο ο οποίος με την υπομονή του, τις πολύτιμες συμβουλές και κατευθύνσεις καθώς και τις γνώσεις του με καθοδήγησε και υπήρξε στήριγμα στην όλη μου προσπάθεια προς την επίτευξη της πτυχιακής μου. Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Αποστόλου Ελευθερία για τη βοήθεια, συμπαράσταση και υποστήριξη στις διάφορες δυσκολίες που προέκυψαν κατά την διάρκεια της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
Εισαγωγή	12
1.1 Τι είναι τα δίκτυα	12
1.2 Τοπολογίες Δικτύων	12
1.3 Δίκτυα σύμφωνα με το μέσο σύνδεσης	13
1.4 Είδη Δικτύων	14
1.4.1 Τοπικά Δίκτυα	14
1.4.2 Μητροπολιτικά Δίκτυα	15
1.4.3 Δίκτυα Ευρείας Περιοχής	15
1.4.4 Ασύρματα Δίκτυα	16
1.4.5 Οικιακά Δίκτυα	16
1.4.6 Διαδίκτυα	18
1.5 Χρήσεις Δικτύων	18
1.5.1 Επιχειρηματικές Εφαρμογές	18
1.5.2 Οικιακές Εφαρμογές	18
1.5.3 Μετακινούμενοι Χρήστες.....	19
1.5.4 Κοινωνικά Δίκτυα	19
1.6 Κίνητρα Διαδικτύωσης.....	20
1.7 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ασύρματων Δικτύων	21
Επίλογος	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	24
Εισαγωγή	24
2.1 Ιστορική Αναδρομή Ασύρματων Δικτύων	24
2.2 Βασικές Αρχές Ασύρματων Δικτύων	27
2.3 Γενιές Ασύρματων Δικτύων	29
2.3.1 Κυβελωτά Συστήματα 1 ^{ης} Γενιάς	29
2.3.2 Μετάβαση στα Ψηφιακά Κυβελωτά Συστήματα.....	30
2.3.3 Κυβελωτά Συστήματα 2 ^{ης} Γενιάς.....	31

2.3.4 Κυβελωτά Συστήματα 2.5 Γενιάς	31
2.3.5 Κυβελωτά Συστήματα 3 ^{ης} Γενιάς	32
2.3.5.1 Εξέλιξη των 3G - High Speed Packet Access (HSPA).....	32
2.3.6 Συστήματα Ασύρματης Τηλεφωνίας.....	33
2.3.7 Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WPANs).....	34
2.3.8 Επαγγελματικά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών (PMRs)	34
2.3.9 Δίκτυα Ασύρματης Ευρυζωνικής ΡαδιοΠρόσβασης (BWANs, WMANs)	35
2.3.10 Ψηφιακά Συστήματα Ευρυεκπομπής	35
2.3.11 Δορυφορικά Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών	36
2.4 Προκλήσεις	36
2.4.1 Αναξιοπιστία Ασύρματου Μέσου Διάδοσης	37
2.4.2 Χρήση Φάσματος.....	37
2.4.3 Διαχείριση Ισχύος	37
2.4.4 Ασφάλεια	38
2.4.5 Μεταπομπή.....	39
2.4.6 Διασύνδεση με ενσύρματα δίκτυα.....	39
2.4.7 Θέματα Υγείας	39
Επίλογος	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	41
Εισαγωγή	41
3.1 Δίκτυα Πρόσβασης.....	41
3.2 Η τεχνολογία WiFi (Wireless Fidelity).....	43
3.2.1 Το πρότυπο IEEE 802.11a	47
3.2.2 Το πρότυπο IEEE 802.11g	47
3.2.3 Το πρότυπο IEEE 802.11n	48
3.2.4 Το πρότυπο IEEE 802.11ac	49
3.2.5 Το πρότυπο IEEE 802.11ad	49
3.2.6 Τα πρότυπα IEEE 802.11f και IEEE 802.11e	50
3.3 Πρότυπα IEEE 802.16 και ETSI HiperMAN	50
3.4 WiMAX	52
3.5 Η εξέλιξη των WiMAX.....	52
3.5.1 IEEE 802.16.....	53
3.5.1.1 Παρασκήνιο και IEEE 802.16	53
3.5.1.2 Η στοιβα πρωτοκόλλων του IEEE 802.16	55

3.5.1.3 Δομή Πλαισίων IEEE 802.16	57
3.5.2 IEEE 802.16-2001	57
3.5.3 IEEE 802.16c.....	58
3.5.4 IEEE 802.16a.....	58
3.5.4.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του IEEE 802.16a	58
3.5.5 IEEE 802.16e.....	59
3.5.6 IEEE 802.16-2004 (d) – Σταθερή Πρόσβαση WiMAX.....	59
3.5.7 IEEE 802.16-2004 (e) – Κινητή Πρόσβαση WiMAX.....	61
Επίλογος	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	64
Εισαγωγή	64
4.1 Συστήματα 4 ^{ης} Γενιάς	64
4.2 Σχεδιαστικοί Στόχοι για τα συστήματα 4 ^{ης} Γενιάς.....	65
4.3 Υπηρεσίες και εφαρμογές 4 ^{ης} Γενιάς	69
4.4 Η Πρόκληση της πρόβλεψης.....	71
Επίλογος	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	73
Εισαγωγή	73
5.1 Τεχνολογία LTE.....	73
5.1.1 Εξοπλισμός Τεχνολογίας	73
5.1.2 Κίνητρα Σχεδίασης.....	73
5.1.3 Εξέλιξη LTE	74
5.1.4 Εμπορική Διαθεσιμότητα	76
5.1.5 Παροχές σε χρήστες και παρόχους.....	76
5.2 Βασικά Χαρακτηριστικά LTE	77
5.2.1 Τεχνικές Πρόσβασης Χρήστη στο LTE	79
5.3 Αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα LTE	80
5.3.1 Αρχιτεκτονική LTE.....	80
5.3.1.1 Μονάδα Διαχείρισης Κινητικότητας (Mobility Management Entity- MME)	81
5.3.1.2 System Architecture Evolution Gateway (SAE GW)	83
5.3.1.3 Serving Gateway (S-GW)	83
5.3.1.4 Packet Data Network Gateway (P-GW).....	85
5.3.2 Εξωτερικά Δίκτυα και Υπηρεσίες (External Networks and Services)	86

5.3.3 Μονάδα Πολιτικής και Χρεώσεων (Policy and Charging Resource Function – PCRF)	87
5.3.4 Τοπικός Server συνδρομητών (Home Subscription Server – HSS)	88
5.3.5 Σταθμός Βάσης (eNodeB).....	89
5.3.6 Συσκευή Χρήστη (UE).....	90
5.3.7 Πρωτόκολλα LTE και διασύνδεση.....	91
5.3.7.1 Διασύνδεση Δικτύων.....	91
5.3.7.2 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων	93
5.3.8 Ζώνες συχνότητων και Φασματική Ευελιξία.....	94
5.3.9 Παρεχόμενες Υπηρεσίες LTE.....	95
5.4 LTE Advanced.....	96
Επίλογος	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	99
Εισαγωγή	99
6.1 Υβριδικά Δίκτυα.....	99
6.1.1 Οπτικά Δίκτυα	99
6.1.2 Παθητικά Οπτικά Δίκτυα - PONs.....	100
6.1.3 Παθητικά Οπτικά Ethernet Δίκτυα - EPONs.....	101
6.1.4 Ενσωμάτωση IEEE 802.16 και EPON	102
6.1.4.1 Αρχιτεκτονικές.....	103
6.1.4.2 Συμπεράσματα	104
6.2 Συνεργατικά 4G Δίκτυα	105
6.2.1 Στόχος και κέρδος χρήσης συνεργατικών δικτύων	107
6.2.2 Τρόποι μετάδοσης των δεδομένων στα συνεργατικά δίκτυα.....	109
6.2.3 Υπηρεσίες στα συνεργατικά δίκτυα.....	110
6.2.4 Συνεργατικές υπηρεσίες υποστηριζόμενες από χρήστες διαφορετικών απαιτήσεων.	110
6.2.5 Αυξανόμενη ποιότητα υπηρεσιών λόγω της συγκέντρωσης χρηστών	111
6.2.6 Αναμεταδότες (Relays)	112
6.2.7 Παραδείγματα εφαρμογών και πειραματικά αποτελέσματα	113
6.2.7.1 Η ιδέα των torrent	113
6.2.7.2 Κατέβασμα video και video streaming	113
6.2.7.3 Web browsing.....	114
6.2.8 Προβλήματα και κίνητρα για την συνεργατικότητα	115

6.2.8.1 Προβλήματα	115
6.2.8.2 Κίνητρα συνεργασίας.....	116
6.2.9 Κατανάλωση Ενέργειας (Power Consumption).....	117
6.3 Συστήματα 5 ^{ης} γενιάς	120
6.3.1 Αρχιτεκτονική 5G	122
6.3.1.1 Ο Nanocore	123
6.3.1.2 Nanotechnology.....	124
6.3.1.3 Nano Equipment (NE).....	124
6.3.1.4 Cloud Computing.....	125
6.3.1.5 All IP Network	125
6.3.2 Συμπεράσματα.....	126
Επίλογος	126
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	127
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενοποίηση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών οδηγεί τις παγκόσμιες εξελίξεις σε όλα τα επίπεδα του σύγχρονου τρόπου ζωής. Το Διαδίκτυο και οι εφαρμογές πολυμέσων, αναπόσπαστο τμήμα των δραστηριοτήτων μας, απαιτούν πλέον μεγάλο εύρος ζώνης και πολύπλοκα-σύγχρονα δίκτυα προσπέλασης.

Τα τελευταία χρόνια, σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες καθώς και στην Ελλάδα, υπάρχει μια συνεχής διαβούλευση στον ακαδημαϊκό, τεχνικό και πολιτικό κόσμο για την ανάγκη ανάπτυξης ασύρματων δικτύων νέας γενιάς. Η κυψελοειδής τηλεφωνία, η χαρακτηριστικότερη εφαρμογή των ασύρματων δικτύων, έχει ήδη καθοριστική επίδραση στις σημερινές κοινωνίες προσφέροντας μια ριζική αλλαγή στον τρόπο επικοινωνίας.

Τα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών αποτελούν πλέον ένα από τα ταχύτερα αναπτυσσόμενα τεχνολογικά πεδία και διαμορφώνουν ένα νέο κοινωνικό περιβάλλον. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών με τη σύγκλιση των τεχνολογιών 3,5G και WiMAX και τη διαμόρφωση του LTE, προβάλλουν σαν μια εναλλακτική πρόταση δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς με συγκριτικά χαμηλότερες ταχύτητες αλλά σημαντικά μικρότερο κόστος υλοποίησης.

Οι εξελίξεις (ασύρματα αδόμητα δίκτυα, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, κ.α.) θα οδηγήσουν σε νέες εφαρμογές που θα αφορούν όχι μόνον την ανάπτυξη ενός νέου προσωπικού οικιακού και επικοινωνιακού περιβάλλοντος, αλλά θα προσφέρουν λύσεις και σε πολύπλοκα ζητήματα που σχετίζονται με πολλούς τομείς (περιβάλλον, ασφάλεια, κλπ).

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής γίνεται μια αναφορά στον ορισμό των δικτύων επικοινωνιών και στα είδη αυτών, όπως και στα κίνητρα διαδικτύωσης. Επίσης δίνονται κάποια πλεονεκτήματα των δικτύων και διάφορες χρήσεις τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή των ασύρματων δικτύων και παρουσιάζονται οι διάφορες εξελίξεις τους. Επίσης, γίνεται μια αναφορά στις βασικές αρχές των ασύρματων δικτύων και τις προκλήσεις τους.

Από το τρίτο κεφάλαιο και μετά παρουσιάζονται κάποιες νέες τεχνολογίες στα ασύρματα δίκτυα. Γίνεται μια σύντομη αναφορά στο WiFi και τα πρωτόκολλα της οικογένειας 802.11. Κυρίως όμως αναφέρεται στην τεχνολογία των δικτύων

WiMAX, μια τεχνολογία που είναι σήμερα διαθέσιμη για παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών φωνής και δεδομένων. Γίνεται αναφορά στα δίκτυα πρόσβασης και την τεχνολογία των συγκεκριμένων δικτύων. Επίσης παρουσιάζονται κάποια πρωτόκολλα όπως το IEEE 802.16 και κάποιες εξελίξεις των δικτύων αυτών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνολογία των συστημάτων τέταρτης γενιάς (4G), όπου αναφέρονται κάποιες σχεδιαστικοί στόχοι των δικτύων αυτών. Επιπλέον δίνονται και κάποιες εφαρμογές και υπηρεσιών των δικτύων τέταρτης γενιάς.

Το πέμπτο κεφάλαιο μιλάει για την τεχνολογία LTE, όπου δίνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά της και η αρχιτεκτονική της, όπως και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία αυτή.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης των υβριδικών δικτύων, των 4G συνεργατικών δικτύων και της 5G τεχνολογίας. Τεχνολογίες οι οποίες θα μας απασχολήσουν για τα επόμενα χρόνια στο χώρο των ασύρματων δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Ένα πλήθος από ηλεκτρονικούς υπολογιστές συνδεδεμένους μεταξύ τους αποτελούν ένα δίκτυο υπολογιστών και το σύνολο των δικτύων συνδεδεμένο αποτελεί το διαδίκτυο. Υπάρχουν διάφορα είδη δικτύων όπως τοπικά, μητροπολιτικά, ευρείας περιοχής, ασύρματα και οικιακά. Με βάση την τοπολογία χωρίζονται σε διαύλου, αστέρα, δακτυλίου και πλέγματος. Βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς όπως σε επιχειρήσεις και οικίες, για απομακρυσμένη πρόσβαση, στο ηλεκτρονικό εμπόριο, ακόμη και για διασκέδαση.

1.1 Τι είναι τα δίκτυα

Παρόλο που η βιομηχανία των υπολογιστών είναι ακόμα σχετικά νέα σε σχέση με άλλες βιομηχανίες έχει παρουσιάσει πολύ μεγάλη ανάπτυξη σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα πρώτα χρόνια της εμφάνισης τους τα συστήματα των υπολογιστών ήταν συγκεντρωτικά και δούλευαν μέσα σε ένα μεγάλο δωμάτιο. Μια μικρή εταιρία ή ένα πανεπιστήμιο την εποχή εκείνη είχε σχεδόν έναν ή δυο υπολογιστές ενώ τα μεγαλύτερα πανεπιστήμια είχαν το πολύ μερικές δεκάδες. Αυτό άλλαξε τα τελευταία χρόνια και κανείς δεν θα μπορούσε να φανταστεί ότι θα παρουσιάζονταν ποτέ οι υπολογιστές που θα έχουν μέγεθος μικρότερο από ένα γραμματόσημο εξίσου ισχυροί που θα παράγονται μαζικά σε εκατομμύρια κομμάτια.

Το παλιό μοντέλο υπολογιστή το οποίο ήταν εγκατεστημένο σε ένα δωμάτιο και το οποίο εξυπηρετούσε τις ανάγκες ενός οργανισμού είναι πια εντελώς απαρχαιωμένο. Το σύστημα αυτό έχει αντικατασταθεί από ένα μοντέλο όπου η δουλειά γίνεται από ένα μεγάλο πλήθος αυτόνομων αλλά διασυνδεδεμένων υπολογιστών. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται δίκτυα υπολογιστών (computer networks). (Bidgoli, 2008)

1.2 Τοπολογίες Δικτύων

Τοπολογία είναι η φυσική ή τοπική διάταξη των καλωδίων και των συσκευών που συνδέουν τους κόμβους του δικτύου. Κάθε δίκτυο, ανεξάρτητα από την τοπολογία του, χρησιμοποιεί κάποιο είδος μέσου για να συνδέει τους κόμβους του και/ή τους εξυπηρετητές. Έτσι έχουμε (Norton, 2003):

- ✓ Το δίκτυο τοπολογίας διαύλου (bus topology) χρησιμοποιεί ένα καλώδιο.

Όλοι οι κόμβοι και οι περιφερειακές συσκευές συνδέονται σε σειρά στο καλώδιο αυτό. Μια ειδική συσκευή που ονομάζεται τερματισμός (terminator) συνδέεται στα σημεία αρχής και τέλους του καλωδίου με σκοπό να σταματά τα σήματα του δικτύου, έτσι ώστε να μην ανακλώνται πίσω στο καλώδιο. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι χρησιμοποιεί την μικρότερη ποσότητα καλωδιώσεων από κάθε τοπολογία. Ωστόσο, σε δίκτυο τοπολογίας διαύλου χρησιμοποιούνται επιπλέον κυκλώματα και λογισμικό για να αποτρέπουν τη σύγκρουση μεταξύ τους των πακέτων δεδομένων.

- ✓ Η τοπολογία αστέρα (star topology) είναι ίσως η συνηθέστερη τοπολογία. Στο δίκτυο αστέρα, στο κέντρο του δικτύου τοποθετείται ένα κομβικό σημείο και επικοινωνούν μέσα απ' αυτό. Τα πακέτα δεδομένων κινούνται μέσα από το κομβικό σημείο και στέλνονται στους συνδεδεμένους κόμβους, φτάνοντας τελικά στον προορισμό τους. Κάποια κομβικά σημεία - γνωστά σαν ευφυή κομβικά σημεία μπορούν να εποπτεύουν την κίνηση και να βοηθούν για την αποτροπή συγκρούσεων.
- ✓ Η τοπολογία δακτυλίου (ring topology) συνδέει τους κόμβους δικτύου σε μια κυκλική αλυσίδα, όπου κάθε κόμβος συνδέεται με τον επόμενο. Ο τελευταίος κόμβος συνδέεται με τον πρώτο, κλείνοντας τον δακτύλιο. Ο κάθε κόμβος εξετάζει τα δεδομένα -που είναι γνωστά σαν δείγμα (token)- και όταν δεν απευθύνονται στον κόμβο που τα εξετάζει, αυτός τα περνά στον επόμενο. Δεν υπάρχει κίνδυνος συγκρούσεων, επειδή κάθε φορά στον δακτύλιο κινείται μόνο ένα πακέτο δεδομένων.
- ✓ Στην τοπολογία πλέγματος (mesh topology), ένα καλώδιο συνδέει κάθε υπολογιστή με κάθε άλλο υπολογιστή. Αν έχουμε τέσσερις υπολογιστές, θα πρέπει να έχουμε δώδεκα καλώδια - τρία από κάθε υπολογιστή προς τους άλλους υπολογιστές. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι δεν υπάρχει περίπτωση να μην παραδοθούν τα δεδομένα.

1.3 Δίκτυα σύμφωνα με το μέσο σύνδεσης

Εκτός από τις παραπάνω τοπολογίες υπάρχουν και τα μέσα σύνδεσης, τα οποία είναι:

- ✓ Η ασύρματη τοπολογία (wireless topology) αναπτύχθηκε για κινητούς υπολογισμούς. Στην ασύρματη τοπολογία, ένα ή περισσότερα μηχανήματα συνδέονται μέσω ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης (access point).

- ✓ Το καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους (twisted-pair cable) αποτελείται από δυο σύρματα που το καθένα έχει πλαστική μόνωση και που έχουν συστραφεί μεταξύ τους και τοποθετηθεί μέσα σε στρώμα πλαστικού.
- ✓ Το ομοαξονικό καλώδιο (coaxial cable), όπως αυτό που χρησιμοποιείται στις κεραίες τηλεόρασης, έχει δυο αγωγούς. Ο ένας είναι ένα σύρμα στο κέντρο του καλωδίου, και ο άλλος είναι μια θωράκιση από συρμάτινο πλέγμα που περιβάλλει το πρώτο σύρμα, με ενδιάμεση μόνωση.
- ✓ Το καλώδιο οπτικών ινών (fiber-optic cable) αποτελείται από λεπτές ίνες γυαλιού που μεταφέρουν παλμούς φωτός αντί για ηλεκτρικό ρεύμα.
- ✓ Τα ασύρματα δίκτυα (wireless networks) για μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιούν ραδιοφωνικά ή υπέρυθρα σήματα.

1.4 Είδη Δικτύων

1.4.1 Τοπικά Δίκτυα

Τα δίκτυα LAN, συνήθως ονομάζονται τοπικά δίκτυα (local area networks). Είναι συνήθως δίκτυα ιδιωτικά, εγκατεστημένα μέσα σε ένα κτίριο ή συγκρότημα κτιρίων ή σε μια έκταση λίγων χιλιομέτρων. Τα δίκτυα LAN τα χρησιμοποιούμε συνήθως για να συνδέουμε προσωπικούς υπολογιστές και σταθμούς εργασίας σε εργοστάσια, γραφεία με στόχο την κοινή χρήση πόρων και την ανταλλαγή πληροφοριών. Τα χαρακτηριστικά των δικτύων LAN τα οποία είναι το μέγεθος, η τεχνολογία μετάδοσης τους και η τοπολογία τους τα κάνουν να ξεχωρίζουν από τα άλλα είδη δικτύων.

Τα δίκτυα LAN έχουν περιορισμένο μέγεθος, γεγονός που σημαίνει ότι ο χρόνος μετάδοσης στη χειρότερη περίπτωση βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων και είναι γνωστός εκ των προτέρων. Η γνώση αυτού του ορίου δίνει τη δυνατότητα χρήσης μερικών μεθόδων σχεδίασης που διαφορετικά δεν θα ήταν εφικτές. Απλοποιεί επίσης και τη διαχείριση του δικτύου.

Τα δίκτυα LAN μπορεί να χρησιμοποιούν μια τεχνολογία μετάδοσης η οποία συνίσταται σε ένα καλώδιο όπου συνδεδεμένες όλες οι μηχανές, όπως οι κοινόχρηστες τηλεφωνικές γραμμές που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα στις αγροτικές περιοχές των Η.Π.Α. Τα παλαιότερα δίκτυα LAN έχουν ταχύτητες από 10 Mbps έως 100 Mbps, έχουν χαμηλή καθυστέρηση (μικροδευτερόλεπτα ή

νανοδευτερόλεπτα), και παρουσιάζουν πολύ λίγα σφάλματα. Τα πιο πρόσφατα δίκτυα LAN λειτουργούν μέχρι και στα 10 Gbps. (Μαρκασιώτης, 2005)

1.4.2 Μητροπολιτικά Δίκτυα

Το μητροπολιτικό δίκτυο (metropolitan area network) ή δίκτυο MAN, καλύπτει μια πόλη. Το πιο γνωστό παράδειγμα δικτύου MAN είναι το δίκτυο καλωδιακής τηλεόρασης που υπάρχει σε πολλές πόλεις. Αυτό το σύστημα είναι εξέλιξη των παλαιότερων συστημάτων κοινοτικών κεραιών που χρησιμοποιούνταν σε περιοχές με κακή τηλεοπτική λήψη από αέρος. Σε αυτά τα πρώιμα συστήματα, μια μεγάλη κεραία ήταν τοποθετημένη στην κορυφή ενός κοινοτικού λόφου και στη συνέχεια το σήμα στελνόταν στα σπίτια των συνδρομητών. (Bidgoli, 2008)

Στην αρχή, τα Μητροπολιτικά Δίκτυα ήταν σχεδιασμένα για ειδικές περιπτώσεις και για την εργασία που προορίζονταν. Αργότερα όμως μερικές εταιρίες ασχολήθηκαν με την καλωδίωση μεγαλύτερων περιοχών. Το επόμενο βήμα ήταν τηλεοπτικά προγράμματα και ακόμη και ολόκληρα κανάλια που ήταν σχεδιασμένα μόνο για την καλωδιακή τηλεόραση. Συχνά αυτά τα κανάλια ήταν πολύ εξειδικευμένα- για παράδειγμα είχαν μόνο ειδήσεις, μόνο αθλητικά, μόνο μαγειρική, μόνο κηπουρική κ.ά. Από τη σύλληψη τους έως τα τέλη της δεκαετίας του 1990, όμως τα δίκτυα αυτά προορίζονταν μόνο για τηλεοπτική λήψη.

1.4.3 Δίκτυα Ευρείας Περιοχής

Τα δίκτυα ευρείας περιοχής (wide area network), ή δίκτυο WAN καταλαμβάνουν μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, η οποία μπορεί να είναι ακόμα και μια ολόκληρη χώρα. Το δίκτυο WAN περιέχει ένα σύνολο συσκευών που προορίζονται για την εκτέλεση των προγραμμάτων των χρηστών (δηλαδή, των εφαρμογών). Στην παραδοσιακή ορολογία οι συσκευές αυτές ονομάζονται υπολογιστές υπηρεσίας (hosts). Οι υπολογιστές υπηρεσίας διασυνδέονται με ένα υποδίκτυο υπηρεσίας (για παράδειγμα οι προσωπικοί υπολογιστές των χρηστών) ανήκουν στους πελάτες, ενώ το υποδίκτυο επικοινωνίας ανήκει συνήθως και η διαχείρισή του γίνεται από μια τηλεφωνική εταιρεία ή ένα φορέα παροχής υπηρεσιών internet. Η δουλειά του υποδικτύου είναι να μεταφέρει μηνύματα ανάμεσα στους υπολογιστές υπηρεσίας, ακριβώς όπως το τηλεφωνικό σύστημα μεταφέρει λέξεις από τον ομιλητή στον ακροατή. Ο διαχωρισμός των καθαρά επικοινωνιακών θεμάτων του

δικτύου (το υποδίκτυο) από τα θέματα των εφαρμογών (τους υπολογιστές υπηρεσίας) απλοποιεί σημαντικά τη συνολική σχεδίαση του δικτύου. (Μαρκασιώτης, 2005)

1.4.4 Ασύρματα Δίκτυα

Ο Ιταλός φυσικός Γουλιέλμος Μαρκόνι ανακάλυψε τον ασύρματο τηλέγραφο και επικοινωνήσε με αυτόν χρησιμοποιώντας κώδικα Μορς. Τα σημερινά ψηφιακά ασύρματα συστήματα έχουν καλύτερη απόδοση αλλά η βασική ιδέα τους είναι ίδια με αυτή του τηλέγραφου.

Τα ασύρματα δίκτυα διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες (Davis, McGuffin, 1995):

- ✓ Διασύνδεση συστήματος.
- ✓ Ασύρματα LAN.
- ✓ Ασύρματα WAN.

Μιλώντας για διασύνδεση συστήματος εννοείται η διασύνδεση των εξαρτημάτων του με τη χρήση ραδιοκυμάτων μικρής εμβέλειας.

Τα ασύρματα δίκτυα είναι το μέλλον (π.χ., Bi, 2001, Leeper, 2001, Varshey και Vetter, 2000) αλλά έχει ακουστεί και μία τουλάχιστον φωνή που διαφωνεί. Ο Bob Metcalfe, ο εφευρέτης του Ethernet, έγραψε ότι: "Οι κινητοί ασύρματοι υπολογιστές είναι σαν τις φορητές τουαλέτες χωρίς αποχέτευση. Θα είναι συνηθισμένο φαινόμενο στα οχήματα, στις οικοδομές, και στις υπαίθριες συναυλίες. Η συμβουλή μου είναι να καλωδιώσετε το σπίτι σας και να μείνετε εκεί" (Metcalfe, 1995). Η ιστορία μπορεί να καταγράψει αυτή την παρατήρηση στην ίδια κατηγορία με εκείνη του προέδρου της IBM T.J. Watson, με την οποία εξηγούσε το 1945 γιατί η IBM δεν έμπαινε στον τομέα των υπολογιστών: "Τέσσερις ή πέντε υπολογιστές πρέπει να είναι αρκετοί για ολόκληρο τον κόσμο μέχρι το 2000".

1.4.5 Οικιακά Δίκτυα

Η οικιακή δικτύωση έχει φανεί ήδη στον ορίζοντα. Η βασική ιδέα είναι ότι στο μέλλον τα περισσότερα σπίτια θα κατασκευάζονται έτοιμα για δικτύωση. Κάθε συσκευή του σπιτιού θα είναι ικανή να επικοινωνεί με οποιαδήποτε άλλη συσκευή, και όλες μαζί θα είναι προσπελάσιμες μέσω του Internet. Αυτή είναι μία από τις ουτοπικές ιδέες για τις οποίες κανείς δεν ενδιαφερόταν (όπως τα τηλεχειριστήρια τηλεοράσεων και τα κινητά τηλέφωνα), αλλά μετά την υλοποίησή της κανείς δεν μπορεί πια να φανταστεί πώς ζούσε χωρίς αυτή. (Μαρκασιώτης, 2005)

Πολλές συσκευές έχουν τη δυνατότητα δικτύωσης. Μερικές από τις πλέον προφανείς κατηγορίες (με παραδείγματα) είναι:

- ✓ Υπολογιστές (επιτραπέζιος υπολογιστής, φορητός υπολογιστής, PDA, κοινόχρηστα περιφερειακά).
- ✓ Διασκέδαση (τηλεόραση, DVD, βίντεο, βιντεοκάμερα, φωτογραφική μηχανή, στερεοφωνικό, MP3).
- ✓ Τηλεπικοινωνίες (τηλέφωνο, κινητό τηλέφωνο, ενδοσυνεννόηση, φαξ).
- ✓ Οικιακές συσκευές (φούρνος μικροκυμάτων, ψυγείο, ρολόι, φούρνος, κλιματισμός, φώτα).
- ✓ Τηλεμετρία (μετρητές οργανισμών κοινής ωφελείας, συναγερμός φωτιάς ή διάρρηξης, θερμοστάτης, παρακολούθηση μωρού).

Η δικτύωση των οικιακών υπολογιστών έχει ήδη πραγματοποιηθεί σε έναν περιορισμένο βαθμό. Πολλά σπίτια έχουν ήδη μια συσκευή για τη σύνδεση πολλών υπολογιστών σε μία γρήγορη σύνδεση με το Internet. Η δικτυωμένη διασκέδαση δεν είναι ακόμα πραγματικότητα, αλλά όσο αυξάνονται τα μουσικά κομμάτια και οι ταινίες που μπορεί να κατεβάσει κανείς από το Internet, τόσο θα αυξάνεται και η ζήτηση για σύνδεση των τηλεοράσεων και των στερεοφωνικών με το δίκτυο. Επιπλέον, οι άνθρωποι θα θέλουν να μοιραστούν τα βίντεο τους με τους φίλους και τους συγγενείς τους, άρα η σύνδεση θα πρέπει να λειτουργεί και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός είναι ήδη συνδεδεμένος με τον έξω κόσμο, σύντομα όμως θα είναι ψηφιακός και θα χρησιμοποιεί το Internet. Το μέσο σπίτι έχει πιθανότατα μια ντουζίνα ρολόγια (π.χ. σε οικιακές συσκευές) που πρέπει όλα να ρυθμίζονται δύο φορές το χρόνο, όταν ξεκινά και σταματά η θερινή ώρα. Αν όλα τα ρολόγια ήταν συνδεδεμένα με το Internet, αυτή η ρύθμιση θα μπορούσε να γίνεται αυτόματα. Τέλος, μια εγγυημένα επιτυχημένη εφαρμογή θα είναι η εξ αποστάσεως παρακολούθηση των σπιτιών και των περιεχομένων τους. Είναι πιθανότατο ότι πολλοί γονείς θα είναι πρόθυμοι να πληρώσουν κάποιο ποσό προκειμένου να μπορούν να παρακολουθούν μέσω ενός PDA τα μωρά τους να κοιμούνται ενώ αυτοί έχουν βγει έξω, ακόμα και όταν υπάρχει μπέιμπυ σίτερ στο σπίτι. Αν και μπορούμε να φανταστούμε την ύπαρξη ενός ξεχωριστού δικτύου για κάθε είδος εφαρμογής, η ενοποίησή τους σε ένα μοναδικό δίκτυο είναι μια μάλλον καλύτερη ιδέα.

1.4.6 Διαδίκτυα

Το διαφορετικό υλικό και λογισμικό κάνουν τα δίκτυα να ξεχωρίζουν μεταξύ τους. Επειδή οι άνθρωποι δεν ανήκουν συνήθως σε ίδιο δίκτυο αλλά παρόλα αυτά θέλουν να επικοινωνούν μεταξύ τους απαραίτητο είναι να υπάρξει επιθυμία να διασυνδεθούν αυτά τα δίκτυα μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω κάποιων συσκευών που ονομάζονται πύλες δικτύου (gateways) οι οποίες συνδέουν τα διαφορετικά αυτά δίκτυα μεταξύ τους κάνοντας τις απαραίτητες μετατροπές τόσο από πλευράς υλικού όσο και από πλευράς λογισμικού. Επομένως, διαδίκτυο (internetwork ή internet) ονομάζεται ένα σύνολο διασυνδεδεμένων δικτύων μεταξύ τους.

1.5 Χρήσεις Δικτύων

1.5.1 Επιχειρηματικές Εφαρμογές

Επειδή οι εταιρίες έχουν στη χρήση τους πολλούς υπολογιστές οι οποίοι παρ' ότι λειτουργούν απομονωμένοι ο ένας από τον άλλον, σε κάποιο σημείο συνδέονται μεταξύ τους ώστε να είναι σε θέση η επιχείρηση που τους χρησιμοποιεί να συλλέγει και να συσχετίζει πληροφορίες. Το ζητούμενο σε αυτή την περίπτωση είναι η κοινοχρησία ή ο μερισμός πόρων και αυτό έχει σαν στόχο όλα τα προγράμματα και όλα τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα σε οποιονδήποτε είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, άσχετα με τη θέση του κάθε χρήστη. (Tanenbaum, 2003)

Άλλη μορφή υποβοηθούμενης από υπολογιστή επικοινωνίας είναι η βιντεοδιάσκεψη. Με αυτή μπορούν να οργανώνονται συσκέψεις με άτομα τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη και μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ακούγοντας ο ένας τον άλλον και γράφοντας σε ένα κοινόχρηστο εικονικό πίνακα. Άλλος στόχος είναι η επικοινωνία μέσω δικτύου με άλλες εταιρίες, τους προμηθευτές και τους πελάτες τους, γιατί χάρη στα δίκτυα αυτά γίνονται ηλεκτρονικά παραγγελίες όποτε χρειάζεται. Επίσης, αρχίζει να γίνεται όλο και πιο σημαντική η εκτέλεση συναλλαγών μέσω του internet. Δηλαδή, ηλεκτρονικό εμπόριο.

1.5.2 Οικιακές Εφαρμογές

Ο πιο σημαντικός λόγος που στη σημερινή εποχή υπάρχουν ηλεκτρονικοί

υπολογιστές στα σπίτια είναι η πρόσβαση στο internet. Η πιο δημοφιλείς χρήσεις του internet για τους οικιακούς χρήστες είναι οι εξείς (Tanenbaum, 2003):

- ✓ Πρόσβαση σε απομακρυσμένες πληροφορίες.
- ✓ Διαπροσωπική Επικοινωνία.
- ✓ Αλληλεπιδραστική Διασκέδαση.
- ✓ Ηλεκτρονικό Εμπόριο.

1.5.3 Μετακινούμενοι Χρήστες

Στη βιομηχανία των υπολογιστών, ένας από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους τομείς είναι οι φορητοί υπολογιστές, οι υπολογιστές - σημειωματάρια (notebooks) και οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (personal digital assistants - PDA). Τους υπολογιστές αυτούς τους χρησιμοποιούν χρήστες που ταξιδεύουν συχνά και θέλουν να συνδεθούν με αντίστοιχους υπολογιστές που υπάρχουν στα γραφεία τους. (Tanenbaum, 2003)

Τα ασύρματα αυτά δίκτυα είναι πολύ χρήσιμα επίσης για τους οδηγούς ταξί, τα οχήματα διανομής και τους τεχνικούς επισκευών οι οποίοι θέλουν να έχουν διαρκεί επικοινωνία με τη βάση τους. Σημαντικά είναι επίσης και για τις ένοπλες δυνάμεις.

Αν και η ασύρματη δικτύωση και η κινητή υπολογιστική συχνά σχετίζονται δεν είναι πανομοιότυπες έννοιες, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα.

Ασύρματη	Κινητή	Εφαρμογές
Όχι	Όχι	Επιτραπέζιοι υπολογιστές σε γραφεία
Όχι	Ναι	Φορητός υπολογιστής σε ένα δωμάτιο ξενοδοχείου
Ναι	Όχι	Δίκτυα σε παλαιότερα κτήρια που δεν έχουν καλωδιώσεις
Ναι	Ναι	Φορητό γραφείο, PDA για απογραφή καταστήματος

1.5.4 Κοινωνικά Δίκτυα

Η μεγάλη διάδοση της δικτύωσης έχει εισάγει νέα κοινωνικά, ηθικά και πολιτικά προβλήματα. Το πιο γνωστό χαρακτηριστικό των δικτύων είναι οι ομάδες συζητήσεων στις οποίες ο καθένας ανταλλάσσει μηνύματα με άτομα με ίδιες

απόψεις. Όταν συμφωνούν αυτές οι απόψεις δεν υπάρχει πρόβλημα όταν όμως υπάρχει διάσταση απόψεων, εκεί δημιουργούνται πολλά προβλήματα. Πολλοί πιστεύουν ότι η δημοσίευση πολλών απόψεων οι οποίες μερικές φορές είναι ακραίες πρέπει να λογοκρίνονται. Άλλωστε πολλές φορές υπάρχουν και εργοδότες οι οποίοι διεκδικούν να διαβάζουν τα μηνύματα των εργαζομένων τους και να τα λογοκρίνουν. (Tanenbaum, 2003)

1.6 Κίνητρα Διαδικτύωσης

Η επικοινωνία μέσω Διαδικτύου αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής όλων. Ο Παγκόσμιος Ιστός περιλαμβάνει πληροφορίες για ποικίλες κατηγορίες θεμάτων, όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η γεωργική παραγωγή, οι τιμές των μετοχών, και η εναέρια κυκλοφορία. Διάφορες ομάδες δημιουργούν ηλεκτρονικούς ταχυδρομικούς καταλόγους με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών πάνω σε θέματα κοινού ενδιαφέροντος. Επαγγελματικοί συνεργάτες ανταλλάσσουν ηλεκτρονικά την εμπορική αλληλογραφία τους και συγγενείς ανταλλάσσουν προσωπικές ευχές.

Δυστυχώς, οι περισσότερες τεχνολογίες δικτύου είναι σχεδιασμένες για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό. Κάθε επιχείρηση επιλέγει την τεχνολογία υλικού που θα χρησιμοποιήσει με βάση τις επικοινωνιακές ανάγκες και τον προϋπολογισμό της. Εξάλλου, είναι αδύνατον να δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο δίκτυο που να βασίζεται σε μία μόνο τεχνολογία, επειδή ακριβώς κανένα τέτοιο δίκτυο δεν μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες. Ορισμένες ομάδες χρειάζονται δίκτυα υψηλών ταχυτήτων τα οποία θα συνδέουν τους υπολογιστές σε ένα κτίριο. Οι τεχνολογίες χαμηλού κόστους που καλύπτουν αυτή την ανάγκη δεν μπορούν να εκτείνονται όμως σε μεγάλες γεωγραφικές αποστάσεις. Κάποιες άλλες ομάδες συμβιβάζονται με δίκτυα χαμηλότερων ταχυτήτων τα οποία συνδέουν μηχανές που απέχουν μεταξύ τους χιλιάδες χιλιόμετρα. (Douglas, 2001)

Εδώ και δύο δεκαετίες περίπου έχει αναπτυχθεί μια καινούργια τεχνολογία, η οποία καθιστά δυνατή τη διασύνδεση πολλών ανόμοιων φυσικών δικτύων και τη λειτουργία τους ως μια συντονισμένη μονάδα. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται διαδικτύωση (internetworking) και ενσωματώνει πολλές διαφορετικές τεχνολογίες υλικού, παρέχοντας έναν τρόπο διαδικτύωσης ετερογενών δικτύων καθώς και ένα σύνολο επικοινωνιακών συμβάσεων οι οποίες καθιστούν εφικτή τη συνεργασία μεταξύ των δικτύων αυτών. Η τεχνολογία του διαδικτύου αποκρύπτει τις

λεπτομέρειες του δικτύου, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους υπολογιστές να επικοινωνούν μεταξύ τους ανεξάρτητα από τις φυσικές δικτυακές τους συνδέσεις.

Η τεχνολογία διαδικτύου αποτελεί ένα παράδειγμα ανοικτής διασύνδεσης συστημάτων (open system interconnection). Ονομάζεται ανοικτή επειδή οι προδιαγραφές της είναι διαθέσιμες στο κοινό, σε αντίθεση με τα συστήματα επικοινωνίας αποκλειστικής εκμετάλλευσης, τα οποία διατίθενται μόνο από κάποιο συγκεκριμένο κατασκευαστή. Συνεπώς καθένας μπορεί να δημιουργήσει το απαραίτητο λογισμικό επικοινωνίας μέσω του διαδικτύου. Επιπλέον, η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει σχεδιαστεί με σκοπό να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών με διαφορετική αρχιτεκτονική υλικού, να χρησιμοποιεί σχεδόν οποιοδήποτε υλικό δίκτυο για διαμεταγωγή πακέτων, και να μπορεί να προσαρμοστεί σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών και λειτουργικών συστημάτων υπολογιστή. (Douglas, 2001)

Προκειμένου να εκτιμήσει κανείς την τεχνολογία διαδικτύωσης θα πρέπει να αναλογιστεί τις αλλαγές που έχει επιφέρει στον τομέα των επιχειρήσεων. Εκτός από την ταχύτατη επικοινωνία μεταξύ των εργαζομένων, η τεχνολογία αυτή παρέχει επίσης άμεση ανατροφοδότηση μεταξύ του τμήματος παραγωγής μιας επιχείρησης, των τμημάτων πωλήσεων και μάρκετινγκ και των πελατών. Αυτό έχει αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας με την οποία μια επιχείρηση μπορεί να σχεδιάσει, να υλοποιήσει, να εκτιμήσει και να αναδιοργανώσει τη δομή της.

1.7 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ασύρματων Δικτύων

Τα πλεονεκτήματα ασύρματων δικτύων είναι βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι τα ακόλουθα (Norton, 2003):

- ✓ Ευκολία χρήσης: Σήμερα, όλοι οι φορητοί υπολογιστές και πολλά κινητά τηλέφωνα είναι εξοπλισμένα με τεχνολογία WiFi που απαιτείται για απευθείας σύνδεση σε ένα ασύρματο δίκτυο LAN. Οι εργαζόμενοι μπορούν να συνδέονται με ασφάλεια στους πόρους του δικτύου σας από οπουδήποτε εντός της εμβέλειας κάλυψης του δικτύου. Η περιοχή κάλυψης είναι κατά κανόνα οι εγκαταστάσεις της επιχείρησής σας, ωστόσο μπορεί να επεκτείνεται και σε περισσότερα κτήρια.
- ✓ Φορητότητα: Οι εργαζόμενοι μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο, ακόμα και όταν δεν βρίσκονται στο γραφείο τους. Οι συμμετέχοντες σε συσκέψεις μπορούν να έχουν πρόσβαση σε έγγραφα και εφαρμογές. Οι

πωλητές μπορούν να εντοπίζουν στο δίκτυο σημαντικές λεπτομέρειες από οποιαδήποτε τοποθεσία.

- ✓ Παραγωγικότητα: Η πρόσβαση στις πληροφορίες και στις βασικές εφαρμογές της εταιρείας σας υποστηρίζει το προσωπικό κατά τη διεκπεραίωση των εργασιών και ενθαρρύνει τη συνεργασία. Οι επισκέπτες (όπως πελάτες, συνεργάτες ή προμηθευτές) μπορούν να έχουν πρόσβαση υψηλής ασφαλείας στο Internet και στα επιχειρηματικά δεδομένα τους.
- ✓ Εύκολη ρύθμιση: Εφόσον δεν απαιτείται η τοποθέτηση καλωδίων σε ένα χώρο, η εγκατάσταση μπορεί να ολοκληρωθεί γρήγορα και οικονομικά. Τα ασύρματα δίκτυα LAN διευκολύνουν επίσης τη συνδεσιμότητα δικτύου σε δυσπρόσιτους χώρους, όπως οι αποθήκες ή οι εγκαταστάσεις εργοστασιακής παραγωγής.
- ✓ Δυνατότητα κλιμάκωσης: Καθώς οι επιχειρηματικές δραστηριότητές αναπτύσσονται, ενδεχομένως να απαιτείται άμεση επέκταση του δικτύου. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν κατά κανόνα να επεκταθούν με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, ενώ ένα ενσύρματο δίκτυο ενδέχεται να απαιτεί επιπλέον καλωδίωση.
- ✓ Κόστος: Μπορεί να αποδειχθεί οικονομικότερη η λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου LAN, το οποίο εξαλείφει ή μειώνει το κόστος καλωδίωσης σε περιπτώσεις μετακόμισης, αναδιάταξης ή επέκτασης γραφείων.

Εκτός από τα πολλά πλεονεκτήματα που φέρουν τα ασύρματα δίκτυα, καλό θα ήταν να αναφερθούν και τα κυριότερα μειονεκτήματα αυτών:

- ✓ Ασφάλεια: Τα ασύρματα δίκτυα είναι ευάλωτα σε διάφορους τρόπους επίθεσης από επίδοξους εισβολείς. Ενδεικτικά είναι η υπερχείλιση καναλιών στις ασύρματες συχνότητες και η καταγραφή δεδομένων που κινούνται στο δίκτυο, το λεγόμενο sniffing.
- ✓ Παρεμβολές: Τα ασύρματα δίκτυα είναι ευάλωτα σε παρεμβολές, λόγω της ύπαρξης ηλεκτρονικών συσκευών κοντά σε αυτά. Επίσης, με τον κατάλληλο εξοπλισμό μπορεί οποιοσδήποτε να προκαλέσει πρόβλημα στο δίκτυο.
- ✓ Ταχύτητα: Η ταχύτητα ενός ασύρματου δικτύου είναι χαμηλές, πάντα σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα.

Επίλογος

Στις σύγχρονες ανάγκες τις διαδικτύωσης τα ασύρματα δίκτυα έπαιξαν σπουδαίο ρόλο χάρη στα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν. Πλεονεκτήματα όπως η φορητότητα, η ευκολία χρήσης, η παραγωγικότητα και η δυνατότητα άμεσης κλιμάκωσης. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει μια πιο εκτενής αναφορά για την απαρχή και εξέλιξη τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εισαγωγή

Τα ασύρματα δίκτυα από την δημιουργία τους έως και σήμερα διέπονται από κάποιες βασικές αρχές. Οι εξελίξή τους στο πέρασμα των ετών με τη διάκριση της κυβελωτής αρχιτεκτονικής τους, τα διαχωρίζει σε γενιές, ενώ με βάση το σκοπό χρήσης και τη δυνατότητα – εύρος κάλυψης δημιουργούνται διάφορες κατηγορίες. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον και χρησιμότητα παρουσιάζουν τα ψηφιακά συστήματα ευρυεκπομπής και τα δορυφορικά συστήματα κινητών επικοινωνιών.

2.1 Ιστορική Αναδρομή Ασύρματων Δικτύων

Προκειμένου να είναι σε θέση να κανείς να κατανοήσει τα ασύρματα δίκτυα θα πρέπει να αναπτυχθεί σε συντομία το παρελθόν των ασύρματων επικοινωνιών (Maxim & Pollino, 2002).

Η ασύρματη τεχνολογία έχει τις ρίζες της στα τέλη του 19ου αιώνα (1896) με την εφεύρεση του ασύρματου τηλεγράφου από τον Ιταλό Marconi. Η εφεύρεση του Marconi επέτρεπε την αποστολή ραδιοκυμάτων με τη μορφή παύλας και τελείας σε μεγάλες αποστάσεις. Ο κώδικας αυτός έγινε γνωστός με το όνομα κώδικας του Morse (Morse code). Ακολουθώντας τα βήματα του πρωτοπόρου στις ασύρματες επικοινωνίες ο Αμερικανός εφευρέτης Reginald Fessenden έκανε πραγματικότητα την πρώτη ραδιοφωνική μετάδοση δώδεκα χρόνια μετά το 1906.

Η ανάπτυξη και διάδοση του ραδιοφώνου (AM radio) ήταν τέτοια έτσι ώστε το 1929 για παράδειγμα 6 εκατομμύρια ραδιοφωνικές συσκευές είχαν αναπτυχθεί μόνο στις Η.Π.Α. Η ασύρματη τεχνολογία συνέχισε να αναπτύσσεται και να εξαπλώνεται ραγδαία (FM, τηλεόραση) στα χρόνια που ακολούθησαν, ενώ ο δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος επιτάχυνε ακόμα περισσότερο τις εξελίξεις. Στα επόμενα χρόνια σταθμός στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών μπορεί να χαρακτηριστεί η εκτόξευση του δορυφόρου Sputnik από την πρώην Σοβιετική Ένωση το 1957. Ο ανταγωνισμός των δύο υπερδυνάμεων που ήρθε ως φυσικό επακόλουθο επιτάχυνε τις εξελίξεις στο συγκεκριμένο τομέα, εφοδιάζοντάς τον με τεράστια ποσά ανθρώπινου και μη δυναμικού.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα πρώτα ασύρματα αναλογικά τηλέφωνα εμφανίστηκαν τη δεκαετία του '70 και χαρακτηρίζονταν από πολλούς περιορισμούς συμπεριλαμβανομένου της αδυναμίας περιαγωγής κλήσεων. Η χρήση κελιών περιορισμένης ακτίνας επέτρεψε τελικά την περιαγωγή των

κλήσεων και το πρώτο σύστημα αυτού του τύπου αναπτύχθηκε στο Σικάγο το 1979 (εμπορικά το 1984) με το όνομα Advanced Mobile Phone Service (AMPS) (Calhoun, 1998, Schiller 2000, Wong, Britland, 1995). Παρόμοια συστήματα κινητής τηλεφωνίας έκαναν την εμφάνισή τους τόσο στην Ιαπωνία όσο και στην Ευρώπη στις αρχές της δεκαετίας του '80, όπως το Total Access Communication System (TACS) που αποτελεί την Ευρωπαϊκή εκδοχή του AMPS.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90, οι ασύρματες τεχνολογίες γνωρίζουν μεγάλη άνθηση. Το 1991, τα πρώτα εμπορικά GSM δίκτυα (Mouly, Pautet, 1995) κάνουν την εμφάνισή τους από τις Σκανδιναβικές χώρες, ενώ ένα χρόνο αργότερα ακολουθεί η Αυστραλιανή ήπειρος. Χαρακτηριστικό επίσης είναι το γεγονός ότι το 1992 υπογράφηκε η πρώτη συμφωνία περιαγωγής πελατών (roaming agreement) μεταξύ δύο παρόχων που δραστηριοποιούνταν στον Ευρωπαϊκό χώρο: της Vodafone και της Telecom Φιλανδίας.

Παράλληλα με την ανάπτυξη των ασύρματων υπηρεσιών φωνής η δεκαετία του '90 χαρακτηρίζεται από τη διάδοση διαφόρων υπηρεσιών δεδομένων όπως τα συστήματα τηλεειδοποίησης (paging systems). Η τηλεειδοποίηση ως μονόδρομοι (one-way) υπηρεσία έκανε την εμφάνισή της ήδη από τη δεκαετία του '60, αλλά η χρήση της περιοριζόταν μόνο στους τομείς της υγείας και της επιβολής του νόμου. Αντιθέτως, τη δεκαετία του '90 οι πάροχοι ανάλογων υπηρεσιών εξέλιξαν τεχνολογικά τα αμφίδρομα (two-way) πλέον συστήματά τους προσθέτοντας διάφορα χαρακτηριστικά και υπηρεσίες, όπως η αποστολή αλφαριθμητικών δεδομένων. Στο χώρο των ασύρματων δικτύων δεδομένων εντάσσεται και το δίκτυο με την ονομασία Cellular Digital Packet Data (CDPD) (McConnell, 1996, Haymond, 1994, Miller, 1994), το οποίο έκανε την εμφάνισή του το 1992 με ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 19,2 Kbps. Το συγκεκριμένο δίκτυο, που αναπτύχθηκε από την εταιρία Baby Bells, βασιζόταν στο πρωτόκολλο TCP/IP και εκτός του ότι μπορούσε εύκολα να ολοκληρωθεί με το Διαδίκτυο (Internet), ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί και από συσκευές του AMPS. Είναι χαρακτηριστικό ότι στα τέλη του 20ου αιώνα το δίκτυο CDPD διέθετε πάνω από 10 εκατομμύρια συνδρομητές στις Η.Π.Α.

Στο πλαίσιο αυτό η ανάπτυξη και προτυποποίηση ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless Local Area Networks, WLAN) ξεκίνησε το 1990, όταν το γνωστό Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) δημιούργησε την επιτροπή 802.11. Αν και το πρότυπο WLAN δεν είχε οριστικοποιηθεί μέχρι το

1997, διάφοροι κατασκευαστές υλικού (Intel, 3COM, Cisco, κλπ) προωθούσαν ήδη αρκετά προϊόντα που βασίζονταν σε αυτό. Σημαντικό ζήτημα στη διαδικασία προτυποποίησης αποτέλεσαν οι προδιαγραφές ασφαλείας του νέου προτύπου, οι οποίες περιείχαν αρκετές αδυναμίες.

Λίγα χρόνια αργότερα και παράλληλα με την ανάπτυξη ασύρματων δικτύων για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις (long range), ξεκίνησε η προσπάθεια σχεδιασμού και υλοποίησης ασύρματων συστημάτων μικρής εμβέλειας. Το πρότυπο Bluetooth αποτέλεσε προϊόν της ειδικής ομάδας με την ονομασία Bluetooth Special Interest Group (SIG) (<http://www.bluetooth.com/Bluetooth/SIG/>), η οποία ιδρύθηκε το 1998 από τις εταιρίες Ericsson, IBM, Intel, Nokia και Toshiba. Όταν οι πρώτες συσκευές που υποστήριζαν το πρότυπο Bluetooth εμφανίστηκαν στην αγορά το 2001, η ομάδα SIG απαρτιζόταν από 1800 μέλη.

Ταυτόχρονα με την εξέλιξη της ασύρματης τεχνολογίας και των σχετικών υπηρεσιών ο παγκόσμιος ιστός αποτέλεσε μια πραγματικότητα, που γνώρισε πολύ γρήγορα σχεδόν καθολική αποδοχή. Ξεκινώντας από τις προσπάθειες της εταιρίας Netscape Communications και την ανάπτυξη του πρώτου φιλικού στο χρήστη φυλλομετρητή (browser), οι διαδικασίες περιήγησης και αναζήτησης πληροφοριών στον παγκόσμιο ιστό έγιναν πολύ γρήγορα πραγματικότητα. Ως φυσικό επακόλουθο, η πρώτη προσπάθεια συνδυασμού της ασύρματης τεχνολογίας με το Διαδίκτυο έγινε από την εταιρία Unwired Planet, η οποία ιδρύθηκε το 1995. Μέσα σε δύο χρόνια η συγκεκριμένη εταιρία κατάφερε σχεδόν ό,τι η Netscape με το φυλλομετρητή της (Unwired Planet browser), πείθοντας τις μεγάλες εταιρείες του χώρου (Motorola, Ericsson και Nokia) να δημιουργήσουν το Wireless Application Protocol (WAP) forum (<http://www.wapforum.org/>). Μέχρι το τέλος του 1997 πάνω από 90 διαφορετικές εταιρίες είχαν προσεταρτιστεί το εν λόγω φόρουμ. Οι πρώτες προδιαγραφές, WAP 1.0, έκαναν την εμφάνισή τους στα τέλη του 1997. Παρόλα αυτά το ασύρματο Διαδίκτυο με τη μορφή του WAP ήταν πολύ αργό σε ταχύτητα για να προσελκύσει μεγάλη μερίδα καταναλωτών, ενώ και πολλές εταιρείες του χώρου δίσταζαν να επενδύσουν σε αυτό εξαιτίας του ότι απαιτούσε αλλαγή των υποδομών τους και ανανέωση των φορητών συσκευών των τελικών χρηστών, προκειμένου να το υποστηρίξουν.

Τελικά, το 1999 οι πάροχοι υπηρεσιών άρχισαν να δοκιμάζουν νέες υπηρεσίες βασισμένες στο WAP. Παρά τις μεγάλες επενδύσεις των εταιριών και

των παροχών των σχετικών υπηρεσιών, το WAP δεν γνώρισε την αναμενόμενη αποδοχή από τους καταναλωτές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στα τέλη του 2000 στις Η.Π.Α. μόνο 1 εκατομμύριο χρήστες ήταν εγγεγραμμένοι σε WAP υπηρεσίες. Τα πράγματα όμως δεν ήταν καλύτερα τα πρώτα χρόνια ούτε για τις τεχνολογίες WLAN και Bluetooth, οι οποίες δεν γνώρισαν τη γρήγορη και ευρεία αποδοχή που αναμενόταν. Από τη μια μεριά, η γκάμα συσκευών Bluetooth ήταν πολύ περιορισμένη και η απόκτησή τους κόστιζε πάρα πολύ, ενώ ταυτόχρονα σημαντικές αδυναμίες στην ασφάλεια των δικτύων WLAN καθυστέρησαν την αποδοχή τους, δημιουργώντας αρνητικό κλίμα και δυσπιστία στους τελικούς καταναλωτές. Σήμερα το WAP forum ενυπάρχει στα πλαίσια της Open Mobile Alliance (OMA) (<http://www.openmobilealliance.org>).

2.2 Βασικές Αρχές Ασύρματων Δικτύων

Τα ασύρματα δίκτυα, όπως φανερώνει και το όνομα τους, χρησιμοποιούν ασύρματη μετάδοση για τη μεταφορά πληροφοριών. Η ακριβής μέθοδος της ασύρματης μετάδοσης δεν είναι καθορισμένη. Για παράδειγμα, πολλοί χρήστες χρησιμοποιούν ασύρματα τηλεχειριστήρια τα οποία εκπέμπουν στο υπέρυθρο φάσμα. Η κυρίαρχη μορφή ασύρματης μετάδοσης, όμως, βασίζεται στη χρήση ραδιοκυμάτων. Η μετάδοση πληροφοριών με αυτόν τον τρόπο δεν είναι κάτι νέο, καθώς χρησιμοποιείται εδώ και περισσότερο από έναν αιώνα, ενώ οι βασικές αρχές της παραμένουν οι ίδιες.

Για να εξηγηθεί η ασύρματη μετάδοση απαιτείται η εξήγηση των μηχανισμών διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, για την οποία υπάρχει αρκετή θεωρία. Στα πρώτα χρόνια χρήσης της ασύρματης μετάδοσης (στα τέλη του 19ου αιώνα), οι επιστήμονες πίστευαν ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα απαιτούν κάποιο υλικό μέσο για τη μετάδοσή τους, καθώς τους φαίνονταν πολύ περίεργη η δυνατότητα διάδοσης τους στο κενό. Έτσι προτάθηκε η έννοια του "αιθέρα", ο οποίος θεωρήθηκε ως ένα αόρατο υλικό το οποίο γεμίζει το σύμπαν. Στη συνέχεια, η ιδέα αυτή εγκαταλείφθηκε καθώς πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αιθέρας δεν υπάρχει. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1905, ο Αλβέρτος Αϊνστάιν ανέπτυξε μια θεωρία η οποία εξηγούσε ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αποτελούνται από πολύ μικρά σωματίδια τα οποία συχνά συμπεριφέρονται όπως τα κύματα. Τα σωματίδια αυτά ονομάστηκαν φωτόνια, και η θεωρία εξηγούσε τη φυσική της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με βάση τα φωτόνια. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το

πλήθος των φωτονίων καθορίζει το πλάτος του κύματος ενώ η ενέργεια τους καθορίζει τη συχνότητα του κύματος. Με βάση τα παραπάνω, προέκυψε το ερώτημα για τη σύσταση της ακτινοβολίας, δηλαδή για το αν αποτελείται από φωτόνια ή κύματα. Σήμερα, σχεδόν έναν αιώνα μετά τη διατύπωση της θεωρίας του Αϊνστάιν, χρησιμοποιούνται και οι δυο προσεγγίσεις. Οι ακτινοβολίες χαμηλότερης συχνότητας θεωρούνται κυματικές, ενώ αυτές που έχουν πολύ υψηλή συχνότητα εξηγούνται ως εκπομπές φωτονίων.

Η ασύρματη μετάδοση παίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των ασύρματων δικτύων. Έτσι, τα κυριότερα χαρακτηριστικά των τελευταίων προέρχονται από τις ιδιότητες της ασύρματης μετάδοσης. Το κυριότερο μειονέκτημα της ασύρματης μετάδοσης σε σχέση με την ενσύρματη είναι αυξημένος ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων. Οι ρυθμοί εμφάνισης μεγαλύτερων σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων (Bit Error Rates, BER) σε μια ασύρματη σύνδεση μπορεί να φτάσουν μέχρι και το 10^{-3} , ενώ οι τυπικοί ρυθμοί εμφάνισης σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων στις ενσύρματες συνδέσεις είναι περίπου 10^{-10} . Οι κυριότεροι λόγοι για τους αυξημένους ρυθμούς εμφάνισης σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων στην ασύρματη μετάδοση είναι ο ατμοσφαιρικός θόρυβος, τα φυσικά εμπόδια στην κατεύθυνση διάδοσης του σήματος, η πολύδρομη διάδοση (multipath propagation) και οι παρεμβολές από άλλα συστήματα.

Μια ακόμη σημαντική διαφορά των ασύρματων συστημάτων από τα ενσύρματα είναι το γεγονός ότι στα τελευταία η διάδοση του σήματος περιορίζεται μέσα στο καλώδιο. Αντίθετα, για ένα ασύρματο σύστημα δεν μπορεί να υπάρξει μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή μέσα στην οποία περιορίζεται η διάδοση του σήματος. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι γειτονικά ασύρματα δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα λειτουργίας, πιθανώς θα προκαλούν παρεμβολές το ένα στο άλλο. Προκειμένου να μη συμβαίνει κάτι τέτοιο, οι συχνότητες συνήθως αδειοδοτούνται από κάποιο ρυθμιστικό φορέα. Η αδειοδότηση είναι μια διαδικασία στην οποία εμπλέκονται κυβερνήσεις, πάροχοι, εταιρίες, και άλλοι συμβαλλόμενοι, με αποτέλεσμα να υπάρχουν συχνά διαμαρτυρίες για τον τρόπο με τον οποίο γίνεται.

Η ανάγκη αδειοδότησης καθιστά το ασύρματο φάσμα πεπερασμένο αγαθό, το οποίο και θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί με τον αποδοτικότερο δυνατό τρόπο. Δηλαδή, θα πρέπει τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών να σχεδιάζονται με

τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ένα φυσικό επίπεδο (ή στρώση, layer) που δεν θα επηρεάζεται σημαντικά από τα προβλήματα της ασύρματης μετάδοσης. Προς αυτή την κατεύθυνση έχει γίνει σημαντική δουλειά, με την ανάπτυξη τεχνικών όπως ο διαφορισμός (diversity), η κωδικοποίηση (coding) και η εξίσωση (equalization), οι οποίες και στοχεύουν στο να γίνει περισσότερο αξιόπιστο το κανάλι μετάδοσης. Τέλος, η κυψελοειδής αρχιτεκτονική δίνει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τμημάτων του φάσματος από το ίδιο δίκτυο, με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη χρήση του και την αυξημένη της χωρητικότητα.

Οι βασικές αρχές, λοιπόν, των ασύρματων επικοινωνιών είναι οι ακόλουθες (Trabelsi, Torun, 1999):

- ✓ Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.
- ✓ Τα χαρακτηριστικά και η μοντελοποίηση της ασύρματης διάδοσης.
- ✓ Η μετάδοση ψηφιακών και αναλογικών δεδομένων.
- ✓ Οι τεχνικές διαμόρφωσης.
- ✓ Οι μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης στα ασύρματα συστήματα.
- ✓ Οι τεχνικές αύξησης της απόδοσης.
- ✓ Οι ασύρματες υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος και πακέτων.
- ✓ Τα σχήματα εκπομπής δεδομένων.

2.3 Γενιές Ασύρματων Δικτύων

2.3.1 Κυψελωτά Συστήματα 1^{ης} Γενιάς

Το Nippon Telephone and Telegraph (NTT) ήταν πρωτο κυψελωτό σύστημα που λειτούργησε το 1979 στην Ιαπωνία και χρησιμοποιούσε 600 FM duplex διαύλους με εύρος 25KHz. Το 1981 η Ericsson ανέπτυξε το πρώτο ευρωπαϊκό κυψελωτό σύστημα, το NMT450 (Nordic Mobile Telephone), στη ζώνη 450-470MHz, το οποίο μετεξελίχθηκε στο NMT900, στη ζώνη 890-915/917-950MHz, το 1986. Το 1983 αναπτύχθηκε το πρώτο δοκιμαστικό κυψελωτό σύστημα στην Αμερική, το AMPS (American Mobile Phone System) από την AT&T στο Σικάγο, στη ζώνη 824-849/869-894MHz, με εύρος διαύλου τα 30KHz. Τα NTT, NMT450, NMT900, AMPS, NAMPS, ETACS, JTACS, C-450 αποτελούν κυψελωτά συστήματα 1ης γενιάς, με βασικά χαρακτηριστικά την αναλογική διαμόρφωση FM, την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA και την τεχνική FDD. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του διαμορφωμένου σήματος στα συστήματα FDD πρέπει να ελέγχεται

προσεκτικά, ώστε η παρασιτικά ακτινοβολούμενη ισχύς σε γειτονικούς διαύλους να είναι 60-80dB χαμηλότερα από την επιθυμητή. Τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα συστήματα χρησιμοποιούσαν μια απόσταση 45MHz μεταξύ των συχνοτήτων εκπομπής και λήψης, τέτοια ώστε να είναι εφικτή η υλοποίηση του διπλέκτη με επαρκή απομόνωση των δύο συχνοτήτων.

2.3.2 Μετάβαση στα Ψηφιακά Κυψελωτά Συστήματα

Ενώ οι ψηφιακές τεχνικές γρήγορα υιοθετήθηκαν στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνιών, έπρεπε να προηγηθεί η ραγδαία εξέλιξη στην τεχνολογία της μικροηλεκτρονικής μέχρι να βρουν εφαρμογή στα ασύρματα συστήματα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων έναντι των αναλογικών είναι:

- ✓ έχουν αυξημένη ανοσία στο θόρυβο.
- ✓ δίνουν τη δυνατότητα επεξεργασίας του σήματος προσφέροντας περισσότερο αποδοτικές τεχνικές μετάδοσης και την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, κάνοντας χρήση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων, φασματικά αποδοτικών τεχνικών διαμόρφωσης, αποδοτική κωδικοποίηση πληροφορίας και κωδικοποίηση διαύλου.
- ✓ έχουν τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών κρυπτογράφησης για την ασφάλεια της μετάδοσης.
- ✓ δίνουν ευελιξία στην ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων.
- ✓ έχουν τη χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.
- ✓ επιτρέπουν την εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας, παρέχοντας ταυτόχρονα υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.
- ✓ είναι εύκολα υλοποιήσιμα σε VLSI χαμηλού κόστους.
- ✓ παρέχουν τη δυνατότητα για επιπλέον τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (TDMA/CDMA/SDMA) και duplexing (TDD).
- ✓ επιτρέπουν την υλοποίηση επαναπροσδιοριζόμενων δεκτών λογισμικού j (Software Defined Radio - SDR) και των λεγόμενων cognitive radios.
- ✓ Στις αρχές του 1980 είχε γίνει εμφανής η αδυναμία των αναλογικών κυψελωτών συστημάτων να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις των επερχόμενων χρόνων, λόγω των πέντε βασικών περιορισμών που τα χαρακτήριζαν:
- ✓ Εξαιρετικά περιορισμένο φάσμα προς απόδοση, και συνεπώς χαμηλή

χωρητικότητα συστημάτων.

- ✓ Η αντίληψη των χρηστών ότι ήταν περιορισμένης χρησιμότητας λόγω της χαμηλής ποιότητας υπηρεσιών, αλλά και του αριθμού των προσφερόμενων υπηρεσιών.
- ✓ Απουσία ασφάλειας επικοινωνιών.
- ✓ Αδυναμία να μειώσουν το κόστος των τερματικών και της υποδομής των δικτύων.
- ✓ Ασυμβατότητα μεταξύ των διάφορων αναλογικών συστημάτων.

Ήταν συνεπώς αναμενόμενη η στροφή της βιομηχανίας στις ψηφιακές τεχνικές που αποδείχτηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικές και στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνιών. Τα 2ης γενιάς κυψελωτά δίκτυα βασίζονται όλα σε ψηφιακές τεχνικές, εκμεταλλευόμενα τα εμφανή και πολλαπλά τους πλεονεκτήματα.

2.3.3 Κυψελωτά Συστήματα 2^{ης} Γενιάς

Στα κυψελωτά συστήματα 2ης γενιάς συγκαταλέγονται όλα τα υπάρχοντα και λειτουργούντα συστήματα. Στηρίζονται στις τεχνικές TDMA ή DS-CDMA και για τις ΗΠΑ είναι τα IS-54, IS-136 και IS-95, για την Ευρώπη δε το GSM και για την Ιαπωνία το PDC. Αυτά είναι:

- ✓ Global System for Mobile Communications (GSM).
- ✓ IS-54, IS-136 και IS-95.
- ✓ Personal Digital Cellular (PDC).

2.3.4 Κυψελωτά Συστήματα 2.5 Γενιάς

Η μετάβαση από τα κυψελωτά συστήματα 1ης γενιάς σε εκείνα της 2ης γενιάς σημαδεύτηκε από την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών, που έδωσαν τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών φωνής σε μεγάλους πληθυσμούς και μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, λόγω της πολύ καλής ποιότητας της φωνητικής υπηρεσίας. Η δυνατότητα όμως υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων είναι περιορισμένη στα 2ης γενιάς συστήματα και η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται εικόνες υψηλής ποιότητας και video πραγματικού χρόνου, ή να παρέχεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, οδήγησε στη σχεδίαση των συστημάτων 2.5G. Τα συστήματα 2.5G στηρίζονται σε συστήματα τεχνολογίας 2ης γενιάς, π.χ. το GSM ή το IS-95 και

προσφέρουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλότερης ταχύτητας υποστηρίζοντας τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου. Ουσιαστικά πρόκειται για υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στα ήδη λειτουργούντα συστήματα, εξασφαλίζοντας μια πιο ομαλή μετάβαση στα συστήματα 3ης γενιάς. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι η παροχή κινητικότητας IP, φέρνοντας τους χρήστες κινητών επικοινωνιών πιο κοντά στο internet.

2.3.5 Κυψελωτά Συστήματα 3^{ης} Γενιάς

Το βασικό χαρακτηριστικό των κυψελωτών συστημάτων 3ης γενιάς είναι η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων και η δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και υπηρεσίες από δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα, με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Τα συστήματα 3ης γενιάς είναι τα εξής:

- ✓ Υποστήριξη ασύμμετρης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη (π.χ. όπως στο web browsing όπου η κίνηση στην ευθεία ζεύξη είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστροφη).
- ✓ Μεγάλη φασματική απόδοση.
- ✓ Συνύπαρξη FDD και TDD συστημάτων.

Οι ραδιοεπαφές που έχουν αναπτυχθεί για τα συστήματα 3ης γενιάς, καλούνται IMT-200 και το CDMA2000 ή multicarrier-CDMA. Υπάρχει και τρίτη προδιαγραφή που καλείται TD-SCDMA και η οποία αναπτύσσεται κυρίως στην Κίνα. Το μεν WCDMA σχεδιάστηκε ώστε να εκμεταλλευτεί τη δομή του δικτύου κορμού του GSM, το δε cdma2000, ώστε να παρέχει συμβατότητα με το δίκτυο IS-95. Οι συχνότητες που αποδόθηκαν από το WARC'92 για τα 3ης γενιάς συστήματα είναι διαφορετικές για κάθε περιοχή. Ο λόγος είναι οι ζώνες συχνοτήτων που είχαν καταλάβει τα συστήματα 2ης γενιάς σε κάθε γεωγραφική περιοχή.

2.3.5.1 Εξέλιξη των 3G - High Speed Packet Access (HSPA)

Στις τελευταίες εκδόσεις της προδιαγραφής για τα δίκτυα τρίτης γενιάς γίνεται εισαγωγή μιας νέας τεχνολογίας που ονομάζεται Πρόσβαση Πακέτων Υψηλής Ταχύτητας (High Speed Packet Access - HSPA). Με την HSPA, οι πάροχοι των δικτύων είναι πλέον σε θέση να παράσχουν εμπορικές υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων πολύ υψηλής ταχύτητας, όπως πρόσβαση στο διαδίκτυο με πολύ υψηλή ταχύτητα, ανάκτηση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με συνημμένα αρχεία, πρόσβαση

σε ασύρματες υπηρεσίες ήχου και video, ανάκτηση εικόνων πολύ μεγάλης ανάλυσης, κλπ. Το HSPA περιλαμβάνει τόσο την τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) που εισήχθει με την έκδοση R5 όσο και την High Speed Uplink Packet Access (HSUPA), η οποία εισήχθει με την R6.

Το HSDPA είναι μια τεχνολογία η οποία βασίζεται κυρίως σε βελτιώσεις του λογισμικού, οι οποίες επιτρέπουν το διπλασιασμό της χωρητικότητας της ραδιοεπαφής και δίνουν μια αύξηση 5-10 φορές στο ρυθμό μετάδοσης στην κάτω ζεύξη. Τυπικοί ρυθμοί μετάδοσης είναι τα 1.8Mbps, με μέγιστο εκείνο των 10Mbps. Ήδη υπάρχουν πάροχοι που υποστηρίζουν ρυθμούς 3.6Mbps, ενώ αναμένεται ότι πολύ γρήγορα οι ρυθμοί μετάδοσης θα αυξηθούν στα 7.2Mbps και το σύνολο των παρόχων δικτύων 3G θα αναβαθμίσουν τα δίκτυά τους, ώστε να υποστηρίζουν το HSDPA.

Το HSUPA είναι μια τεχνολογία που προσφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στην άνω ζεύξη, μέχρι και 5.7Mbps, επιτρέποντας πλέον την εύκολη ανταλλαγή μεγάλου μεγέθους αρχείων μεταξύ δικτύου και χρηστών. Στην πράξη, δίνεται η δυνατότητα μεταφόρτωσης από το χρήστη προς το δίκτυο πολυμεσικού περιεχομένου που παράγεται ή φυλάσσεται από αυτόν.

2.3.6 Συστήματα Ασύρματης Τηλεφωνίας

Τα συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας είναι full-duplex συστήματα επικοινωνιών, που χρησιμοποιούν μια ραδιοεπαφή για τη σύνδεση μιας φορητής τερματικής συσκευής σε ένα Σταθμό Βάσης, που συνδέεται σε μια αποκλειστική τηλεφωνική γραμμή με συγκεκριμένο νούμερο τηλεφώνου του PSTN ή του ISDN. Τα συστήματα είναι σχεδιασμένα να παρέχουν ραδιοκάλυψη σε μικρές αποστάσεις, γεγονός που επιτρέπει την απλούστευση της υλοποίησής τους. Τα συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας αρχικά δεν έδιναν τη δυνατότητα περιαγωγής στους χρήστες και φυσικά δεν υποστήριζαν μεταπομπές. Σήμερα, με την ανάπτυξη των συστημάτων DECT, δίνεται η δυνατότητα τόσο για περιαγωγή, όσο και για μεταπομπή των κλήσεων είτε μεταξύ γειτονικών Σταθμών Βάσης DECT, είτε μεταξύ DECT και GSM. Με την ταυτόχρονη ανάπτυξη των κυψελωτών δικτύων 3ης γενιάς, είναι δυνατό να προκύψουν τερματικές συσκευές, που θα είναι διπλού τρόπου λειτουργίας υποστηρίζοντας DECT-UMTS. Σε αντίθεση με τις προδιαγραφές για τα κυψελωτά συστήματα, οι προδιαγραφές για τα συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας περιγράφουν την τεχνολογία ραδιοπρόσβασης και όχι ένα

πλήρως καθορισμένο δίκτυο. Στις προδιαγραφές του DECT δίνονται και κάποιες πιθανές αρχιτεκτονικές δικτύου, χωρίς όμως να καθορίζονται με λεπτομέρεια οι απαραίτητες διαδικασίες υλοποίησης.

2.3.7 Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WPANs)

Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών (WPANs, Wireless Personal Area Networks) στοχεύουν στην ασύρματη δικτύωση φορητών υπολογιστών, κινητών υπολογιστικών μονάδων, όπως τα PDAs (Personal Digital Assistants), περιφερειακών, κυψελωτών τηλεφώνων, και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών, που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα προδιαγραφής είναι το Bluetooth ver. 1.1 ή IEEE802.15.1, που είναι μια ραδιοτεχνολογία που παρέχει ασύρματη σύνδεση μεταξύ ασύρματων συσκευών σε αποστάσεις μέχρι 10 μέτρα περίπου. Το σύστημα λειτουργεί στην ISM ζώνη συχνοτήτων (2,4GHz), χρησιμοποιώντας τεχνική μεταπήδησης συχνότητας για την αποφυγή παρεμβολών, και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης των 700Kbps, για μεταφορά δεδομένων και μέχρι 3 τηλεφωνικές συνδέσεις των 64Kbps. Οι συσκευές, που χρησιμοποιούν τεχνολογία Bluetooth, αποτελούν ένα ad hoc δίκτυο, που καλείται και piconet, δηλαδή ένα δυναμικά δημιουργούμενο και επαναπροσδιοριζόμενο σύμφωνα με τις τρέχουσες απαιτήσεις δίκτυο. Υπάρχει και έκδοση Bluetooth ver. 1.2 ή IEEE802.15.1a, που υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, καθώς και δυναμική μεταπήδηση συχνότητας. Προκειμένου να υποστηρίζεται η συνύπαρξη των WLANs και των WPANs στον ίδιο χώρο, χωρίς να προκαλούνται παρεμβολές, αναπτύχθηκε μια ακόμη προδιαγραφή, η IEEE802.15.2. Ουσιαστικά προδιαγράφηκαν τεχνικές για τη συνεργασία των WLANs και WPANs, όπως π.χ. η ανταλλαγή πληροφοριών με στόχο την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών που προκαλούν μεταξύ τους. Δύο ακόμη προδιαγραφές βρίσκονται υπό εξέλιξη, η IEEE802.15.3, ή High-Rate WPAN με ρυθμούς μέχρι 55Mbps και η IEEE802.15.4, ή Low-Rate WPAN, με στόχο χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος τερματικά.

2.3.8 Επαγγελματικά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών (PMRs)

Τα επαγγελματικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών PMR (Professional Mobile Radio) είναι σχεδιασμένα να προσφέρουν υπηρεσίες σε οργανισμούς κοινής ωφέλειας για την κάλυψη των αναγκών επικοινωνίας απομακρυσμένων και διάσπαρτων

κινητών μονάδων, με τα κέντρα επιχειρήσεων. Κλασικό παράδειγμα προδιαγραφής αποτελεί το TETRA (TErrestrial Trunked RAdio). Το TETRA είναι ένα ψηφιακό σύστημα, που στηρίζεται σε TDMA/FDD τεχνική, με απόσταση φερόντων τα 25KHz και 4 διαύλους ανά φέρον. Η απόσταση των διαύλων εκπομπής και λήψης είναι 10MHz. Το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει μέχρι και 28,8Kbps ρυθμό μετάδοσης, με διαμόρφωση π/4- DQPSK, ενώ, λόγω της προβλεπόμενης χρήσης του συστήματος από δημόσιους φορείς (π.χ. αστυνομία), έχει αυξημένες δυνατότητες κρυπτογράφησης και ασφάλειας των δεδομένων. Οι ζώνες συχνοτήτων που έχουν αποδοθεί είναι οι 380-400 MHz για εφαρμογές από δημόσιες υπηρεσίες (π.χ. στρατός, αστυνομία, πυροσβεστική) και 410-430MHz/450-470MHz για ιδιωτική-πολιτική χρήση.

2.3.9 Δίκτυα Ασύρματης Ευρυζωνικής ΡαδιοΠρόσβασης (BWANs, WMANs)

Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν υπηρεσίες υψηλού ρυθμού μετάδοσης (φωνής, δεδομένων και video) σε οικιακούς συνδρομητές ή και επιχειρήσεις, με αρχιτεκτονικές σημείο-προς-σημείο (point-to-point - PTP), σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint - PMP), και πολλαπλά σημεία-προς-πολλαπλά σημεία (multipoint-to-multipoint- MP-MP). Στην κατηγορία αυτή των υπηρεσιών ανήκουν οι Local Multipoint Distribution Services (LMDS) και οι Multi-channel Multipoint Distribution Services (MMDS). Τα συστήματα LMDS παρέχουν υπηρεσίες με ρυθμούς μετάδοσης τυπικά έως 45Mbps για τοπολογίες σημείο-προς-πολλαπλά σημεία και έως 150Mbps για τοπολογίες σημείο-προς-σημείο, κυρίως σε μεσαίες και μεγάλες επιχειρήσεις και συνήθως έχουν μέγιστη ακτίνα κάλυψης της τάξης των 3Km. Χρησιμοποιούν συχνότητες στη ζώνη των 24GHz, των 28GHz και 39GHz. Τα συστήματα MMDS παρέχουν υπηρεσίες με ρυθμούς μετάδοσης τυπικά έως και 3Mbps κυρίως σε συνδρομητές Small Office Home Office (SOHO), ή σε μικρές επιχειρήσεις όπου ενσύρματες τεχνολογίες όπως το DSL δεν είναι διαθέσιμες. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούν είναι στη ζώνη 2.5-2.7GHz και η μέγιστη ακτίνα κάλυψης μπορεί να φθάσει τα 50Km.

2.3.10 Ψηφιακά Συστήματα Ευρυεκπομπής

Τα ψηφιακά συστήματα ευρυεκπομπής στοχεύουν στην παροχή πολυμεσικών υπηρεσιών (π.χ. ήχος, video) σε πολλαπλούς αποδέκτες, με ελεύθερη λήψη. Σε σχέση με τα αναλογικά δίκτυα ευρυεκπομπής (π.χ. αναλογική τηλεόραση,

ραδιοφωνία AM/ FM) προσφέρουν τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής τεχνολογίας, όπως είναι ψηφιακός ήχος με ποιότητα εφάμιλλη του CD, ψηφιακό video υψηλής ανάλυσης, καθώς και πρόσθετες υπηρεσίες, όπως οδηγός προγράμματος, υπηρεσίες ενημέρωσης μέσω κειμένου ή στατικής εικόνας, συνδρομητικές υπηρεσίες, ενώ με τις κατάλληλες μετατροπές μπορούν να προσφέρουν και διαδραστικές υπηρεσίες. Πολυμεσικές υπηρεσίες είναι σε θέση να προσφέρουν και τα σύγχρονα συστήματα προσωπικών επικοινωνιών, με πολύ μεγαλύτερο όμως κόστος, τόσο για τον πάροχο υπηρεσιών δικτύου, όσο και για το χρήστη.

2.3.11 Δορυφορικά Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

Οι κινητές δορυφορικές υπηρεσίες έγιναν εμπορικά διαθέσιμες από τις αρχές του 1976 με την εισαγωγή του συστήματος Standard-A, το οποίο αργότερα εξελίχθηκε στο Inmarsat-A (Φεβρουάριος 1982) σύστημα του International Maritime Satellite Organisation (INMARSAT). Αρχικά προσφέρονταν μόνο υπηρεσίες επικοινωνίας φωνής στην κοινότητα του εμπορικού ναυτικού, ενώ αργότερα προστέθηκαν υπηρεσίες δεδομένων και επίγεια φορητά τερματικά. Η ουσιαστική ισχύς των κινητών δορυφορικών επικοινωνιών πηγάζει από τη δυνατότητα που έχουν να προσφέρουν υπηρεσίες σε αχανείς εκτάσεις, όπου τέτοιες υπηρεσίες δεν θα μπορούσαν να παρασχεθούν αποδοτικά από επίγεια συστήματα, είτε λόγω της γεωγραφικής περιοχής (όπως σε περιοχές ωκεανών), είτε λόγω της έλλειψης ικανοποιητικής υποδομής (σε αραιοκατοικημένες ή υπό ανάπτυξη περιοχές). Τα δορυφορικά συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι ικανά να παρέχουν υπηρεσίες σε ένα μεγάλο αριθμό τερματικών, διαφορετικού τύπου, σε ξηρά, θάλασσα και αέρα. Παραδείγματα πλατφόρμας για τερματικά είναι τα επίγεια κινητά, τα αεροσκάφη, τα πλοία και τα διάφορα μέρη συλλογής δεδομένων και ελέγχου.

2.4 Προκλήσεις

Η χρήση της ασύρματης μετάδοσης και η κινητότητα των κόμβων στα περισσότερα ασύρματα επικοινωνιακά συστήματα οδηγούν σε ορισμένες προκλήσεις οι οποίες πρέπει να επιλυθούν προκειμένου να αναπτυχθούν αποδοτικά συστήματα. Οι σημαντικότερες από αυτές τις προκλήσεις περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω.

2.4.1 Αναξιοπιστία Ασύρματου Μέσου Διάδοσης

Σε αντίθεση με τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης, το ασύρματο μέσο είναι ιδιαίτερα αναξιόπιστο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα σήματα που μεταδίδονται με ασύρματο τρόπο είναι ευπαθή σε παραμορφώσεις και παρουσιάζουν σημαντική μείωση ισχύος στο δέκτη. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα, όπως ανακλάσεις από αντικείμενα στην πορεία του σήματος, σχετική μετακίνηση μεταξύ πομπού και δέκτη, κ.λπ. Ο τρόπος παραμόρφωσης ενός σήματος που μεταδίδεται ασύρματα είναι δύσκολο να προβλεφθεί, δεδομένου ότι οι παραμορφώσεις είναι γενικά τυχαίας φύσης. Πρέπει, επομένως, να υπάρχει πρόβλεψη ώστε τα πρωτόκολλα, αλλά ίσως και οι εφαρμογές, να μπορούν να κρύβουν την αναξιοπιστία του φυσικού επιπέδου. Επίσης, πολύ χρήσιμη είναι η ανάπτυξη μοντέλων που να προβλέπουν τη συμπεριφορά των ασύρματων καναλιών. (Nikorolitidis, Obaidat, 2006)

2.4.2 Χρήση Φάσματος

Το φάσμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ασύρματες επικοινωνίες είναι πεπερασμένο. Επομένως, θα πρέπει να χρησιμοποιείται με αποδοτικό τρόπο. Αν λάβουμε υπόψη και το γεγονός ότι το φάσμα, εκτός από πεπερασμένος πόρος, είναι και ακριβός, γίνεται φανερή η ανάγκη αποδοτικής διαχείρισής του από τις ρυθμιστικές αρχές, όπως η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (FCC) των ΗΠΑ και το Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI). Αν οι εταιρείες έχουν την προοπτική κερδών επενδύοντας στην αγορά αδειών φάσματος, η απροθυμία τους για εγκατάσταση ασύρματων συστημάτων θα μειωθεί με προφανές πλεονέκτημα για την αγορά.

Τέλος, η πεπερασμένη φύση του φάσματος προκαλεί την ανάγκη για τεχνολογίες που να μπορούν είτε να επιτύχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα επάνω από ένα συγκεκριμένο εύρος του φάσματος, είτε να χρησιμοποιήσουν τις πιο υψίσυχνες περιοχές συχνοτήτων που σήμερα χρησιμοποιούνται σπάνια. Η πρόκληση για την τελευταία επιλογή είναι η κατασκευή υλικού με ίδιο κόστος και απόδοση με το αντίστοιχο υλικό που χρησιμοποιείται στα συστήματα που χρησιμοποιούν περιοχές χαμηλότερων συχνοτήτων.

2.4.3 Διαχείριση Ισχύος

Στα ενσύρματα δίκτυα, οι σταθμοί δεν υπόκεινται σε ενεργειακούς περιορισμούς.

Αντίθετα, στα ασύρματα δίκτυα οι σταθμοί τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Δεδομένου ότι οι μπαταρίες έχουν πεπερασμένη χωρητικότητα, οι χρήστες είναι υποχρεωμένοι να επαναφορτίζουν τις συσκευές τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Θα ήταν συνεπώς χρήσιμη η ανάπτυξη συστημάτων που να αυξάνουν το χρόνο μεταξύ διαδοχικών επαναφορτίσεων. Επιπλέον, τα κινητά τερματικά πρέπει να χρησιμοποιούν μπαταρίες με μικρό βάρος, έτσι ώστε η συσκευή να μεταφέρεται εύκολα. Δεδομένου, όμως, ότι η τεχνολογία μπαταριών δεν εξελίσσεται με τόσο γρήγορους ρυθμούς, η λύση φαίνεται να είναι η ανάπτυξη υλικού που να χρησιμοποιεί την ενέργεια αποδοτικά. Η κατανάλωση ισχύος των δυναμικών στοιχείων ενός τερματικού είναι ανάλογη προς τον παράγοντα CV^2F , όπου C είναι η χωρητικότητα του κυκλώματος, V το εύρος αλλαγής τάσης, και F η συχνότητα του ρολογιού του κυκλώματος (Forman, Zahorjan, 1994). Κατά συνέπεια, για να μειωθεί η κατανάλωση απαιτούνται ένα ή περισσότερα από τα εξής:

- ✓ Μεγαλύτερα επίπεδα ολοκλήρωσης VLSI ώστε να μειωθεί η χωρητικότητα.
- ✓ Ανάπτυξη κυκλωμάτων χαμηλότερης τάσης.
- ✓ Μείωση της συχνότητας ρολογιού του συστήματος.

Εναλλακτικά, τα ασύρματα συστήματα είναι δυνατό να κατασκευαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε οι περισσότερες λειτουργίες να πραγματοποιούνται στα σταθερά τμήματα του δικτύου (π.χ., στους σταθμούς βάσης των κυψελικών συστημάτων), καθώς αυτά δεν έχουν ενεργειακούς περιορισμούς. Τέλος, οι ίδιες σκέψεις για τη διαχείριση ενέργειας αφορούν και το λογισμικό των ασύρματων δικτύων. Το ενεργειακά αποδοτικό λογισμικό μπορεί να διακόψει προσωρινά τη λειτουργία τμημάτων μιας συσκευής όσο δεν χρησιμοποιούνται κάποιες λειτουργίες.

2.4.4 Ασφάλεια

Αν και η ασφάλεια αφορά όλα τα είδη των δικτύων, στην περίπτωση των ασύρματων η πρόκληση είναι ακόμη μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ασύρματες μεταδόσεις είναι δυνατό να υποκλαπούν πολύ πιο εύκολα απ' ό,τι οι ενσύρματες. Ο λόγος είναι πως, ενώ σε ένα ενσύρματο δίκτυο για να υποκλαπεί μια μετάδοση απαιτείται φυσική πρόσβαση στο καλώδιο, σε ένα ασύρματο δίκτυο οι μεταδόσεις είναι δυνατό να υποκλαπούν ακόμη και εκατοντάδες ή χιλιάδες μέτρα μακριά από τον πομπό. Πρέπει, συνεπώς, να βρεθούν τρόποι ώστε να

παρέχονται ικανοποιητικά επίπεδα ασφάλειας, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπως οι ηλεκτρονικές τραπεζικές συναλλαγές και το ηλεκτρονικό εμπόριο.

2.4.5 Μεταπομπή

Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα είναι και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Έτσι, αντίθετα από τα ενσύρματα δίκτυα, μια στατική τοπολογία δικτύου δεν μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστική· η τοπολογία ενός ασύρματου δικτύου μπορεί να αλλάζει με το χρόνο, ανάλογα με τις κινήσεις των χρηστών. Στα κυψελικά δίκτυα, η κινητικότητα των χρηστών οδήγησε στην υλοποίηση της λειτουργίας της μεταπομπής. Επομένως, απαιτούνται αποδοτικές τεχνικές για (Nikorolitidis, Obaidat, 2006):

- ✓ Τον εντοπισμό των κινητών τερματικών.
- ✓ Την υποστήριξη των τρεχουσών κλήσεων κατά τη διάρκεια μιας μεταπομπής.

Παρόμοια, στην περίπτωση των αδόμητων δικτύων δεδομένων απαιτούνται πρωτόκολλα δρομολόγησης που να λαμβάνουν υπόψη τις δυναμικά μεταβαλλόμενες τοπολογίες του δικτύου.

2.4.6 Διασύνδεση με ενσύρματα δίκτυα

Είναι σημαντική η ανάπτυξη πρωτοκόλλων και διασυνδέσεων (interfaces) που να επιτρέπουν στα κινητά τερματικά να αποκτούν πρόσβαση σε ένα ενσύρματο δίκτυο κορμού (backbone network). Αυτό θα έδινε στους κινητούς χρήστες τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τις φορητές συσκευές τους για εργασίες όπως η μεταφορά αρχείων, η ανάγνωση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, και η πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

2.4.7 Θέματα Υγείας

Η αυξανόμενη χρήση των ασύρματων δικτύων έχει προκαλέσει πολλές ανησυχίες σχετικά με τον αντίκτυπο τους στην ανθρώπινη υγεία. Οι περισσότερες ανησυχίες αφορούν τη χρήση των κυψελικών τηλεφώνων. Αυτό οφείλεται στο ότι η ισχύς εκπομπής των κυψελικών τηλεφώνων είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη των ασύρματων συστημάτων, όπως τα ασύρματα τοπικά δίκτυα και τα δίκτυα προσωπικής περιοχής. Επιπλέον, αντίθετα από αυτές τις δύο κατηγορίες ασύρματων δικτύων, τα κυψελικά τηλέφωνα:

- ✓ Χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρότερη απόσταση από τον ανθρώπινο

εγκέφαλο.

- ✓ Όταν χρησιμοποιούνται για κλήσεις φωνής, εκπέμπουν ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της κλήσης.

Το τελευταίο δεν ισχύει στη περίπτωση των ασύρματων δικτύων μεταφοράς δεδομένων, όπου οι μεταδόσεις γίνονται κατά ριπές και έτσι τα τερματικά εκπέμπουν για σύντομα χρονικά διαστήματα.

Αν και τα ραδιοκύματα (και μικροκύματα) δεν είναι τόσο επικίνδυνα για την υγεία όσο οι ακτινοβολίες πολύ υψηλότερης συχνότητας (όπως οι ακτινοβολίες Γάμμα και Χ), η παρατεταμένη χρήση τους μπορεί ενδεχομένως να έχει επιπτώσεις στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Μια τέτοια επίδραση της παρατεταμένης χρήσης των μικροκυμάτων είναι η άνοδος της θερμοκρασίας (κάτι που σκόπιμα κάνουν οι φούρνοι μικροκυμάτων). Αν και έχουν εμφανιστεί διάφορες μελέτες στην ιατρική βιβλιογραφία, δεν έχει δοθεί ακόμη μια τελική απάντηση στο θέμα της επίδρασης των ασύρματων δικτύων στην υγεία. Κάποιοι εμφανίζουν ως επιχείρημα το ότι δεν έχει αποδειχτεί πως τα ασύρματα δίκτυα προκαλούν προβλήματα υγείας. Η αντίθετη άποψη, όμως, υποστηρίζει ότι δεν έχει αποδειχτεί και το αντίθετο. Συνολικά, η κατάσταση μοιάζει αρκετά με εκείνη των πρώτων χρόνων χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας, όταν πολλοί θεωρούσαν ότι η παρουσία καλωδίων που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια στα σπίτια τους θα ήταν επιβλαβής για την υγεία. Προφανώς, μετά από τόσα πολλά χρόνια έχουμε διαπιστώσει ότι εκείνος ο φόβος ήταν υπερβολικός. Παρόμοια, ίσως πρέπει να περάσει αρκετός χρόνος μέχρι να αποκτηθεί ανάλογη γνώση για τις επιπτώσεις της χρήσης των ασύρματων δικτύων στην υγεία. (Nikopolitidis, Obaidat, 2006).

Επίλογος

Μέσα στην ροή της ανάπτυξης και δόμηση διαφόρων κατηγοριών των ασύρματων δικτύων, με ανεκτίμητη προσφορά στις σύγχρονες επικοινωνίες, δεν παύουν να γεννιούνται και διάφορες προκλήσεις. Η κινητικότητα των συστημάτων δοκιμάζει αυστηρά τα μέσα διάδοσης, την ισχύ, θέματα ασφάλειας ανακύπτουν, αλλά και ανησυχίες στο κομμάτι της επιδράσεως στην υγεία μας. Όλα τα παραπάνω χρήζουν επίλυσης για την απόδοση και επιτυχία των συστημάτων της ασύρματης επικοινωνίας. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η πρόσβαση των παραπάνω συστημάτων καθώς και τα κύρια πρότυπα που πρέπει να ακολουθούνται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εισαγωγή

Με την ραγδαία εξέλιξη και διάδοση των νέων τεχνολογικών υπηρεσιών, επήλθε και η ανάγκη για ασύρματη πρόσβαση σε αυτές, τόσο από σταθερό, όσο και από κινητό χρήστη. Προς αποφυγήν του υψηλού κόστους και της σύγχυσης, συγχρόνως όμως και της διατήρησης της ποιότητας υπηρεσιών, κατέστη αναγκαίο να συνταχθούν κάποια πρότυπα. Κυριότερο και επικρατέστερο είναι το WiMAX. Για τις ανάγκες της πολυπλοκότητας των δικτύων, δημιουργήθηκαν διάφορα WiMAX πρότυπα βασισμένα στο IEEE 802.16 και στο ETSI HiperMAN πρότυπα και κατηγοριοποιούνται κυρίως βάση συχνότητας λειτουργίας σταθερού αλλά και κινητού ασύρματου δικτύου.

3.1 Δίκτυα Πρόσβασης

Τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης κατηγοριοποιούνται βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Μια ενδεικτική κατηγοριοποίηση ανάλογα με την εμβέλεια τους (ή μέση ακτίνα ωφέλιμης ραδιοκάλυψης) έγινε στο πρώτο κεφάλαιο.

Άλλη κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με βάση τη ρυθμοαπόδοση (throughput). Διακρίνονται σε:

- ✓ Δίκτυα στενής ζώνης, όπου ο ρυθμός μετάδοσης είναι μικρός και επαρκεί συνήθως μόνο για παροχή υπηρεσιών φωνής.
- ✓ Δίκτυα Ευρείας Ζώνης, όπου ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι μεγάλος (κατά κανόνα πάνω από 128 kbit/s και μέχρι μερικές δεκάδες Mbit/s), τα οποία είναι κατάλληλα για παροχή υπηρεσιών φωνής και δεδομένων (π.χ. πρόσβαση στο διαδίκτυο).

Ακόμα, τα ασύρματα δίκτυα διακρίνονται σε:

- ✓ Δίκτυα Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης, όπου το τερματικό του χρήστη θα πρέπει να παραμένει σε σταθερή θέση, προκειμένου να είναι εφικτή η παροχή της υπηρεσίας.
- ✓ Δίκτυα Κινητής Ασύρματης Πρόσβασης, όπου το τερματικό του χρήστη μπορεί να είναι και κινούμενο, ακόμα και με μεγάλες ταχύτητες (π.χ. 120 km/h).

Πέραν της σταθερής υπηρεσίας, μπορούν να διακριθούν οι ακόλουθες καταστάσεις παροχής υπηρεσίας, μεταβαίνοντας προς υπηρεσίες με μεγαλύτερη κινητικότητα.

- ✓ Νομαδικότητα: Ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει το τερματικό του σε κάποια νέα θέση, λαμβάνοντας και πάλι σταθερή υπηρεσία. Κατά τη διάρκεια της μετακίνησής του ωστόσο, διακόπτεται τόσο η παροχή της υπηρεσίας, όσο και η σύνδεσή του με το δίκτυο.
- ✓ Φορητότητα: Ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει το τερματικό του λαμβάνοντας σταθερή υπηρεσία στη νέα θέση. Κατά τη διάρκεια της κίνησης, διακόπτεται η παροχή της υπηρεσίας από το δίκτυο, διατηρείται όμως η σύνδεση (σύνοδος).
- ✓ Απλή Κινητότητα: Ο χρήστης μπορεί να μετακινείται με το τερματικό του σε νέες θέσεις και να λαμβάνει υπηρεσία συνεχώς, κατά τη διάρκεια της κίνησής του. Ωστόσο, η ταχύτητα κίνησης θα πρέπει να είναι σχετικά μικρή (συνήθως από ταχύτητα βάδισης ή εποχούμενης κίνησης έως και 60 km/h), αλλιώς ενδέχεται να υπάρχουν διακοπές στην παροχή υπηρεσίας από το δίκτυο ή ακόμα και στη σύνδεση, όταν η ταχύτητα ξεπεράσει κάποιο όριο. Η μεταπομπή από τον ένα σταθμό βάσης στον άλλον, γίνεται συνήθως με μικρή διακοπή ή αλλοίωση της υπηρεσίας (σκληρή μεταπομπή - hard handoffs).
- ✓ Πλήρης Κινητότητα: Έχουμε απρόσκοπτη παροχή υπηρεσίας σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες (της τάξης των 120 km/h) και η μεταπομπή από ένα σταθμό βάσης σε άλλον είναι κατά κανόνα ομαλή, με απρόσκοπτη λήψη της υπηρεσίας (ομαλή μεταπομπή - soft handoffs). Τα βασικά χαρακτηριστικά τους περιγράφονται στον πίνακα.

Είδος Ασύρματης Πρόσβασης	Θέσεις Πρόσβασης	Ταχύτητα Κίνησης κατά την Πρόσβαση	Μεταπομπές ανάμεσα σε σταθμούς βάσης	Μετάβαση στην εμβέλεια άλλου σταθμού
Σταθερή	Μοναδική	Μηδενική	ΟΧΙ	Οριστική Διακοπή της Σύνδεσης και της Υπηρεσίας
Νομαδική	Σποραδικές	Μηδενική	ΟΧΙ	Διακοπή της Σύνδεσης και της Υπηρεσίας

Φορητότητα	Πολλαπλές	Πολύ χαμηλή - Ταχύτητα Βάδισης	“Σκληρή” Μεταπομπή	Προσωρινή Διακοπή της υπηρεσίας, διατήρηση της σύνδεσης στο δίκτυο
Απλή Κινητότητα	Πολλαπλές Συνεχώς Μεταβαλλόμενες	Χαμηλή - Ταχύτητα Οδήγησης σε αστικό περιβάλλον	“Σκληρή” Μεταπομπή	Πολύ Σύντομη Διακοπή της υπηρεσίας, διατήρηση της σύνδεσης στο δίκτυο
Πλήρης Κινητότητα	Πολλαπλές Συνεχώς Μεταβαλλόμενες	Υψηλή (Ενδεικτικά έως 120 km/ώρα)	“Ομαλή” Μεταπομπή	Απρόσκοπτη συνέχιση λήψης της υπηρεσίας, διατήρηση της σύνδεσης στο δίκτυο

3.2 Η τεχνολογία WiFi (Wireless Fidelity)

Το WiFi (IEEE 802.11b) είναι το πρώτο ασύρματο πρωτόκολλο που κατάφερε να μπει τόσο δυναμικά στον χώρο της δικτύωσης, έναν χώρο που γνωρίζει ελάχιστες επαναστάσεις και αλλαγές. Το πρωτόκολλο 802,11 είναι ένας ορισμός του Media Access Control (MAC) Layer καθώς και τριών διαφορετικών και ασύμβατων Physical Layers στο υπάρχον δικτυακό μοντέλο OSI. Το πρωτόκολλο εγκρίθηκε από την ομάδα 802 της IEEE στις 26 Ιουνίου 1997 και θέτει το πλαίσιο για μια προτυποποιημένη ασύρματη δικτυακή επικοινωνία ευρείας ζώνης.

Στο αρχικό πρωτόκολλο 802.11, καθορίζονται δύο τρόποι κωδικοποίησης, ο FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) και ο DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Στον FHSS, η εκπομπή-λήψη μοιράζεται σε 75 κανάλια του ενός MHz και εναλλάσσεται συνεχώς σε ένα από αυτά. Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική, ο πομπός στέλνει τα δεδομένα διαδοχικά σε μια ακολουθία από φαινομενικά τυχαίες συχνότητες (frequency hopping). Ο δέκτης ακολουθεί την ίδια

ακολουθία εναλλαγής καναλιών συχνότητας με τον πομπό και λαμβάνει το μήνυμα. Το μήνυμα μπορεί να ληφθεί ακέραιο, μόνο όταν είναι γνωστή η ακολουθία της εναλλαγής συχνοτήτων. Καθώς μόνον ο δέκτης γνωρίζει την σωστή ακολουθία, το μήνυμα είναι αναγνωρίσιμο μόνο από τον πραγματικό παραλήπτη. Με αυτή την τεχνική, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στον χώρο της λήψης θα επηρεάσουν μόνο ένα τμήμα του μηνύματος, έχοντας ως αποτέλεσμα την ανάγκη για επανεκπομπή μόνο μικρού όγκου μηνυμάτων. Ο συγκεκριμένος τρόπος κωδικοποίησης μπορεί να δώσει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 2 Mbit.

Η ταχύτητα σύνδεσης που ορίζει το IEEE 802.11b είναι τα 11 MBps, και επιβάλλεται από την κωδικοποίηση BSSS που χρησιμοποιεί. Μιας και από την φύση τους οι ασύρματες συνδέσεις είναι επιρρεπείς σε σφάλματα μετάδοσης, το overhead μετάδοσης πακέτων ελέγχου και διόρθωσης λαθών, μεταφράζεται σε πραγματική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων πολύ χαμηλότερη της ονομαστικής. Επίσης. Λόγω του γεγονότος ότι όλες οι συσκευές WiFi έχουν ένα και μόνο ραδιοφωνικό πομποδέκτη, η λειτουργία τους σαν δικτυακές συσκευές είναι σε half-duplex mode, καθώς ο πομποδέκτης μπορεί να ακούει το δίκτυο ή να στέλνει σε αυτό, αλλά όχι και τα δύο ταυτόχρονα. Έτσι το πραγματικό όριο για το bandwidth μιας 802.11b σύνδεσης διαμορφώνεται στα 5mbps. Από την στιγμή που επιτευχθεί σύνδεση σε μια άλλη συσκευή WiFi, τότε ισχύουν όλοι οι κανόνες ενός κοινού Ethernet δικτύου.

Στο 802.11b χρησιμοποιείται μία point-to-multipoint διαμόρφωση, όπου ένα σημείο πρόσβασης επικοινωνεί μέσω μιας πανκατευθυντικής κεραίας με έναν ή περισσότερους νομαδικούς ή κινητούς πελάτες που βρίσκονται σε μια περιοχή κάλυψης γύρω από το σημείο πρόσβασης. Η εμβέλεια είναι 30 μ στα 11 Mbits/s και 90 μ στα 1 Mbits/s. Το συνολικό εύρος ζώνης διανέμεται δυναμικά κατ' απαίτηση σε όλους τους χρήστες σε ένα κανάλι. Με τις εξωτερικές κεραίες υψηλού κέρδους, το πρωτόκολλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί τη σταθερή από σημείο σε σημείο επικοινωνία. Αυτό γίνεται συνήθως προκειμένου να αποφευχθούν δαπανηρές μισθωμένες γραμμές ή πολύ δυσκίνητος εξοπλισμός μικροκυματικών επικοινωνιών.

Το εμπόριο έχει κατακλυστεί πλέον από προϊόντα εταιριών που υλοποιούν με κάποιο τρόπο κάποιο μέρος του πρωτοκόλλου 802.11b (access points, routers, VoIP terminals, cameras κλπ). Την λύση στα προβλήματα συμβατότητας λειτουργίας όλων των 802.11b συσκευών έρχεται να δώσει η Wireless Ethernet

Compatibility Alliance (WECA), η οποία είναι μια οργάνωση που εξετάζει και πιστοποιεί την συμβατότητα των 802.11 συσκευών. Πρόκειται για μια πολύ σημαντική πρωτοβουλία, καθώς ένα wireless δίκτυο μπορεί να αποτελείται από συσκευές διαφορετικών εταιριών. Μία πιστοποιημένη από την WECA συσκευή έχει την εγγύηση ότι θα μπορεί να συνεργαστεί με άλλο ασύρματο ή όχι υλικό, που υποδεικνύεται από το πρωτόκολλο 802.11b για τον συγκεκριμένο τύπο συσκευής (πχ ένα access point πρέπει να μπορεί να συνδεθεί με οποιονδήποτε client, αλλά και να μπορεί να δεχτεί και μια Ethernet σύνδεση). Η WECA έχει θεσπίσει το Wireless Fidelity πρότυπο, και σε κάθε συσκευή που περνάει επιτυχώς όλες τις δοκιμές συμβατότητας, απονέμεται η «σφραγίδα συμβατότητας».

Αυτή η σφραγίδα δίνει στους καταναλωτές την εγγύηση ότι, τα προϊόντα που την φέρουν, θα μπορούν να λειτουργούν μεταξύ τους. Παρ' όλα αυτά, το WiFi δεν είναι ένα τεχνολογικό σπάνταρ. Είναι μια εγγύηση συμβατότητας μεταξύ προϊόντων. Βεβαίως τα πράγματα ποτέ δεν είναι τόσο απλά. Πολλές φορές ερχόμαστε αντιμέτωποι με προϊόντα που είτε απλά δεν μπορούν να συνεργαστούν, είτε η συνεργασία τους αυτή είναι προβληματική. Τέτοια προβλήματα τις περισσότερες φορές βρίσκονται στο υλικό των συσκευών οπότε είναι απίθανο να λυθούν. Έτσι η προσωπική δοκιμή των προϊόντων πριν την αγορά, ή η έρευνα για παραδείγματα αποδεδειγμένης συνεργασίας ενδείκνυται πριν από μια σοβαρή επένδυση σε υλικό διαφορετικών κατασκευαστών. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει σημαντική βελτίωση στην συμβατότητα και στην διαλειτουργικότητα των συσκευών WiFi όχι τόσο λόγω της πιστοποίησης αλλά περισσότερο λόγω της κατανόησης εκ μέρους των εταιριών ότι η διαλειτουργικότητα και η «καλή συμπεριφορά» των συσκευών του στα κοινόχρηστα ασύρματα δίκτυα είναι ένα από τα ισχυρά εργαλεία marketing.

Η τεχνολογία 802.11b ήταν η πρώτη εδώ και αρκετά χρόνια πρωτοβουλία, για την εισαγωγή ενός πρωτοκόλλου ασύρματης τοπικής δικτύωσης μεγάλου εύρους ζώνης. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν είναι αναγκαία η απόκτηση ειδικής άδειας χρήσης αυτής της ραδιοφωνικής συχνότητας είναι οι βασικότεροι λόγοι της ταχύτατης αποδοχής του από τους καταναλωτές και τις εταιρίες. Μάλιστα οι δυνατότητες της οικογένειας πρωτοκόλλων 802.11, είναι τέτοιες που το καθιστούν μια καλή λύση του προβλήματος του τελευταίου χιλιομέτρου (last mile problem), δηλαδή την παροχή broadband υπηρεσιών στον τελικό χρήστη από το δίκτυο μεταφοράς δεδομένων

του ήδη εγκατεστημένου τηλεφωνικού δικτύου. Στο εξωτερικό ανθεί η αγορά των WiSPs (Wireless Internet Service Providers), που προσφέρουν ευρυζωνικό internet μέσω της ασύρματης υποδομής που κατασκευάζουν οι ίδιοι, και μισθώνοντας γρήγορες συνδέσεις στο διαδίκτυο, τις οποίες και παρέχουν στους τελικούς πελάτες. Στην Ελλάδα κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο για την ώρα, λόγω του ασαφούς νομικού πλαισίου περί της εμπορικής χρήσης της συχνότητας των 2,4 GHz. Είναι επιτακτική λοιπόν η ανάγκη για νομοθετικές αλλαγές, που θα δώσουν νέες ανταγωνιστικές δυνατότητες σε μικρότερες επιχειρήσεις. Παρατηρώντας την μεγάλη αποδοχή του 802.11b, σε σχέση με το πόσο πρόσφατα έγινε η προτυποποίηση, είναι ξεκάθαρη η επιτυχία του σαν πρότυπο.

Από τότε μέχρι σήμερα έχουν εγκριθεί είτε βρίσκονται στο στάδιο της έγκρισης μία σειρά επεκτάσεων: 802.11a,g,e,d,f,h,i.

• 802.11a	54 Mbps	5GHz	U-NII, OFDM
• 802.11b	22 Mbps	2.4GHz	ISM, HR/DSSS
• 802.11c	Bridge Operation Procedures		
• 802.11d	Global Harmonization		
• 802.11e	MAC enhancements for QoS		
• 802.11f	Inter Access Point Protocol (roaming)		
• 802.11g	36/45 Mbps	2.4 GHz	ISM, OFDM
• 802.11h	Dynamic Frequency Selection		
• 802.11i	Security		

Standard	Description	Year	Status
IEEE 802.11	WLAN; 2Mb/s; 2.4 Ghz	1997	Approved
IEEE 802.11a	WLAN; 54Mb/s; 5 Ghz	1999	Approved
IEEE 802.11b	WLAN; 11Mb/s; 2.4 Ghz	1999	Approved
IEEE 802.11g	WLAN; 54Mb/s; 2.4 Ghz	2003	Approved
IEEE 802.11n	MIMO physical layer; 600Mb/s	2009	Approved
IEEE 802.11ac	WLAN 1 Gb/s; 5GHz	Late 2012 (Est.)	Task group development
IEEE 802.11ad	WLAN 1 Gb/s; 60GHz	Late 2012 (Est.)	Task group development

List of IEEE 802.11 Standards

Όμως τέσσερα πρότυπα είναι αυτά τα οποία έχουν κυριεύσει το χώρο των τοπικών ασύρματων δικτύων. Πρόκειται για τις τεχνολογίες 802.11a, 802.11b, 802.11g και 802.11n, τεχνολογίες με τον ίδιο πυρήνα λειτουργίας, αλλά με διαφορές στο εύρος συχνοτήτων που χρησιμοποιούν και την μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνουν.

3.2.1 Το πρότυπο IEEE 802.11a

Το πρότυπο 802.11a εισήλθε στην αγορά αφού το 802.11b είχε ήδη ένα μεγάλο μερίδιο αυτής. Παρόλα αυτά η τεχνολογία που χρησιμοποιεί προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτή του 802.11b. Χρησιμοποιεί τις μπάντες UNII στα 5 GHz για μετάδοση που είναι γενικά πολύ λιγότερο χρησιμοποιούμενη από αυτή των 2,4 GHz, οπότε και με λιγότερες παρεμβολές. Οι τρεις μπάντες UNII χωρίζονται με τρόπο σχετικό με την καταλληλότητα τους για μετάδοση σε εσωτερικά ή εξωτερικά περιβάλλοντα και επιτρέπουν την δημιουργία μακρινών ασύρματων ζεύξεων σε μεγάλες ταχύτητες.

- Το UNII-1, που είναι στη συχνότητα των 5.2 GHz.
- Το UNII-2, που είναι στη συχνότητα των 5.7 GHz
- Το UNII-3 είναι στη συχνότητα των 5.8 GHz

Το 802.11a παρέχει ταχύτητες μέχρι 54 Mbps (ωφέλιμο περί τα 25 Mbps), μια αύξηση στην ταχύτητα πέντε φορές από το 802.11b. Αυτό καθίσταται δυνατό λόγω μιας ανώτερης τεχνικής διαμόρφωσης των ραδιοκυμάτων που λέγεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Παρόλα αυτά οι υψηλότερες ραδιοσυχνότητες μειώνουν κατά πολύ την απόσταση κάλυψης καθώς και την διεισδυτική δύναμη του 802.11a, ειδικά σε εσωτερικούς χώρους. Εκεί που μια μετάδοση 802.11b θα περνούσε έναν τοίχο, μια μετάδοση 802.11a μπορεί να εμποδιστεί. Το γεγονός αυτό μπορεί να εμποδίσει την εγκατάσταση σε μεγάλη κλίμακα ενός δικτύου 802.11a καθώς απαιτούνται πιο πολλά Access Points για την κάλυψη του χώρου.

3.2.2 Το πρότυπο IEEE 802.11g

Τον Ιούνιο του 2003 ένα τρίτο πρότυπο διαμορφώθηκε. Το 802.11g είναι στην πραγματικότητα μια τροποποίηση του προτύπου 802.11b επιτρέποντας ταχύτητες 54 Mbps στην μπάντα ISM των 2,4 GHz χρησιμοποιώντας την διαμόρφωση σήματος που χρησιμοποιεί και το πρότυπο 802.11a. Το 802.11g αντιμετωπίζει τους περιορισμούς σε bandwidth του 802.11b και παράλληλα προσφέρει την διεισδυτική δύναμη της μπάντας των μικροκυμάτων καθώς και την ικανότητα μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις. Παρόλα αυτά δεν περιορίζει το πρόβλημα της συμφόρησης στην συγκεκριμένη μπάντα στην οποία λειτουργούν πολλές συσκευές. Το 802.11g είναι επίσης περιορισμένο σε τρία μη

αλληλοεπικαλυπτόμενα κανάλια όπως και ο προκάτοχος του , το 802.11b. Το 802.11g μπορεί να έχει τα ίδια προβλήματα απόδοσης όπως και το 802.11b λόγω της συμβατότητας προς τα πίσω που έχει. Εάν ένας σταθμός 802.11b είναι παρόν σε ένα δίκτυο 802.11g , όλοι οι σταθμοί θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν την διαμόρφωση σήματος του 802.11b για συμβατότητα. Παρόλα αυτά σε ένα καθαρά 802.11g δίκτυο μπορεί κάποιος να εκμεταλλευτεί πλήρως τις ικανότητες της τεχνολογίας. Επίσης, σαν σημείωση, μια εξωτερική κεραία που λειτουργεί σε 802.11b δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει και σε 802.11g μειώνοντας έτσι το κόστος αναβάθμισης.

3.2.3 Το πρότυπο IEEE 802.11n

Το πρότυπο 802.11n είναι μια προτεινόμενη τροποποίηση του IEEE 802.11-2007 για να βελτιώσει την απόδοση συστημάτων. Το 802.11 είναι ένα IEEE πρωτόκολλο που επιτρέπει σε συσκευές όπως οι φορητοί υπολογιστές ή τα κινητά τηλέφωνα να δημιουργήσουν έναν ασύρματο τοπικό LAN ευρέως χρησιμοποιημένος στο σπίτι, το γραφείο και σε μερικά εμπορικά κέντρα. Αν και το πρότυπο 802.11n είναι ακόμα στο στάδιο «σχεδίων» σύμφωνα με το IEEE, πολλοί προμηθευτές υλικού πωλούν ήδη το μη ολοκληρωμένο υλικό ,το οποίο είναι βασισμένο στο πιο πρόσφατο σχέδιο. Αυτοί οι προμηθευτές προσδοκούν ότι η τελική έκδοση δεν θα είναι σημαντικά διαφορετική από το σχέδιο. Μια λογισμική αναπροσαρμογή πρέπει να είναι σε θέση να καταστήσει το τρέχον μη ολοκληρωμένο υλικό (αυτό που βρίσκεται ακόμη στη φάση του σχεδίου) συμβατό με την τελική έκδοση.

Το πρότυπο 802.11n αναμένεται να είναι σημαντικά γρηγορότερο από τα προηγούμενα πρότυπα, όπως το 802.11b και το 802.11g, με πολλούς εμπειρογνώμονες να πιστοποιούν ότι αυτή η ασύρματη τεχνολογία θα επιτρέψει τελικά στους καταναλωτές να κινηθούν πέρα από το παραδοσιακό Ethernet (10 mbps) και Fast Ethernet (100 mbps) ενσύρματο τοπικό LAN.

Το 802.11n στηρίζεται στα προηγούμενα 802.11 πρότυπα με την προσθήκη της τεχνολογίας MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs) στο φυσικό στρώμα. Στη τεχνολογία MIMO, ένας σταθμός χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες και για εκπομπή και για λήψη δεδομένων, για να βελτιώσει την απόδοση συστημάτων. Έτσι το bandwidth μπορεί να αυξάνεται κατά πολύ, καθώς προστείνονται περισσότερες κεραίες. Σύμφωνα με την παραπάνω τεχνολογία οι ταχύτητες που

θα επιτυγχάνονται από 54 Mbit/s έως 600 Mbit/s στις μπάντες των 2,4GHz και 5GHz.

3.2.4 Το πρότυπο IEEE 802.11ac

Είναι μια πιο γρήγορη και επεκτάσιμη έκδοση του 802.11n. Προσδίδει στην ασύρματη τεχνολογία δυνατότητες Gigabit Ethernet. Πλέον υπάρχει σημαντική βελτίωση στον αριθμό των client που ένας AP μπορεί να υποστηρίξει, καλύτερη απόδοση για τον κάθε client και περισσότερο διαθέσιμο bandwidth για ταυτόχρονες διεργασίες. Η αύξηση της ταχύτητας του πρωτοκόλλου επιτυγχάνεται κυρίως από τρεις διαφορετικές πτυχές:

1. Ακόμη μεγαλύτερο channel bonding (συνδυασμός δύο ή περισσότερων καναλιών της ίδιας μπάντας για αύξηση της ρυθμαπόδοσης). 80 με 160 MHz σε σχέση με τα 40 MHz του 802.11n.
2. Τέσσερις φορές μεγαλύτερο QAM από το 802.11n (256 έναντι 64 QAM)
3. Multi-user MIMO: επιτρέπει σε έναν AP να στέλνει πολλαπλά frames σε πολλαπλούς clients ταυτόχρονα στην ίδια συχνότητα.

Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά το 802.11ac πρωτόκολλο υπόσχεται ταχύτητες της τάξεως των 1.3Gbps στα 80MHz. Ωστόσο, αναπτύσσονται και προϊόντα δεύτερης γενιάς, αυτής της τεχνολογίας, τα οποία υπόσχονται ταχύτητες 3.47Gbps στα 160MHz. Όλα αυτά όμως, μόνο στη μπάντα των 5GHz.

3.2.5 Το πρότυπο IEEE 802.11ad

Το 802.11ad είναι το δεύτερο σε σειρά "gigabit WiFi standard" όπου αλλάζει το συνήθη προσανατολισμό της τεχνολογίας WiFi και προσφέρει νέες, αλλά και διαφορετικές υπηρεσίες. Η εξέλιξη του είναι αργή, γι'αυτό δεν μπορεί να προσδιοριστεί πότε θα εμφανιστούν τα πρώτα προϊόντα (ίσως από το 2014). Η μεγάλη αλλαγή είναι ότι το πρωτόκολλο λειτουργεί στη συχνότητα των 60 MHz.

Σ'αυτή τη μπάντα υπάρχουν λίγες εφαρμογές, λόγω της μεγάλης απώλειας σήματος (ασθενές σήμα) σε σχέση με τα 2.4 και 5GHz. Αυτό μεταφράζεται σε μικρότερη εμβέλεια σήματος με συνέπεια να μη μπορεί να υποστηρίξει τη σύνδεση μεταξύ AP και clients, αλλά μονάχα ασύρματες συνδέσεις "δωματίου", όμως και εκεί οι συσκευές πρέπει να έχουν οπτική επαφή. Το μεγάλο πλεονέκτημα στα 60 GHz όμως είναι το μεγάλο φάσμα που μπορούμε να εκμεταλευτούμε και η ταχύτητες που θα μπορεί να επιτύχει και θα είναι της τάξεως των 7Gbps. Για να

αντισταθμιστεί η μεγάλη απώλεια ισχύος στο σήμα χρησιμοποιεί κατευθυντικές κεραίες που εστιάζουν σε μια γωνία 6 μοιρών. Η κύρια χρήση του θα είναι η σύνδεση διάφορων περιφερειακών συσκευών με ηλεκτρονικούς υπολογιστές και πιο μελλοντικά θα μπορεί να συνδέει ασυρματικά συσκευές όπως στερεοφωνικά, τηλεοράσεις και παιχνιδομηχανές.

3.2.6 Τα πρότυπα IEEE 802.11f και IEEE 802.11e

Εκτός αυτών των εκδόσεων έχουν προταθεί και κάποιες επεκτάσεις τους, οι οποίες όμως δεν έχουν υλοποιηθεί σε εμπορικά προϊόντα και έχουν περισσότερο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον.

802.11f ή IAPP, το οποίο επιτρέπει άμεση επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών Access Points ώστε να εξαλειφθεί η απώλεια πλαισίων κατά τη μεταγωγή. Ο σχετικός μηχανισμός ενεργοποιείται από ένα αίτημα επανασυσχέτισης.

802.11e ή QoS το οποίο προσπαθεί να διασφαλίσει ποιότητα υπηρεσιών για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που εκτελούνται πάνω σε ένα WLAN ελαχιστοποιώντας ή μεγιστοποιώντας ένα από τα παρακάτω κριτήρια: μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, μέση μεταβολή της καθυστέρησης ή μέσο ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πλαισίων. Θεωρείται δηλαδή, κρίσιμης σημασίας για τις εφαρμογές που παρουσιάζουν ευαισθησία στις καθυστερήσεις, όπως η Μετάδοση Φωνής μέσω Διαδικτύου IP(VoIP).

3.3 Πρότυπα IEEE 802.16 και ETSI HiperMAN

Με την ταχύτερη εξάπλωση των νέων υπηρεσιών, όπως η πρόσβαση στο διαδίκτυο και η μετάδοση δεδομένων ψηφιακής μορφής (φωτογραφίες, βίντεο, αρχεία ήχου, κ.α.), έγινε γρήγορα εμφανής η ανάγκη πρόσβασης σε αυτές και με ασύρματο τρόπο, γρήγορα, αποτελεσματικά και με τήρηση συγκεκριμένων εχέγγυων ποιότητας.

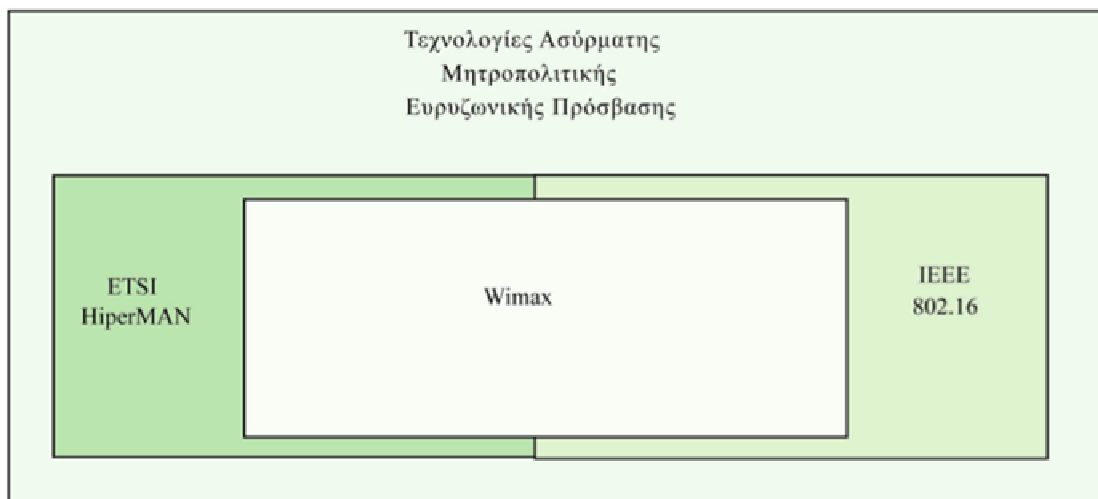
Στις πρώτες προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση οι κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού ανέπτυξαν δικούς τους μηχανισμούς και πολλές, διαφορετικές τεχνολογίες, βασισμένες σε ετερογενείς πλατφόρμες και διαφορετικές φιλοσοφίες εξέλιξης, με έμφαση σε διαφορετικούς τομείς. Υπήρξε έτσι αρχικά κατακερματισμός της αγοράς, το κόστος κατασκευής παρέμενε πολύ υψηλό, ενώ τα χαρακτηριστικά, που παρείχε ο κάθε κατασκευαστής εξοπλισμού ασύρματης πρόσβασης, διαφοροποιούνταν αρκετά μεταξύ τους, τόσο ποιοτικά όσο και

ποσοτικά.

Η ανάγκη για τυποποίηση οδήγησε την IEEE και το ETSI, στην παράλληλη ανάπτυξη των προτύπων IEEE 802.16 και ETSI HiperMAN, ως τεχνολογίες Μητροπολιτικών Δικτύων Ασύρματης Ευρυζωνικής Πρόσβασης, με στόχο τη μείωση του κόστους, την αύξηση της αξιοπιστίας και των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού και την επίτευξη συμβατότητας εξοπλισμού μεταξύ των κατασκευαστών. (ETSI TS, 2007-11)

Αρκετοί κατασκευαστές υποστήριξαν και συμμετείχαν ενεργά στην εξέλιξη του ενός ή του άλλου προτύπου. Ωστόσο, τα δύο πρότυπα διέφεραν σε μερικά σημεία, μη παρέχοντας ένα ενιαίο πλαίσιο ανάπτυξης.

Δημιουργήθηκε έτσι το πρότυπο WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), βασισμένο κυρίως στο IEEE 802.16, με ενσωμάτωση όμως και κάποιων χαρακτηριστικών του ευρωπαϊκού προτύπου ETSI HiperMAN. (ETSI TS, 2007-11)



Την εξέλιξη του προτύπου WiMAX ξεκίνησε, και συνεχίζει να προωθεί, το WiMAX Forum, έχοντας επιτύχει τη συσπείρωση του συνόλου σχεδόν των κατασκευαστών εξοπλισμού ασύρματων μητροπολιτικών ευρυζωνικών δικτύων. Έχει υποστηρίξει, μέσα από μια τεχνολογική εξελικτική διαδικασία, δύο βασικά πρότυπα, το πρότυπο IEEE 802.16-2004(d) ή Fixed WiMAX, για την παροχή υπηρεσιών Σταθερής Ασύρματης Ευρυζωνικής Πρόσβασης και το πρότυπο IEEE 802.16-2005 (e) ή Mobile WiMAX, για την παροχή υπηρεσιών Κινητής Ασύρματης Ευρυζωνικής Πρόσβασης. (WiMAX Forum, 2006)

3.4 WiMAX

Ο όρος WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι συνώνυμος με το πρότυπο IEEE 802.16e για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WirelessMAN). Προορισμός του είναι να γίνει μια παγκοσμίως διαθέσιμη τεχνολογία αφού η βάση του (το πρότυπο IEEE 802.16) αναγνωρίζεται ως πρότυπο αναφοράς από το ETSI (European Telecommunication and Standards Institute) για το αντίστοιχο WiBro (Wireless Broadband) που αναπτύσσεται στην Κορέα.

Στην αρχική του έκδοση το πρότυπο IEEE 802.16 αναφερόταν για εφαρμογές απ' ευθείας οπτικής επαφής (Line Of Sight - LOS) στο φάσμα συχνοτήτων 10-66GHz όμως επόμενες τροποποιήσεις το επέκτειναν για εφαρμογές μη οπτικής επαφής (Non-LOS) στο φάσμα συχνοτήτων <11GHz με αδειοδότηση ή χωρίς. Πλέον απευθύνεται και σε κινητούς χρήστες που επιθυμούν ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Τα συστήματα WiMAX, καλύπτοντας το κενό μεταξύ των ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless LAN) και των δικτύων ευρείας περιοχής (WAN), θα παράσχουν μια οικονομική εναλλακτική λύση στην ευρυζωνική πρόσβαση με τεχνολογία DSL, όπου αυτή είναι διαθέσιμη, ενώ το πιο σημαντικό είναι ότι θα προσφέρει ευρυζωνική πρόσβαση σε περιοχές όπου το DSL δεν έχει ακόμα φτάσει.

3.5 Η εξέλιξη των WiMAX

Το WiMAX Forum, στο σταθερό πρότυπο του WiMAX, δίνει έμφαση στο φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, μέχρι και το υποεπίπεδο MAC (Media Access Control). Τα ανώτερα επίπεδα, σε αντιστοιχία με το πρότυπο δικτυακής διαστρωμάτωσης OSI, δεν προδιαγράφονται αναλυτικά, αλλά δίνονται σχετικές κατευθύνσεις, σύμφωνα με τις οποίες θα πρέπει να αναπτύξουν οι κατασκευαστές τα προϊόντα. Μεγαλύτερη έμφαση στην προτυποποίηση και ανωτέρων επιπέδων έχει δοθεί στην έκδοση του προτύπου, στο οποίο βασίζεται το κινητό WiMAX.

Το WiMAX Forum έχει δημιουργήσει δομές και διαδικασίες πιστοποίησης εξοπλισμού (Σταθμοί Βάσης ή Τερματικές συσκευές), τόσο για το σταθερό, όσο και για το κινητό πρότυπο, σε διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας. Ο εξοπλισμός κάποιου κατασκευαστή, που ολοκληρώνει επιτυχώς τη διαδικασία πιστοποίησης,

λαμβάνει σχετικό πιστοποιητικό, στο οποίο αναγράφεται η υποκατηγορία πιστοποίησης, βάσει του οποίου βεβαιώνεται ότι υλοποιούνται τα υποχρεωτικά και κάποια από τα προαιρετικά χαρακτηριστικά του προτύπου. Επομένως, η χρήση πιστοποιημένου εξοπλισμού διασφαλίζει ελάχιστη στάθμη απόδοσης, διαλειτουργικότητας, εγγύηση της ποιότητας των υπηρεσιών και αξιοπιστία. (WiMAX Forum, 2008)

3.5.1 IEEE 802.16

Από το 1998 πολλές εταιρίες είχαν ξεκινήσει να αναπτύσσουν και να προσφέρουν προϊόντα για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Προκειμένου τα προϊόντα αυτά να ακολουθήσουν ένα συγκεκριμένο πρότυπο, οργανώθηκε το 1999 μια ομάδα εργασίας στα πλαίσια του οργανισμού IEEE 802. Το πρότυπο που προτάθηκε αφορούσε τα ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής WirelessMAN για συχνότητες 10-66GHz ενώ το Νοέμβριο του ίδιου έτους ξεκίνησαν οι μελέτες για παρόμοιες υπηρεσίες στις συχνότητες 2-11GHz.

3.5.1.1 Παρασκήνιο και IEEE 802.16

Παρόλο που το project του 802.16 ξεκίνησε πίσω στο 1998, η κύρια εργασία πραγματοποιήθηκε στο διάστημα 2000-2003 σε μια ανοικτή διαδικασία συναίνεσης. Ο σκοπός ήταν να γίνει η ευρυζωνική και ασύρματη πρόσβαση περισσότερο ευρεία και φθηνά διαθέσιμη διαμέσου ενός προτύπου για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα. Το αρχικό όραμα για το 802.16 ήταν ότι έπρεπε να στηθούν βασικοί σταθμοί οι οποίοι θα συνδέονται σε δημόσιο δίκτυο. Ο καθένας από αυτούς τους σταθμούς θα μπορούσε να υποστηρίξει εκατοντάδες σταθερούς συνδρομητικούς σταθμούς, πρότυπο του στρώματος ελέγχου μέσου πρόσβασης (MAC)- μια κοινή διεπαφή που καθιστά τα δίκτυα διαλειτουργικά- και να διαθέσει σχεδόν στιγμιαία εύρος καθόδου και ανόδου σε συνδρομητές σύμφωνα με τις ανάγκες τους.

Το 802.16 για MAN μπορεί επίσης να δέσει πάνω στα δυναμικά σημεία του 802.11, το οποίο εξυπηρετεί τόσο τα ασύρματα LAN όσο και τους τελικούς χρήστες απευθείας. Με το κινητό πρότυπο, οι χρήστες θα είναι ικανοί να χρησιμοποιήσουν τον BS του WMAN για να επικοινωνούν μέσω φορητής συσκευής συσκευής καθώς κινούνται σε ακτίνα 50km.

Η πρώτη έκδοση του 802.16 εκδόθηκε τον Απρίλιο του 2002 και

διευθυνσιοδότησε σταθερές, με γραμμή θέας συνδέσεις για το σύνδεσμο “πρώτο μίλι/ τελευταίο μίλι” (για τον πιο κοντινό έως τον πιο μακρινό σύνδεσμο). Επικεντρώθηκε στην επαρκή χρήση ποικίλων επιτρεπτών συχνοτήτων στο εύρος των 10-66 GHz.

Τα προϊόντα του 802.16 δεν έχουν υιοθετήσει ποτέ μια κοινή προσέγγιση. Ανόμοια με το Wi-Fi, αρκετοί πρωταρχικοί προμηθευτές ισάξιου εξοπλισμού μπορούν να επιτύχουν την απόδοση του WiMAX. Προσφέρει την υψηλότερη απόδοση εύρους ζώνης, τεχνολογία πέρα από απλή ραδιομετάδοση και -στην καλωδιωμένη πλευρά- MMDS και είναι στο ίδιο επίπεδο με το δορυφόρο.

Παρόλο που -ακόμα και με την επερχόμενη κινητή έκδοση του προτύπου- το WiMAX δε μπορεί να είναι τόσο ευρείας περιοχής όσο το 3G, αποδίδει πολύ υψηλότερους ρυθμούς και με επαρκή ανάπτυξη εξάπλωσης θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά τη χρήση των δικτύων κυψελών σε πολλές περιοχές. Η επόμενη έκδοση του προτύπου, η 802.16a, που εκδόθηκε τον Απρίλιο του 2003, είναι αυτή που έσπρωξε στην κυριολεξία το WiMAX στο να υιοθετηθεί ως η κυρίαρχη ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία. Αυτό ισχύει και για τα σταθερά ενσύρματα αλλά επεκτείνει την ακτίνα του WiMAX από 50 έως 80 km και λειτουργεί στη χαμηλή ζώνη συχνοτήτων 2-11 GHz. Έτσι μπορεί να γίνει αποδεκτό από μη εξουσιοδοτημένους χειριστές (unlicensed operators). Χρησιμοποιεί σημείο προς σημείο ή (και επιλογή) τοπολογίες πλέγματος και δεν απαιτεί γραμμή οπτικής επαφής. Ειδικότερα, χρησιμοποιεί επιτρεπόμενες ζώνες συχνοτήτων στα 3.5GHz - 10.5GHz διεθνώς 2.5-2.7GHz και μη επιτρεπόμενες των 2.4GHz και 5.725GHz - 5825GHz.

Μια σημαντική παράμετρος του 802.16x είναι ότι καθορίζει ένα στρώμα MAC το οποίο υποστηρίζει πολλαπλές προδιαγραφές φυσικού επιπέδου. Αυτό είναι χαρακτηριστικό μεγάλης σημασίας εφόσον δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές εξοπλισμού να διαφοροποιήσουν τις προσφορές τους -για παράδειγμα νέες προσεγγίσεις για τη χρήση έξυπνης κεραίας- χωρίς να στερούνται διαλειτουργικότητας αλλά και για να προσαρμόσουν τον εξοπλισμό στο φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται.

Επιπρόσθετα στοιχεία ήταν τα εξής: 802.16c/d που εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 2003, διευθυνσιοδοτεί τη διαλειτουργικότητα παρέχοντας λεπτομερή προφίλ συστημάτων και διευκρινίσεις των συνδυασμών των επιλογών, ως βάση για τις δοκιμές συμμόρφωσης και διαλειτουργικότητας. Το φόρουμ του WiMAX,

παρουσίασε το πρώτο από αυτά τα τεστ στο συνέδριο WCA τον Ιούλιο του 2003 και επιπρόσθετη εργασία εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους από αυτόν τον οργανισμό και το IEEE. Το πρωτόκολλο C συσχετίζει τα πρωτόκολλα, εξετάζει τις δομές ακολουθίας και τους σκοπούς δοκιμής ενώ το D καθορίζει τα τυπογραφικά λάθη και τα πρωτόκολλα που δεν καλύπτονται από το C και δημιουργεί τα σχεδιαγράμματα των συστημάτων.

Το 802.16e, το οποίο προσθέτει την κινητικότητα (mobility) στο πρότυπο και στην πραγματικότητα “σφάζει με το γάντι” την κυψελοειδή τεχνολογία. Αυτό το στοιχείο του προτύπου έχει μονοπωλήσει το ενδιαφέρον της Nokia, η οποία μπορεί να δει ένα νέο ρεύμα εισοδήματος τόσο σε BS όσο και σε επίπεδο φορητής συσκευής.

3.5.1.2 Η στοίβα πρωτοκόλλων του IEEE 802.16

Με δεδομένο το γεγονός ότι τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από όλες τις παραλλαγές του IEEE802 έχουν πολλά κοινά στοιχεία στη δομή τους, εδώ περιοριζόμαστε στην παρουσίαση μιας μερικής άποψης της στοίβας πρωτοκόλλων του IEEE 802.16. Μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι η γενική δομή της στοίβας του IEEE 802.16 είναι παρόμοια με αυτή των άλλων δικτύων της οικογένειας 802 αλλά με περισσότερα επίπεδα. Το χαμηλότερο (φυσικό) επίπεδο (PHY) είναι επιφορτισμένο με τη μετάδοση, εκτελώντας λειτουργίες όπως επιλογή συχνότητων, διαχείριση ισχύος του σήματος κλπ.

Οι προδιαγραφές για το φυσικό επίπεδο του WiMAX κινούνται στη λογική των περιοχών συχνότητων 10 έως 66 GHz (LOS) και 2-11GHz (NLOS). Έτσι, στις μπάντες συχνότητων από 10 έως 66 GHz, κάθε BS εκπέμπει σήμα, χρησιμοποιώντας σύστημα πολύπλεξης με διαίρεση χρόνου (TDM) για την υποδιαίρεση του φάσματος σε κανάλια και των καναλιών σε χρονικές θυρίδες, ενώ σε κάθε SS διατίθενται χρονοθυρίδες (timeslots) με σειριακό τρόπο. Η ανοδική (Uplink, UP) μετάδοση από ένα SS βασίζεται στην τεχνική Time Division Multiple Access (TDMA). Ο τύπος της ραδιο-διεπαφής για αυτή τη μπάντα συχνότητων ονομάζεται Wireless MAN-SC (single carrier). Για την κατανομή εύρους ζώνης υποστηρίζεται τόσο η μέθοδος αμφίδρομης επικοινωνίας με διαίρεση συχνότητας όσο και η αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου. Από την άλλη μεριά το πρότυπο IEEE 802.16a ορίζει τρεις τύπους ραδιο-επαφής:

- ✓ Wireless MAN SC2 (διαμόρφωση Single Carrier).

- ✓ Wireless MAN OFDM (χρησιμοποιεί OFDM με 256 point transform).
- ✓ Wireless MAN OFDMA (χρησιμοποιεί OFDM με 2048 point transform).

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το 802.16a αποτελεί προσπάθεια σύγκλισης με το 802.11. Αξίζει επίσης να αναφέρουμε ότι η τεχνική διαμόρφωσης της ορθογώνιας πολύπλεξης με διαίρεση συχνότητας OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) και η βελτιωμένη multi-user έκδοση OFDMA (Orthogonal frequency-division multiplexing Access) είναι πολύ ανθεκτικές σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath fading), ειδικότερα στις συχνότητες άνω των 2GHz.

Πάνω από το επίπεδο φυσικής μετάδοσης υπάρχει το υποεπίπεδο σύγκλισης, το οποίο κάνει διαφανείς τις διάφορες χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες μετάδοσης στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων. Το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων αποτελείται με τη σειρά του από τρία υποεπίπεδα. Το χαμηλότερο από αυτά είναι υπεύθυνο για την προστασία του απορρήτου και την ασφάλεια. Είναι επιφορτισμένο δηλαδή με λειτουργίες, όπως κρυπτογράφηση, αποκρυπτογράφηση και διαχείριση κλειδιών. Πάνω από αυτό βρίσκεται το κοινό τμήμα του επιπέδου MAC. Η διαχείριση του καναλιού λαμβάνει χώρα σε αυτό το επίπεδο. Το μοντέλο 802.16 ορίζει ότι ο BS ελέγχει το σύστημα, χρονοπρογραμματίζοντας αποτελεσματικά τα κατερχόμενα (Downlink, DL) κανάλια, ενώ παίζει μεγάλο ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων (UP) καναλιών.

Το τελευταίο υποεπίπεδο του επιπέδου συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων έχει τη θέση του υποεπιπέδου ελέγχου λογικού συνδέσμου (LLC) που υπάρχει στα άλλα πρωτόκολλα της οικογένειας 802. Αυτό είναι υπεύθυνο για τη διασύνδεση με τα επίπεδα δικτύου. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το 802.16 σχεδιάστηκε ώστε να συνεργαστεί τόσο με τα πρωτόκολλα αυτοδύναμων πακέτων, όπως τα PPP, IP, όσο και με το Asynchronous Transfer Mode (ATM). Παρακάτω απεικονίζεται ένα τμήμα της στοίβας πρωτοκόλλων του 802.16.

Ανώτερα Επίπεδα				
Υποεπίπεδο σύγκλισης ανάλογα με την υπηρεσία (ATM, IP, 802, 1Q)				
Κοινό τμήμα υποεπιπέδου ελέγχου προσπέλασης μέσου (MAC) (fragmentation, packing, QoS, ARQ)				
Υποεπίπεδο ασφαλείας (MAC privacy/security sublayer)				
Υποεπίπεδο σύγκλισης της μετάδοσης				
QPSK	QAM-16	QAM-64	OFDM	OFDMA

3.5.1.3 Δομή Πλαισίων IEEE 802.16

Όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα το οποίο απεικονίζει τη γενική μορφή πλαισίου IEEE 802.16, όλα τα πλαίσια 802.16 ξεκινούν με μια γενική κεφαλίδα. Η κεφαλίδα ακολουθείται προαιρετικά από το ωφέλιμο φορτίο και από ένα επίσης προαιρετικό άθροισμα ελέγχου, όπως για παράδειγμα τα πλαίσια που ζητούν υποδοχές του καναλιού, δεν είναι απαραίτητο να φέρουν ωφέλιμο φορτίο. Λόγω της διόρθωσης σφαλμάτων στο φυσικό επίπεδο το άθροισμα ελέγχου είναι και αυτό προαιρετικό.

Το πεδίο ΚΡ δείχνει αν το ωφέλιμο φορτίο είναι κρυπτογραφημένο. Ακολούθως, το πεδίο Τύπος καθορίζει τον τύπο του πλαισίου, προσδιορίζοντας αν χρησιμοποιείται ομαδοποίηση και κατακερματισμός. Στη συνέχεια, το πεδίο ΑΕ υποδεικνύει την παρουσία ή την απουσία του τελικού αθροίσματος ελέγχου. Το πεδίο ΚΚ προσδιορίζει ποιο από τα κλειδιά κρυπτογράφησης (αν υπάρχει) έχει χρησιμοποιηθεί. Κατόπιν, το πεδίο Μήκος περιέχει το συνολικό μήκος πλαισίου, συμπεριλαμβανομένης της κεφαλίδας. Αμέσως μετά το πεδίο Αναγνωριστικό σύνδεσης προσδιορίζει σε ποια ακριβώς σύνδεση ανήκει το εν λόγω πλαίσιο. Τέλος, το πεδίο CRC κεφαλίδας περιέχει το άθροισμα ελέγχου μόνο για την κεφαλίδα.



3.5.2 IEEE 802.16-2001

Το πρώτο πρότυπο εγκρίθηκε ως WirelessMAN-SC IEEE 802.16-2001 και εκδόθηκε το 2002. Αφορούσε συχνότητες 10-66GHz, όπου υπάρχει ακόμα

διαθέσιμο φάσμα παγκοσμίως, και μόνο για επικοινωνίες απ' ευθείας οπτικής επαφής (Line of Sight - LOS) λόγω των ισχυρών απωλειών διάδοσης που οφείλονται στα μικρά μήκη κύματος. Το πρότυπο προδιαγράφηκε single carrier, εύρους καναλιών 25 έως 28MHz.

3.5.3 IEEE 802.16c

Αποτελούσε την πρώτη τροποποίηση του IEEE 802.16-2001 και συμπεριλάμβανε χαρακτηριστικά συστημάτων που ορίστηκαν ως η βάση για τη διεξαγωγή των τεστ απομνημόνευσης των διαφόρων συστημάτων με τις προδιαγραφές του προτύπου.

3.5.4 IEEE 802.16a

Τον Απρίλιο του 2003 εκδόθηκε το πρότυπο IEEE 802.16a που αφορούσε συχνότητες 2-11GHz συμπεριλαμβάνοντας τις συχνότητες με ή χωρίς αδειοδότησης χρήσης τους, για Non-LOS επικοινωνίες και επομένως σε περιβάλλον με ισχυρές απώλειες λόγω πολυδιαδρομικής παρεμβολής. Το πρότυπο προδιάγραφε τρία air interface:

- ✓ WirelessMAN-SC μονού φορέα.
- ✓ WirelessMAN-OFDM με μετασχηματισμό 256 σημείων.
- ✓ WirelessMAN-OFDMA με μετασχηματισμό 2048 σημείων.

3.5.4.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του IEEE 802.16a

Το 802.16a λειτουργεί στα 124Mbps στο κανάλι των 28MHz (στη ζώνη των 10-66GHz) και στα 70Mbps σε χαμηλότερη συχνότητα (2-11GHz).

Βασικές πρωταρχική τεχνολογία στο 802.16a είναι η υποστήριξη για OFDM, η οποία μπορεί να συνεχίσει να εφαρμόζεται με πολλούς τρόπους από διαφορετικούς χειριστές (η ακριβής παραλλαγή της OFDM μπορεί να γίνει ο διαφοροποιητής κλειδιού τους).

Η OFDM είναι καθιερωμένη και ενσωματώνεται σε μερικές υπηρεσίες μεταφοράς νέας γενιάς τόσο καλά ώστε να είναι θεμελιώδης για την ψηφιακή τηλεόραση. Μεταδίδει πολλαπλά συστήματα στιγμιαία διαμέσου ενός καλωδίου ή ασύρματου μονοπατιού μετάδοσης, σε ξεχωριστές συχνότητες, με το στοιχείο ορθογωνικότητας να διατηρεί αποστάσεις μεταξύ των συχνοτήτων, προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές. Η OFDM υποστηρίζεται επίσης από το πρότυπο 802.11a για ασύρματα LAN.

3.5.5 IEEE 802.16e

Το Δεκέμβριο του 2005 εκδόθηκε το IEEE 802.16e που αφορά την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για κινητά συστήματα. Το πρότυπο υιοθετεί air interface OFDMA για βελτιωμένη πολυδιαδρομική απόδοση σε περιβάλλοντα NLOS. Παρουσιάζεται ακόμη η κλιμακωτή OFDMA (Scalable OFDMA-SOFDMA) για να υποστηρίξει κλιμακούμενα εύρη καναλιών 1.25 έως 20MHz. Η πρώτη έκδοση του προτύπου καλύπτει εύρη καναλιών 5, 7, 8.75 και 10MHz για τις αδειοδοτούμενες συχνότητες 2.3, 2.5 και 3.5GHz ενώ προβλέπει ρυθμούς downlink έως 63Mbps, uplink έως 28Mbps σε κανάλι εύρους 10MHz.

3.5.6 IEEE 802.16-2004 (d) – Σταθερή Πρόσβαση WiMAX

Το πρότυπο αυτό προδιαγράφει τη δομή και λειτουργία του εξοπλισμού για την υλοποίηση ενός ασύρματου ευρυζωνικού μητροπολιτικού δικτύου σταθερής πρόσβασης, αλλά και τη διαλειτουργικότητά του, στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων (κοινό υποεπίπεδο MAC και Convergence). Παγιώθηκε το 2004, ενώ τα πρώτα πιστοποιημένα εμπορικά προϊόντα εμφανίστηκαν το 2006.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του προτύπου περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ολοκλήρωση Πρωτυποποίησης	2004
Συνθήκες Διάδοσης	LOS, OLOS, NLOS
Μέγιστος Αριθμός Μετάδοσης	Έως και 26,2 Mbit/s σε δίαυλο 7 MHz
Διαμόρφωση	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Κινητότητα	OXI (Σταθερή ή Νομαδική Πρόσβαση)
Εύρος Διαύλου	3,5 MHz, 7 MHz
Αριθμός Υποφερόντων	256
Ενδεικτική Εμβέλεια Πρόσβασης	Έως 30 km (θεωρητικά έως 50 χλμ)
Φασματική Απόδοση	Έως 3,75 bps/Hz
Κλάσεις Υπηρεσιών	UGS, rtPS, nrtPS, BE
Υποστήριξη Προσαρμοστικών Κεραιοσυστημάτων	OXI
Υποστήριξη MIMO	OXI

Μέθοδος Πολυπλεξίας/Πρόσβασης	OFDM
Ζώνες Συχνοτήτων	2,5 GHz, 3,5 GHz, 5,8 GHz
Αμφίδρομη Μετάδοση	FDD, TDD
Συνήθεις Τύποι Τερματικών	Εξωτερικής Εγκατάστασης, Εσωτερικής - Επιτραπέζια
Κρυπτογράφηση	DES, 3DES, AES
Εξοικονόμηση Ενέργειας σε μη λειτουργία	OXI

Ο αντίστοιχος εξοπλισμός μπορεί να παρέχει υπηρεσίες σταθερής ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, σε μια περιοχή μητροπολιτικών διαστάσεων, με ακτίνα πρόσβασης πρακτικά έως και 30 km (και θεωρητική εμβέλεια έως και πάνω από τα 50 Km), με ρυθμούς μετάδοσης που υπερβαίνουν τα 10Mbit/s σε κανάλι λειτουργίας 3,5 MHz.

Η διαυλοποίηση ακολουθεί κατάτμηση σε πολλαπλάσια των 3,5 MHz (3,5 MHz, 7MHz). Τα συστήματα υιοθετούν τεχνική αμφίδρομης μετάδοσης TDD (Time Division Duplexing), δηλαδή αμφίπλευρη μετάδοση με διαχωρισμό στο χρόνο ή FDD (Frequency Division Duplexing), δηλαδή αμφίπλευρη μετάδοση με διαχωρισμό στη συχνότητα.

Το πρότυπο προβλέπει παροχή υπηρεσίας, τόσο με οπτική επαφή μεταξύ σταθμού βάσης και τερματικού, όσο και με μη οπτική επαφή, για μικρότερες αποστάσεις. Ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης, η ανοχή στο θόρυβο και η εξασφάλιση συγκεκριμένης ποιότητας υπηρεσιών επιτυγχάνεται με καινοτόμες τεχνικές, τόσο στη ραδιοεπαφή, όσο και στο επίπεδο MAC. Τέτοιες τεχνικές είναι: OFDM, εξελιγμένες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, δυνατότητα προσαρμοστικής διαμόρφωσης, κυκλικό πρόθεμα πλαισίου και τεχνικές κατανομής των πόρων του σταθμού. Επίσης, ενσωματώνονται Ροές και Κλάσεις (κατηγορίες) Υπηρεσιών και τεχνικές κρυπτογράφησης και απόδοσης προτεραιοτήτων.

Η τεχνολογία σταθερού WiMAX εντάσσεται στις τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς (NGA), καθώς η αρχιτεκτονική του βασίζεται στη διεπαφή Ethernet, στο σταθμό βάσης, στο τερματικό του χρήστη και στη διασύνδεση με το δίκτυο κορμού IP. Παρέχονται έτσι μέσω της τεχνολογίας αυτής όλες οι νέες υπηρεσίες, όπως πρόσβαση στο διαδίκτυο, IP τηλεφωνία (VoIP) υπηρεσίες πραγματικού χρόνου ή υπηρεσίες που απαιτούν ελάχιστο εγγυημένο εύρος ζώνης και συγκεκριμένα εχέγγυα ποιότητας υπηρεσίας - QoS (latency, jitter) (π.χ. video ή

ήχος σε πραγματικό χρόνο, VPN - Virtual Private Network, μισθωμένοι δίαυλοι κλπ). (IEEE Std 802.16-2004, 2004)

3.5.7 IEEE 802.16-2004 (e) – Κινητή Πρόσβαση WiMAX

Το πρότυπο αυτό αποτελεί εξέλιξη του σταθερού προτύπου. Το βασικό πρόσθετο χαρακτηριστικό είναι η κινητικότητα, αρχικά σε απλή μορφή και με απώτερο στόχο την υλοποίηση πλήρους κινητότητας, αντίστοιχη με εκείνη της κινητής τηλεφωνίας. Γίνεται δηλαδή εφικτή η παροχή ασύρματης ευρυζωνικότητας σε κινητά τερματικά και μάλιστα σε ρυθμούς παρεμφερείς με το σταθερό WiMAX, αν και σε πιο περιορισμένη εμβέλεια. Τα βασικά χαρακτηριστικά του Κινητού WiMAX (Mobile WiMAX) περιγράφονται ακολούθως.

Ολοκλήρωση Πρωτυποποίησης	2005
Συνθήκες Διάδοσης	LOS, OLOS, NLOS
Ενδεικτικός Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης	30,0 Mbps σε δίαυλο 10 MHz (μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί, αναλόγως της τεχνικής υλοποίησης)
Διαμόρφωση	QPSK, 16QAM, 64QAM
Κινητότητα	NAI (Σταθερή ή Νομαδική Πρόσβαση, Φορητότητα, απλή κινητότητα, σταδιακή υλοποίηση πλήρους κινητότητας)
Εύρος Διαύλου	5,0 MHz, (7,0 MHz σε μερικές υλοποιήσεις), 10,0 MHz
Αριθμός Υποφερόντων	512, 1024
Ενδεικτική Εμβέλεια Πρόσβασης	Έως 8-16 km (μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με διάφορες τεχνικές)
Ενδεικτική Μέση Φασματική Απόδοση	3,00 bps/Hz (μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με την υλοποίηση διαφόρων τεχνικών π.χ. MIMO κ.α)
Κλάσεις Υπηρεσιών	UGS, rtPS, nrtPS, BE, ErtPS

Υποστήριξη Προσαρμοστικών Κεραιοσυστημάτων	NAI
Υποστήριξη MIMO	NAI
Μέθοδος Πολλαπλής Πρόσβασης	OFDM, SOFDMA
Ζώνες Συχνοτήτων	2,5 GHz, 3,5 GHz, 5,8 GHz
Αμφίδρομη Μετάδοση	TDD
Συνήθεις Τύποι Τερματικών	Εξωτερικής Εγκατάστασης, Εσωτερικής - Επιτραπέζια, PCMCIA Cards, USB dongles, Embedded Chipsets (PDA, laptops, netbooks, smartphones)
Κρυπτογράφηση	3DES, AES
Λειτουργία Εξοικονόμησης Ενέργειας	NAI

Όλα τα συστήματα του προτύπου αυτού υιοθετούν τεχνική TDD (Time Division Duplexing), ενώ η διαυλοποίηση υλοποιείται, σύμφωνα με το πρότυπο, με διαύλους των 5 MHz και 10MHz. Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης αναβαθμίζονται με την SOFDMA και γίνονται πιο ευέλικτες, γρήγορες και αποδοτικές, υποστηρίζοντας περισσότερες υπηρεσίες και χρήστες ανά σταθμό βάσης.

Ενσωματώνονται ισχυρότερες τεχνικές κρυπτογράφησης και πιστοποίησης ταυτότητας χρηστών, διαδικασίες μεταπομπής από τον οικείο σταθμό σε άλλο, ενώ παρέχεται πλέον διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε εξοπλισμό δικτύου και τερματικά συνδρομητών διαφορετικών κατασκευαστών.

Επίσης, εισάγονται νέες τεχνολογίες στην ραδιοεπαφή, που αφορούν, τόσο τα κεραιοσυστήματα όσο και τους πομποδέκτες (έξυπνα και προσαρμοστικά κεραιοσυστήματα, δυναμική διαμόρφωση λοβών ακτινοβολίας, τεχνικές MIMO - πολλαπλών εισόδων και εξόδων, Space-Time Coding, Diversity κ.α). (IEEE Std 802.16-2004, 2004)

Άλλες καινοτομίες εισάγονται στη διαχείριση της ισχύος από τα τερματικά και στο είδος των τερματικών (εκτός των outdoor και desktop που προϋπήρχαν εισάγονται τερματικά τύπου USB dongles, PCMCIA cards, embedded).

Τα πρώτα συστήματα, που ακολουθούν το πρότυπο αυτό πιστοποιήθηκαν από το WiMAX Forum και άρχισαν να διατίθενται στην αγορά το 2008, ενώ ήδη το

πλήθος τους έχει ξεπεράσει τα αντίστοιχα πιστοποιημένα συστήματα σταθερής πρόσβασης.

Επίλογος

Με τη ταχύτατη εξάπλωση του διαδικτύου, το πρότυπο WiMAX έδωσε λύση, ώστε να επιτυγχάνεται η ασύρματη πρόσβαση γρήγορα, αποτελεσματικά και με τη τήρηση συγκεκριμένων εχεγγύων ποιότητας. Το επόμενο κεφάλαιο μελετά τα 4G δίκτυα, τα οποία σε αντίθεση με την ποικιλία κατηγοριών – προτύπων, αποσκοπούν στην ενοποίηση όλων των ασύρματων συστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εισαγωγή

Η απαίτηση για μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και οι δυσκολίες για τη κινητικότητα λόγω αδυναμίας περιαγωγής μεταξύ δικτύων βασισμένων σε διαφορετικά πρότυπα, ήταν κάποια ζητήματα όπου ωθούσαν την εξέλιξη των ασύρματων συστημάτων. Έτσι αρχίζει η εμφάνιση αποδοτικότερων και πιο ολοκληρωμένων συστημάτων, των επωνομαζόμενων 4G.

4.1 Συστήματα 4^{ης} Γενιάς

Η ιστορία της βιομηχανίας των ασύρματων συστημάτων έχει ξεκινήσει εδώ και αρκετά. Πρώτα εμφανίστηκαν τα συστήματα πρώτης γενιάς το 1981 και στη συνέχεια δέκα χρόνια αργότερα τα συστήματα δεύτερης γενιάς. Το 2002 ξεκίνησε η εγκατάσταση και λειτουργία των συστημάτων τρίτης γενιάς. Στην αρχή τα συστήματα πρώτης γενιάς μεταφέρουν μόνο φωνή, τα συστήματα δεύτερης γενιάς εκτός από φωνή μεταφέρουν και δεδομένα σε χαμηλές όμως ταχύτητες, ενώ της τρίτης γενιάς έχουν στόχο να υποστηρίξουν μια μεγάλη ποικιλία ευρυζωνικών εφαρμογών και υπηρεσιών. Παρατηρείται λοιπόν μια τάση για υποστήριξη ολοένα και μεγαλύτερων ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων.

Τα δίκτυα τρίτης γενιάς παρά το ότι υποστηρίζονται από το πρωτόκολλο IP και την κινητικότητα, μειονεκτούν επειδή έχουν διαφορετικά πρότυπα. Το μειονέκτημα αυτό περιορίζει την εύκολη περιαγωγή μεταξύ δικτύων βασισμένων σε διαφορετικά πρότυπα, και αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την κινητικότητα των χρηστών. Ακόμα τα δίκτυα τρίτης γενιάς έχουν ταχύτητες 2 Mbs. Παρόλο που οι ταχύτητες αυτές είναι καλές για να καλύψουν τις εφαρμογές στο άμεσο μέλλον πρέπει να βελτιωθούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις της κινητής τεχνολογίας των επόμενων χρόνων. Και εδώ δεν σταματά ποτέ η προσπάθεια για αναζήτηση καλύτερων και αποδοτικότερων συστημάτων. Παρατηρείται ότι μόλις γίνει η εγκατάσταση μιας εφαρμογής έχουν ήδη ξεκινήσει οι εργασίες για την επόμενη γενιά. Επομένως μετά την εγκατάσταση των δικτύων τρίτης γενιάς λογικό είναι να έχουμε την τέταρτη γενιά ασύρματων συστημάτων (4G). (Varshney, Jain, 2001)

Η τέταρτη γενιά έχει σαν στόχο να ενοποιηθούν τα διάφορα δίκτυα κινητής και ασύρματης τηλεφωνίας. Παρόλα αυτά υπάρχει μια διαφορά μεταξύ των ασύρματων και των ασύρματων δικτύων δεδομένων, όπως τα ασύρματα τοπικά

δίκτυα (WLAN). Αυτή είναι ότι τα κυψελικά συστήματα είναι συνήθως βασισμένα σε μεταγωγή κυκλώματος, κάτι που σημαίνει ότι η πραγματοποίηση μιας κλήσης ακολουθεί τη δημιουργία ενός κυκλώματος μέσω του οποίου θα μεταφερθούν τα δεδομένα, ενώ αντίθετα τα ασύρματα δίκτυα δεδομένων είναι βασισμένα σε μεταγωγή πακέτων. Αναμένεται ότι η εξέλιξη των δικτύων ασύρματης τηλεφωνίας προς ένα ενιαίο σύστημα θα οδηγήσει σε μια κοινή πλατφόρμα μεταγωγής πακέτων (βασισμένη, ενδεχομένως, στο πρωτόκολλο IP), οδηγώντας έτσι στο “ασύρματο Διαδίκτυο”. Βέβαια, για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας προσπάθειας απαιτείται έρευνα που κάνει δυνατή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των ασύρματων κυψελικών δικτύων και των ασύρματων δικτύων δεδομένων. Η ενοποιημένη αυτή πλατφόρμα παρέχει διαφανή ολοκλήρωση των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων και επιτρέπει στους χρήστες να έχουν, ανεξάρτητα από τις μεθόδους προσπέλασης των διαφόρων ασύρματων δικτύων, άμεση πρόσβαση σε περιεχόμενα πολυμέσων όπως φωνή, δεδομένα, και βίντεο.

Οι επόμενες γενιές ασύρματων δικτύων θα προσφέρουν αυξημένες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων - οι προβλέψεις τις τοποθετούν από τα 50 έως τα 155 Mbps. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης αυτών των συστημάτων θα πρέπει να μελετηθούν και να επιλυθούν διάφορα οικονομικά και τεχνικά ζητήματα. Κάποια από αυτά, όπως η ανάπτυξη αποδοτικότερων τεχνικών διαμόρφωσης, η ανεύρεση επιπλέον φάσματος, και οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, έχουν ήδη μελετηθεί κατά τη διάρκεια της έρευνας και ανάπτυξης συστημάτων δεύτερης και τρίτης γενιάς. Υπάρχουν, όμως, και άλλα ζητήματα τα οποία δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά, και εξαρτώνται σημαντικά από την εξέλιξη της αγοράς των τηλεπικοινωνιών και γενικά της κοινωνίας. Τα ζητήματα αυτά πρέπει να προσδιοριστούν και να επιλυθούν το συντομότερο, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η επιτυχία, όχι μόνο των συστημάτων τέταρτης γενιάς (4G), αλλά και των μεταγενέστερων.

4.2 Σχεδιαστικοί Στόχοι για τα συστήματα 4^{ης} Γενιάς

Μέχρι σήμερα δεν έχει καθοριστεί κανένα πρότυπο τέταρτης γενιάς και, ουσιαστικά, το μόνο που έχει γίνει είναι υποθέσεις σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία αυτών των συστημάτων. Μια χρήσιμη ερώτηση είναι ποια θα είναι τα επιθυμητά πλεονεκτήματα και τα νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των συστημάτων τέταρτης γενιάς σε σχέση με αυτά των προκατόχων τους. Η

απάντηση είναι αρκετά ασαφής, καθώς η σχετική έρευνα είναι σε εξέλιξη. Αυτό που ξέρουμε σήμερα είναι ότι διάφορες ερευνητικές προσπάθειες (Mohr, 2001, Lilleberg, Prasad, 2001) συμφωνούν σε γενικές γραμμές στους ακόλουθους στόχους:

✓ Διαλειτουργικότητα. Τα συστήματα που θα ακολουθήσουν την τρίτη γενιά πρέπει να φέρουν κάτι που λείπει από τους προκατόχους τους: ευέλικτη διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών των υπάρχοντων ασύρματων δικτύων, όπως τα δορυφορικά δίκτυα, τα κυψελικά δίκτυα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, τα δίκτυα προσωπικής περιοχής, και τα συστήματα σταθερών ασύρματων ζεύξεων. Η έννοια της διαλειτουργικότητας θα δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα περιαγωγής μεταξύ δικτύων διαφορετικών προτύπων (π.χ., μετακίνηση από ένα κυψελικό δίκτυο προς ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο χωρίς να διακόπτεται η παροχή υπηρεσιών). Αν ο στόχος της διαλειτουργικότητας εκπληρωθεί, η παγκόσμια επικοινωνιακή υποδομή θα μετατραπεί σε ένα ενιαίο δίκτυο που θα είναι προσβάσιμο από τους χρήστες ανεξάρτητα από συγκεκριμένες μεθόδους προσπέλασης. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η διαλειτουργικότητα θα οδηγήσει στην ανάγκη πρόσβασης σε διαφορετικά ασύρματα δίκτυα μέσω του ίδιου τερματικού. Μπορούμε να προσδιορίσουμε τις παρακάτω τρεις πιθανές λύσεις σε αυτό το πρόβλημα (Jain, 2001):

- Τερματικά πολλαπλού τρόπου λειτουργίας (multi-mode terminals). Αυτή η επιλογή αφορά την περαιτέρω ανάπτυξη των παλαιότερων συστημάτων και έχει εφαρμοστεί στο παρελθόν (π.χ., κυψελικά τηλέφωνα συμβατά με AMPS και CDMA). Απαιτεί ένα ενιαίο τερματικό που θα είναι σε θέση να «μιλήσει» με διαφορετικά ασύρματα δίκτυα. Αυτό προφανώς επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση επιπλέον διασυνδέσεων στο τερματικό, από μία για κάθε διαφορετικό ασύρματο δίκτυο. Η επιλογή των τερματικών πολλαπλού τρόπου λειτουργίας θα προσφέρει αυξημένη κάλυψη και αξιόπιστη πρόσβαση στις υπηρεσίες στην περίπτωση της διακοπής λειτουργίας ενός ή περισσότερων δικτύων σε μια περιοχή. Επιπλέον, η επιλογή των τερματικών πολλαπλού τρόπου λειτουργίας δεν αυξάνει την πολυπλοκότητα του σταθερού μέρους του δικτύου, καθώς η πρόσθετη πολυπλοκότητα

ενσωματώνεται στις κινητές συσκευές.

- Δίκτυο επικάλυψης (overlay network). Σε αυτή τη λύση, οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο δίκτυο τέταρτης γενιάς μέσω σημείων πρόσβασης ενός δικτύου επικάλυψης. Κατά τη διαδικασία σύνδεσης, το σημείο πρόσβασης θα επιλέγει το ασύρματο δίκτυο με το οποίο θα συνδεθεί τελικά το τερματικό. Αυτή η επιλογή μπορεί να βασίζεται σε κάποιες επιλογές προκαθορισμένες από το χρήστη, στη διαθεσιμότητα των πόρων των διαφόρων δικτύων, στις απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών, κ.λπ. Δεδομένου ότι ένα σημείο πρόσβασης μπορεί να ελέγξει τους πόρους που χρησιμοποιούνται από ένα χρήστη, αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει την εύκολη υλοποίηση πολιτικών τιμολόγησης.
 - Κοινό πρωτόκολλο πρόσβασης. Αυτή η επιλογή απαιτεί τη χρήση ενός ή δύο τυποποιημένων πρωτοκόλλων πρόσβασης στα ασύρματα δίκτυα. Μια πιθανή επιλογή είναι για τα ασύρματα δίκτυα να χρησιμοποιηθούν είτε κυψέλες ασύγχρονου τρόπου μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode, ATM) με επιπλέον κεφαλίδες (headers) είτε κυψέλες ασύρματου ATM (Wireless ATM, WATM).
- ✓ Υποστηριζόμενο εύρος ζώνης και χρόνος ζωής μπαταριών. Τα τερματικά των δικτύων επόμενης γενιάς θα υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα επιλογών εύρους ζώνης, που θα κυμαίνεται από μερικά kbps έως 100 Mbps ή και παραπάνω. Ο χρόνος ζωής των μπαταριών αυτών των συσκευών αναμένεται να είναι περίπου μία εβδομάδα. Αυτή η πρόοδος αναμένεται να συνοδευτεί από μείωση βάρους και όγκου των μπαταριών.
- ✓ Σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων. Σύμφωνα με τις μελέτες, η αρχιτεκτονική τέταρτης γενιάς αναμένεται να χρησιμοποιεί ένα χωρίς σύνδεση (connectionless) σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων (βασισμένο, ενδεχομένως, στο πρωτόκολλο IP) προκειμένου να διασυνδέει τα διάφορα ασύρματα δίκτυα.
- ✓ Μεταβολή εύρους ζώνης για την ασύρματη πρόσβαση. Η διασύνδεση των διαφορετικών δικτύων σε μια κοινή πλατφόρμα θα παρέχει ένα δίκτυο που θα αποτελείται από διαφορετικά — επικαλυπτόμενα — επίπεδα, τα οποία και θα προσφέρουν διαφορετικές ταχύτητες πρόσβασης στους χρήστες, ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση. Τα πιθανά επίπεδα είναι (Mohr,

2001):

- Επίπεδο διανομής (distribution layer). Θα υποστηρίζει τις υπηρεσίες μεταδόσεων ψηφιακής τηλεόρασης και ραδιοφωνίας, παρέχοντας μέτριες ταχύτητες σε τοπολογίες που θα αποτελούνται από σχετικά μεγάλες κυψέλες. Το επίπεδο αυτό θα υποστηρίζει πλήρη κάλυψη και κινητότητα σε αγροτικές περιοχές με μικρή πυκνότητα συνδρομητών.
 - Κυψελικά επίπεδο (cellular layer). Θα περιλαμβάνει τα κυψελικά συστήματα δεύτερης και τρίτης γενιάς. Θα παρέχει υψηλές ταχύτητες (έως 2 Mbps) σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα συνδρομητών, όπως οι αστικές. Η τοπολογία του θα αποτελείται από κυψέλες μικρότερες από εκείνες του επιπέδου διανομής. Το επίπεδο αυτό θα υποστηρίζει επίσης πλήρη κάλυψη και κινητικότητα.
 - Επίπεδο «θερμών σημείων» (hot-spot layer). Θα υποστηρίζει υπηρεσίες που απαιτούν υψηλές ταχύτητες σε περιοχές μικρής έκτασης, όπως γραφεία ή κτίρια. Θα περιλαμβάνει τα συστήματα ασύρματων τοπικών δικτύων, όπως το IEEE 802.11 και το ασύρματο τοπικό δίκτυο υψηλής απόδοσης (High Performance Radio LAN 1, HIPERLAN 1). Λόγω των μικρών μη επικαλυπτόμενων περιοχών κάλυψής του, το επίπεδο αυτό δεν αναμένεται να παρέχει πλήρη κάλυψη. Βέβαια, θα μπορεί να υποστηριχτεί η δυνατότητα περιαγωγής προς ένα από τα προηγούμενα επίπεδα.
 - Προσωπικό επίπεδο (personal layer). Θα περιλάβει τις συνδέσεις σε πολύ μικρές αποστάσεις, όπως αυτές που παρέχει το πρότυπο Bluetooth. Λόγω των μικρών αποστάσεων, η κινητότητα θα είναι περιορισμένη, αλλά θα μπορεί και εδώ να υποστηριχθεί η δυνατότητα περιαγωγής προς ένα από τα προηγούμενα επίπεδα.
 - Σταθερό επίπεδο (fixed layer). Θα περιλάβει τα σταθερά συστήματα πρόσβασης μέσω ασύρματων ζεύξεων, τα οποία θα αποτελούν επίσης μέρος του δικτύου τέταρτης γενιάς.
- ✓ Προηγμένοι σταθμοί βάσης. Οι σταθμοί βάσης των δικτύων μελλοντικών γενιών θα χρησιμοποιούν έξυπνες κεραίες προκειμένου να αυξήσουν τη χωρητικότητα του δικτύου. Επίσης, θα υποστηρίζουν ένα πλήθος διασυνδέσεων ώστε να παρέχουν πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα τερματικών.

- ✓ Υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης. Τα συστήματα τρίτης γενιάς έχουν στην καλύτερη περίπτωση ένα ανώτατο όριο ταχύτητας 2 Mbps. Αν και αυτό είναι περισσότερο από αρκετό για τις εφαρμογές των επόμενων ετών, τα συστήματα τρίτης γενιάς θα πρέπει να εξελιχθούν προκειμένου να μπορούν να εξυπηρετούν τις ανάγκες των εφαρμογών των επόμενων δεκαετιών. Τα συστήματα τέταρτης γενιάς στοχεύουν να παρέχουν υποστήριξη για τέτοιες εφαρμογές. Παρόλο που υπάρχει κάποια ασάφεια σχετικά με τις παρεχόμενες ταχύτητες των συστημάτων τέταρτης γενιάς, με αναφορές από τα 50 Mbps (Jain, 2001) έως τα 155 Mbps (Lilleberg, Prasad, 2001), είναι βέβαιο ότι θα προσφέρουν σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες από τα συστήματα τρίτης γενιάς.

Προκειμένου να υποστηριχθούν υψηλότερες ταχύτητες, θα πρέπει προφανώς να αναπτυχθούν νέες διασυνδέσεις των τερματικών με το δίκτυο. Μια αποδοτική διασύνδεση πρέπει να χρησιμοποιεί το φάσμα αποδοτικά και να παρέχει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφόρων ταχυτήτων πρόσβασης. Επιπλέον, μια τέτοια διασύνδεση θα πρέπει να είναι ανθεκτική στην εξασθένηση και να απαιτεί όσο το δυνατό λιγότερες λειτουργίες εξίσωσης (equalization). Η OFDM μπορεί να καλύψει τέτοιες απαιτήσεις και αναμένεται να χρησιμοποιηθεί στα μελλοντικά ασύρματα συστήματα. Κατά συνέπεια, μια παρέκκλιση στη συχνότητα εκπομπής από τον πομπό θα είναι ανεκτή από το δέκτη.

4.3 Υπηρεσίες και εφαρμογές 4^{ης} Γενιάς

Οι κατηγορίες των εφαρμογών και των υπηρεσιών που θα εμφανιστούν στην αγορά των συστημάτων τέταρτης γενιάς (4G) δεν είναι ακόμη γνωστές. Παρόλα αυτά, έχουν προκύψει μερικές τάσεις από διάφορες έρευνες. Ένας μη λεπτομερής αλλά ενδεικτικός κατάλογος κατηγοριών υπηρεσιών είναι ο ακόλουθος (Gessler, 1998):

- ✓ Τηλεπαρουσία (telepresence). Θα υποστηρίζει τις εφαρμογές που θα κάνουν χρήση όλων των ανθρώπινων αισθήσεων προκειμένου να παρέχουν στους χρήστες την αίσθηση της πραγματικής ύπαρξης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Θα είναι υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας πραγματικού χρόνου και θα υποστηρίζουν εφαρμογές εικονικών συνεδριάσεων, μια εξέλιξη των σημερινών συστημάτων τηλεδιάσκεψης. Παρά το γεγονός ότι θα βρίσκονται μακριά από τη διάσκεψη, οι

συμμετέχοντες θα έχουν την αίσθηση της παρουσίας στο χώρο που πραγματοποιείται η διάσκεψη. Λόγω των τεράστιων απαιτήσεων σε ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, τέτοιου είδους εφαρμογές θα απαιτούν αποδοτικές τεχνικές συμπίεσης και θα έχουν πρόσβαση σε ταχύτητες της τάξης των 100 Mbps. Επιπλέον, εξαιτίας της φύσης τους, αυτές οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου θα απαιτούν πολύ μικρές μεταβολές στην καθυστέρηση και υψηλά επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών. Η έννοια μιας εικονικής συνεδρίασης θα είναι μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές που προβλέπονται για τα συστήματα τέταρτης γενιάς αλλά και αυτά που θα ακολουθήσουν.

- ✓ Πρόσβαση σε πληροφορίες. Θα απαιτεί τη δυνατότητα στιγμιαίας πρόσβασης σε μεγάλους όγκους δεδομένων, όπως μεγάλα αρχεία ήχου και βίντεο. Σε σύγκριση με την τηλεπαρουσίαση, οι εφαρμογές αυτές θα είναι λιγότερο «ευαίσθητες» στη μεταβολή καθυστέρησης, δεδομένου ότι δεν θα είναι εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Αυτή η κατηγορία υπηρεσιών θα απαιτεί τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα. Σημειώνεται ότι αυτές οι υπηρεσίες αναμένεται να χαρακτηρίζονται από ασύμμετρη κίνηση, με αναλογία εύρους ζώνης μεταξύ κατωφερών και ανωφερών συνδέσεων κοντά στο 50/1.
- ✓ Επικοινωνία μεταξύ μηχανών. Θα προσφέρει στις συσκευές τη δυνατότητα να επικοινωνούν είτε για λόγους συντήρησης είτε για λόγους πρόσθετης νοημοσύνης και λειτουργικότητας. Ένα παράδειγμα εφαρμογής αυτού του τύπου είναι ο εξοπλισμός των τμημάτων των μηχανών ενός αυτοκινήτου με ασύρματες διασυνδέσεις, οι οποίες θα επιτρέπουν την επικοινωνία με τους αντίστοιχους προμηθευτές όταν εμφανίζονται δυσλειτουργίες.
- ✓ Ευφυείς αγορές. Θα προσφέρει στους χρήστες πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με τις τιμές και τα χαρακτηριστικά των προϊόντων που προσφέρονται από τα καταστήματα τα οποία επισκέπτονται. Με την είσοδο του χρήστη σε ένα κατάστημα, το τερματικό του θα συνδέεται αυτόματα με το φορέα παροχής πληροφοριών του καταστήματος και θα λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα που πωλούνται από το κατάστημα.
- ✓ Ασφάλεια. Η ασφάλεια των εφαρμογών θα είναι ένα αναγκαίο

χαρακτηριστικό γνώρισμα των μελλοντικών γενιών δικτύων. Η εξασφάλιση της ακεραιότητας των μεταφερόμενων δεδομένων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που θα επιτρέψει τον πολλαπλασιασμό των τραπεζικών εργασιών και των εφαρμογών ηλεκτρονικών πληρωμών μέσω των ασύρματων δικτύων. Επιπλέον, οι υπηρεσίες ασφάλειας είναι απαραίτητες για να προστατεύουν τη μυστικότητα των προσωπικών δεδομένων των χρηστών.

- ✓ Υπηρεσίες βασισμένες στη γεωγραφική θέση. Προβλέπεται ότι τα συστήματα τέταρτης γενιάς, αλλά και τα μελλοντικά, θα έχουν τη δυνατότητα να καθορίζουν τη θέση ενός χρήστη με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Αυτό δεν μπορεί να υλοποιηθεί με τα σημερινά συστήματα, τα οποία μπορούν να εντοπίσουν μόνο την κυψέλη που εξυπηρετεί το χρήστη, δίνοντας έτσι τη θέση του με πιθανή παρέκκλιση εκατοντάδων μέτρων ή και χιλιομέτρων. Η ικανότητα εντοπισμού θα είναι πολύ χρήσιμη σε εφαρμογές έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, αν κάποιος άνθρωπος με πρόβλημα υγείας καλέσει ένα ασθενοφόρο από το τηλέφωνό του, αλλά είναι ανίκανος να δώσει τη γεωγραφική του θέση, αυτή θα μπορεί να καθοριστεί με υψηλή ακρίβεια με την ανίχνευση από το δίκτυο της γεωγραφικής θέσης του τηλεφώνου του χρήστη.

4.4 Η Πρόκληση της πρόβλεψης

Κατά τη διάρκεια της έρευνας για τα συστήματα τέταρτης γενιάς και πέρα, θα πρέπει να μελετηθούν και να επιλυθούν πολλά και διάφορα ζητήματα (τεχνικά, οικονομικά, κ.λπ.). Μερικά από αυτά, όπως η ανάπτυξη αποδοτικότερων τεχνικών διαμόρφωσης, ο προσδιορισμός νέων τμημάτων φάσματος, και οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, είναι αρκετά απλά και έχουν ήδη μελετηθεί κατά τα στάδια έρευνας και ανάπτυξης των συστημάτων δεύτερης και τρίτης γενιάς. Κάποια άλλα ζητήματα, όμως, δεν είναι τόσο σαφή και εξαρτώνται από την εξέλιξη της αγοράς των τηλεπικοινωνιών και της κοινωνίας γενικότερα. Υπάρχει η θεωρία ότι η διείσδυση των σχετικών προϊόντων στην αγορά θα επηρεαστεί σημαντικά από τη γενικότερη αντίληψη της κοινωνίας για τις τηλεπικοινωνίες.

Δεδομένου ότι δεν μπορούμε να προβλέψουμε αξιόπιστα την κατάσταση της τηλεπικοινωνιακής αγοράς και της κοινωνίας για εκείνη την εποχή, είναι πρακτικό να μελετήσουμε πιθανά σενάρια εξέλιξης προκειμένου να

προσδιορίσουμε ορισμένα ζητήματα που είναι πιθανό να επηρεάσουν τη μελλοντική αγορά των τηλεπικοινωνιών αλλά και τη σχετική έρευνα. Έχουν προσδιοριστεί τρία τέτοια σενάρια (Flamment, Gessler, 1999).

Επίλογος

Η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφόρων κατηγοριών δικτύων είναι η μεγαλύτερη πρόκληση για τα συστήματα τέταρτης γενιάς. Μαζί με την εξέλιξη και άλλων χαρακτηριστικών όπως αποδοτικότερες διασυνδέσεις τερματικών, ένα πλήθος εφαρμογών και υπηρεσιών γεννιούνται με την ανάπτυξη των συστημάτων 4^{ης} γενιάς. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνολογία LTE, όπου περιέχει χαρακτηριστικά δικτύων επόμενης γενιάς (μελλοντικών δικτύων).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εισαγωγή

Οι ανάγκες για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεν σταματούν ποτέ. Έτσι μετά τα 4G συστήματα κάνει την εμφάνισή της η τεχνολογία LTE. Με περαιτέρω βελτιώσεις σε χαρακτηριστικά όπως χωρητικότητα, φάσμα, καθυστέρηση, και καλύτερη εκμετάλλευση διαθέσιμων συχνοτήτων, τα οποία καθορίζονται με βάση τα ασύρματα δίκτυα επόμενης γενιάς. Χρησιμοποιεί μόνο ραδιοδιαύλους κοινής χρήσης, όπου μπορούν να αποδοθούν ανά πάσα στιγμή σε διαφορετικούς χρήστες. Παράλληλα όμως, ενισχύει τις δυνατότητες των σημερινών κυψελωτών συστημάτων και συνυπάρχει αρμονικά με τα παραδοσιακά συστήματα μεταγωγής κυκλώματος, για την σταδιακή απορρόφηση της τεχνολογίας.

5.1 Τεχνολογία LTE

5.1.1 Εξοπλισμός Τεχνολογίας

Ο βασικός εξοπλισμός της τεχνολογίας LTE (Long Term Evolution) αποτελείται από (Astely, 2009):

- ✓ Το τερματικό (κάρτα ή τηλέφωνο) του χρήστη (user equipment - UE).
- ✓ Το σταθμό βάσης που ονομάζεται προηγμένος κόμβος (Evolved E-NodeB).
- ✓ Το δίκτυο κορμού που ονομάζεται προηγμένο δίκτυο κορμού πακέτων (Evolved Packet Core - EPC).

5.1.2 Κίνητρα Σχεδίασης

Η 3GPP έχει καθορίσει μια ομάδα από στόχους και απαιτήσεις για το LTE, που περιλαμβάνουν :

- ✓ Υψηλό ρυθμό μετάδοσης από και προς το χρήστη.
- ✓ Βελτιωμένη χωρητικότητα και κάλυψη συστήματος.
- ✓ Μειωμένη σημαντικά καθυστέρηση.
- ✓ Μείωση κόστους.

Ειδικότερα, οι βασικές απαιτήσεις για την ανάπτυξη της τεχνολογίας LTE στοχεύουν σε (Astely, 2009):

- ✓ Ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό μετάδοσης (throughput), με κατερχόμενο ρυθμό πάνω από 100Mb/s (σε φάσμα 20 MHz) για 4x4 MIMO (Multiple-Input and

Multiple-Output) (Τεχνική μετάδοσης από Πολλαπλούς Εκπομπούς και Πολλαπλούς Δέκτες), και αναερχόμενο ρυθμό πάνω από 50 Mb/s (σε φάσμα 20 MHz) για 2x2 MIMO.

- ✓ Βελτιωμένη απόδοση φάσματος: 2-4 φορές καλύτερη από την απόδοση, που υποσχόταν η αναφορά 6 και αφορούσε την τεχνολογία HSPA.
- ✓ Καθυστέρηση στη ραδιοεπαφή του δικτύου μικρότερη από 10 ms.
- ✓ Υποστήριξη κλιμακωτού εύρους ζώνης: 1, 4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz.
- ✓ Υποστήριξη φάσματος για FDD και TDD συστήματα.
- ✓ Υποστήριξη διαλειτουργικότητας με συμβατικά συστήματα.
- ✓ Βελτιωμένη σχέση κόστους-απόδοσης.
- ✓ Μείωση στο πάγιο (CAPEX) και λειτουργικό κόστος (OPEX) σε σύγκριση με αντίστοιχα συστήματα παλαιότερης τεχνολογίας.
- ✓ Καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος (ήδη σε χρήση και νέου).

5.1.3 Εξέλιξη LTE

Οι προδιαγραφές του LTE ξεκίνησαν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το Δεκέμβριο του 2004, με την αναφορά 7 της 3GPP.

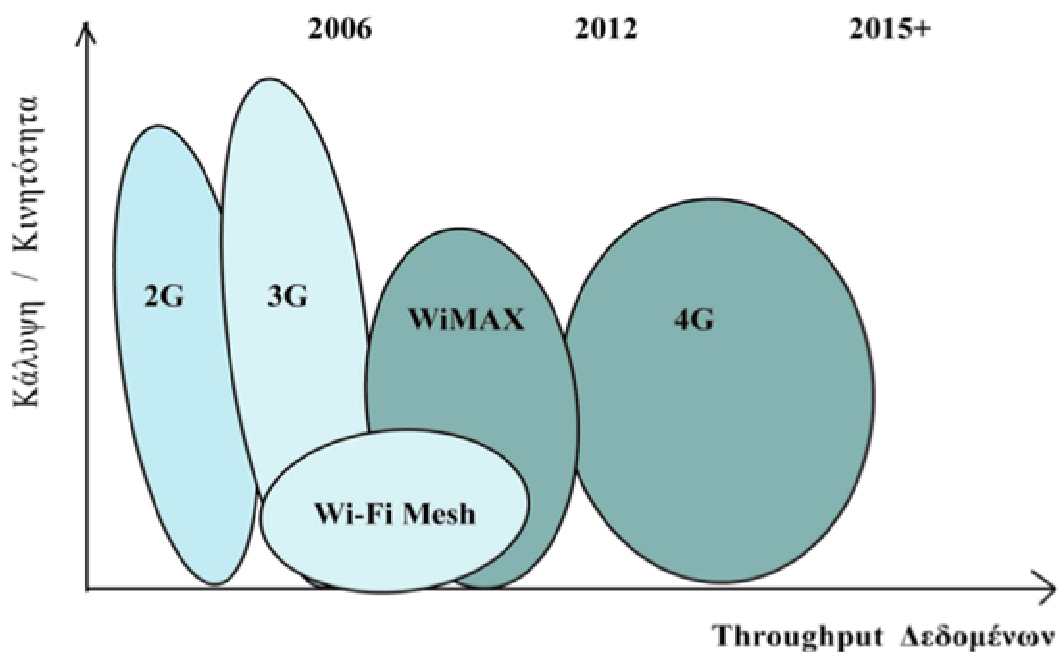
Το LTE αποτελεί τη μελλοντική εξέλιξη του προτύπου UMTS. Οι προδιαγραφές του LTE περιλαμβάνονται σήμερα σε νέα ομάδα προτύπων, με την ονομασία αναφορά 8 της 3GPP, που καθορίζει τα νέα τεχνικά χαρακτηριστικά για τα ασύρματα δίκτυα επόμενης γενιάς. Η αναφορά 8 περιλαμβάνει βελτιώσεις και εισάγει νέα στοιχεία σε σχέση με την προηγούμενη αναφορά 7, η οποία καθόριζε τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου για Υψίρρυθμη Πρόσβαση σε Δεδομένα (High Speed Packet Access - HSPA+), έναν «πρόδρομο» του LTE, που αποτελεί τον ενδιάμεσο συνδετικό κρίκο μεταξύ HSPA και LTE. Το HSPA+ προδιαγράφει μια νέα και πιο απλή δικτυακή αρχιτεκτονική που βασίζεται στο δίκτυο IP, και επιδιώκει να ξεπεράσει σε επιδόσεις το HSPA, όσον αφορά την απόδοση φάσματος, το ρυθμό μετάδοσης και την καθυστέρηση δεδομένων. Σημαντικά νέα στοιχεία του HSPA+ είναι η υιοθέτηση της τεχνικής MIMO στην κατερχόμενη ζεύξη, χρήση αποδοτικότερης τεχνικής διαμόρφωσης στην ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη και βελτιώσεις στην απόδοση πρωτοκόλλων του επιπέδου 2.

Το LTE υπόσχεται περαιτέρω βελτιώσεις στο ρυθμό μετάδοσης, τη χωρητικότητα ζεύξης, την απόδοση φάσματος και την καθυστέρηση στη μετάδοση. Για να ικανοποιήσει τις παραπάνω απαιτήσεις βασίζεται σε νέες τεχνολογικές

εξελίξεις. Χρησιμοποιεί νέα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης στη ραδιοδιεπαφή (airinterface) βασισμένα στην τεχνολογία OFDMA για την κατερχόμενη ζεύξη και Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης με Απλή Φέρουσα (Single Carrier Frequency Division Μι Access - SC-FDMA) για την ανερχόμενη ζεύξη. Επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο σύνολο της αρχιτεκτονικής του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου και δικτύου κορμού μέσω της εξέλιξης SAE.

Οι μέγιστες τιμές ρυθμοαπόδοσης, που υπόσχεται σε φυσικό επίπεδο το HSPA+, είναι 28 Mb/s στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink - DL) και 11,5 Mb/s στην ανερχόμενη ζεύξη (Uplink - UL), χρησιμοποιώντας τεχνικές MIMO 2x2, καθώς και τεχνικές διαμόρφωσης, όπως 16 QAM. Η τεχνολογία HSPA+ μπορεί να παρέχει μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης (42 Mbit/s DL, 23 Mbit/sec UL) με χρήση αποδοτικότερων τεχνικών διαμόρφωσης, όπως 64 QAM, που περιλαμβάνεται στην Αναφορά 8. Γεφυρώνεται έτσι το χάσμα μεταξύ των μέσων ταχυτήτων, που παρέχει το απλό HSPA και των εντυπωσιακά υψηλών που υπόσχεται το LTE, οι οποίες μπορούν να φτάνουν τα 300 Mb/s στο DL και τα 75 Mb/s στο UL με τη χρήση καναλιού εύρους ζώνης 20 MHz. (Larno, 2009)

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η κάλυψη/κινητικότητα σε σχέση με το ρυθμό απόδοσης (throughput) ασύρματων και κινητών τεχνολογιών.



5.1.4 Εμπορική Διαθεσιμότητα

Με το LTE ο κινητός χρήστης απολαμβάνει πλέον ευρυζωνική πρόσβαση σε πραγματικά υψηλές ταχύτητες αντίστοιχες με εκείνες που παρέχουν οι ενσύρματες τεχνολογίες xDSL. Προβλέπεται ότι μέχρι το 2012, τα δύο τρίτα περίπου από τα 2 δισεκατομμύρια ευρυζωνικών χρηστών, θα είναι κινητοί ευρυζωνικοί χρήστες και η πλειοψηφία τους θα εξυπηρετείται από δίκτυα High Speed Packet Access (HSPA) και LTE.

Οι χρήστες μπορούν ήδη σήμερα να απολαμβάνουν πλοήγηση στο διαδίκτυο με φορητούς υπολογιστές εξοπλισμένους με HSPA, και να ανταλλάσουν αρχεία βίντεο ή μουσικής χρησιμοποιώντας τερματικά Τρίτης Γενιάς (3G). Με το LTE, ο χρήστης θα μπορεί επιπλέον να απολαμβάνει περισσότερο απαιτητικές σε ταχύτητα πρόσβασης υπηρεσίες, όπως διαδραστική TV, και να διασκεδάζει παίζοντας διαδραστικά παιχνίδια. Το LTE θα βασίζεται στον ίδιο εξοπλισμό με εκείνον του HSPA, αλλά, επιπλέον, θα διαθέτει βελτιωμένο λογισμικό για καλύτερη απόδοση και αυξημένη κάλυψη.

5.1.5 Παροχές σε χρήστες και παρόχους

Συνοπτικά, το LTE παρέχει σημαντικά οφέλη για το χρήστη και για τον πάροχο όπως (Hung, 2009):

- ✓ Αυξημένη απόδοση και χωρητικότητα. Αποτελεί την εξέλιξη της σημερινής τεχνολογίας 3G ή UMTS. Η πλέον πρόσφατη Αναφορά 8 του LTE περιλαμβάνει βελτιώσεις και αναθεωρήσεις του προτύπου UMTS και θεωρείται τεχνολογία 4G.
- ✓ Απλότητα. Μαζί με τη δημιουργία μιας νέας διεπαφής στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο ραδιοζεύξης, το LTE λειτουργεί εξ ολοκλήρου σε δίκτυο IP σε αντίθεση με τα υφιστάμενα ασύρματα δίκτυα, τα οποία βασίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος ή/και πακέτου. Για έναν πάροχο υπηρεσιών, αυτό συνεπάγεται μειωμένο κόστος, καθώς και τη δυνατότητα παροχής νέων σύνθετων υπηρεσιών, που συνδυάζουν φωνή, βίντεο και δεδομένα, καθώς και την εύκολη διαλειτουργικότητα με άλλα δίκτυα ασύρματης ή σταθερής πρόσβασης.

Το LTE υπόσχεται μακροπρόθεσμα κέρδη για όλους τους παρόχους κινητών επικοινωνιών οι οποίοι έχουν ήδη χρησιμοποιήσει στα δίκτυά τους τα πρωτόκολλα UMTS/HSDPA, παρέχοντας κινητές νέες υπηρεσίες προστιθέμενης

αξίας. Βασιζόμενο στις αρχές λειτουργίας των πρωτοκόλλων UMTS/HSDPA, το LTE υπόσχεται πως θα ενισχύσει τις δυνατότητες των σημερινών κυψελωτών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για υπηρεσίες ανάλογες με αυτές που απολαμβάνουν οι σταθεροί χρήστες. Για το λόγο αυτό, ενοποιεί το προσανατολισμένο σε παροχή υπηρεσιών φωνής σημερινό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με τις δυνατότητες παροχής διαδικτυακών ευρυζωνικών υπηρεσιών. Ένας σημαντικός ακόμη στόχος του LTE είναι η αρμονική του συνύπαρξη με τα παραδοσιακά συστήματα μεταγωγής κυκλώματος, έτσι ώστε οι πάροχοι να μπορούν να εισάγουν στα δίκτυά τους την νέα τεχνολογία, χωρίς να χρειάζεται να αποσύρουν τα υφιστάμενα συστήματα.

5.2 Βασικά Χαρακτηριστικά LTE

Το LTE περιλαμβάνει μια νέα ραδιοδιεπαφή ικανή να παρέχει ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες και στις δύο κατευθύνσεις επικοινωνίας (UL και DL), με γρήγορους χρόνους σύνδεσης και απόκρισης. Οι τεχνολογικές λύσεις, που επιλέχθηκαν από την 3GPP για την διεπαφή φυσικού επιπέδου του LTE είναι η χρήση των τεχνολογιών MIMO και OFDM, σε συνδυασμό με τεχνικές διαμόρφωσης υψηλής απόδοσης (64QAM).

Το LTE χρησιμοποιεί μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων από εκείνο του UMTS, που του παρέχει τη δυνατότητα για περισσότερα κανάλια με μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σχέση με το UMTS, επιτυγχάνοντας υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης.

Η κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιεί την τεχνική OFDMA και σε συνδυασμό με τη χρήση κυκλικού προθέματος (Cyclic Prefix - CP), καθιστά τη μετάδοση δεδομένων περισσότερο ανθεκτική από παρεμβολές στο ραδιοκάνάλι, χωρίς να απαιτείται πρόσθετη διόρθωση στην πλευρά του δέκτη.

Προκειμένου η ανερχόμενη ζεύξη να διαχειρίζεται αποδοτικά την εκπομπή ισχύος χρησιμοποιεί την τεχνική μιας φέρουσας SC-FDMA η οποία παρέχει αντιστάθμιση στο μειονέκτημα του OFDMA που είναι ο υψηλός λόγος ισχύος της μέγιστης ως προς τη μέση τιμή (peak to average power ratio (PAPR)). Η SC-FDMA έχει μικρότερο PAPR από εκείνο της OFDMA, με αποτέλεσμα τα απαιτούμενα τερματικά να είναι λιγότερο σύνθετα αφού διαθέτουν μικρότερους ενισχυτές που δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις στη γραμμικότητα των ενισχυτών, η οποία αυξάνει το κόστος του τερματικού. Το PAPR στην SC-FDMA είναι περίπου 2 dB μικρότερο από το PAPR της OFDMA. Το SC-FDMA δίνει λύσεις σε αυτό το

πρόβλημα που το επιτυγχάνει με τη συγκέντρωση των φυσικών πόρων σε πλαίσια (physical resource blocks (PRBs)) με τρόπο ώστε να μειώνεται η ανάγκη για τη γραμμικότητα των ενισχυτών με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης ισχύος του ενισχυτή.

Οι υποφέρουσες στο LTE έχουν σταθερή μεταξύ τους απόσταση ίση με $\Delta f = 15$ kHz. Στο πεδίο συχνοτήτων, 12 υποφέρουσες σχηματίζουν μια ενιαία παραγόμενη ομάδα, το μέγεθος της οποίας είναι ίδιο για όλα τα εύρη συχνοτήτων. Το κυκλικό πρόθεμα (CP) χρησιμοποιείται και στις δύο κατευθύνσεις για την αποφυγή διασυμβολικής παρεμβολής (Intersymbol Interference - ISI). Το LTE μπορεί να χρησιμοποιεί την τεχνική FDD ή TDD.

Οι κεραιές του σταθμού βάσης χρησιμοποιούν τεχνολογία MIMO τόσο στην εκπομπή όσο και στη λήψη για καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης, και μπορεί να έχει μέχρι 4 κεραιές, ενώ και η κεραιά εκπομπής του χρήστη μπορεί να χρησιμοποιεί τεχνολογία MIMO προαιρετικά. Ο ρυθμός μετάδοσης για κατερχόμενη ζεύξη μπορεί να φτάσει τα 300 Mb/s και για ανερχόμενη τα 75 Mb/s. Οι ρυθμοί όμως αυτοί είναι μάλλον θεωρητικοί και δεν φαίνεται να επιτυγχάνονται σε πραγματικά περιβάλλοντα, που επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες. Η MIMO τεχνολογία επιτυγχάνει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης διότι μπορεί να μεταδίδει πολλαπλά ρεύματα δεδομένων (data streams) μέσα από το ίδιο RF κανάλι επικοινωνίας χρησιμοποιώντας πολλές κεραιές στην είσοδο και στην έξοδο. Συγκεκριμένα όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλές υποφέρουσες που μεταδίδουν ταυτόχρονα ρεύματα δεδομένων, αυξάνουν σημαντικά το ρυθμό δεδομένων και την εμβέλεια του σήματος με αποτέλεσμα να μεταδίδονται περισσότερα bits/sec/Hertz. Με τη χρήση της τεχνικής MIMO αυξάνεται η χωρητικότητα και η εμβέλεια του RF σήματος κυρίως σε περιβάλλοντα με μη οπτική επαφή (Non-Line-of-Sight - NLOS) όταν χρησιμοποιούνται 2x2 ή 4x4 συστήματα κεραιών και σύνδεση καναλιών (channel bonding).

Το LTE στηρίχτηκε στην επιτυχία της τεχνολογίας HSPA και χρησιμοποιεί τις ίδιες βασικές αρχές με αυτήν, όσον αφορά τη χρήση του κοινού ραδιοδιαύλου, καθώς και τη γρήγορη προσαρμοστικότητα σε αλλαγές της ποιότητας επικοινωνίας, με δυνατότητα για δυναμική βελτιστοποίηση της απόδοσης. Στην πραγματικότητα το LTE χρησιμοποιεί μόνο ραδιοδιαύλους κοινής χρήσης, που μπορούν να αποδοθούν ανά πάσα στιγμή σε διαφορετικούς χρήστες και δεν

διαθέτει κανάλια αποκλειστικά για τη μεταφορά δεδομένων ενός συγκεκριμένου χρήστη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου, καθώς δεν χρειάζεται η εκ των προτέρων ανάθεση συγκεκριμένων πόρων σε κάθε χρήστη, αλλά η απόδοση των απαιτούμενων πόρων του δικτύου γίνεται δυναμικά και ανάλογα με τη ζήτηση, που υπάρχει κάθε στιγμή σε πραγματικό χρόνο.

5.2.1 Τεχνικές Πρόσβασης Χρήστη στο LTE

Το κύριο χαρακτηριστικό των ασύρματων επικοινωνιών είναι ότι η ποιότητα ενός ραδιοκαναλιού εξαρτάται κάθε στιγμή από το χρόνο, το χώρο και τη συχνότητα του σήματος. Σε αυτό προστίθενται οι συχνές μεταβολές του σήματος, λόγω του φαινομένου της πολυόδευσης (multipath). Μέχρι σήμερα, έχουν αναζητηθεί τεχνικές διαφορικής μετάδοσης με σκοπό τη διατήρηση της σταθερότητας της ραδιοζεύξης. Για υπηρεσίες δεδομένων οι χρήστες δεν αντιλαμβάνονται γρήγορες μεταβολές στην ποιότητα του σήματος. Συνεπώς, εφόσον το LTE προορίζεται κυρίως για τη γρήγορη μετάδοση δεδομένων, στόχος του είναι να εκμεταλλευτεί τις γρήγορες μεταβολές στην ποιότητα της ζεύξης ώστε να χρησιμοποιεί αποδοτικότερα τους διαθέσιμους ραδιοπόρους. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την τεχνική OFDMA. Με αυτή την τεχνική, στους χρήστες εκχωρείται συγκεκριμένος αριθμός υποφερουσών για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα που ονομάζεται PRB (Physical Resource Block). Αυτά τα PRBs έχουν διάσταση στο χρόνο και στη συχνότητα και αποτελούν τη μικρότερη οντότητα πόρου. Η εκχώρηση των PRBs διενεργείται με προγραμματισμό στο E-NodeB. (Robson, 2009)

Η OFDMA για την DL κίνηση χωρίζει το κανάλι μιας συχνότητας σε πολλά κανάλια (υποφέρουσες) στενής ζώνης, που μεταδίδονται κάθετα και παράλληλα με τις γειτονικές τους, ενώ για την UL κίνηση χρησιμοποιείται η SC-FDMA. Αυτές οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης παρέχουν πλεονεκτήματα σε σχέση με την τεχνική ευρυζωνικής πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα (Wideband Code Division Multiple Access — WCDMA) τεχνική που χρησιμοποιείται στο UMTS. Με την OFDMA μέσα στο ίδιο κανάλι χρησιμοποιούνται πολλές υποφέρουσες για τη μετάδοση των δεδομένων και έτσι μοιράζεται ο συνολικός ρυθμός ανάμεσα σε αυτές τις υποφέρουσες. Κατ' αυτό τον τρόπο η μετάδοση στον αέρα είναι ανθεκτική σε θορύβους που προκαλούνται από πολυοδεύσεις και τυχαίες

παρεμβολές γιατί μόνο ένας αριθμός υποφερουσών επηρεάζεται και όχι ολόκληρη η πληροφορία. Ο μεγάλος αριθμός υποφερουσών σε συνδυασμό με ένα κυκλικό πρόθεμα που χρησιμοποιείται, καθιστά τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη απλό και η πληροφορία μπορεί να ανιχνευθεί χωρίς την απαίτηση σύνθετου εξοπλισμού. Κάτι τέτοιο για την κατερχόμενη ζεύξη απλοποιεί τις λειτουργικές διαδικασίες στη ζώνη βάσης (Baseband) με αποτέλεσμα να απαιτείται φθηνότερο κόστος τερματικού. (Robson, 2009)

Επιπλέον επειδή οι υποφέρουσες διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε η κάθε μία είναι ορθογώνια με τη γειτονική της, δεν απαιτείται η ύπαρξη κενών ασφαλείας (guard bands) όπως γίνεται σε άλλες τεχνικές μετάδοσης όπως η FDM με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα φάσματος. Στην OFDMA τεχνική ακόμα και αν οι υποφέρουσες παρεμβληθούν η μία πάνω στην άλλη, ο δέκτης είναι σε θέση να τις ξεχωρίσει εκμεταλλευόμενος την ύπαρξη της ορθογωνικότητας με ισχυρή παρουσία θορύβου και παρεμβολών. Οι αναμεταδόσεις μέσω του υβριδικού ARQ είναι γρήγορες, και βασίζονται στη δημιουργία ενός κλειστού κυκλώματος με κατάλληλους μηχανισμούς ελέγχου ροής. Όταν ο δέκτης λάβει ένα πλαίσιο, το αποκωδικοποιεί και πληροφορεί τον πομπό, μέσω ενός απλού bit επιβεβαίωσης, εάν η διαδικασία αποκωδικοποίησης είναι επιτυχής ή εάν απαιτείται επανεκπομπή του πλαισίου.

Το υπόστρωμα RLC, που βρίσκεται και αυτό στο δεύτερο επίπεδο, μπορεί επίσης να απαιτήσει επανεκπομπή ενός πλαισίου. Συνεπώς στο LTE υπάρχουν δύο μηχανισμοί επανεκπομπής", που συνεισφέρουν και οι δύο στην αντιμετώπιση των σφαλμάτων, επιβαρύνοντας όμως την ταχύτητα μετάδοσης λόγω του επιπλέον φορτίου που προσθέτουν στη μεταφερόμενη πληροφορία.

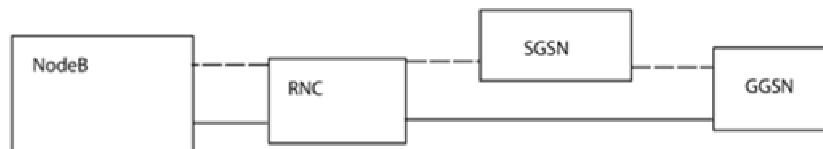
5.3 Αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα LTE

5.3.1 Αρχιτεκτονική LTE

Εκτός των νέων τεχνολογιών μετάδοσης και της καλύτερης εκμετάλλευσης των διαθέσιμων συχνοτήτων που χρησιμοποιούν τα LTE δίκτυα ήταν απαραίτητη και η βελτίωση της αρχιτεκτονικής του υπάρχον 3G δικτύου για την μεγιστοποίηση της απόδοσής τους. Τα δίκτυα LTE σε σχέση με τα 3G παρέχουν βελτιστοποιημένες λειτουργίες υπηρεσιών δεδομένων και καλύτερη διεκπεραιωτική ικανότητα καναλιού με αποτέλεσμα υψηλότερο εύρος ζώνης μετάδοσης. Επίσης ήταν

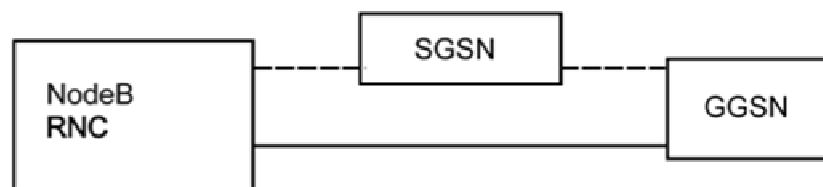
απαραίτητη η αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος δικτύου ώστε να εξαλειφθούν οι καθυστερήσεις απόκρισης κομιστή και αποστολής πακέτων κάνοντας το δίκτυο πιο ευέλικτο. Σ' όλο αυτό θα έπρεπε να ληφθεί υπ' όψη και η όσο το δυνατόν 'απλοποίηση' του δικτύου ώστε να διατηρείται η συμβατότητα με τα ήδη υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα τόσο του 3GPP όσο και των άλλων ασύρματων δικτύων.

Η εξέλιξη του 3G δικτύου γίνεται σταδιακά με σκοπό την απλοποίηση της αρχιτεκτονικής και τη συμμετοχή όσο το δυνατόν μικρότερου αριθμού εμπλεκόμενων κόμβων στην διεξαγωγή της επικοινωνίας. Αρχικά η διασύνδεση παρακάμπτει τον κόμβο SGSN και γίνεται απευθείας από τον RNC στον GGSN



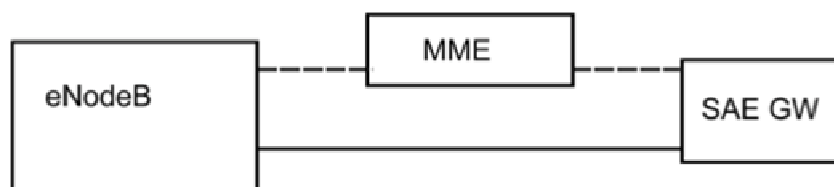
Σύνδεση του RNS με τον GGSN παρακάπτοντας τον κόμβο SGSN.

ενώ στη συνέχεια ο RNC και οι διαδικασίες του ενσωματώνονται στον NodeB.



Ο RNS και οι λειτουργίες του ενσωματώνονται στον NodeB ως αποτέλεσμα της εξέλιξης της αρχιτεκτονικής του δικτύου 3G.

Τέλος η αρχιτεκτονική παίρνει τη μορφή που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εξέλιξη της αρχιτεκτονικής 3G - αρχιτεκτονική δικτύου LTE

5.3.1.1 Μονάδα Διαχείρισης Κινητικότητας (Mobility Management Entity-MME)

Η Mobility Management Entity (MME) αποτελεί το βασικό στοιχείο ελέγχου στο

δίκτυο κορμού ενός συστήματος LTE. Μπορεί να αποτελείται από κάποιο server του παρόχου τοποθετημένο σε κάποιο ασφαλές σημείο. Οι κύριες διαδικασίες που εκτελεί είναι (3GPP TS 29.272, 3GP TS 33.401, 3GPP TS 23.401):

1. Ασφάλεια και αυθεντικοποίηση. Κατά τη σύνδεση κάποιου συνδρομητή στο δίκτυο για πρώτη φορά η MME αναλαμβάνει την αυθεντικοποίησή του εκτελώντας τις βασικές λειτουργίες αυθεντικοποίησης. Βρίσκει την ταυτότητα της συσκευής του χρήστη είτε από προηγούμενη είσοδό του στο σύστημα είτε μέσω της USIM της συσκευής αναζητώντας από τον Home Subscription Server (HSS) τα διανύσματα αυθεντικοποίησης της συγκεκριμένης συσκευής και τα συγκρίνει μ' αυτά που έχει λάβει κατά την προσπάθεια αυθεντικοποίησης της συγκεκριμένης συσκευής στο δίκτυο. Μ' αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώνει ότι ο χρήστης που ζητάει πρόσβαση στο δίκτυο είναι αυτός που έχει την εξουσιοδότηση να το χρησιμοποιεί. Η MME μπορεί να επαναλαμβάνει τις διαδικασίες αυθεντικοποίησης κατά περιόδους ή όποτε χρειαστεί αναγκαίο. Η MME ελέγχει επίσης τα κλειδιά κρυπτογράφησης και ακεραιότητας της επικοινωνίας του χρήστη μέσω του κύριου κλειδιού κάθε χρήστη που έχει λάβει μέσω του διανύσματος αυθεντικοποίησης από τον HSS κατά την αρχική αυθεντικοποίηση του χρήστη στο δίκτυο. Για όση ώρα διεξάγεται η επικοινωνία του χρήστη με το συγκεκριμένο δίκτυο η MME διαβιβάζει στο χρήστη μια προσωρινή ταυτότητα που ονομάζεται Globally Unique Temporary Identity (GUTI) η οποία απαιτείται για κάθε είδους επικοινωνία σηματοδοσίας του συνδρομητή με το συγκεκριμένο δίκτυο. Η ταυτότητα αυτή διαβιβάζεται στο χρήστη με ασφαλή τρόπο αφού ξεκινήσει η κρυπτογράφηση της ραδιοζεύξης και έχει ως σκοπό την προστασία της επικοινωνίας από παθητικού τύπου επιθέσεις. Για κάθε νέα αυθεντικοποίηση του χρήστη στο σύστημα αποστέλλεται νέα προσωρινή ταυτότητα καταργώντας την προηγούμενη.
2. Διαχείριση κινητικότητας των χρηστών. Η MME γνωρίζει την θέση των συνδρομητών που βρίσκονται μέσα στην περιφέρεια ελέγχου της. Όταν κάποιος χρήστης συνδεθεί στο δίκτυο η MME δημιουργεί μια εγγραφή γι' αυτόν και σηματοδοτεί την τοποθεσία του στον HSS. Ανάλογα με την δραστηριότητα του χρήστη ρυθμίζει τις κατάλληλες λειτουργίες τόσο στον eNodeB όσο και στην S-GW (Serving Gateway). Για παράδειγμα σε περίπτωση που ένας συνδεδεμένος χρήστης παραμένει ανενεργός ο δίαυλος

μεταφοράς δεδομένων προς τον χρήστη αυτόν μπορεί να δεσμευθεί από κάποιον άλλο. Η MME είναι επίσης υπεύθυνη για τον έλεγχο σηματοδότησης σε περίπτωση handover ενός ενεργού χρήστη ανάμεσα σε διαφορετικά eNodeBs, S-GWs ή MMEs. Η MME διαχειρίζεται κάθε αλλαγή στον eNodeB εφόσον δεν υπάρχει πλέον ξεχωριστός RNC να διαχειρίζεται την κινητικότητα του χρήστη. Ένας ανενεργός χρήστης ενημερώνει για τη θέση του καθώς κινείται ή σε τακτά χρονικά διαστήματα αν βρίσκεται σε ακινησία. Σε περίπτωση λήψης δεδομένων για κάποιον χρήστη από διαφορετικά δίκτυα αποστέλλονται από τον eNodeB μέσω της MME.

3. Διαχείριση προφίλ χρήστη και διασύνδεση υπηρεσιών. Από τη στιγμή που ένας συνδρομητής συνδεθεί στο δίκτυο η MME ανακτά πληροφορίες για το προφίλ του από τον HSS και αποθηκεύει τα νέα δεδομένα κατά τη διάρκεια της εξυπηρέτησης. Το προφίλ αυτό καθορίζει σε ποια διαφορετικά δίκτυα μπορεί να είναι συνδεδεμένος ο χρήστης. Η MME μπορεί αυτόματα να αποδώσει στον χρήστη το κατάλληλο κανάλι απ' όπου θα πάρει την αντίστοιχη IP για την χρήση της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την επικοινωνία ανάμεσα στον eNodeB και στην S-GW με τα κατάλληλα σήματα ελέγχου. Η MME σε κάθε περίπτωση μπορεί να επέμβει για τη δημιουργία νέων διαύλων υπηρεσιών που αφορούν το ίδιο το δίκτυο ή διαφορετικά σε περίπτωση αιτήματος από τον χρήστη. Η MME συνδέεται με όλους σχεδόν τους κόμβους της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου LTE και περιλαμβάνει τις κύριες διαδικασίες για τις διασυνδέσεις αυτές. Επίσης ανταλλάσσει δεδομένα και με άλλες MMEs σε περιπτώσεις απώλειας σήματος της συσκευής του χρήστη ή handover.

5.3.1.2 System Architecture Evolution Gateway (SAE GW)

Αποτελείται από το συνδυασμό δύο διαφορετικών πυλών, την Serving Gateway (S-GW) και την Packet Data Network Gateway (P-GW) που προσδιορίζουν το επίπεδο χρηστών στο επίπεδο EPC (Evolved Packet Core).

5.3.1.3 Serving Gateway (S-GW)

Στη βασική LTE αρχιτεκτονική η κύρια λειτουργία της S-GW είναι η διαχείριση του επιπέδου χρηστών (UP) και η μετάβαση δεδομένων και λειτουργιών ανάμεσα στις οντότητες του δικτύου. Για υπηρεσίες που βασίζονται στο GTP (GPRS Tunneling

Protocol) η πύλη S-GW θα δημιουργήσει GTP κανάλια για όλες τις διασυνδέσεις στο επίπεδο χρηστών επιτρέποντας την επικοινωνία και με GSM δίκτυα. Η σχεδίαση για συμβατότητα ανάμεσα σε IP υπηρεσίες και GTP κανάλια γίνεται μέσω της πύλης P-GW αφού ο έλεγχος για τη διασύνδεση των GTP καναλιών διεξάγεται από την P-GW και την MME. Στην περίπτωση αυτή δεν είναι αναγκαία η σύνδεση της S-GW με την PCRF καθώς οι διαδικασίες στο επίπεδο ελέγχου δεν είναι δική της αρμοδιότητα. Σε περίπτωση που η διεπαφή ανάμεσα στην P-GW και S-GW χρησιμοποιεί IP υπηρεσίες τότε η S-GW είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία συμβατότητας ανάμεσα σε υπηρεσίες IP και GTP κανάλια και μέσω της σύνδεσης με την PCRF λαμβάνει τις πληροφορίες για τη σχεδίαση συμβατότητας. Η S-GW έχει ελάχιστο ρόλο σε διαδικασίες ελέγχου. Είναι υπεύθυνη για τους δικούς της πόρους τους οποίους κατανέμει ανάλογα με τις απαιτήσεις των MME, P-GW και PCRF. Αν υπάρχει κάποια αίτηση από την P-GW ή την PCRF θα μεταδώσει την αίτηση στην MME ώστε να γίνει από κει ο έλεγχος του καναλιού προς τον eNodeB. Ομοίως όταν η MME στέλνει μια αίτηση, η S-GW ενημερώνει την P-GW ή την PCRF ανάλογα αν η διεπαφή S5/S8 βασίζεται σε GTP ή IP υπηρεσία αντίστοιχα. Αν η διεπαφή βασίζεται σε IP υπηρεσία τότε τα δεδομένα θα αποσταλούν μέσω IP καναλιών σε κάθε χρήστη. Αντίθετα αν βασίζεται σε GTP κάθε κομιστής θα έχει το δικό του GTP κανάλι για την αποστολή δεδομένων ή φωνής. (3GPP TS 29.274)

Κατά τη διάρκεια της κινητικότητας του χρήστη ανάμεσα στους eNodeBs η MME μπορεί να δώσει εντολή στην S-GW να αλλάξει κανάλι από έναν eNodeB σε κάποιον άλλο ή την δημιουργία νέου καναλιού για προώθηση δεδομένων όταν χρειαστεί να μεταφερθούν δεδομένα ανάμεσα σε δυο eNodeBs σε περιπτώσεις handover. Επίσης σε περιπτώσεις κινητικότητας του χρήστη μπορεί να χρειαστεί μετάβαση από μια S-GW σε κάποια άλλη. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της MME που ελέγχει τη διαδικασία της αλλαγής καταργώντας τα κανάλια της παλιάς S-GW και δημιουργώντας τα στην καινούρια.

Για όλα τα δεδομένα που αφορούν ένα συνδεδεμένο χρήστη η S-GW αναμεταδίδει τα δεδομένα ανάμεσα στον eNodeB και στην P-GW. Όταν όμως κάποιος χρήστης παραμένει ανενεργός οι πόροι που τον παρέχονται από τον eNodeB αποδεδμεύονται και το κανάλι που είχε δημιουργηθεί μέχρι την S-GW τερματίζεται. Αν κατά τη διάρκεια αυτή λάβει δεδομένα από την P-GW που αφορούν ένα τέτοιου είδους κανάλι, τα δεδομένα αποθηκεύονται προσωρινά και ξεκινάει η διαδικασία της ανάκτησης για την αποστολή προς το χρήστη από την

MME. Η διαδικασία αυτή θα αναγκάσει τη συσκευή του χρήστη να επανασυνδεθεί δημιουργώντας νέα κανάλια για τη μεταφορά των δεδομένων αυτών. Η S-GW θα επιμεληθεί για την αποστολή των δεδομένων μέσω των καναλιών και θα συλλέξει πληροφορίες για καταμέτρηση και χρέωση του συνδρομητή.

Μια S-GW μπορεί να εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή με συγκεκριμένο αριθμό eNodeBs και ομοίως υπάρχει ένας συγκεκριμένος αριθμός από MMEs που ελέγχουν την περιοχή αυτή. Μια S-GW μπορεί επίσης να συνδεθεί με οποιαδήποτε P-GW πύλη στο δίκτυο καθώς η P-GW δεν επηρεάζεται από την κινητικότητα του χρήστη στο δίκτυο, κατά την πιθανή μετάβαση σε νέα S-GW καθώς ο χρήστης κινείται. Για συνδέσεις που αναφέρονται σε έναν μόνο συνδρομητή η S-GW επικοινωνεί με μία MME και η σύνδεση γίνεται μέσω ενός κάθε φορά eNodeB. Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης είναι συνδεδεμένος σε περισσότερα του ενός δίκτυα μέσω διαφορετικών P-GWs η S-GW συνδέεται με κάθε μια απ' αυτές ξεχωριστά. Αν η διεπαφή S5/S8 στηρίζεται σε IP υπηρεσίες τότε γίνεται σύνδεση και με την PCRF για κάθε P-GW που χρησιμοποιεί ο χρήστης. (3GPP TS 29.275)

5.3.1.4 Packet Data Network Gateway (P-GW)

Η Packet Data Network Gateway (P-GW, αναφερόμενη και ως PDN-GW) είναι ο τελευταίος δρομολογητής ανάμεσα στο τμήμα EPC (Evolved Packet Core) του δικτύου και στα εξωτερικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Είναι το υψηλότερο επίπεδο συντονισμού του συστήματος και συνήθως λειτουργεί ως ένα σημείο IP σύνδεσης για τους συνδρομητές. Ελέγχει τη συμμόρφωση του δικτύου και εκτελεί κυρίως λειτουργίες φιλτραρίσματος ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε υπηρεσίας που εκτελεί.

Ουσιαστικά η P-GW κατανέμει τις IP διευθύνσεις σε κάθε χρήστη και μέσω αυτής ο κάθε συνδρομητής κάνει χρήση των υπηρεσιών (επικοινωνία με άλλους συνδρομητές, internet κλπ). Η δρομολόγηση των πακέτων έπειτα για την επικοινωνία μεταξύ του συνδρομητή και του δικτύου που είναι συνδεδεμένος γίνεται μέσω της P-GW για κάθε χρήστη. Η διεύθυνση IP για κάθε χρήστη κατανέμεται κάθε φορά που επιθυμεί τη σύνδεση με κάποιο εξωτερικό δίκτυο, πράγμα το οποίο γίνεται τουλάχιστον μια φορά κατά τη σύνδεση του συνδρομητή στο δίκτυο και μπορεί να συμβεί διαδοχικά κάθε φορά που ζητάει σύνδεση για κάποιο νέο εξωτερικό δίκτυο. Η P-GW μέσω του Dynamic Host Configuration Protocol

(DHCP) ανακτά τις IP διευθύνσεις για κάθε συνδρομητή.

Η P-GW περιλαμβάνει την PCEF (Policy and Charging Enforcement Function), μια λειτουργία που είναι υπεύθυνη για την επιβολή της πολιτικής των παρόχων στους συνδρομητές καθώς και την εξουσιοδότηση των συνδρομητών στις υπηρεσίες του συγκεκριμένου παρόχου. Έχει επίσης την αρμοδιότητα για την καταγραφή στοιχείων και αναφορών που σχετίζονται με τη χρέωση των χρηστών του δικτύου.

Η κίνηση στο επίπεδο χρηστών ανάμεσα στην P-GW και στα εξωτερικά δίκτυα γίνεται με τη μορφή IP πακέτων για κάθε IP υπηρεσία που εξυπηρετεί. Αν η διεπαφή S5/S8 ανάμεσα στην S-GW στηρίζεται σε GTP κανάλια, η P-GW δημιουργεί την συμβατότητα για την αποστολή IP δεδομένων μέσω των καναλιών αυτών προς τους χρήστες. Η P-GW δημιουργεί τα κανάλια αυτά είτε μέσω της PCRF είτε από την S-GW που μεταφέρει τα δεδομένα της MME. Στην δεύτερη περίπτωση η P-GW αλληλεπιδρά με την PCRF προκειμένου να λάβει τις απαραίτητες πληροφορίες πολιτικής, αν δεν υπάρχουν στην PCEF για την δημιουργία των καναλιών. Αν η διεπαφή S5/S8 στηρίζεται σε IP υπηρεσίες, η P-GW σχεδιάζει τη ροή των δεδομένων από τα εξωτερικά δίκτυα προς κάθε χρήστη μέσα από ένα κανάλι χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο δρομολόγησης GRE (Generic Routing Encapsulation) ενθυλακώνοντας το πλήθος των διαφορετικών πακέτων κάθε εξωτερικού δικτύου και δρομολογώντας τα μέσα από ένα IP κανάλι. Κατά τη διαδικασία αυτή όλες οι πληροφορίες ελέγχου ανταλλάσσονται μέσω της PCRF. Η P-GW επίσης παρακολουθεί και καταγράφει τα μεταδιδόμενα δεδομένα για στατιστικούς αλλά και νομικούς σκοπούς.

Η P-GW είναι το τελευταίο επίπεδο συντονισμού στο σύστημα. Καθώς ένας χρήστης κινείται μπορεί να περάσει από τον έλεγχο μιας S-GW σε μια άλλη. Στην περίπτωση αυτή τα κανάλια μετάδοσης δεδομένων μεταφέρονται στην νέα S-GW μέσω της P-GW. Κάθε P-GW μπορεί να συνδέεται με περισσότερες από μια S-GW και PCRF. Για κάθε χρήστη που σχετίζεται με μια P-GW, είναι συνδεδεμένος με μία μόνο S-GW κάθε φορά, αλλά μπορεί να υπάρχουν συνδέσεις σε διαφορετικά εξωτερικά δίκτυα και διαφορετικές PCRF. (Olsson)

5.3.2 Εξωτερικά Δίκτυα και Υπηρεσίες (External Networks and Services)

Τα εξωτερικά δίκτυα μπορεί να αποτελούνται από ένα σύνολο υποσυστημάτων,

συστήματα υπολογιστών ή πόρων συνδεδεμένα στο Internet η σε κάποιο ιδιωτικό δίκτυο.

Οι κατηγορίες υπηρεσιών που είναι διαθέσιμες είναι οι ακόλουθες (Poikselka, 2006):

- ✓ Υπηρεσίες βασισμένες στο IMS (IP Multimedia Subsystem). Το IMS είναι μια αρχιτεκτονική κατασκευή που παρέχει υπηρεσίες βασισμένες στο πρωτόκολλο IP. Αρχικά σχεδιάστηκε από τον 3GPP στα πλαίσια της εξέλιξης του GSM δικτύου για τη δημιουργία της 3ης γενιάς κινητών επικοινωνιών για την υποστήριξη υπηρεσιών GPRS ενώ αργότερα αναβαθμίστηκε για να υποστηρίζει και άλλες υπηρεσίες όπως WLAN και CDMA2000.
- ✓ Υπηρεσίες που δεν βασίζονται στο IMS. Η αρχιτεκτονική των δικτύων που δεν βασίζονται στο IMS δεν συμπεριλαμβάνεται σε κάποιο πρότυπο. Μπορεί να είναι ένας εγκατεστημένος server ενός ιδιωτικού δικτύου στο οποίο οι χρήστες συνδέονται με κάποιο διαφορετικό πρωτόκολλο που υποστηρίζει η συσκευή τους (πχ streaming υπηρεσίες). Άλλες υπηρεσίες που δεν υποστηρίζονται από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπως διάφορες υπηρεσίες μέσω Internet. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να είναι η σύνδεση του χρήστη σε κάποιον server μέσω Internet για υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω IP (VoIP).

5.3.3 Μονάδα Πολιτικής και Χρεώσεων (Policy and Charging Resource Function – PCRF)

Η PCRF είναι η μονάδα του δικτύου που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της πολιτικής των παρόχων και των χρεώσεων των συνδρομητών (Policy and Charging Control, PCC). Ελέγχει τις παρεχόμενες υπηρεσίες και εξασφαλίζει την ποιότητα των υπηρεσιών του δικτύου, παρέχει πληροφορίες στη μονάδα PCEF που βρίσκεται εντός της P-GW και διαμορφώνει τα κανάλια μεταφοράς δεδομένων σύμφωνα με την πολιτική που υποστηρίζει. Η PCRF είναι συνήθως κάποιος server τοποθετημένος κοντά στις υπόλοιπες μονάδες του δικτύου.

Οι πληροφορίες που παρέχει στην μονάδα PCEF ονομάζονται κανόνες χρέωσης και πολιτικής (PCC rules) και αποστέλλονται κάθε φορά που δημιουργείται κάποιο κανάλι για μεταφορά δεδομένων. Η δημιουργία ενός τέτοιου καναλιού, για παράδειγμα, απαιτείται κατά τη σύνδεση κάποιου χρήστη αρχικά στο

δίκτυο και τη δημιουργία του καναλιού επικοινωνίας προς αυτόν, αλλά και στα επόμενα κανάλια που θα δημιουργηθούν στη συνέχεια. Η PCRF μπορεί να παρέχει PCC κανόνες ανάλογα με αιτήματα που λαμβάνει είτε από την P-GW είτε από την S-GW σε περιπτώσεις IP υπηρεσιών, καθώς και από τα εξωτερικά δίκτυα που εξυπηρετεί. Στην περίπτωση αυτή αφού ο χρήστης θελήσει να έχει πρόσβαση σε κάποιο εξωτερικό δίκτυο, πχ κάποια IMS υπηρεσία, οι κατάλληλες διαδικασίες του δικτύου αυτού θα μεταδώσουν στην PCRF τις απαραίτητες πληροφορίες, με τις οποίες θα δημιουργήσει τους κατάλληλους PCC κανόνες που θα μεταδώσει στην P-GW και βάσει αυτών θα σχεδιαστεί η ζεύξη από την S-GW προς τον χρήστη. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να αναφέρονται στον τρόπο διεξαγωγής της επικοινωνίας, στην επιβολή πολιτικής και στην ποιότητα υπηρεσιών του εξωτερικού δικτύου. (Poikselka, 2006)

Κάθε PCRF μπορεί να συνδέεται με περισσότερα από ένα εξωτερικά δίκτυα, P-GW και S-GW αλλά κάθε χρήστης σχετίζεται με μία μόνο PCRF για κάθε δίκτυο που είναι συνδεδεμένος.

5.3.4 Τοπικός Server συνδρομητών (Home Subscription Server – HSS)

Στην LTE αρχιτεκτονική ο Home Location Register αναφέρεται ως HSS. Αποτελεί την αποθήκη δεδομένων των συνδρομητών και περιέχει πληροφορίες για κάθε χρήστη που είναι εγγεγραμμένος στο δίκτυο. Επίσης καταγράφει ανά τακτά χρονικά διαστήματα την τοποθεσία που βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης του δικτύου μέσω επικοινωνίας με την MME. Ο HSS είναι μια βάση δεδομένων που βρίσκεται σε χώρο ελέγχου των παροχών.

Αποθηκεύει το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας που αφορά το προφίλ των χρηστών, το οποίο περιέχει πληροφορίες για τις υπηρεσίες που έχει πρόσβαση ο κάθε χρήστης, συμπεριλαμβάνοντας και τα διαφορετικά δίκτυα που μπορεί να συνδεθεί, τα στοιχεία του, καθώς πληροφορίες για την θέση στην οποία βρισκόταν κατά την τελευταία σύνδεσή του στο δίκτυο. Για τη διατήρηση συμβατότητας με τα υπόλοιπα δίκτυα, ο HSS καταγράφει κάθε φορά την ταυτότητα των P-GWs που χρησιμοποιούνται. Το κύριο κλειδί, το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των διανυσμάτων αυθεντικοποίησης κατά τη σύνδεση των χρηστών στο δίκτυο, καθώς και για την παραγωγή των κλειδιών κρυπτογράφησης και ακεραιότητας της επικοινωνίας, είναι αποθηκευμένο στο κέντρο αυθεντικοποίησης (AuC) που αποτελεί μέρος του HSS. Για κάθε

σηματοδοσία που σχετίζεται με αυτές τις λειτουργίες, ο HSS αλληλεπιδρά με την MME ανταλλάσσοντας δεδομένα. Ο HSS πρέπει να μπορεί να συνδεθεί με κάθε MME του δικτύου στα πλαίσια του οποίου οι χρήστες μπορούν να κινηθούν. Για κάθε χρήστη ο HSS θα καταγράψει τη θέση του μέσω της MME που τον εξυπηρετεί. Σε περίπτωση που ο χρήστης περάσει στην υπηρεσία μιας νέας MME, ο HSS θα διαγράψει την θέση του από την παλιά και θα αρχίσει να καταγράφει μέσω της νέας MME. (Wiley, 2008)

5.3.5 Σταθμός Βάσης (eNodeB)

Ο μοναδικός κόμβος στο τμήμα E-UTRAN του δικτύου είναι ο eNodeB. Είναι ένας σταθμός βάσης ασύρματης αποστολής και λήψης δεδομένων που έχει τον έλεγχο όλης της ασύρματης επικοινωνίας για την κυψέλη που εξυπηρετεί σε συνεργασία με το σταθερό τμήμα του δικτύου. Οι σταθμοί αυτοί είναι κατανομημένοι σ' όλη την περιοχή κάλυψης του δικτύου και κάθε ένας βρίσκεται δίπλα σε μια κεραία ασύρματης επικοινωνίας.

Λειτουργικά ο eNodeB αποτελεί μια γέφυρα ανάμεσα στο EPC τμήμα του δικτύου και στον χρήστη, αποτελώντας τον τερματικό σταθμό όλων των ασύρματων πρωτοκόλλων προς τον χρήστη και αναμεταδίδοντας δεδομένα μέσω της ασύρματης ζεύξης προς τον χρήστη και μέσω IP συνδεσιμότητας προς το EPC. Σ' αυτή τη διαδικασία ο eNodeB εκτελεί κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση των δεδομένων του χρήστη κατά την επικοινωνία, συμπίεση και αποσυμπίεση καθώς και απόδοση IP κεφαλίδων στα πλαίσια δεδομένων αποφεύγοντας έτσι την επαναποστολή ίδιων ή διαδοχικών δεδομένων.

Ο eNodeB είναι υπεύθυνος και για πολλές διαδικασίες ελέγχου. Είναι υπεύθυνος για την διαχείριση της ραδιοζεύξης, τον έλεγχο δηλαδή της ασύρματης σύνδεσης με τους χρήστες. Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει την κατανομή καναλιών ανάλογα με τις αιτήσεις, την προτεραιότητα εξυπηρέτησης και την διαχείριση συμφόρησης σύμφωνα με την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου και την καταγραφή των χρησιμοποιούμενων ζεύξεων για κάθε στιγμή.

Επίσης ο eNodeB έχει σημαντικό ρόλο και στην διαχείριση κινητικότητας. Ελέγχει και αναλύει τις μετρήσεις για την ποιότητα του ασύρματου σήματος που καταγράφονται από τη συσκευή του χρήστη, εκτελεί και ο ίδιος τις αντίστοιχες μετρήσεις, και βάσει αυτών αποφασίζει για την μεταπομπή των χρηστών στην κατάλληλη γειτονική κυψέλη (handover). Στην περίπτωση αυτή ο eNodeB

αλληλεπιδρά με τους γειτονικούς eNodeBs και με την MME με σκοπό να διαπιστωθεί από ποιον eNodeB δέχεται καλύτερο σήμα ώστε να περάσει στον έλεγχό του. Όταν ένας χρήστης επιχειρεί μέσω ενός νέου eNodeB να συνδεθεί στο δίκτυο, ο eNodeB είναι υπεύθυνος για την μετάδοση του αιτηματός του στην MME που εξυπηρετούσε τον συγκεκριμένο χρήστη ή να επιλέξει μια νέα MME να αυθεντικοποιήσει το χρήστη αν η σύνδεση στην προηγούμενη δεν είναι εφικτή. Τα δίκτυα 3ης γενιάς στις περιπτώσεις handover χρησιμοποιούν soft και softer αλγορίθμους μεταπομπής, σε αντίθεση με τους hard αλγορίθμους των GSM δικτύων, ώστε να γίνεται ομαλά η μετάβαση στον νέο eNodeB διατηρώντας συνήθως για κάποιο χρονικό διάστημα και τις 2 ραδιοζεύξεις (παλιού και νέου eNodeB) μέχρι να αποφασιστεί σε ποιον θα συνδεθεί. Με τον τρόπο αυτό διατηρούνται οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούσε ο χρήστης χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα λόγω της μεταπομπής (διακοπή κλήσεων ή αποσύνδεση σε υπηρεσίες Internet).

Κάθε eNodeB μπορεί να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες στην περιοχή κάλυψής του όμως κάθε χρήστης εξυπηρετείται από ένα μόνο eNodeB κάθε φορά. Για την καλύτερη υποστήριξη handover από το δίκτυο θα πρέπει να διευκολύνεται η επικοινωνία ανάμεσα σε γειτονικούς eNodeBs ώστε να είναι εφικτή η διαδικασία μεταπομπής των χρηστών όταν κρίνεται αναγκαίο. Τόσο οι MMEs όσο και οι S-GWs μπορεί να είναι ομαδοποιημένες σε τμήματα, δηλαδή ένα σύνολο τέτοιων κόμβων να είναι σχεδιασμένο ώστε να εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο τμήμα από eNodeBs. Από την πλευρά του eNodeB αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται να μπορεί να συνδεθεί με πολλές MMEs και S-GWs όμως κάθε eNodeB εξυπηρετείται από μία μόνο MME και S-GW κάθε φορά. Ο eNodeB θα πρέπει να διατηρεί τις συσχετίσεις αυτές καθώς δεν μπορούν να αλλάξουν από την πλευρά του σταθμού βάσης αλλά μόνο οι MME και S-GW έχουν το δικαίωμα να τις αλλάξουν, πχ σε περιπτώσεις handover.

5.3.6 Συσκευή Χρήστη (UE)

Η συσκευή χρήστη (UE) είναι η συσκευή μέσω της οποίας ο συνδρομητής χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του δικτύου. Είναι όμοια με την συσκευή χρήστη των 2G και 3G δικτύων με μόνη διαφορά την ικανότητά της για χρήση των υπηρεσιών του LTE δικτύου (υποστήριξη των τεχνολογιών OFDMA και SC-FDMA). Όπως στα 3G δίκτυα, έτσι και στα LTE η συσκευή αυτή περιέχει την USIM, μια εφαρμογή

τοποθετημένη σε μια αποσπώμενη έξυπνη κάρτα, την UICC η οποία βρίσκεται στον εξοπλισμό του χρήστη με παρόμοια εφαρμογή.

Μέσω της UE διεξάγεται η σηματοδότηση για την σύνδεση του χρήστη στο δίκτυο, την διατήρηση των ασύρματων ζεύξεων κατά την διάρκεια της επικοινωνίας και την κατάργησή τους μετά το τέλος αυτής. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει διάφορες λειτουργίες, όπως διαχείριση της κινητικότητας του χρήστη, μεταπομπές ανάμεσα σε γειτονικούς σταθμούς βάσης και καταγραφή της θέσης της συσκευής, τις οποίες εκτελεί η συσκευή σύμφωνα με την πολιτική του δικτύου που είναι συνδεδεμένη. Γενικά μέσω της UE ο χρήστης μπορεί να διατηρεί τη σύνδεση με το δίκτυο και να ανταλλάσει δεδομένα χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες του δικτύου. Μια τέτοια συσκευή μπορεί να είναι για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο, ένας φορητός υπολογιστής ή οποιαδήποτε συσκευή υποστηρίζει σύνδεση με δίκτυα LTE. (LTE, 2009)

5.3.7 Πρωτόκολλα LTE και διασύνδεση

Ο ρόλος της διασύνδεσης των πρωτοκόλλων στα δίκτυα LTE είναι να στήσει, να επανασηματίσει και να απελευθερώσει το κανάλι μέσω του οποίου γίνεται η μεταφορά πακέτων του EPS (Evolved Packet System). Τα επίπεδα πρωτοκόλλων πάνω από το φυσικό επίπεδο, περιλαμβάνουν τα πρωτόκολλα επιπέδου 2 (Layer 2) τα οποία είναι το Medium Access Control (MAC), το Radio Link Control (RLC) και το Packet Data Convergence Protocol (PDCP), ενώ το φυσικό επίπεδο περιλαμβάνει το μέσο και τις τεχνικές μετάδοσης. Επίσης, στο 3^ο επίπεδο (Layer 3) έχουμε το πρωτόκολλο Radio Resource Control (RRC) που ανήκει στο επίπεδο ελέγχου.

5.3.7.1 Διασύνδεση Δικτύων

Τα LTE δίκτυα σχεδιάστηκαν εκτός των νέων υπηρεσιών που προσφέρουν, με σκοπό να υποστηρίζουν την βέλτιστη συμβατότητα και διασύνδεση με διαφορετικά δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών. Η αρχιτεκτονική των δικτύων LTE υποστηρίζει τη διασύνδεση με δίκτυα του προτύπου 3GPP στο τμήμα EPC του κυρίως δικτύου. Η διασύνδεση ενός LTE και ενός UMTS δικτύου γίνεται ανάμεσα στις οντότητες των δικτύων αλλά και με απ' ευθείας διασύνδεση μέσω της πύλης S-GW και του RNC του UMTS δικτύου. Τα LTE δίκτυα μπορούν επίσης μέσω της διασύνδεσης με τα UMTS δίκτυα και συγκεκριμένα μέσω του κόμβου SGSN να επικοινωνούν και με

GSM δίκτυα.

Λειτουργικά, τα δίκτυα LTE και UMTS παρέχουν παρόμοιες λειτουργίες διασύνδεσης και από τη σκοπιά του τελικού χρήστη το μόνο που αλλάζει είναι οι ταχύτεροι ρυθμοί μετάδοσης και η καλύτερη απόκριση και ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου που παρέχουν τα LTE δίκτυα. Αρχιτεκτονικά όμως η διασύνδεση με τον σταθμό βάσης και οι λειτουργίες που εκτελούνται από τα δίκτυα κατά την διάρκεια της επικοινωνίας είναι διαφορετικές. Η εγκαθίδρυση των ασύρματων καναλιών επικοινωνίας, για παράδειγμα, και οι τεχνολογίες μετάδοσης είναι διαφορετικές στα δύο δίκτυα. Παρόλα αυτά κατά την διασύνδεση στο EPC τμήμα του δικτύου οι λειτουργίες του UMTS εκτελούνται κανονικά, όπως θα εκτελούνταν σ' ένα 3G δίκτυο με την πύλη S-GW να παίζει το ρόλο της GGSN. Η μόνη διαφορά έγκειται στην πιθανή αλλαγή S-GW κατά την κίνηση του χρήστη. (Toskala, 2009)

Οι λειτουργίες των οντοτήτων των διαφορετικών δικτύων είναι οι ίδιες που περιγράφηκαν για την βασική αρχιτεκτονική του LTE δικτύου. Στο EPC τμήμα του δικτύου σ' αυτή την περίπτωση χρειάζεται η δημιουργία νέων διεπαφών και λειτουργιών κατά την διασύνδεση των οντοτήτων των διαφορετικών δικτύων. Οι νέες διεπαφές και λειτουργίες θα πρέπει να υποστηρίζονται και από τα δύο δίκτυα. Οι νέες αυτές λειτουργίες είναι για την διασύνδεση των οντοτήτων των δικτύων, οι διεπαφές S4, S6d και S3 για την διασύνδεση της πύλης S-GW με την S-GW, τον HSS και την MME αντίστοιχα και η διεπαφή S12 για την απευθείας σύνδεση της S-GW με τον RNC του δικτύου 3G.

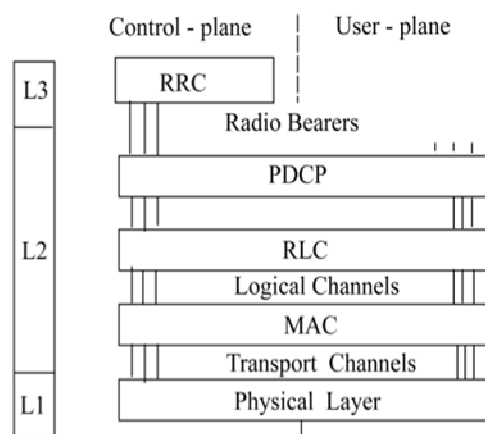
Κατά την σχεδίαση του eNodeB στα LTE δίκτυα σκοπός ήταν η βέλτιστη λειτουργία κατά τη χρήση των νέων υπηρεσιών μετάδοσης των δικτύων LTE αποσυσχετίζοντας τον eNodeB από τον RNC και από λειτουργίες διασύνδεσης με άλλα δίκτυα. Για την καλύτερη απόκριση του δικτύου σε περιπτώσεις handover, ο eNodeB θα πρέπει να μπορεί να λάβει και να συγκρίνει μετρήσεις σήματος της συσκευής χρήστη ώστε βάσει αυτά να μπορεί να αποφασίσει και να εκτελέσει μεταπομπή σε γειτονικά UMTS κελιά. Αντίστοιχες λειτουργίες θα πρέπει να υποστηρίζονται και από τον NodeB του UMTS δικτύου ώστε να μπορεί να εκτελεί λειτουργίες handover σε γειτονικά LTE κελιά.

Το EPC τμήμα του δικτύου έχει κύριο ρόλο στην διασύνδεση μεταξύ των δικτύων. Εκτός από τις διεπαφές που περιλαμβάνει, η MME και η S-GW διαθέτουν χωριστές λειτουργίες συνδεσιμότητας και συμβατότητας τις οποίες η SGSN του UMTS δικτύου πρέπει να υποστηρίζει για μια επιτυχή διασύνδεση. Η πύλη S-GW

είναι η βασική οντότητα που διαχειρίζεται την κινητικότητα στη διασύνδεση των 3GPP δικτύων. Για τις λειτουργίες δημιουργίας καναλιών και την μετάβαση στην SGSN συμπεριφέρεται όπως η GGSN ενός UMTS δικτύου προσφέροντας υπηρεσίες τόσο προς την SGSN όσο και στον RNC. Πολλές από τις προσφερόμενες υπηρεσίες διαμορφώνονται από την PGW χωρίς αυτό να είναι εμφανές από την SGSN. Η S-GW διατηρεί τον ρόλο της και ελέγχεται είτε από την MME, είτε από την SGSN ανάλογα σε ποιο δίκτυο είναι συνδεδεμένος ο χρήστης. Για την υποστήριξη της διασύνδεσης η MME χρειάζεται να επικοινωνεί με την SGSN. Οι λειτουργίες αυτής της διασύνδεσης είναι ουσιαστικά ίδιες με αυτές της διασύνδεσης ανάμεσα σε MMEs. Μια επιπλέον λειτουργία της MME είναι η διατήρηση της επικοινωνίας και η δημιουργία νέων συνδέσεων κατά την εναλλαγή S-GW ή SGSN λόγω της κινητικότητας του χρήστη. Η SGSN ενός 3G δικτύου έχει παρόμοιο ρόλο με την MME ενός δικτύου LTE αποτελώντας τον κόμβο ελέγχου του δικτύου κορμού.

5.3.7.2 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων

Η συνολική αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων ενός δικτύου LTE φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Η έννοια του πρωτοκόλλου αναφέρεται στα πρότυπα και τις συμβάσεις ανάμεσα στις επικοινωνούντες οντότητες για το πώς θα πρέπει να διεξάγεται η επικοινωνία ενώ η έννοια του επιπέδου περιλαμβάνει το σύνολο των πρωτοκόλλων και των λειτουργιών που υποστηρίζει το συγκεκριμένο επίπεδο. Οι έννοιες αυτές συχνά μπορεί να μπερδευτούν. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται τα κύρια πρωτόκολλα που ασχολούνται με την μετάδοση ασύρματου μέσου του LTE και πως αυτά δρομολογούνται σε επίπεδα. Επιπροσθέτως, υπάρχουν πρωτόκολλα που βρίσκονται μεταξύ του δικτύου κορμού και του εξοπλισμού του χρήστη (UE) τα οποία όμως λειτουργούν διαφανώς ως προς τα επίπεδα ασύρματης μετάδοσης και αναφερόμαστε σ' αυτά γενικώς με την ορολογία Non-Access Stratum (NAS).



Το φυσικό επίπεδο λειτουργεί με βάση τα κανάλια που παρέχονται από το επίπεδο MAC. Τα κανάλια μεταφοράς περιγράφουν το πώς και με ποια χαρακτηριστικά τα δεδομένα μεταφέρονται από το επίπεδο ασύρματης μετάδοσης του φυσικού στρώματος. Το επίπεδο MAC προσφέρει λογικά κανάλια στο επίπεδο RLC. Τα λογικά κανάλια χαρακτηρίζουν τον τύπο των προς μετάδοση δεδομένων. Πάνω από το επίπεδο RLC είναι το PDCP που χρησιμοποιείται τόσο από το επίπεδο ελέγχου όσο και από το επίπεδο χρήστη στα δίκτυα LTE, σε αντίθεση με το WCDMA όπου χρησιμοποιούνταν μόνο από το επίπεδο χρήστη. Το επίπεδο 2 (L2) παρέχει ασύρματα κανάλια για την επικοινωνία με τα ανώτερα στρώματα. Τα κανάλια αυτά είναι 2 ειδών, τα Signaling Radio Bearers που μεταφέρουν τα μηνύματα σηματοδότησης του RRC και τα απλά Radio Bearers που μεταφέρουν τα δεδομένα του χρήστη. Τα πρωτόκολλα MAC, RLC, PDCP και RRC βρίσκονται όλα στον eNodeB. Στα UMTS δίκτυα, τα RRC και PDCP βρισκόταν στον RNC (Radio Network Controller) ενώ το MAC βρισκόταν είτε στον NodeB είτε στον RNC. (Toskala, 2009)

Η σηματοδότηση μεταξύ διαφορετικών στοιχείων του δικτύου στο επίπεδο ελέγχου γίνεται με βάση τη διεπαφή X2 που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση και την εσωτερική επικοινωνία μεταξύ των eNodeBs. Για την επικοινωνία μεταξύ της MME (Mobility Management Entity) και του eNodeB χρησιμοποιείται η διεπαφή S1_MME.

5.3.8 Ζώνες συχνοτήτων και Φασματική Ευελιξία

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας LTE είναι η δυνατότητα για κλιμάκωση του χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης του ραδιοδιαύλου μέχρι τα 20 MHz, σε βήματα των 1.25 MHz, για λειτουργία σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων των 3GPP. Οι ταχύτητες, που επιτυγχάνονται σε ένα δίκτυο LTE δεν εξαρτώνται από τη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται, αλλά από το εύρος ζώνης που δεσμεύεται για την παροχή υπηρεσιών. Αυτό δίνει την ευχέρεια στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να προσαρμόζουν τις επιλογές τους ανάλογα με τις ανάγκες για μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης (χρήση υψηλότερων συχνοτήτων) ή διευρυμένη κάλυψη (χαμηλότερες συχνότητες). (Hung, 2009)

Το LTE μπορεί να χρησιμοποιεί όλες τις συχνότητες που έχουν εγκριθεί για συστήματα 3GPP. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι παρακάτω περιοχές συχνοτήτων:

- ✓ IMT-2000 1.9-2 GHz.

- ✓ 2.5 GHz.
- ✓ 850-900 MHz και 1800 MHz.
- ✓ Μέρος των συχνοτήτων από την φασματική περιοχή UHF, που εγκρίθηκε πρόσφατα από την WRC.

Εκτός από τις παραπάνω συχνότητες, η ITU έχει δεσμεύσει συγκεκριμένες συχνότητες στην περιοχή των 5 GHz, που ενδεχομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το LTE.

Το LTE μπορεί να χρησιμοποιεί τεχνικές αμφίδρομης μετάδοσης FDD ή TDD. Οι αρχικές υλοποιήσεις αναμένεται να υποστηρίζουν και τα δύο σχήματα. Γενικά, το σχήμα FDD είναι πιο αποδοτικό για χρήση σε μεγαλύτερα δίκτυα, ενώ το TDD είναι κατάλληλο για χρήση σε περιοχές με μικρή διαθεσιμότητα φάσματος. Σε κάθε περίπτωση, ο εξοπλισμός του LTE θα είναι ο ίδιος και στις δύο περιπτώσεις (FDD ή TDD) με εξαίρεση τα χρησιμοποιούμενα φίλτρα.

5.3.9 Παρεχόμενες Υπηρεσίες LTE

Το LTE υπόσχεται να βελτιώσει τη δυνατότητα ασύρματης παροχής των υφιστάμενων ευρυζωνικών υπηρεσιών και να βοηθήσει στην εισαγωγή νέων, επιτυγχάνοντας υψηλές ταχύτητες πρόσβασης, τόσο στην κατερχόμενη όσο και την ανερχόμενη σύνδεση, δυναμική διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος και μειωμένους χρόνους καθυστέρησης. Το LTE δεν θα υποστηρίζει υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος. Η μεταφορά όλων των υπηρεσιών και της κίνησης σε ενιαία μορφή IP, δημιουργεί μία γερή βάση για τη σύγκλιση όλων των υπηρεσιών σε μια κοινή πλατφόρμα και για τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων, που θα βασίζονται σε υπηρεσίες triple-play και quadruple-play. Μειώνοντας τους χρόνους μετάδοσης κάτω των 10 ms (σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των 40 έως 50 ms που ισχύουν για το HSPA), το LTE μπορεί να υποστηρίξει διαδραστικές εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, όπως υψηλής ποιότητας βίντεο, εφαρμογές τηλεδιάσκεψης, online gaming κ.α. (Bogineni, 2009)

Το δίκτυο LTE μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες VoIP σε συνεργασία με μία πλατφόρμα IMS. Το VoIP μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες υπηρεσίες ευαίσθητες σε χρονοκαθυστερήσεις, προσφέροντας ακόμη περισσότερες δυνατότητες στο χρήστη. Οι χρήστες ενός δικτύου LTE θα έχουν τη δυνατότητα να προσθαιρούν υπηρεσίες IP σε πραγματικό χρόνο, εμπλουτίζοντας την επικοινωνία τους με προσωποποιημένες υπηρεσίες. Θα μπορούν με τον τρόπο

αυτό να μοιράζονται αρχεία μουσικής, βίντεο και φωτογραφιών ταυτόχρονα με τη φωνητική τους κλήση. Θα μπορούν ακόμη να επιλέγουν τον τρόπο επικοινωνίας ανάμεσα από διαφορετικούς μηχανισμούς όπως π.χ. άμεσα μηνύματα (instant messaging), push to talk και φωνητική κλήση, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του καλούμενου.

Με τα δίκτυα HSPA/LTE καθίστανται διαθέσιμες και νέες δυνατότητες για υπηρεσίες φωνής. Οι υπηρεσίες αυτές είναι συμμετρικές και απαιτούν ίση χωρητικότητα τόσο στο κατερχόμενο όσο και στο ανερχόμενο κανάλι σύνδεσης. Η αύξηση της χωρητικότητας στο LTE μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: μέσω μιας υβριδικής προσέγγισης, που λέγεται CS-Voice (Circuit Switched Voice) μέσω HSPA ή μέσω VoIP. Η προσέγγιση του CS-Voice μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και στην περίπτωση που το δίκτυο κορμού δεν υποστηρίζει τη μετάδοση φωνής σε πακέτα, με μικρές αλλαγές στο ραδιοδίκτυο που θα επιτρέψουν στις παραδοσιακές συσκευές WCDMA να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας αποκλειστικά κανάλια για φωνητική επικοινωνία.

Η υπηρεσία VoIP μέσω LTE δεν αναμένεται να δοθεί άμεσα, καθώς θα απαιτηθεί σημαντική αναβάθμιση ή νέα υποδομή στο δίκτυο κορμού. Εξαιτίας της υψηλής αποδοτικότητας στην ανερχόμενη ζεύξη, το LTE θα είναι ιδιαίτερα αποδοτικό σε κίνηση VoIP. Η 3GPP εκτιμά ότι ένας δίαυλος εύρους ζώνης 10 MHz θα μπορεί να εξυπηρετεί μέχρι 500 περίπου ταυτόχρονους χρήστες.

5.4 LTE Advanced

Το LTE αναμένεται να κυριαρχήσει στην τηλεπικοινωνιακή αγορά των ασύρματων επικοινωνιών για την επόμενη δεκαετία, καθώς οι νέες υπηρεσίες και οι εφαρμογές που θα προκύψουν από τη σύγκλιση των δικτύων σε ένα ενιαίο δίκτυο IP θα απαιτούν όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης.

Οι προδιαγραφές του LTE έχουν ήδη υποβληθεί από την 3GPP στην ITU και έχουν ενσωματωθεί ήδη στην τελευταία αναφορά της οικογένειας IMT-2000, που έχει εγκριθεί από την ITU και σύντομα αναμένεται να γίνουν και επίσημα μέλος της λεγόμενης «οικογένειας 3G».

Παρόλα αυτά, είναι σαφές πως αργά η γρήγορα τα νέα δίκτυα θα χρειαστούν ακόμη περισσότερο φάσμα, για να καλύψουν τον συνεχώς αυξανόμενο όγκο της διαδικτυακής κίνησης. Για το λόγο αυτό η ITU έχει ήδη οργανώσει ομάδες εργασίας όπως η ITU-R WP5D με σκοπό να μελετήσουν λεπτομερώς τις

μελλοντικές απαιτήσεις στα πλαίσια του προγράμματος «IMT-Advanced» στο οποίο περιλαμβάνεται και η επόμενη γενιά του LTE, γνωστή ως LTE-Advanced που προδιαγράφεται στην αναφορά 10. Οι απαιτήσεις για τα συστήματα IMT-Advanced περιλαμβάνουν την παροχή και υποστήριξη ρυθμών μετάδοσης έως 100 Mb/s για χρήστες υψηλής κινητικότητας και έως 1 Gb/s για χρήστες χαμηλής κινητικότητας. Το νέο σύστημα θα πρέπει να προσφέρει δυνατότητες περιαγωγής, διαλειτουργικότητας με αλλά συστήματα πρόσβασης, καθώς και συμβατότητα υπηρεσιών με τα αντίστοιχα σταθερά δίκτυα οπτικών ινών. Το IMT-Advanced θα βασίζεται αποκλειστικά στο πρωτόκολλο IP και θα χρησιμοποιεί ραδιοδιαύλους εύρους ζώνης έως 100 MHz. (Gutierrez-Estevez, 2010)

Σχεδόν 400 MHz νέου φάσματος έχει ήδη αποδοθεί για το σκοπό αυτό στο WRC '07, που περιλαμβάνει 200 MHz στη ζώνη συχνοτήτων 3,4-3,6 GHz παγκοσμίως, ενώ το εύρος μεταξύ 3,4-3,8 GHz θα είναι διαθέσιμο στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη των δικτύων IMT-Advanced. Μελλοντικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η φασματική περιοχή 3,8-4,2 GHz, που είναι ακόμη υπό διερεύνηση από την ITU για χρήση μετά το 2015 ανάλογα με τις εξελίξεις στον τομέα ραδιοεπικοινωνιών.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τη λίστα των απαιτήσεων που καθορίζονται από τα ITU-R και 3GPP και επιτρέπουν την άμεση σύγκριση μεταξύ των 4G και του LTE Advanced (Kumar et al., 2010).

Item	IMT-Advanced	LTE-Advanced
Peak Data Rate (DL)		1 Gbps
Peak Data Rate (UL)		500 Mbps
Spectrum Allocation	> 40 MHz	Up to 100 MHz
Latency (User Plane)	10 msec	10 msec
Latency (Control Plane)	100 msec	50 msec
Peak Spectral Efficiency (DL)	15 bps/Hz (4x4)	30 bps/Hz (8x8)

Item	IMT-Advanced	LTE-Advanced
Peak Spectral Efficiency (UL)	6.75 bps/Hz (2x4)	15 bps/Hz (4x4)
Average Spectral Efficiency (DL)	2.2 bps/Hz (4x2)	2.6 bps/Hz (4x2)
Average Spectral Efficiency (UL)	1.4 bps/Hz (2x4)	2.0 bps/Hz (2x4)
Cell-Edge Spectral Efficiency (DL)	0.06 bps/Hz (4x2)	0.09 bps/Hz (4x2)
Cell-Edge Spectral Efficiency (UL)	0.03 bps/Hz (2x4)	0.07 bps/Hz (2x4)
Mobility	Up to 350 km/h	Up to 350 km/h

Σύμφωνα με τον πίνακα αυτόν, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι 3GPP LTE Advanced απαιτήσεις είναι ένα υπερσύνολο των IMT Advanced απαιτήσεων, δηλαδή το LTE-Advanced έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ένας ισχυρός ανάδοχος των 4G, δεδομένου ότι πληροί ή ακόμα και υπερβαίνει όλες τις IMT Advanced απαιτήσεις

Επίλογος

Το LTE υπόσχεται περαιτέρω βελτιώσεις σε όλα τα χαρακτηριστικά των ασύρματων επικοινωνιών. Για να το πετύχει αυτό βασίζεται σε νέες τεχνολογικές εξελίξεις. Παρόλα αυτά συνδυάζει και την "απλοποίηση" του δικτύου ώστε να διατηρείται η συμβατότητα με τις ήδη υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες. Τέλος δημιουργεί μία γερή βάση για τη σύγκλιση όλων των υπηρεσιών σε μια κοινή πλατφόρμα και για τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Στο επόμενο και τελευταίο κεφάλαιο "ταξιδεύουμε" ρίχνοντας ματιές στο μέλλον, όσο αυτό είναι δυνατόν, παρουσιάζοντας τα υβριδικά δίκτυα, τα συνεργατικά 4G δίκτυα και τα 5G, τεχνολογίες που αναμένονται να βελτιώσουν και να εξελίξουν περαιτέρω τον τομέα των ασύρματων δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εισαγωγή

Πλέον, στο παρόντα «ασύρματο κόσμο» παρατηρείται το εξής φαινόμενο: έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί παράλληλα διάφορες ασύρματες τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως. Προκύπτει έτσι η ανάγκη για μια ενοποίηση όλων αυτών των τεχνολογιών. Έτσι οι νέες ασύρματες τεχνολογίες που αναπτύσσονται έχουν, κατά βάση, στόχο την επίτευξη της συνεργασίας των ήδη υπαρχόντων. Με τα υβριδικά δίκτυα, τα 4G συνεργατικά δίκτυα και την 5G τεχνολογία, που παρουσιάζονται σ' αυτό το κεφάλαιο, γίνεται μια προσπάθεια ώστε να γίνει πράξη ο παραπάνω στόχος, με τη ταυτόχρονη όμως εξέλιξη της υπάρχουσας τεχνολογίας.

6.1 Υβριδικά Δίκτυα

Ο όρος υβριδικό δίκτυο αναφέρεται σε ένα οποιοδήποτε δίκτυο επικοινωνιών το οποίο αποτελείται από δύο ή περισσότερες διαφορετικές τεχνολογίες (standards). Συνήθως ένα υβριδικό δίκτυο συνδυάζει ένα Ethernet και ένα ασύρματο δίκτυο για να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες, αλλά συγχρόνως να αποφύγει τα μειονεκτήματα και των δύο πλευρών. Χρησιμοποιεί ειδικά routers, hubs και switches για να συνδέσει ενσύρματα με ασύρματα συστήματα και άλλες συσκευές δικτύου.

6.1.1 Οπτικά Δίκτυα

Ένα οπτικό δίκτυο είναι ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο με συνδέσεις μετάδοσης που είναι οπτικές ίνες από άκρη σε άκρη και σε μια αρχιτεκτονική που έχει σχεδιαστεί για να εκμεταλλεύεται τα μοναδικά χαρακτηριστικά των ινών. Τα περισσότερα όμως δίκτυα επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται δεν είναι καθαρά οπτικά δίκτυα, αλλά μέχρι ενός σημείου. Έτσι για την επέκταση και την αποτελεσματικότητα των οπτικών δικτύων στόχος είναι η απομάκρυνση της συμφόρησης στο «τελευταίο μίλι» του δικτύου διανομής, που είναι η γέφυρα μεταξύ του δικτύου υψηλής ταχύτητας οπτικών ινών και των τελικών χρηστών. Συνήθως αυτό το τελευταίο κομμάτι αποτελείται από συνεστραμμένα ζεύγη χάλκινων καλωδίων και παρέχει αρκετά περιορισμένο εύρος ζώνης στους συνδρομητές του τοπικού τηλεφωνικού κέντρου. Ο απόλυτος τρόπος για την εξάλειψη της συμφόρησης, έτσι ώστε το

δίκτυο να παραμείνει αποτελεσματικό καθώς η ζήτηση για εύρος μεγαλώνει, είναι η άμεση πρόσβαση στο δίκτυο οπτικών ινών από το τελικό χρήστη.

Όπως προαναφέρθηκε το μέλλον της ανάπτυξης των δικτύων πρόσβασης οπτικών ινών βρίσκεται στο κομμάτι των τελικών χρηστών. Τα οπτικά αυτά δίκτυα ονομάζονται Fiber To The x (οπτική ίνα μέχρι το x) – FTTx, έχουν ήδη ξεκινήσει και εγκαθίστανται τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα και μπορούν να προσφέρουν όχι μόνο τη χωρητικότητα που απαιτείται σήμερα, αλλά επιπλέον παρέχουν την δυνατότητα μελλοντικής επέκτασής τους σε ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης.

Ο γενικός όρος FTTx περιγράφει κάθε αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες για να αντικαταστήσει ολόκληρο ή μέρος του τοπικού βρόγχου που χρησιμοποιείται για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Οι τέσσερις τεχνολογίες που ανήκουν στην οικογένεια FTTx είναι οι εξής:

1. Fiber To The Node ή Neighborhood (FTTN)
2. Fiber To The Curb (FTTC)
3. Fiber To The Building (FTTB)
4. Fiber To The Home (FTTH)

(η διαφορά ανάμεσα στο FTTN και του FTTC είναι μικρή και συχνά το FTTC θεωρείται υποκατηγορία του FTTN).

Σήμερα η οπτική ίνα με πρόσβαση στο χρήστη (FTTH), γίνεται μια πραγματικότητα σε πολλές περιοχές του κόσμου, ακολουθώντας μια εκθετική αύξηση. Όπως είναι ευρέως αποδεκτό, το FTTH είναι η τεχνολογία που θα είναι σε θέση να υποστηρίξει την επερχόμενη διαδραστική πολυμεσική τεχνολογία.

6.1.2 Παθητικά Οπτικά Δίκτυα - PONs

Ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network - PON) είναι ένα point – to – multipoint δίκτυο, το οποίο τροφοδοτεί με ρεύμα οπτικούς διαχωριστές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να επιτρέψουν την εξυπηρέτηση πολλαπλών χρηστών μέσω οπτικής ίνας. Τα PON φέρνουν την οπτική ίνα πολύ κοντά στο τελικό χρήστη. Όπως έχει αναφερθεί, ανάλογα με το που τερματίζει το PON, μπορεί να περιγραφεί ως FTTN, FTTB ή FTTH.

Ένα PON αποτελείται από ένα οπτικό τερματικό (Optical Line Terminal – OLT) που βρίσκεται από τη πλευρά του φορέα παροχής υπηρεσιών και έναν αριθμό οπτικών μονάδων δικτύου (Optical Network Units - ONUs) από τη πλευρά

των τελικών χρηστών. Ένα PON μειώνει τη ποσότητα των ινών και του εξοπλισμού που απαιτούνται από αρχιτεκτονικές point – to – point.

Τα κατερχόμενα σήματα (downstream) εκπέμπονται σε κάθε χρήστη μοιραζόμενα μια οπτική ίνα. Χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση για τη παρεμπόδιση υποκλοπής. Τα ανερχόμενα σήματα (upstream) συνδυάζονται χρησιμοποιώντας ένα multiple access protocol, συνήθως το TDMA. Μέσω των OLT παρέχονται στις ONUs οι χρονοθυρίδες για upstream επικοινωνία.

Οι γενικές κατηγορίες των PON είναι οι ακόλουθες:

- APON (ATM Passive Optical Network)
- BPON (Broadband PON)
- EPON (Ethernet PON)
- GPON (Gigabit PON)
- 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet PON)
- RFoG (RFoverGlass)
- WDM PON

6.1.3 Παθητικά Οπτικά Ethernet Δίκτυα - EPONs

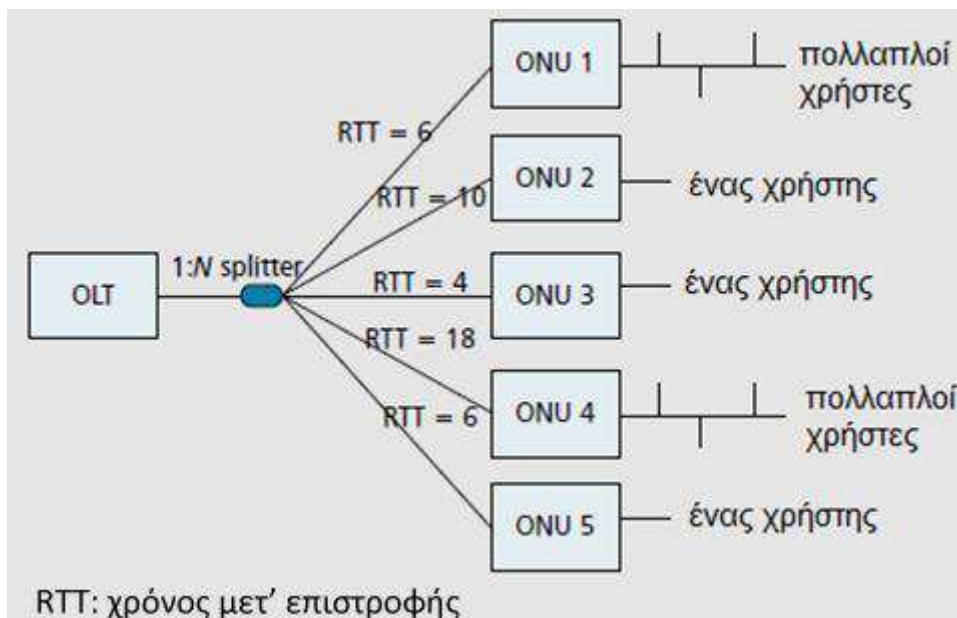
Τα EPONs (Ethernet Passive Optical Networks - EPONs), τυποποιήθηκαν από την IEEE ως 802.3ah Ethernet στο πρώτο μίλι (Ethernet in the First Mile – EFM) και έχουν προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον τόσο από τη βιομηχανία όσο και από το ακαδημαϊκό κόσμο. Στόχος των EPONs είναι ο συνδυασμός χαμηλού κόστους εξοπλισμού με την απλότητα του Ethernet και το χαμηλό κόστος υποδομής οπτικών ινών PONs. Τα EPONs είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για την παροχή επαρκούς εύρους ζώνης των νέων υπηρεσιών, όπως η βιντεοδιάσκεψη, διανομή παιχνιδιών, IP τηλεφωνία, video on demand και τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας(HDTV).

Τα EPONs είναι ένα point – to – multipoint οπτικό δίκτυο πρόσβασης, χαμηλού κόστους, χωρίς ενεργά στοιχεία σε μια διαδρομή από έναν κεντρικό διανομέα έως έναν προορισμό. Σκοπός τους είναι η παροχή full – services access network (FSAN) με συγχωνευμένα δεδομένα data, voice και video μέσω του ίδιου οπτικού συστήματος πρόσβασης. Ένα EPON μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορες τοπολογίες όπως bus, ring και tree. Η πιο ευρέως διαδεδομένη τοπολογία, είναι αυτή του δέντρου.

Τα δομικά στοιχεία του EPON είναι:

1. Optical Line Terminal (OLT)
2. Passive Optical Splitter
3. Optical Network Unit (ONU)

Το OLT παρέχει τη διεπαφή μεταξύ του PON και του παρόχου των υπηρεσιών δικτύου. Το ONU αποτελεί το τελευταίο μέρος του PON και είναι η διεπαφή του χρήστη με το οπτικό δίκτυο. Το OLT συνήθως συνδέεται με τα κεντρικά δίκτυα ενώ τα ONUs μπορούν να είναι στο πεζοδρόμιο (FTTC), σε κτίρια (FTTB) ή ακόμη και σε σπίτια (FTTH). Οι συνδεδεμένοι σε κάθε ONU μπορεί να είναι πολλαπλοί τελικοί χρήστες ή gateway devices όπου παρέχουν υπηρεσίες broadband video, voice, ή data. Ο χρόνος μετ' επιστροφής (Round Trip Time - RTT) για κάθε ONU διαφέρει ανάλογα με την απόστασή τους από τον OLT.



Αρχιτεκτονική ενός δικτύου EPON με έναν OLT και πέντε ONUs, ο καθένας με διαφορετικό RTT.

6.1.4 Ενσωμάτωση IEEE 802.16 και EPON

Τα IEEE 802.16 (WiMAX) και Ethernet Passive Optical Network είναι δύο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες για ευρυζωνική πρόσβαση υψηλής χωρητικότητας, τόσο για ασύρματα, όσο και για ενσύρματα δίκτυα πρόσβασης. Και οι δύο μπορούν να αναπτυχθούν για να διευκολύνουν τη σύνδεση μεταξύ των τελικών χρηστών και το διαδίκτυο. Εάν λειτουργούν χωριστά, κάθε μία από αυτές πάσχει από ορισμένα μειονεκτήματα. Έτσι λοιπόν για να συνδυαστεί το πλεονέκτημα εύρους ζώνης των οπτικών δικτύων με το χαρακτηριστικό της κινητικότητας των ασύρματων

επικοινωνιών, γίνεται μια προσπάθεια για ενοποίηση – ενσωμάτωση των τεχνολογιών WiMAX και EPON.

Πολλά βασικά σημεία μας επιτρέπουν και μας ωθούν σε αυτή την ενοποίηση:

- ✓ Μεταξύ διαφορετικών micro – cell, ένα δίκτυο οπτικής ίνας χρησιμοποιούμενο ως feeder network, είναι ιδανικό ώστε να διασυνδέσει τους διαφορετικούς WiMAX BS για την μεταξύ τους επικοινωνία.
- ✓ Συμβαδίζουν στη χωρητικότητα. Δηλαδή, ένα EPON υποστηρίζει συνολικό bandwidth 1Gbps (downstream και upstream) που διαμοιράζεται σε ένα σύνολο (π.χ. 16) ONUs. Αυτό μεταφράζεται σε 60 Mbps bandwidth για κάθε ONU, όπου είναι ένα καλό ταίριασμα με το bandwidth που προσφέρει ένας WiMAX BS (περίπου 70 Mbps data rate σε φάσμα 20 MHz).
- ✓ Η ενοποίηση προσφέρει μεγαλύτερη ευκολία χρήσης του νέου συστήματος και αναμένεται να υποστηρίζει καλύτερο QoS. Επιπλέον, βελτιώνει το throughput, συνδυάζοντας αποτελεσματικά το διαθέσιμο bandwidth με τις στρατηγικές δρομολόγησης πακέτων.
- ✓ Η ενοποίηση υποστηρίζει συγχρόνως broadband τεχνολογία και τη κινητικότητα χρήστη, με αποτέλεσμα να διευκολύνει τη πραγματοποίηση της φιλοδοξίας για τη Fixed Mobile Convergence (FMC), η οποία αναμένεται να μειώσει αισθητά το κόστος σχεδίασης και λειτουργίας των δικτύων.

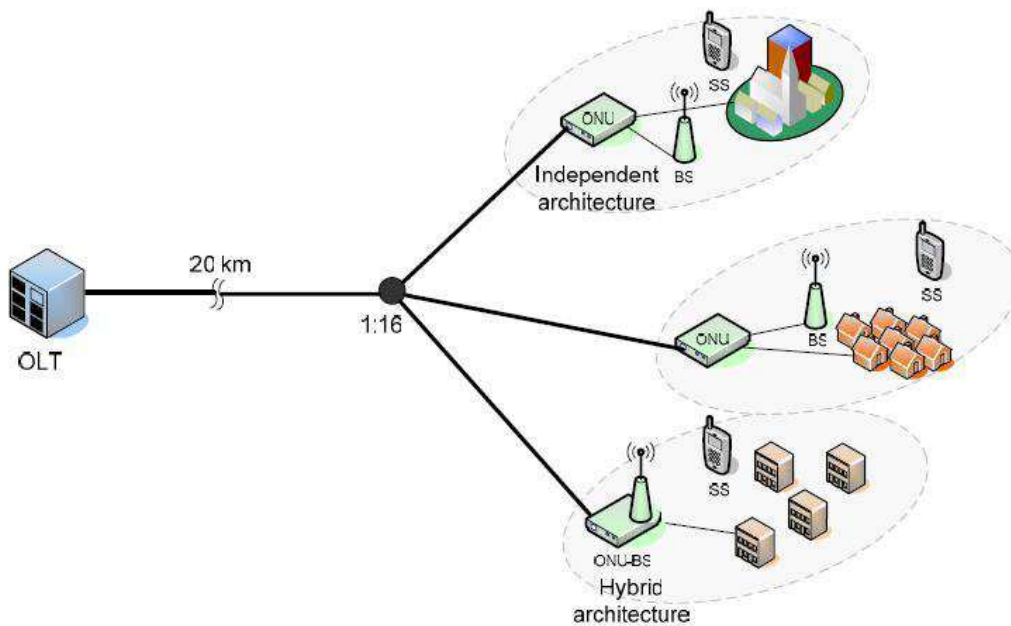
6.1.4.1 Αρχιτεκτονικές

Έρευνες για την ενοποίηση WiMAX και EPON κατέληξαν στον όρο Hybrid Optical Wireless Networks για την ονομασία της καινούργιας τεχνολογίας. Υπάρχουν τέσσερις βασικές αρχιτεκτονικές:

1. Independent Architecture. Είναι η πιο απλή αρχιτεκτονική από τις τέσσερις. Ο WiMAX BS συνδέεται κατευθείαν με μία EPON ONU και αυτή με τη σειρά της στον OLT.
2. Hybrid Architecture. Ενσωματώνει μία ONU και έναν WiMAX BS σε μία κοινή μονάδα επανομαζόμενη ONU – BS.
3. Unified Connection-Oriented Architecture. Ενσωματώνει 802.16 PDUs (Protocol Data Units) σε EPON Ethernet πλαίσια (frames), τα οποία μεταφέρονται μέσω των ONUs.

4. Microwave-over-Fibre (MOF) Architecture. Προσαρμόζεται ένα 802.16 δίκτυο ώστε να μεταφέρει EPON πλαίσια σε μια κοινή laser frequency.

Από τις παραπάνω τέσσερις βασικές αρχιτεκτονικές πηγάζουν και άλλες επεκτάσεις αρχιτεκτονικών. Μία από αυτές είναι η Multistage EPON and WiMAX Network, όπου αναπτύσει πιο βελτιωμένα ενοποιημένα συστήματα εκμεταλλευόμενη και τα next generation EPON networks (όπως τα 10G EPON). Συγκεκριμένα χρησιμοποιεί σαν backhaul έναν 10G EPON OLT για να συνδέση πολλαπλούς EPON OLTs υποστηρίζοντας έτσι ταχύτητες της τάξεως των 1Gbps για κάθε EPON OLT.



Architectures for the integration of EPON and WiMAX

6.1.4.2 Συμπεράσματα

Η συνεργασία των δύο τεχνολογιών είναι πιθανόν να προσφέρει στο τελικό σύστημα μια σχεδόν ιδανική λύση για συνολική διαχείριση πόρων, συμπεριλαμβανομένων των πόρων και της καλωδιακής και της ασύρματης επικοινωνίας. Συνεπώς αναμένεται καλύτερη υποστήριξη QoS και βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος σε ρυθμοαπόδοση και καθυστέρηση. Ωστόσο, οι παραπάνω αρχιτεκτονικές που απαιτούν φυσική ενοποίηση πάσχουν από ένα κρίσιμο μειονέκτημα: δεν είναι τυποποιημένες. Επιπλέον και οι δύο σε μεγάλο βαθμό απαιτούν προσαρμοσμένη υλική διεπαφή η οποία είναι δύσκολα

υλοποιήσιμη και δαπανηρή. Οι βιομηχανίες συνήθως διστάζουν να επενδύσουν, προτού αποδειχθούν με πειστικό τρόπο τα οφέλη που προσφέρουν οι τεχνολογίες που προτείνονται. Η ενοποίηση των δύο τεχνολογιών βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο και αναμένεται μεγάλο ενδιαφέρον.

6.2 Συνεργατικά 4G Δίκτυα

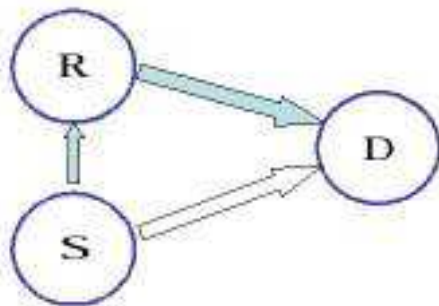
Η ανάγκη για επίτευξη ακόμα μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης όπως προβλέπεται από τα δίκτυα 4ης γενιάς, απαιτεί πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος ενώ ταυτόχρονα προκύπτει και αύξηση της πολυπλοκότητας στο δίκτυο. Η ITU έχει θέσει αυστηρές και συγκεκριμένες προδιαγραφές για τα δίκτυα 4ης γενιάς.

Συνοπτικά αναφέρονται οι εξής: Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης κοντά στο 1 Gbit/s, συμβατότητα προς τα πίσω, δηλαδή συμβατότητα με τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς, καλύτερη ποιότητα στις υπηρεσίες πολυμέσων, όπως για παράδειγμα (Video On Demand, Mobile TV, HDTV). Επιπλέον τα δίκτυα 4ης γενιάς βασίζονται εξολοκλήρου στην μεταγωγή πακέτου και στη χρήση του πρωτόκολλο IP για τα προς μετάδοση δεδομένα.

Επιπλέον μια καινοτομία που εισάγεται είναι η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ ετερογενών δικτύων. Είναι γεγονός ότι τεχνολογικά στη σημερινή εποχή γίνεται χρήση πολλών διαφορετικών δικτύων με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης, περιοχή κάλυψης και γενικά διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Σε γενικές γραμμές τα ασύρματα δίκτυα ευρείας πρόσβασης (wide access wireless networks) όπως για παράδειγμα το GPRS, UMTS έχουν μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης, υποστηρίζουν μεγαλύτερη κινητικότητα μεταξύ των χρηστών, αλλά παρέχουν χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε σύγκριση με τα δίκτυα μικρής πρόσβασης όπως το Bluetooth, WLAN. Τα διάφορα δίκτυα που χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο 3G, WLAN, καθώς και τα νέα δίκτυα υψηλών ρυθμών μετάδοσης θα μπορούν να λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και θα ανήκουν όλα σε ένα ευρύτερο δίκτυο. Οι μεγάλοι ρυθμοί μετάδοσης, η απεριόριστη σύνδεση στο διαδίκτυο, η μεταφορά δεδομένων και η διαχείριση του φάσματος είναι μερικές από τις τεχνικές προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί δικτύων. Ως συνέπεια όλα αυτά τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις οδηγούν στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από τα κινητά τερματικά, γεγονός που δυσχεραίνει το σχεδιασμό και την υλοποίηση των δικτύων 4ης γενιάς αλλά και νέων τερματικών συσκευών.

Για να υποσκελιστούν τα προαναφερόμενα προβλήματα προτάθηκε μια νέα ιδέα, η οποία καταρρίπτει τα δεδομένα που ισχύουν μέχρι σήμερα στις τηλεπικοινωνίες, τα συνεργατικά δίκτυα. Η επικοινωνία μεταξύ Σταθμού Βάσης και Κινητού Τερματικού μέσω μιας ζεύξης όπου το κάθε τερματικό λειτουργεί αυτόνομα, αντικαθίσταται πλέον από συνεργατικά δίκτυα και τερματικά. Επιπλέον εισάγεται η έννοια του κόμβου (node) αντί του τερματικού. Κάθε κόμβος έχει την δυνατότητα να αποστέλλει και να λαμβάνει δεδομένα όπως και συμβαίνει και τώρα, αλλά έχει επίσης και την δυνατότητα να λειτουργεί ως ενδιάμεσος κόμβος, δηλαδή ως αναμεταδότης (relay), ώστε να προωθεί τα δεδομένα που προορίζονται για άλλους κόμβους του δικτύου.

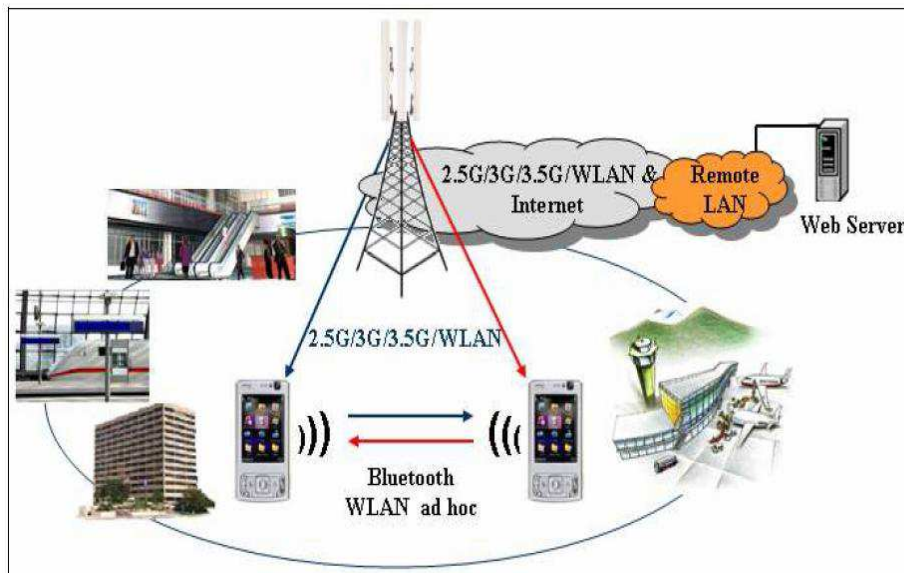
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τοπολογία του δικτύου αποτελείται από το πομπό S (Source), το προορισμό D (Destination) και έναν ενδιάμεσο κόμβο R (Relay).



Γενικά ο πομπός (Σταθμός Βάσης) μπορεί να στείλει απευθείας δεδομένα στον προορισμό μέσω της απευθείας ζεύξης με ένα συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης. Σε αρκετές περιπτώσεις ωστόσο η απευθείας ζεύξη δεν προσφέρεται για αποστολή δεδομένων, εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων ή των μεγάλων απωλειών πακέτων. Επιπλέον μπορεί να απαιτείται για συγκεκριμένες υπηρεσίες επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης. Για τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών, η αποστολή των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων κόμβων, στη παραπάνω περίπτωση με χρήση του αναμεταδότη R. Σε πολλές περιπτώσεις η αποστολή δεδομένων μπορεί να γίνεται και με τους δύο τρόπους ταυτόχρονα για να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Το απλό αυτό μοντέλο μπορεί να γενικευθεί σε περισσότερα τερματικά ή ακόμα και δίκτυα. Η συνεργατικότητα βέβαια ανάμεσα σε πολλά τερματικά ή ανάμεσα σε ετερογενή δίκτυα απαιτεί την μελέτη νέων πρωτοκόλλων

επικοινωνίας ή την εισαγωγή επιπλέον bit επικεφαλίδας πληροφορίας (overhead) στα μηνύματα που ανταλλάσσουν τα τερματικά μεταξύ τους, αλλά και με τον Σταθμό Βάσης. Τα επιπλέον αυτά bit πληροφορίας, αναμένεται να μειώσουν τη ρυθμαπόδοση (throughput) των δικτύων. Πρακτικά όμως το συνολικό κέρδος από τα συνεργατικά δίκτυα, σε ρυθμούς μετάδοσης, κατανάλωση ενέργειας και ακτίνα κάλυψης καθιστά τα επιπλέον bit πληροφορίας επικεφαλίδας αμελητέα.

Τα δίκτυα 4ης γενιάς όπως προαναφέρθηκε θα αποτελούνται από πολλά μεταξύ τους συνδεδεμένα υποδίκτυα. Τα υπάρχοντα δίκτυα θα πρέπει να τροποποιηθούν έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν την συνεργατικότητα μεταξύ των διαφορετικών δικτύων και τερματικών. Τα κινητά τερματικά θα έχουν δύο ασύρματες διεπαφές (air interfaces). Με τη πρώτη θα επικοινωνούν με τον σταθμό βάσης μέσω της κυψελωτής ζεύξης (cellular link) όπως γίνεται και στα



Τα συνεργατικά δίκτυα 4ης γενιάς

τωρινά δίκτυα (GPRS,WLAN κτλ.) με την ιδιαιτερότητα ότι με χρήση της δεύτερης διεπαφής θα έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν με τα υπόλοιπα τερματικά μέσω ζεύξεων μικρής κλίμακας (Bluetooth, ad hoc κτλ), όπως παρουσιάζεται και στην παρακάτω εικόνα. Οι δυο διεπαφές θα μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα.

6.2.1 Στόχος και κέρδος χρήσης συνεργατικών δικτύων

Ο στόχος για τα συνεργατικά δίκτυα είναι να καλύψουν τις προδιαγραφές για τα δίκτυα 4ης γενιάς προσφέροντας μια απλή αρχιτεκτονική για την υλοποίησή τους και να προσφέρουν στους χρήστες την υψηλότερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών.

Συνοψίζοντας λοιπόν, το κέρδος από τη χρήση συνεργατικών δικτύων 4ης γενιάς παρουσιάζεται παρακάτω:

- ✓ Ρυθμοί μετάδοσης: Όπως αναφέρθηκε ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ του σταθμού βάσης και των τερματικών δεν αλλάζει, ωστόσο ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης βελτιώνεται σημαντικά μέσα από τα συνεργατικά δίκτυα. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης είναι υπερδιπλάσιος του κανονικού.
- ✓ Transmission time: Καθώς ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται, η διάρκεια μετάδοσης αναμένεται να μειωθεί καθώς τα δεδομένα φθάνουν γρηγορότερα στον χρήστη. Η διάρκεια μετάδοσης μειώνεται ακόμα και στο μισό.
- ✓ Χωρητικότητα κυψέλης: Άμεσο επακόλουθο του προηγούμενου είναι η αύξηση της χωρητικότητας της κυψέλης. Στα συνεργατικά δίκτυα οι χρήστες κατεβάζουν ένα μόνο κομμάτι της συνολικής πληροφορίας κάτι το οποίο σημαίνει ότι σπαταλούν μικρότερο μέρος των πόρων του δικτύου, αυξάνοντας με αυτό το τρόπο τη χωρητικότητα του συστήματος.
- ✓ Ακτίνα κάλυψης: Μέσα από την συνεργασία των κινητών τερματικών οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε μια υπηρεσία σε μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης. Λόγω της συνεργασίας μέσα από ζεύξεις μικρής κλίμακας η πληροφορία μπορεί να διαδοθεί σε αρκετά μεγαλύτερη απόσταση.
- ✓ Ενεργειακή κατανάλωση: Η κατανάλωση ενέργειας μέσα από τις ζεύξεις μικρής κλίμακας είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τις άλλες ζεύξεις. Στα συνεργατικά δίκτυα τα τερματικά χρησιμοποιούν πολύ μικρότερο ποσοστό της ζεύξης με τον σταθμό βάσης καθώς χρησιμοποιούν πολύ τις ζεύξεις μικρής κλίμακας για να επικοινωνήσουν με τους γειτονικούς κόμβους και με τον τρόπο αυτό η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται σημαντικά.
- ✓ Ποιότητα υπηρεσιών (QoS) : Όλα τα παραπάνω στοιχεία σε συνδυασμό με την βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) , αλλά και του λόγου σήματος-προς-παρεμβολή (SIR) συνεισφέρουν στην αύξηση του ρυθμού μετάδοσης της πληροφορίας με ταυτόχρονη μείωση της πιθανότητας λανθασμένου ψηφίου (BER) και κατά συνέπεια στην θεαματική βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών.

- ✓ Κόστος υπηρεσιών: Είτε ληφθεί υπόψη ο χρόνος που τα τερματικά χρησιμοποιούν την ζεύξη με τον σταθμό βάσης είτε ο όγκος των δεδομένων που κατεβάζουν από αυτόν υπάρχει σημαντική μείωση. Το κόστος λοιπόν των υπηρεσιών φυσιολογικά μειώνεται.

6.2.2 Τρόποι μετάδοσης των δεδομένων στα συνεργατικά δίκτυα

Προς το παρόν υπάρχουν δύο τρόποι μετάδοσης των δεδομένων και διαφοροποιούνται κυρίως στο κατά πόσο είναι ενημερωμένος ο εξυπηρετητής (server) για την διαδικασία της συνεργασίας. Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά μεταξύ των τρόπων επικοινωνίας, εξετάζεται το παράδειγμα όπου υπάρχουν δύο μόνο χρήστες και επιθυμούν να κατεβάσουν το ίδιο αρχείο από έναν server.

1. Στατικός εξυπηρετητής (Static server) - aware: Στην πρώτη περίπτωση ο server πρέπει να λαμβάνει πριν την μετάδοση τις απαραίτητες πληροφορίες για την συνεργατική διαδικασία. Μόλις ο server λάβει τις πληροφορίες αυτές, τα συνολικά προς μετάδοση δεδομένα χωρίζονται σε δύο μέρη (στην συγκεκριμένη περίπτωση) και το κάθε τερματικό κατεβάζει το κομμάτι που του ανατίθεται. Το υπόλοιπο κομμάτι ανταλλάσσεται μέσω της ζεύξης μικρής κλίμακας. Με την εγκατάσταση της ζεύξης αυτής, για παράδειγμα με χρήση του Bluetooth, τα τερματικά γνωρίζουν ποιο κομμάτι θα κατεβάσουν. Αν δεν υπάρξει συνεργασία τότε κάθε τερματικό θα κατεβάσει ολόκληρο το αρχείο. Το σενάριο αυτό αν και απλό έχει την δυνατότητα να επεκταθεί σε περισσότερα τερματικά.
2. Δυναμικός Εξυπηρετητής (Dynamic server) - unaware: Η περίπτωση αυτή βασίζεται στην δυνατότητα του πρωτοκόλλου HTTP/1.1 για Range Request, δηλαδή το τερματικό έχει την δυνατότητα να επιλέξει ποιά bytes από κάποιο αρχείο θα κατεβάσει. Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο τα τερματικά στέλνουν μια αίτηση HTTP HEAD στον server για να μάθουν πληροφορίες για το αρχείο. Στην συνέχεια μέσα από την ζεύξη μικρής κλίμακας αποφασίζουν ποιά bytes θα κατεβάσει το καθένα και στέλνουν εκ νέου στον server ένα HTTP GET request με το προσυμφωνημένο Range Request μέσα στο GET. Το παράδειγμα αυτό γενικεύεται και για περισσότερα τερματικά. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο δυναμικός τρόπος μετάδοσης των δεδομένων. Ακόμα και αν χαθεί η ζεύξη μικρής κλίμακας το τερματικό απλά θα στείλει ένα ακόμα HTTP GET

request στον server με σκοπό να κατεβάσει τα εναπομείναντα bytes/πακέτα/αρχεία.

6.2.3 Υπηρεσίες στα συνεργατικά δίκτυα

Παρατηρώντας τα δίκτυα 4ης γενιάς από την οπτική γωνία του χρήστη, διαφαίνεται η υπόσχεση για πληθώρα νέων εφαρμογών και υπηρεσιών. Το νέο σύστημα επικοινωνίας των τερματικών παρότι κυψελωτό δεν θα βασίζεται εξ'ολοκλήρου στην επικοινωνία σταθμού βάσης με το κινητό τερματικό, αλλά αντιθέτως η έννοια της συνεργατικότητας μεταξύ των κόμβων του δικτύου βασίζεται και στη χρήση συστημάτων επικοινωνιών μικρής κλίμακας (short-range communication systems). Η συνεργατικότητα μεταξύ των κόμβων βελτιώνει την αξιοπιστία των προσφερόμενων υπηρεσιών, αυξάνοντας την ακτίνα κάλυψης και μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα των δικτύων 3ης γενιάς είναι η ανεπάρκεια τους στο να παρέχουν στο χρήστη νέες υπηρεσίες. Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίστηκαν ως μια απλή επέκταση των δικτύων 2ης γενιάς και δεν έδωσαν κίνητρα στους χρήστες για να τα επιλέξουν, αρκεί να ληφθεί υπόψη ότι η 3GPP είχε ελλείψεις στη δυνατότητα δημιουργίας νέων καινοτόμων υπηρεσιών. Στα τελευταία πάντως πρότυπα παρουσιάστηκε η συγχώνευση δύο υπηρεσιών με υψηλές απαιτήσεις, το Multimedia Broadcast and Multicast Service Center (MBMS) σε συνδυασμό με το IP Multimedia System (IMS), χωρίς όμως την αντίστοιχη απήχηση στην αγορά που αναφερόταν. Επιπλέον παρόλο την μικρή αυτή βελτίωση, στο συγκεκριμένο πρότυπο δεν λαμβάνεται υπόψη και δεν παρέχεται στη πράξη η δυνατότητα προσαρμογής της κατάλληλης κάθε φοράς τεχνολογίας πρόσβασης για χρήση του παραπάνω συνδυασμού υπηρεσιών. Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι για να τραβήξουν την προσοχή των χρηστών και να εισαχθούν δυναμικά στην αγορά τα δίκτυα 4ης γενιάς πρέπει να προσφέρουν πληθώρα νέων υπηρεσιών στους χρήστες σε υψηλή ποιότητα, χαμηλές τιμές, αλλά και προσαρμοστικότητα σε κάθε είδος δικτύου.

6.2.4 Συνεργατικές υπηρεσίες υποστηριζόμενες από χρήστες διαφορετικών απαιτήσεων.

Έστω διάφοροι ασύρματοι σταθμοί που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη επιχειρούν πρόσβαση στην ίδια υπηρεσία. Εάν κάποιος από τους χρήστες έχει λάβει κάποια

κομμάτια πληροφορίας ή ακόμα και την συνολική πληροφορία, έχει την δυνατότητα να μεταδώσει την πληροφορία αυτή και στους υπόλοιπους χρήστες που περιμένουν να τη κατεβάσουν κάνοντας χρήση μια μικρής κλίμακας μετάδοση, όπως για παράδειγμα με χρήση της τεχνολογίας Bluetooth. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας καθώς η μετάδοση σε μικρή απόσταση απαιτεί λιγότερη ενέργεια απ' ό τι η επικοινωνία με τον σταθμό βάσης.

Επιπλέον με την τοπική αναμετάδοση των πακέτων υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αχρησιμοποίητες συχνότητες ή ακόμα και να μοιραστεί το φάσμα ανάμεσα στα υποδίκτυα που τυχόν δημιουργούνται, παρέχοντας με τον τρόπο αυτό εξοικονόμηση φάσματος και πόρων του δικτύου. Η νέα αυτή υπηρεσία αναμένεται να δώσει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα σχήματα αναμετάδοσης καθώς και σημαντική βελτίωση στην ποιότητα των υπηρεσιών. Η υπηρεσία αυτή διαχειρίζεται είτε από το φυσικό στρώμα είτε από το στρώμα ζεύξης δεδομένων (χαμηλά δηλαδή στο OSI) και για το λόγο αυτό αναμένεται να έχει μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας.

Τέλος μια ακόμη υπηρεσία που πραγματικά αποδεικνύει την ανάγκη και ταυτόχρονα το πλεονέκτημα για συνεργασία και συνεργατικότητα μεταξύ των δικτύων, είναι η δυνατότητα του χρήστη της επιλογής δικτύου πρόσβασης σε κάποια υπηρεσία. Μέσω των συνεργατικών δικτύων ο χρήστης αναμένεται να έχει πρόσβασή σε πολλά διαφορετικά δίκτυα. Η ετερογενής αυτή υπηρεσία βασίζεται στην τοπολογία των δικτύων 4ης γενιάς, δηλαδή για δίκτυο που αποτελείται από πολλά δίκτυα και στην δημιουργία έξυπνων τερματικών. Ένα απλό παράδειγμα είναι το εξής: έστω ότι το τερματικό του χρήστη δεν μπορεί να συνδεθεί στο προεπιλεγμένο δίκτυο, για παράδειγμα το ασύρματο δίκτυο WLAN της περιοχής που βρίσκεται. Με τη συνεργασία των δικτύων, θα έχει τότε τη δυνατότητα να συνδεθεί σε κάποιο άλλο διαφορετικό δίκτυο ή ακόμα να έχει πρόσβαση σε κάποια υπηρεσία μέσω ενός ή περισσότερων κόμβων (relay).

6.2.5 Αυξανόμενη ποιότητα υπηρεσιών λόγω της συγκέντρωσης χρηστών

Ένα παράδειγμα συνεργατικών υπηρεσιών είναι η περίπτωση όπου πολλοί χρήστες, δηλαδή ασύρματα τερματικά και κόμβοι που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη θέλουν εκ νέου πρόσβαση σε μία υπηρεσία, όπως για παράδειγμα στο κατέβασμα ενός αρχείου βίντεο. Ο Σταθμός Βάσης πρέπει να αποφασίσει τον τρόπο που θα

εξυπηρετήσει όλους τους χρήστες ταυτόχρονα. Στην περίπτωση αυτή δεν θα στείλει την ίδια πληροφορία σε όλους (multicast) αλλά θα στείλει σε ορισμένους χρήστες κάποιους περιγραφείς (descriptors) για το ποιά αρχεία θα λάβουν. Στην συνέχεια με χρήση ακριβώς της ίδιας λογικής των περιγραφών και καθώς οι χρήστες θα έχουν κατεβάσει μέρος από το αρχείο που έχουν ζητήσει, θα γίνει διαμοιρασμός μέσω μικρής κλίμακας μεταδόσεων στους υπόλοιπους χρήστες και θα λάβουν τα αντίστοιχα κομμάτια που δεν έχουν παραλάβει από τον σταθμό βάσης με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα, η ύπαρξη μικρότερης κατανάλωσης ισχύος σε όλους τους χρήστες, η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών αλλά και η εξοικονόμηση χρόνου καθώς οι μεταδόσεις κοντινών αποστάσεων υπερτερούν, κατά τεκμήριο, στους ρυθμούς μετάδοσης απ' ότι η επικοινωνία σταθμού βάσης κινητού τερματικού. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό η ποιότητα των υπηρεσιών και η πυκνότητα συγκέντρωσης των χρηστών είναι δύο ανάλογες έννοιες, δηλαδή υπάρχει αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών με αύξηση της συγκέντρωσης των χρηστών και το αντίστροφο.

Συμπερασματικά λοιπόν μπορεί να παρατηρηθεί, ότι ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τερματικού δεν εμφανίζουν κάποια βελτίωση, εντούτοις όμως ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης βελτιώνεται σημαντικά λόγω της συνεργασίας των κινητών τερματικών μέσα από τις κοντινές ζεύξεις.

6.2.6 Αναμεταδότες (Relays)

Ένας χρήστης να μπορεί να παίξει τον ρόλο του ενδιάμεσου κόμβου (relay), με σκοπό κάποιος άλλος χρήστης να μπορεί να έχει πρόσβαση σε κάποια υπηρεσία όταν δεν του επιτρέπεται η πρόσβαση από την απευθείας ζεύξη. Τέτοιου είδους πρόβλημα μπορεί να προκύψει είτε λόγω φαινομένων απωλειών είτε κακής ποιότητας του καναλιού, είτε ακόμα επειδή θα έχει μεγαλύτερο κέρδος από αυτή την διαδικασία. Είναι εμφανές ότι ο μοναδικός κερδισμένος σε αυτή την περίπτωση είναι ο χρήστης της υπηρεσίας ενώ ο ενδιάμεσος χρήστης δεν λαμβάνει κάποιο όφελος από την υπηρεσία αυτή. Ο χρήστης της υπηρεσίας αναμένεται να επιτυγχάνει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης μέσω της χρήσης του ενδιάμεσου κόμβου και ασφαλώς αναμένεται να έχει ακόμα μεγαλύτερο ενεργειακό κέρδος. Η ζεύξη μικρής κλίμακας απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ισχύος από την απευθείας κυψελωτή ζεύξη. Για την επιτυχία αυτής της υπηρεσίας είναι

απαραίτητο να δοθούν κάποια κίνητρα στους χρήστες, κυρίως όταν παίρνουν τη θέση του ενδιάμεσου κόμβου.

6.2.7 Παραδείγματα εφαρμογών και πειραματικά αποτελέσματα

Τα συνεργατικά δίκτυα 4ης γενιάς βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό και πειραματικό στάδιο και δεν υπάρχει κάποιο ευρέως χρησιμοποιούμενο δίκτυο που να έχει εφαρμοστεί και να προσεγγίζει τα δίκτυα αυτά. Κατά συνέπεια δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα εφαρμογές που να αφορούν εξ' ολοκλήρου τα δίκτυα αυτά. Ως βασική ανάγκη για την ανάπτυξη εφαρμογών απαιτείται η συμφωνία και η δημιουργία του προτύπου για τον ορισμό των δικτύων 4ης γενιάς, της αρχιτεκτονικής τους και της διαστρωμάτωσης τους. Υπάρχουν ωστόσο κάποιες υλοποιημένες εφαρμογές οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω και παρέχουν με άμεσο τρόπο της δυνατότητες χρήσης των συνεργατικών δικτύων.

6.2.7.1 Η ιδέα των torrent

Το πρώτο παράδειγμα είναι η εφαρμογή του BitTorrent σε ασύρματες επικοινωνίες μέσα από μια πλατφόρμα με λογισμικό Symbian. Όπως και στην κανονική μορφή του BitTorrent ο εξυπηρετητής (server) διαθέτει ένα αντίγραφο ενός αρχείου και υπάρχουν δύο τερματικά που θέλουν να κατεβάσουν το αρχείο. Γνωρίζει επίσης ποιοι χρήστες διαθέτουν το αρχείο αυτό και σε ποιο ποσοστό. Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε GPRS για την πρόσβαση στον εξυπηρετητή και Bluetooth για την ζεύξη των δύο τερματικών. Ο εξυπηρετητής δίνει την δυνατότητα είτε κάθε τερματικό να κατεβάσει μόνο του όλο το αρχείο είτε να συνεργαστούν. Με την συνεργασία τα τερματικά κατεβάζουν το μισό σχεδόν αρχείο και ανταλλάζουν το υπόλοιπο μέσω Bluetooth. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μέσα από την συνεργασία ο χρόνος που χρειάζονται τα τερματικά είναι περίπου ο μισός απ' ότι αν κατέβαζε καθένα ξεχωριστά όλο το αρχείο, ενώ παρατηρείται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης της τάξεως του 44%.

6.2.7.2 Κατέβασμα video και video streaming

Το video streaming έχει γίνει ίσως η πιο δημοφιλής εφαρμογή τη τωρινή εποχή ώστε να θεωρείται ως απαραίτητη υπηρεσία από τους χρήστες. Η υπηρεσία έχει υψηλές λειτουργικές απαιτήσεις, καθώς απαιτεί χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλή απώλεια πακέτων και δεσμεύει μεγάλο μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Επιπλέον η υπηρεσία αυτή είναι ιδιαίτερα απαιτητική όσο αφορά την ενεργειακή κατανάλωση και για το μέρος του κατεβάσματος και για την εμφάνιση του video περιορίζοντας σημαντικά την διάρκεια ζωής της μπαταρίας των τερματικών. Για το λόγο αυτό η συνεργατικότητα των τερματικών μπορεί να προσφέρει λύσεις στα παραπάνω προβλήματα. Συγκεκριμένα εκτελούνται μερικά σενάρια για την αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης του video streaming με βάση δύο τεχνικές κωδικοποίησης τις MDC και SVC. Στο σενάριο χρησιμοποιείται ένας αριθμός από κινητά τερματικά που επικοινωνούν μεταξύ τους με χρήση διαφόρων δικτύων μικρής κλίμακας (WLAN, Bluetooth, UWB) και με τον σταθμό βάσης (WLAN, GPRS). Σε όλα τα δυνατά σενάρια παρατηρείται μεγάλο ενεργειακό κέρδος και με τις δύο τεχνικές κωδικοποίησης, το οποίο αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των συνεργαζόμενων τερματικών. Το ενεργειακό κέρδος μπορεί να φθάσει στο 50% περίπου.

6.2.7.3 Web browsing

Μία ακόμα εφαρμογή που αναμένεται να έχουν τα συνεργατικά δίκτυα αφορά τη πλοήγηση ιστοσελίδας (web browsing). Η πλοήγηση ιστοσελίδας μέσα από την συνεργασία των τερματικών μπορεί να γίνει αρκετά γρήγορα. Για ένα τερματικό υπάρχουν τρεις φάσεις κατά την πλοήγηση. Η πρώτη φάση περιέχει την αίτηση προς τον εξυπηρετητή για την ιστοσελίδα, η δεύτερη το κατέβασμα της ιστοσελίδα και η τρίτη την επεξεργασία των δεδομένων όπως για παράδειγμα το διάβασμα ειδήσεων. Εξετάζεται η πιο απλή περίπτωση με δύο τερματικές συσκευές. Το πρώτο τερματικό (master) στέλνει αίτηση στο δεύτερο (slave) για να κατεβάσει κάποια αρχεία της ιστοσελίδας. Η επικοινωνία των δύο τερματικών γίνεται μέσα από ζεύξεις μικρής κλίμακας, συνήθως Bluetooth. Σε περίπτωση που το δεύτερο τερματικό δεν κάνει αίτηση για διαφορετική πλοήγηση θα συνεισφέρει στο κατέβασμα της ιστοσελίδας. Η χωρητικότητα του συστήματος αυξάνεται και ο χρόνος που απαιτείται για το κατέβασμα μειώνεται. Επιπλέον η εικονική χωρητικότητα (εικονική διότι δεν είναι πραγματική αλλά συνυπολογίζεται από τις χωρητικότητες του master και του slave) σχεδόν διπλασιάζεται. Στη περίπτωση που οι δύο φάσεις κατεβάσματος συμπίπτουν (δηλαδή ο slave έχει ήδη κάνει μία αίτηση για κάποια ιστοσελίδα) τότε κάθε τερματικό κατεβάζει την δική του ιστοσελίδα. Γι' αυτό και το κέρδος είναι αρκετά μικρό. Στη περίπτωση που κάποιο

τερματικό βγει από το φάση κατεβάσματος τότε προσφέρει τη ζεύξη του για συνεργασία και ανεβαίνει έτσι η εικονική χωρητικότητα του χρήστη.

Στην παραπάνω εφαρμογή πρέπει να τονιστεί ότι το ενεργειακό κέρδος που αναμένεται να έχουν τα δύο τερματικά αυξάνεται με την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος και τη μείωση της διάρκειας χρήσης της ζεύξης με τον εξυπηρετητή. Με αυτό το τρόπο η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται. Με την αύξηση των τερματικών το web browsing θα αποτελεί μια πολύ γρήγορη και υψηλής ποιότητας εφαρμογή για τα δίκτυα 4ης γενιάς.

6.2.8 Προβλήματα και κίνητρα για την συνεργατικότητα

Για να γίνει εφικτή η υλοποίηση των συνεργατικών δικτύων πρέπει να αντιμετωπισθούν συγκεκριμένα προβλήματα και να δοθούν κάποια κίνητρα στους χρήστες έτσι ώστε να συνεργαστούν. Παρακάτω γίνεται εκτενής αναφορά στα προβλήματα που δημιουργούνται και στις λύσεις που θα πρέπει να δοθούν.

6.2.8.1 Προβλήματα

Δεν θεωρείται αυτονόητη η συνεργασία των ενδιάμεσων κόμβων σε ορισμένες εφαρμογές (network coding, προώθηση πακέτων και δεδομένων κτλ.), ούτε εξασφαλισμένη. Πιο συγκεκριμένα σε αρκετές περιπτώσεις ο ενδιάμεσος κόμβος (κινητό τερματικό - relay) δεν αποκομίζει κάποια άμεσα οφέλη από την συνεργατικότητα, δηλαδή από την παροχή των δικών του πόρων. Αντιθέτως κατασπαταλά την ενέργεια της μπαταρίας του και σε ορισμένες περιπτώσεις καθυστερεί την αποστολή των δικών του δεδομένων εάν βρίσκεται ήδη ως ενδιάμεσος κόμβος σε μια κλήση ή μεταφορά δεδομένων. Υπάρχει επίσης η περίπτωση να καθυστερήσει να λάβει τα μηνύματα που προορίζονται προς αυτόν εάν είναι κατειλημμένα όλα τα κανάλια στα οποία ακούει ο κόμβος αυτός.

Επιπλέον ένα δεύτερο σημαντικό πρόβλημα που αφορά την προτυποποίηση των συνεργατικών δικτύων είναι πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που πρέπει να υλοποιηθούν. Έχουν προταθεί κάποιοι αλγόριθμοι για διάφορους σκοπούς, όπως η εύρεση του πλησιέστερου κόμβου και η αναγνώριση της τοπολογίας του δικτύου για το network coding. Είναι όμως απαραίτητη η δημιουργία αλγορίθμων και πρωτοκόλλων και στα κινητά τερματικά έτσι ώστε να μπορούν να συνεργάζονται με αποδοτικό τρόπο. Όλα τα παραπάνω αυξάνουν την πολυπλοκότητα στην σχεδίαση των συνεργατικών δικτύων 4ης γενιάς και των

αντίστοιχων κινητών τερματικών. Ενδεικτικά κάποιοι από τους αλγόριθμους χαρακτηρίζονται ως NP-hard προβλήματα.

Το τρίτο σε σειρά πρόβλημα που καλείται να επιλυθεί είναι η επέκταση των υπάρχοντων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των τεχνικών πρόσβασης έτσι ώστε να καλύπτουν όλα τα σενάρια συνεργασίας. Για παράδειγμα στο πρωτόκολλο επικοινωνίας Bluetooth μπορούν να συνυπάρχουν μόνο 1 master και 7 slaves σε κάθε επικοινωνία. Επιπλέον οι slaves δεν μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και έτσι δεν καλύπτονται οι προδιαγραφές και τα σενάρια για τα συνεργατικά δίκτυα.

Πρακτικά τα τρία παραπάνω προβλήματα φανερώνουν τη πολυπλοκότητα και τη δυσκολία που προκύπτει στη προσπάθεια που γίνεται ώστε τα διάφορα δίκτυα που υπάρχουν, να μπορέσουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ταυτόχρονα. Σε αντιδιαστολή όμως, παρά τα τόσα δυσεπίλυτα προβλήματα, το αποτέλεσμα από τη συνεργασία των δικτύων μπορεί να οδηγήσει σε τεράστια ανάπτυξη των κλάδο των δικτύων και των επικοινωνιών, με τη παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας.

6.2.8.2 Κίνητρα συνεργασίας

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, είναι απαραίτητο να δοθούν κάποια κίνητρα στους ενδιαμέσους κόμβους έτσι ώστε να παραχωρούν τους πόρους τους σε άλλα τερματικά, σε περίπτωση ζήτησης. Έχουν γίνει πολλές προτάσεις για το ποια μπορεί να είναι τα κίνητρα αυτά με τη σημαντικότερη από αυτές να αναλύεται παρακάτω. Η βασική πρόταση που εξετάζεται είναι η δημιουργία ενός μηχανισμού απομνημόνευσης των κόμβων που συνεργάζονται και των κόμβων που δεν συνεργάζονται. Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται στην υπόληψη του εκάστοτε τερματικού, δηλαδή στο βαθμό της βοήθειας που προσφέρει (reputation based mechanism). Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό, η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με κάποιο τερματικό εξαρτάται από την υπόληψη που αυτό έχει. Η υπόληψη του κάθε τερματικού μπορεί να διαχειρίζεται με δύο τρόπους, είτε κεντρικά είτε διανεμημένα.

Σε ένα κεντρικό σύστημα, ο φορέας που ελέγχει την υπόληψη των τερματικών συλλέγει στοιχεία για αυτά και τα εμφανίζει στο δίκτυο. Δίνεται η δυνατότητα λοιπόν σε κάθε χρήστη η πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με την υπόληψη άλλων χρηστών. Σε ένα διανεμημένο σύστημα, κάθε χρήστης αποθηκεύει πληροφορίες για τα γειτονικά τερματικά. Έχει λοιπόν την δική του

βάση δεδομένων και την συγκρίνει με τους άλλους χρήστες. Η βασική ιδέα του συγκεκριμένου μηχανισμού είναι ότι στους χρήστες που συνεργάζονται και έχουν καλή υπόληψη, να τους δίνεται η δυνατότητα να αποκομίσουν κάποια οφέλη όπως δυνατότητα εκμετάλλευσης της συνεργατικότητας στο μέλλον. Για παράδειγμα κάποιος χρήστης που βοήθησε κάποιον άλλον στην λήψη δεδομένων λειτουργώντας σαν αναμεταδότης να μπορεί στο μέλλον να χρησιμοποιήσει άλλους χρήστες προς δικό του όφελος.

Μια δεύτερη πρόταση είναι η χρήση συγκεκριμένων και πολυπλοκότερων αλγορίθμων, με στόχο τον εντοπισμό των χρηστών που συνεργάζονται και αυτών που δεν συνεργάζονται και να παίρνουν τις αντίστοιχες αποφάσεις. Επιπλέον έχουν προταθεί και άλλοι μηχανισμοί για τον έλεγχο και την παροχή κινήτρων στα συνεργατικά δίκτυα που είναι λιγότερο δημοφιλείς όπως ο μηχανισμός με τις αμοιβές (renumeration mechanism). Πρέπει να τονισθεί ότι αυτοί οι μηχανισμοί εισάγουν ένα επιπλέον φορτίο bit πληροφορίας (overhead) στο σύστημα καθώς απαιτούν μηχανισμούς κωδικοποίησης για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Κατά συνέπεια αυξάνεται η κίνηση και μειώνεται η χωρητικότητα του δικτύου, και αντίστοιχα η ρυθμοαπόδοση. Κάποια επιπλέον κίνητρα ανεξάρτητα από τον μηχανισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συνεργατικότητα μπορούν να δοθούν από τους εκάστοτε παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Συγκεκριμένα οι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας μπορεί να παρέχονται χαμηλότερες χρεώσεις ή ακόμα και παροχή καλύτερων υπηρεσιών όπως μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης για τους καλούς χρήστες, δηλαδή για τους χρήστες που κάνουν πράξη τη συνεργατικότητα και παρέχουν τους πόρους των τερματικών τους για τη εξυπηρέτηση άλλων χρηστών ή διαφορετικά για του χρήστες με καλή υπόληψη.

6.2.9 Κατανάλωση Ενέργειας (Power Consumption)

Η αύξηση αυτή της πολυπλοκότητας σε συνδυασμό με την ανάγκη για ταχύτερες συσκευές οδηγεί στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης των τερματικών συσκευών. Επομένως γίνεται δυσκολότερο και πολυπλοκότερο να υποστηριχθούν όλες αυτές οι λειτουργίες και υπηρεσίες. Είναι χαρακτηριστικό ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας του κινητού αυξάνει με ρυθμό περίπου 10% κάθε χρόνο, ωστόσο η ζήτηση για ενέργεια αυξάνεται ταχύτερα. Για την μείωση της ενεργειακής

κατανάλωσης κρίνεται απαραίτητη η συνεργασία ανάμεσα στα ετερογενή δίκτυα και ανάμεσα στα κινητά τερματικά.

Η κατανάλωση ενέργεια στα κινητά τερματικά προέρχεται κυρίως από 3 λόγους:

1. Αρχικά είναι απαραίτητη η κατανάλωση μίας, συγκριτικά μικρής ποσότητας ενέργειας για την λειτουργία των κινητών τερματικών. Βασικές λειτουργίες όπως τροφοδότηση κεραιών, λειτουργία οθόνης κ.α., απαιτούν αυτήν την ποσότητα ενέργειας σε όλη την διάρκεια λειτουργίας της συσκευής.
2. Ένα μεγάλο ποσοστό από την ενέργεια που καταναλώνεται σε μια συσκευή προέρχεται κυρίως από την αποστολή και λήψη δεδομένων μεταξύ των τερματικών και του σταθμού βάσης, αλλά και των τερματικών μεταξύ τους. Ιδιαίτερα η επικοινωνία με το σταθμό βάσης απαιτεί πολύ περισσότερη ενέργεια από τις συσκευές σε σχέση με τις ζεύξης μικρής κλίμακας.
3. Η επεξεργασία των δεδομένων που φθάνουν αλλά και το τρέξιμο των διαφόρων διεργασιών και εφαρμογών του χρήστη στα τερματικά απαιτούν (όπως σε έναν επεξεργαστή ενός υπολογιστή) την κατανάλωση ενέργειας από την μπαταρία της συσκευής. Οι ιδιαίτερα απαιτητικές εφαρμογές (παιχνίδια, ταινίες) χρησιμοποιούν συνεχώς τον επεξεργαστή και ελαχιστοποιούν την διάρκεια ζωής της μπαταρίας και κατά συνέπεια την λειτουργία της συσκευής.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό ο πρώτος παράγοντας κατανάλωσης της ενέργειας δεν προσφέρει πολλά περιθώρια για εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση εξαρτάται αποκλειστικά από την πρόοδο της τεχνολογίας, δηλαδή τη δημιουργία καλύτερων επεξεργαστών και την ανάπτυξη λογισμικού από τις εταιρίες. Επιπλέον είναι θεμιτό να σημειωθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας στην κατάσταση αναμονής του κινητού τερματικού (idle) είναι πολύ μικρή, της τάξης του 1/20 συγκριτικά με την κατανάλωση ενέργεια στην επικοινωνία.

Εφόσον η τεχνολογία έχει φτάσει σε ένα πολύ υψηλό επίπεδο, έπρεπε να βρεθεί μια άλλη λύση. Τα συνεργατικά δίκτυα αποτελούν την καλύτερη λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας και με βάση την αρχή της σχεδίασής τους, μπορούν να υποστηρίξουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης απαιτητικών εφαρμογών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Πρέπει να επισημανθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας που απαιτούν οι ζεύξεις μικρής κλίμακας (Bluetooth, WLAN, UWB) είναι πολύ μικρότερη από αυτή των κυψελωτών ζεύξεων (GPRS, UMTS, GSM). Δηλαδή

είναι φανερή η ανάγκη για απαίτηση περισσότερης ισχύς στη μακρινή ζεύξη σε σχέση με τη κοντινή ζεύξη. Το αντίθετο ισχύει για τους ρυθμούς μετάδοσης, δηλαδή στη κοντινή ζεύξη μπορούν να επιτευχθούν συγκριτικά καλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης, από την μακρινή ζεύξη. Μέσω των συνεργατικών δικτύων δίνεται η δυνατότητα στα τερματικά να ανταλλάξουν το μεγαλύτερο μέρος ενός αρχείου ή μιας εφαρμογής, μέσω των ζεύξεων μικρής κλίμακας και να κατεβάσουν ένα μικρό μόνο μέρος από την ζεύξη κυψέλης. Η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης μέσα από την συνεργασία των συσκευών οδηγεί στην μείωση του χρόνου απασχόλησης της ζεύξης κυψέλης και συνεπώς εξοικονομείται ενέργεια. Επιπλέον όπως προαναφέρθηκε, οι ζεύξεις μικρής κλίμακας απαιτούν πολύ χαμηλότερη ισχύ. Με τον τρόπο αυτό λοιπόν εξοικονομείται μεγάλο ποσοστό ενέργειας αλλά και χρόνου στις συσκευές. Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει πειραματικά το παραπάνω αποτέλεσμα και αναφέρουν ενεργειακά κέρδη έως και 50%.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα που προσφέρουν τα συνεργατικά δίκτυα είναι η δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας των δεδομένων ή των νημάτων (threads) μιας εφαρμογής. Όταν μια εφαρμογή έχει την δυνατότητα να χωριστεί σε μικρότερα κομμάτια ή νήματα το τερματικό μπορεί να τα στείλει σε γειτονικές συσκευές, μέσω ζεύξεων μικρής κλίμακας, ώστε να εκτελούνται ταυτόχρονα. Με τον τρόπο αυτό το τερματικό μπορεί να τρέξει μια εφαρμογή σε πολύ λιγότερο χρόνο και με πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, υπάρχει βέβαια και μία εξάρτηση από τον αριθμό των τερματικών που συνεργάζονται. Οι εφαρμογές παράγουν αποτελέσματα σε διαφορετικά τερματικά και αποστέλλοντα στους υπόλοιπους χρήστες μέσω ζεύξεων μικρής κλίμακας.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι μια από τις μεγαλύτερες ανησυχίες των επιστημόνων και των εταιριών όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας στα κινητά τερματικά, μπορεί να επιλυθεί με την χρήση των συνεργατικών δικτύων. Πράγμα που αποδεικνύει ότι πέρα από τα υπόλοιπα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η χρήση των συνεργατικών δικτύων, αναμένεται η παροχή στους χρήστες μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και επέκταση της διάρκειας ζωής των κινητών τερματικών. Για να γίνει βέβαια δυνατή η ιδέα των συνεργατικών δικτύων και υπηρεσιών τίθεται η βασική προϋπόθεση, της ανάγκης οι χρήστες να παρακινηθούν έτσι ώστε να συνεργαστούν και να διαθέσουν τους πόρους τους.

6.3 Συστήματα 5^{ης} γενιάς

Η τεχνολογία 5G (beyond 4G) αναφέρεται κυρίως στο όρο "5th Generation Mobile technology" και πρόκειται να αλλάξει κατά πολύ την πρόσβαση μέσω τηλεφώνων. Με τη 5G ωθούνται οι ηλεκτρονικές συναλλαγές και γενικά οι ηλεκτρονικές εφαρμογές μέσω κινητών τηλεφώνων (e-Payments, e-Transactions), καθώς η χρήση των κινητών τηλεφώνων γίνεται όλο και πιο φιλική στους χρήστες, οι οποίοι απαιτούν όλο και περισσότερες δυνατότητες.

Έτσι το κινητό τηλέφωνο παρέχει συνεχής σύνδεσή με τον κόσμο, αλλά συγχρόνως θα είναι και ένας τρόπος διασκέδασης. Οι κατασκευαστές των κινητών τηλεφώνων πλέον προσπαθούν να αποδίδουν πακέτα ολοκληρωμένων υπηρεσιών και επικεντρώνονται στην ιδέα της κινητής ευρυζωνικής επικοινωνίας. Το "παγκόσμιο" τηλέφωνο αρχίζει και γίνεται πράξη. Στόχος της 5G τεχνολογίας είναι να σχεδιάσει έναν πραγματικά "ασύρματο κόσμο" χωρίς να εμποδίζεται από τις παρεμβολές των ορατών αντικειμένων. Αυτό βέβαια, χρειάζεται ανάπτυξη και ενοποίηση όλων των δικτύων.

Υπάρχουν δύο όψεις της 5G τεχνολογίας. Η εξελικτική και η επαναστατική. Από την εξελικτική πλευρά, τα συστήματα θα είναι ικανά να υποστηρίξουν το www (World Wide Wireless Web) και θα είναι ιδιαίτερα ευέλικτα όπως τα Dynamic Adhoc Wireless Network (DAWN) και θα υποστηρίξουν προηγμένες τεχνολογίες όπως ευφυής κεραίες και ευέλικτη διαμόρφωση.

Στην επαναστατική πλευρά της πρόκειται για μια ευφυής τεχνολογία ικανή να διασυνδέει ολόκληρο τον κόσμο χωρίς όρια. Ένα ζωντανό παράδειγμα θα αποτελούσε μια συσκευή ρομπότ με ενσωματωμένη ασύρματη επικοινωνία και τεχνητή νοημοσύνη.

Βασικές έννοιες και στοιχεία της 5G

- ✓ Πραγματική ασύρματη πρόσβαση στη πράξη χωρίς όρια και περιορισμούς πρόσβασης και περιοχών.
- ✓ Συσκευές με εν δυνάμει ικανότητες τεχνητής νοημοσύνης.
- ✓ IPv6 η οποία θα προσδιορίζεται με βάση τη τοποθεσία και το δίκτυο που θα είναι συνδεδεμένο το κινητό τηλέφωνο.
- ✓ Θα καθορίζεται από ένα ενιαίο και καθολικό στάνταρ.
- ✓ Πολλαπλές και ταυτόχρονες διασυνδέσεις διαφορετικών τεχνολογιών.

- ✓ Ένας χρήστης δηλαδή θα μπορεί ταυτόχρονα να έχει πρόσβαση και να χρησιμοποιεί ένα 4G, ένα Wi-Fi και ένα WPAN (Personal) δίκτυο.
- ✓ Δυναμική Radio technology. Διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες θα μοιράζονται το ίδιο φάσμα συχνοτήτων αποτελεσματικά και βρίσκοντας ανεκμετάλλευτες περιοχές θα προσαρμόζονται στις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής.



5G Mobile Phone Concept

Χαρακτηριστικά της 5G τεχνολογίας

- ✓ Εξαιρετικό bandwidth: 4000 Mbps.
- ✓ Ταχύτητα σύνδεσης τουλάχιστον 25 Mbps.
- ✓ Μεγάλο broadcasting. Υποστηρίζει περίπου 65.000 συνδέσεις.
- ✓ High Quality Services βασισμένη σε πολιτικές ικανές να αποφεύγουν τα λάθη στη μετάδοση.
- ✓ Παρέχει supervision tools και remote management για άμεση ανταπόκριση σε απαιτούμενες αλλαγές.

- ✓ Υποστηρίζει VPNs.

Μελλοντικές εφαρμογές με τη τεχνολογία 5G

Πως θα φαινόταν αν θα μπορούσε κάποιος να φορτίσει το smart phone του μέσω των καρδιακών του παλμών. Επιπλέον, να μπορεί από το κινητό του να μετρήσει τη πίεση του παππού του, να εμποπτεύσει την οικία του, να εντοπίσει το παιδί του όταν αυτό λείπει. Να εντοπίζει τα μέσα μεταφοράς που περιμένει, το αυτοκίνητό του, αλλά και να το κλειδώνει. Να διαχειρίζεται το Laptop και το PC και να επεκτείνει τη δυνατότητα σύνδεσης αυτών μέσω του κινητού του.

6.3.1 Αρχιτεκτονική 5G

Το 5G σύστημα αποτελείται από το τερματικό 5G (που κατέχει τον κύριο ρόλο στην αρχιτεκτονική) και από ένα πλήθος ανεξάρτητων, αυτόνομων και διαφορετικών ραδιοτεχνολογιών Radio Access Technologies (RAT), όπου με τη σειρά τους μπορούν να είναι συνδεδεμένες με διάφορους servers ή στο ευρύτερο internet. Το τερματικό και κάθε RAT έχει το δικό του IP link για τους ευρύτερους χρήστες του διαδικτύου (outside internet world). Κάθε RAT έχει το δικό του interface για το τερματικό. Για παράδειγμα για να υπάρχει πρόσβαση σε τέσσερα διαφορετικά RATs, χρειάζονται να δημιουργηθούν τέσσερα διαφορετικά interfaces στο τερματικό.

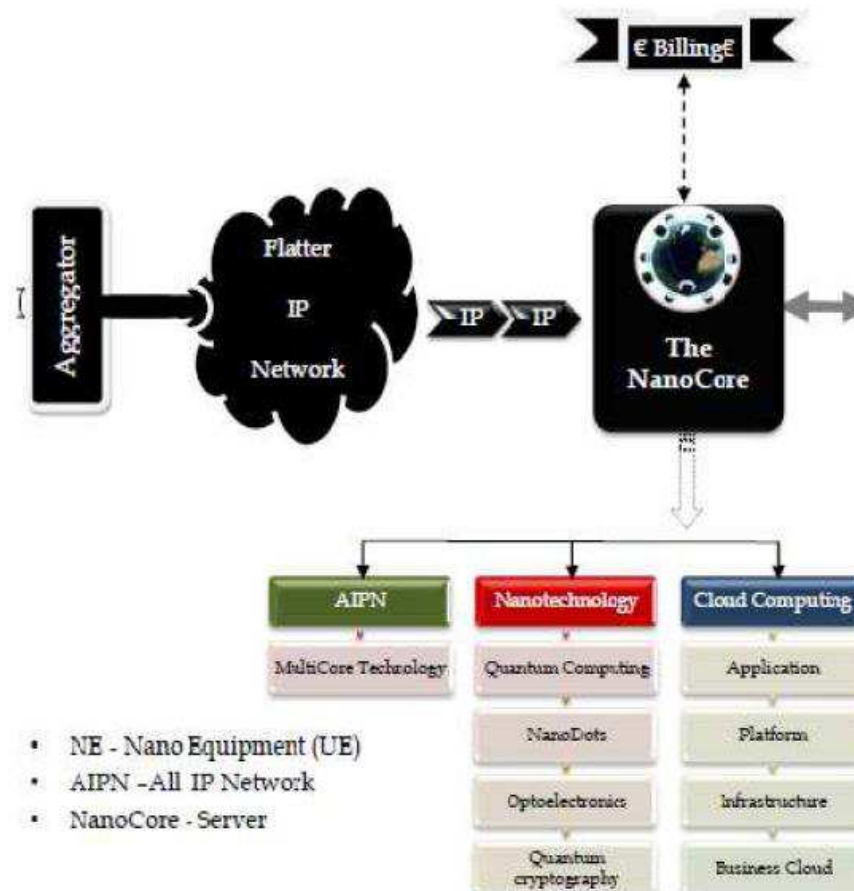
Είναι γνωστό πως για να επικοινωνήσει ένας χρήστης με έναν server χρησιμοποιώντας το IP protocol, πρέπει να δημιουργηθεί μια σύνδεση μεταξύ των δύο. Σε έναν κινητό χρήστη, ο οποίος αλλάζει RATs, χρειάζεται για κάθε αλλαγή να δημιουργείται και μια καινούργια σύνδεση. Αυτή η προσέγγιση δεν είναι ευέλικτη για τα 5G συστήματα και εφαρμόζεται στη τωρινή αρχιτεκτονική συστημάτων, για την πρόσβασή τους στο διαδίκτυο. Για να βελτιωθεί αυτή η περίπλοκη λειτουργία προτείνεται η δημιουργία ενός καινούργιου network level, το οποίο θα διαχειρίζεται τα network access από τα διάφορα RATs και θα τα μεταφέρει σε ανώτερα layers του protocol stack. Η επινόηση του καινούργιου αυτού layer (Network Level of Abstraction) θεωρείται ουσιαστική και κρίσιμη στην αρχιτεκτονική των 5G. Για την ολοκλήρωση της παραπάνω αρχιτεκτονικής χρησιμοποιείται και μια μονάδα ελέγχου όπου συνεργάζεται με το τερματικό, διαχειρίζεται τις διεργασίες – εφαρμογές, δρομολογεί πακέτα και όλα αυτά κάτω

από συγκεκριμένες πολιτικές (policies). Την ίδια στιγμή η μονάδα αποτελεί τη βασική αρχή που καθορίζει την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) σε κάθε μετάδοση. Βρίσκεται μεταξύ χρήστη και διαδικτύου και αντιπροσωπεύει ένα ιδανικό σύστημα όπου εξετάζει τα ποιοτικά των διαφόρων RATs. Είναι σε θέση να προβάλει μια ρεαλιστική εικόνα ποιότητας που αντιστοιχεί σε κάθε εφαρμογή χρήστη που απευθύνεται σε κάποιον server.

Το νέο αφηρημένο network level παρέχεται, με τη δημιουργία IP tunnel με βάση τα IP interfaces για κάθε RAT. Στη πράξη σε μια σύνδεση μεταξύ χρήστη και τερματικού, θα δημιουργούνται tunnels μεταξύ τερματικού και της μονάδας ελέγχου (που ήδη μιλήσαμε), τον επονομαζόμενο Policy Router, ο οποίος αναλαμβάνει τη δρομολόγηση των πακέτων κάτω από συγκεκριμένες πολιτικές, που καθορίζει το πρωτόκολλο. Ο χρήστης θα θέτει μία IP address από τη μεριά του και θα δημιουργούνται τόσα tunnels, όσες είναι και οι RATs που συνδέεται. Από εκεί και πέρα θα αναλαμβάνει το πρωτόκολλο για τα περαιτέρω. Έτσι επιτυγχάνεται και η αφαίρεση του δικτύου, μεταξύ σύνδεσης χρήστη και τερματικού.

6.3.1.1 O Nanocore

Ο 5G Nanocore αποτελεί τη σύγκλιση όλων των υπαρχουσών τεχνολογιών που παίρνουν μέρος σε μια επικοινωνία. Κάθε μία από τις τεχνολογίες παίζει το δικό της ρόλο και όλες μαζί αποτελούν το 5G (όπως φαίνεται στηνεικόνα της επόμενης σελίδας).



5G Architecture-The Nanocore

6.3.1.2 Nanotechnology

Η νανοτεχνολογία μας επιτρέπει τη διαχείριση των διεργασιών στη κλίμακα από 0.1 έως 100nm. Αναμένεται να αποτελέσει την επανάσταση στο βιομηχανικό χώρο των τηλεπικοινωνιών στα επόμενα χρόνια.

6.3.1.3 Nano Equipment (NE)

Στον 5G Nanocore τα κινητά τηλέφωνα και γενικότερα οι ηλεκτρονικές συσκευές αναφέρονται σαν NanoEquipment. Μια από τις βασικές φιλοδοξίες της ασύρματης βιομηχανίας είναι η δημιουργία ενός "νόημον περιβάλλοντος", δηλαδή τα συστήματα υπολογιστών και επικοινωνιών να μπορούν ανά πάσα στιγμή να προσφέρουν στο χρήστη μια έξυπνη οδό για την επίτευξη του στόχου του. Αυτό απαιτεί από τις συσκευές να είναι κινητές. Αυτές μαζί με τη τεχνητή νοημοσύνη ενσωματώνονται σε ανθρώπινα περιβάλλοντα όπως, οικίες, γραφεία, επιχειρήσεις, δημόσιοι χώροι και δημιουργούν συστήματα όπου αισθάνονται, καταλαβαίνουν, υπολογίζουν και επικοινωνούν. Μερικά από τα χαρακτηριστικά των NanoEquipments είναι:

- ✓ Self Cleaning – Το smart phone καθαρίζεται μόνο του (about software)
- ✓ Self Powered – Το smart phone αντλεί την ενέργειά του από τον ήλιο, το νερό, τον αέρα.
- ✓ Sense the environment - Το smart phone ενημερώνει για τον καιρό, το ποσοστό μόλυνσης του αέρα κτλ.
- ✓ Flexible – Ευέλικτο χωρίς διακοπές στη σύνδεση.
- ✓ Transparent – Συνδέεται και επικοινωνεί διαμέσου άλλων τηλεφωνικών συσκευών.

6.3.1.4 Cloud Computing

Είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιεί ο απομακρυσμένος κεντρικός εξυπηρετητής για να διατηρήσει, να επεξεργαστεί και να διανέμει τα δεδομένα και τις εφαρμογές. Επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιήσουν εφαρμογές δίχως να προβούν σε εγκατάσταση και να έχουν πρόσβαση στα προσωπικά τους αρχεία από οπουδήποτε και όλα αυτά με μεγάλη ασφάλεια και αξιοπιστία μέσω της κβαντικής κρυπτογράφησης. Από την άλλη οι operators θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο cloud computing market και δημιουργούν νέες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας.

Το cloud computing έχει τρεις κύριους τομείς:

1. Applications – Βασίζονται στα on demand services.
2. Platform – Επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στα applications από τους κεντρικούς server. Η Google, η Net Suite και το Amazon είναι μερικές από αυτές.
3. Infrastructure – Είναι η ραχοκοκαλιά του συστήματος. Περιβάλλοντα υποδομών όπως η Google κατασκευάζουν τα application.

Ο 5G Nanocore είναι αυτός που χρησιμοποιεί έξυπνα όλους τους παραπάνω τρεις τομείς, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των χρηστών.

6.3.1.5 All IP Network

Παραπάνω έγινε λόγος για τη σύγκλιση διαφορετικών τεχνολογιών σε έναν 5G Nanocore, όπου μπορεί να προσφέρει real – time εφαρμογές μέσω κινητών ευρυζωνικών δικτύων. Για την επίτευξη της παραπάνω τεχνολογίας,

χρησιμοποιούνται τα All – IP Networks (AIPN) με την αρχιτεκτονική Flat IP. Τα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής αυτής είναι τα εξής:

- ✓ Μειωμένο Κόστος
- ✓ Παγκόσμια συνεχόμενη (χωρίς διακοπές) πρόσβαση
- ✓ Βελτιωμένη χρηστικότητα
- ✓ Μειωμένη καθυστέρηση
- ✓ Επικοινωνία πολλών RATs χωρίς να συνδέονται μεταξύ τους
- ✓ Επιτρέπει με ευκολία τη χρήση core network

Μέσα στα επόμενα χρόνια, περισσότερες από 10 δισεκατομμύρια συσκευές ενδέχεται να προστεθούν στο διαδίκτυο, ενώ ήδη υπάρχουν πάνω από ένα δισεκατομμύριο. Όλες αυτές οι συσκευές επρόκειτο να αναπτυχθούν – παραταχθούν κάτω από μια full IP – based αρχιτεκτονική.

6.3.2 Συμπεράσματα

Η nanotechnology, το cloud computing και η All IP αναμένονται ως το επόμενο κύμα τεχνολογιών. Η τεχνολογία 5G ανοίγει ένα νέο ορίζοντα στο χώρο των επικοινωνιών για κινητούς χρήστες. Είναι δυνατή η ταυτόχρονη πρόσβαση σε διαφορετικές τεχνολογίες και το τερματικό 5G είναι ικανό να τις διαχειρίζεται αποδοτικά. Πλέον από τα smart phone και τα tablets θα είναι “portable PC” όπου θα μπορεί κανείς να παρακολουθεί video on demand και TV σε HD ανάλυση χωρίς διακοπές. Παρόλα αυτά, επίσημα project για τα 5G δίκτυα, δεν έχουν ακόμη παρουσιαστεί. Αναμένεται ότι ολοκληρωμένα και εφαρμόσιμα 5G standards θα υπάρχουν γύρω στο 2020, σύμφωνα με κάποιες πηγές.

Επίλογος

Τα υβριδικά δίκτυα αναμένεται να δώσουν «μικρές λύσεις» στη συνεργασία δύο ή και περισσότερων τεχνολογιών, ενώ τα 4G συνεργατικά δίκτυα θα προσπαθήσουν να τις εκμεταλλευτούν πιο έξυπνα και αποδοτικά, με μεγαλύτερες δυνατότητες. Τη μεγαλύτερη όμως αλλαγή στη σύγκλιση των ασύρματων τεχνολογιών, αναμένεται να φέρουν τα 5G δίκτυα με ακόμη μεγαλύτερες φιλοδοξίες για τους κινητούς χρήστες, με τεχνολογία που ακόμη όμως, βρίσκεται σε ερευνητικό επίπεδο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για να μπορούν να υποστηρίζονται οι σύγχρονες ανάγκες των χρηστών για παροχή κινητών υπηρεσιών και δεδομένων, απαιτείται τα δίκτυα κυψελωτών επικοινωνιών να μεταλλάσσονται διαρκώς.

Η δεσπόζουσα τεχνολογία μακροκυψελωτών δικτύων στην Ευρώπη είναι αυτή που υλοποιεί το πρότυπο 3GPP, την οικογένεια δηλαδή GSM. Σήμερα τα δίκτυα αυτά κινητών επικοινωνιών αναβαθμίζονται βαθμιαία σύμφωνα με τις προδιαγραφές HSPA και HSPA+, συνδυάζοντας υπηρεσίες TDM φωνής και υπηρεσίες δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης ως το (θεωρητικό) τεχνολογικό όριο. Εκτιμάται ότι η έλευση του LTE τα επόμενα χρόνια θα επιτύχει σημαντική πρόοδο στην παροχή υπηρεσιών όχι μόνο με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αλλά και με εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (QoS) για ευαίσθητες διαδραστικές εφαρμογές.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται και ασύρματα δίκτυα σταθερού και κινητού WiMAX σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, στη φασματική ζώνη των 3,5 GHz που έχει αποδοθεί από τις εθνικές ρυθμιστικές αρχές για το σκοπό αυτό σε κύριους και εναλλακτικούς παρόχους. Τα δίκτυα αυτά εκμεταλλεύονται τεχνολογικά χαρακτηριστικά του προτύπου, που προσφέρουν πλεονεκτήματα έναντι των σημερινών υλοποιήσεων 3G, τόσο στον τομέα αντικατάστασης παλαιών συστημάτων σταθερής ασύρματης πρόσβασης όσο και στον τομέα ταχείας ανάπτυξης ασύρματων κινητών δικτύων ευρυζωνικής πρόσβασης.

Τα δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς διαφαίνεται ότι θα μεταμορφώσουν κυριολεκτικά τον τρόπο με τον οποίο βιώνουμε την ευρυζωνική πρόσβαση. Μια πληθώρα καινοτόμων τεχνολογιών αναπτύσσεται ραγδαία σε παγκόσμιο επίπεδο, προτείνοντας υλοποιήσεις που θα υποστηρίξουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης (100 Mbit/s, 1 Gbit/s και πολύ παραπάνω μελλοντικά), και οι οποίες υπόσχονται να ικανοποιήσουν αποδοτικά ακόμα και τις πιο απαιτητικές επερχόμενες δικτυακές υπηρεσίες και ευκολίες.

Συμπληρωματικά στον τομέα των ασύρματων δικτύων, τα 4G δίκτυα και τα πρωτόκολλα LTE υπόσχονται να πραγματοποιήσουν τον επί πολλά χρόνια επιδιωκόμενο στόχο της παροχής πραγματικά ευρυζωνικών συνδέσεων σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκεται ο χρήστης, με τα αντίστοιχα σημαντικά

οφέλη που συνεπάγονται αυτών των δυνατοτήτων κινητικότητας. Ακόμη περισσότερες υποσχέσεις για το στόχο αυτό αναμένονται από τα 5G δίκτυα, τα οποία όμως βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό επίπεδο, λόγω της εντελώς καινούργιας τεχνολογίας που θα χρησιμοποιούν.

Αναμφίβολα, η συναρπαστική περίοδος αναδιαμορφώσεις των δικτύων πρόσβασης που διανύουμε είναι μόνο η αρχή της μεταμόρφωσης των δικτύων αυτών, με μελλοντικές ευεργετικές εξελίξεις που είναι δύσκολο ακόμα και να οραματιστούμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιοβλιογραφία

Μαρκασιώτης, Ι. (2005). Δίκτυα Υπολογιστών. Αθήνα: Γκιούρδας.

Ξένη Βιβλιογραφία

3GPP TS 23.401, General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 8).

3GPP TS 29.272, MME Related Interfaces Based on Diameter Protocol (Release 8).

3GPP TS 29.274, Evolved GPRS Tunneling Protocol (eGTP) for EPS (Release 8).

3GPP TS 29.275, PMIP based Mobility and Tunneling protocols (Release 8).

3GPP TS 33.401, Security Architecture (Release 8).

Akyiliz F. Ian, Gutierrez-Estevez M. David, Chavarria Reyes Elias, (2010), The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced, Broadband Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, United States.

Astely, et al., LTE: The evolution of Mobile Broadband, IEEE Commun. Mag., April 2009.

Bidgoli, H. (2008). Handbook of Computer Networks. Key Concepts, Data Transmission, and Digital and Optical Networks, Volume 1, John Wiley & Sonc, Inc.

Bidgoli, H. (2008). Handbook of Computer Networks. Key Concepts, Data Transmission, and Digital and Optical Networks. Volume 2, John Wiley & Sonc, Inc.

Bi Q., Zysman G.I. & Menkes H. (2001). Wireless Mobile Communications at the Start of the 21st Century. IEEE Commun. Magazine, No. 39, p.110-116.

Bogineni K., et al. (2009). LTE Part II Radio Access. IEEE Comun. Mag.

Calhoun, G. (1988). Digital Cellular Radio, Arthech House.

Chris J Arges University of Texas. A survey of IEEE 802.11 protocols.

Davis P.T. & McGuffin C.R., (1995). Wireless Local Area Networks. New York: McGraw-Hill.

- Douglas E. Comer. (2001). Διαδίκτυα με TCP/IP. Αρχές, Πρωτόκολλα και Αρχιτεκτονικές. Τέταρτη Αμερικανική Έκδοση, Αθήνα: Κλειδάριθμος.
en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- ETSI TS 102 177 v1.4.1 (2007-11). Broadband Radio Access Networks (Bran); HiperMAN; Physical (PHY) Layer.
- ETSI TS 102 178 v1.4.1 (2007-11). Broadband Radio Access Networks (Bran); HiperMAN; Data Link Control (DLC) Layer.
- Federico Albiero , Marcos Katz , Frank H.P. Fitzek , “Energy-Efficient Cooperative Techniques for Multimedia Services over Future Wireless Networks”, IEEE International Conference on Communications (ICC 2008).
- Fitzek, F. & Katz, F. (2006). Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications.
- Flament M., Gessler F., Lagergen F., Queseth O., Stridh R., Unbehau M., Wu J. & Zander J. (1998). Key Research Issues in 4th Generation Wireless Infrastructures, Proceedings of the PCC Workshop, Στοκχόλμη, Σουηδία.
- Flament M., Gessler F., Lagergen F., Queseth O., Stridh R., Unbehau M., Wu J. & Zander J. (1999). An Approach to the 4th Generation Wireless Infrastructures-Scenarios and Key Research Issues, Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Houston, USA.
- Forman G.H. & Zahorjan J. (1994). The Challenges of Mobile Computing, IEEE Computer, p. 38-46.
- Haymond, W. (1994). A Comparison of CDPD with Other Networks, CDPD Software Developer's Conference, October 1994.
- Gian Paolo Perrucci, Frank H.P. Fitzek, Amine Boudali, Maria Canovas Mateos, Peter Nejsun, Sune Studstrup, “Cooperative Web Browsing for Mobile Phones”, International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications(WPMC'07), India, 2007
- Holma & Toskala, LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access, 04-2009.
- Hood, D. & Trojer, E. (2012). Gigabit-Capable Passive Optical networks. NJ: John Wiley & Sons.
- Hung M., et al. (2009). Coexistence studies for 3GPP LTE with other mobile systems, IEEE Commun. Mag., April 2009.
- IEEE Std 802.16-2004. IEEE Computer Society and IEEE Microwave Theory

and Techniques Society, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, 01 October 2004.

Jiang, S. (2012). Future Wireless and Optical Networks. NY: Springer-Verlag London Limited.

Kristensen, F. & Fitzek, F. (2006). The Application of Software Defined Radio in a Cooperative Wireless Network, Software Defined Radio Technical Conference, SDR Forum, Orlando, Florida, USA.

Kumar, A., Liu, Y. & Wason, A. (2010). LTE-Advanced: The Roadmap to 4G Mobile Wireless Networks. Global Journal of Computer Science and Technology, 10.

Kun Yang, Shumao Ou, Ken Guild, Hsiao-Hwa Chen: Convergence of Ethernet PON and IEEE 802.16 Broadband Access Networks and its QoS-Aware Dynamic Bandwidth Allocation Scheme-2009.

Larso A., et al. (2009). The LTE Link layer Design, IEEE Commun. Mag., April 2009.

Lilleberg J. & Prasad R. (2001). Research Challenges for 3G and Paving the Way for Emerging New Generations, Wireless Personal Communications, Kluwer, τόμος 17, Ιούνιος 2001.

Leeper, D.G. (2001). A Long-Term View of Short-Range Wireless, Computer, No. 34, p. 39-44, June 2001.

LTE, The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice, (02-2009).

Maxim, M. & Pollino, D. (2002) Wireless Security, RSA Press, McGraw Hill/Osborne.

McConnell P. (1996). A Comparison of CDPD, Ardis and RAM Wireless Data Communications Systems, Sierra Wireless, Inc., white paper.

Metcalfe, R.M. (1995). On Mobile Computing, Byte, No. 20, p. 110, September 1995.

Miller, K. (1994). Why the Carriers Love CDPDm Data Communications, December 1994, p. 17-18.

Mohr W. (2001). Development of Mobile Communications Systems Beyond Third Generation Wireless Personal Communications, Kluwer, τόμος 17, Ιούνιος 2001.

Mouly, M. & Pautet, M., (1995), Current Evolution of the GSM System, IEEE

- Personal Communications, 2(5), p. 9-19, October 1995.
- Nicopolitidis, P., Obaidat, S. M., Papadimitriou, I. G. & Pomportsis, S. A. (2006). Ασύρματα Δίκτυα, Αθήνα: Κλειδάριθμος.
- Norton Peter. (2003). Introduction to Computers, 5th Edition, Peter Norton.
- Poikselka, M., et al. (2006). The IMS: IP Multimedia Concepts and Services, 2nd Edition, Wiley.
- Qi, Z., Fitzek, F. & Katz, M. (2006). Evolution of Heterogeneous Wireless Networks: Towards Cooperative Networks, 3rd International Conference of the Center for Information and Communication Technologies - Mobile and Wireless Content, Services and Networks - Short term and Long term Development Trends, Copenhagen, Denmark.
- Robson, J., et al. (2009). "The LTE/SAE trial initiative: taking LTE/SAE from specification to rollout", IEEE Commun. Mag., April 2009.
- Rune, G., Olsson M., Noren Th., Malm P. & Hall G., Frid L. LTE-SAE architecture and performance per Beming.
- Sapana Singh, Pratap Singh." Key Concepts and Network Architecture for 5G Mobile Technology".International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET) Volume 1 Issue 5 pp 165-170 August 2012.
- Suvarna Patil, Vipin Patil, Pallavi Bhat. "A Review on 5G Technology". International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 1, Issue 1, January 2012
- Schiller, J. (2000). Mobile Communications, Artech House.
- Simone Frattasi, Bas , ak Can, Frank Fitzek, Ramjee Prasad , "Cooperative Services for 4G", 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit. Dresden, Germany, 2005.
- Tanenbaum, A. S. (2003). Δίκτυα Υπολογιστών, Τέταρτη Αμερικανική Έκδοση, Αθήνα: Κλειδάριθμος.
- Varshney, U. & Vetter, R. (2000). Emerging Mobile and Wireless Networks, Commun. of the ACM, No. 43, p. 73-81, June 2000.
- Varshney, U. & Jain, R. (2001). Issues in Emerging 4G Wireless Networks, IEEE Computer, τόμος 34, αρ. 6, Ιούνιος 2001.
- Wiley John & Sons, Evolved Packet System (EPS) - The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS (Mar 2008) - Lescuyer & Lucidarme.
- WiMAX Forum & WiMAX Forum Network Architecture, Stage 2: Architecture

Tenets, Reference Model and Reference Points, [WiMAX Interworking-with DSL], 11 January 2008.

WiMAX Forum Whitepaper & Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, June 2006.

WiMAX Forum Whitepaper & Mobile WiMAX - Part II: A Comparative Analysis, May 2006.

Wong P. & Britland D., (1995), Mobile Data Communications Systems, Artech House, 1995