

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Κατεύθυνση: ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ ΓΝΩΣΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ**

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

**ΔΗΜΗΤΡΑ Γ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ
ΜΤΕ 0957**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΕΜΕΣΤΙΧΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2012



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΓΕΡΑΝ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Διαδίκτυο και οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες έχουν πλέον διεισδύσει και κατέχουν σημαντική θέση στη καθημερινότητα των χρηστών. Αυτό συμβαίνει λόγω της συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης των χρηστών για περάτωση διάφορων λειτουργιών εν κινήσει, σε συνδυασμό με ένα μεγάλο εύρος διαθέσιμων εφαρμογών. Η τρέχουσα όμως υποδομή και τεχνολογίες πολλές φορές αποτυγχάνουν να προσφέρουν την απαραίτητη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) στους χρήστες. Τόσο το Διαδίκτυο όσο και τα υφιστάμενα δίκτυα δεν είχαν σχεδιαστεί για το επίπεδο χρήσης που καλούνται να εξυπηρετήσουν σήμερα. Για το λόγο αυτό, υπάρχει ανάγκη ενίσχυσης των δικτύων για καλύτερο χειρισμό της αύξησης της κυκλοφορίας και προσφοράς καλύτερων υπηρεσιών όσον αφορά την ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών (QoS), την ασφάλεια και την κινητικότητα. Ωστόσο, οι λύσεις που θα εξεταστούν θα πρέπει όχι μόνο να λαμβάνουν υπόψη τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου, αλλά θα πρέπει επίσης να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης τόσο για τον φορέα εκμετάλλευσης (σταθμό βάσης) όσο και για το τελικό χρήστη. Αυτή η εργασία παρουσιάζει την έννοια των Ευκαιριακών Δικτύων (Opportunistic Networks – ONs), ως μια ενεργειακά αποδοτική μέθοδο για την εκμετάλλευση των ασύρματων δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, μόλις η υποδομή, όπως ένας Σταθμός Βάσης (Base Station - BS), αντιμετωπίσει προβλήματα αυξημένης κίνησης και συμφόρησης, η κυκλοφορία ενός ποσοστού των μακροτερματικών θα εκφορτωθεί σε κοντινά femtocells, τα οποία θα λειτουργούν με την ελάχιστη ισχύ μετάδοσης που είναι αναγκαία για την εξυπηρέτηση των χρηστών, δημιουργώντας ένα ON. Ως εκ τούτου, τα femto-τερματικά θα λειτουργούν σε χαμηλότερα επίπεδα ενέργειας που οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας ενώ παράλληλα θα έχει αποσυμφωρηθεί και ο BS μειώνοντας με αυτό το τρόπο τη συνολική του κατανάλωση ενέργειας.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συντέλεσαν στην ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το καθηγητή κ. Παναγιώτη Δεμέστιχα για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και καινοτόμο θέμα και να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στους υποψήφιους διδάκτορες κ. Δημήτρη Καρβούνα και Ανδρέα Γεωργακόπουλο για την αμέριστη βοήθειά τους, τη συμπαράστασή τους και τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Αθήνα, Ιούνιος 2012
Δήμητρα Γ. Παναγιώτου



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Στόχος Εργασίας	14
1.2 Μεθοδολογία.....	15
1.3 Δομή Εργασίας.....	16
2 Mobile Ad hoc NETwork	19
2.1 Περιγραφή Δικτύων MANET.....	19
2.2 Χαρακτηριστικά Δικτύων MANET.....	21
2.3 Ασφάλεια δικτύων MANET.....	22
2.3.1 Προβλήματα ασφαλείας στα δίκτυα MANET.....	23
2.4 Εφαρμογές Δικτύων MANET.....	24
2.5 Συμπέρασμα	25
3 OPPORTUNISTIC NETWORKS	27
3.1 Κύκλος ζωής των ONs	28
3.2 Προσδιορισμός Καταλληλότητας.....	28
3.3 Δημιουργία ONs.....	29
3.4 Συντήρηση των ONs.....	30
3.5 Τερματισμός των ONs.....	30
4 COGNITIVE SYSTEMS	33
4.1 Εισαγωγικά Στοιχεία	33
4.2 Δομή Γνωσιακών Συστημάτων	34
4.3 Ανάπτυξη Γνωσιακών Συστημάτων σε ασύρματο B3G περιβάλλον.....	37
4.4 Αρχιτεκτονική Γνωσιακών Συστημάτων	38
5 FEMTOCELLS	43
5.1 Εισαγωγικά Στοιχεία	43
5.2 Προβλήματα tier-2 δικτύων	44
5.3 Μηχανισμοί Ελέγχου Πρόσβασης	46
5.3.1 Χρήστες femtocell.....	47
5.3.2 Closed Access.....	47
5.3.2.1 Περιγραφή μεθόδου Closed Access	48



5.3.2.2	Τρόπος χρήσης.....	50
5.3.3	Open Access	50
5.3.3.1	Περιγραφή μεθόδου.....	51
5.3.3.2	Τρόπος Χρήσης	52
5.3.4	Σύγκριση των μεθόδων Closed και Open Access	53
5.3.5	Υβριδικές Προσεγγίσεις	54
5.3.6	Επιλεγμένη Μέθοδος.....	55
6	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 3GPP LONG TERM EVOLUTION.....	57
6.1	Εισαγωγικά Στοιχεία	57
6.2	Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Συστήματος LTE	60
6.2.1	Αρχιτεκτονική Συστήματος LTE.....	63
6.2.1.1	Radio Network	65
6.2.1.2	Evolved Packet Core.....	67
6.2.2	Τεχνολογίες Μετάδοσης Πληροφορίας	69
6.2.2.1	LTE OFDM.....	69
6.2.2.2	LTE OFDMA	70
6.2.2.3	LTE SC-FDMA.....	72
6.2.2.4	LTE MIMO.....	73
6.3	Εφαρμογές και Υπηρεσίες της τεχνολογίας LTE.....	73
7	ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	75
7.1	Μοντέλο Διάδοσης Okumura	78
7.2	Μοντέλο Διάδοσης Okumura-Hata	79
8	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....	81
8.1	Opportunistic Network Environment (ONE).....	81
8.2	Παράμετροι & Χαρακτηριστικά Προσομοιώσεων	82
8.3	Μαθηματική Διατύπωση	84
9	ΣΕΝΑΡΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	87
9.1	Ανάλυση Περιπτώσεων Προσομοίωσης.....	87
9.1.1	Περίπτωση 1: Κατανάλωση Ενέργειας BS με Μεταβλητό Αριθμό Femtocells.....	88
9.1.2	Περίπτωση 1: Κατανάλωση Ενέργειας BS με Μεταβλητό Αριθμό Τερματικών	97
9.1.3	Περίπτωση 3: Κατανάλωση Μπαταρίας Τερματικών	103
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ	105



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα δικτύου MANET	26
Πίνακας 2: Προδιαγραφές LTE στο Release 8 του 3GPP	60
Πίνακας 3: LTE UE κατηγορίες ταχυτήτων δεδομένων	61
Πίνακας 4: LTE UE κατηγορίες μορφές διαμόρφωσης που υποστηρίζονται.....	62
Πίνακας 5: Αντιστοιχία εύρους ζώνης LTE και αριθμού χρονοσχισμών	72
Πίνακας 6: Παράμετροι Προσομοίωσης	87

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: The Future Internet.....	13
Εικόνα 2: Διαδίκτυο και Ασύρματη Πρόσβαση.....	14
Εικόνα 3: Δίκτυο MANET	20
Εικόνα 4: Ασύρματη επικοινωνία των κόμβων για καλύτερη εξυπηρέτηση	21
Εικόνα 5: Δίκτυο MANET με οχήματα – κόμβους για καλύτερη κάλυψη έκτακτων αναγκών.....	25
Εικόνα 6: Το γνωσιακό ασύρματο δίκτυο του Future Internet.....	28
Εικόνα 7: Κύκλος ζωής ενός ON.....	30
Εικόνα 8: Ανάλυση λειτουργιών ενός Γνωσιακού Συστήματος	34
Εικόνα 9: Ανάπτυξη γνωσιακών συστημάτων σε B3G περιβάλλον	38
Εικόνα 10: Οι 6 πυλώνες της αρχιτεκτονικής ασύρματων γνωσιακών συσκευών	39
Εικόνα 11: Λειτουργία Femtocells	43
Εικόνα 12: Femtocells και LTE δίκτυο.....	44
Εικόνα 13: Οικιακή χρήση των Femtocells	45
Εικόνα 14: Μηχανισμοί Ελέγχου Πρόσβασης (a) Closed (b) Open (c) Hybrid	46
Εικόνα 15: Χρήση των Femtocells από οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις.....	48
Εικόνα 16: Εξέλιξη δικτύων Ασύρματης Πρόσβασης	58
Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική δικτύου LTE	59
Εικόνα 18: Ζεύξεις Uplink και Downlink	61
Εικόνα 19: Αρχιτεκτονική LTE συστήματος	64
Εικόνα 20: Δίκτυο E-UTRAN	66
Εικόνα 21: Δίκτυο EPC	67
Εικόνα 22: Τεχνολογίες Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE σύστημα.....	69
Εικόνα 23: Μέθοδος μετάδοσης OFDMA.....	71
Εικόνα 24: Προσομοιωτής Δικτύου ONE	82
Εικόνα 25: Δίκτυο με 50 τερματικά	89



Εικόνα 26: Συνολική Κατανάλωση του macro BS χωρίς τη λειτουργία Femtocells	89
Εικόνα 27: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο χωρίς Femtocells	90
Εικόνα 28: Δίκτυο με 50 τερματικά και 10 Femtocells.....	91
Εικόνα 29: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με χρήση 10 Femtocells στο δίκτυο	91
Εικόνα 30: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 10 Femtocells	92
Εικόνα 31: Δίκτυο με 50 τερματικά και 20 Femtocells.....	93
Εικόνα 32: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με χρήση 20 Femtocells στο δίκτυο	93
Εικόνα 33: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 20 Femtocells	94
Εικόνα 34: Δίκτυο με 50 τερματικά και 30 Femtocells.....	95
Εικόνα 35: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο	95
Εικόνα 36: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 20 Femtocells	96
Εικόνα 37: Συνολική Κατανάλωση του Macro BS συναρτήσει του αριθμού των Femtocells.....	96
Εικόνα 38: Δίκτυο με 30 τερματικά και 30 Femtocells.....	97
Εικόνα 39: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με 30 κόμβους και χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο.....	98
Εικόνα 40: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με με 30 κόμβους και 30 Femtocells.....	98
Εικόνα 41: Δίκτυο με 40 τερματικά και 30 Femtocells.....	99
Εικόνα 42: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με 40 κόμβους και χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο.....	99
Εικόνα 43: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με με 40 κόμβους και 30 Femtocells.....	100
Εικόνα 44: Δίκτυο με 50 τερματικά και 30 Femtocells.....	101
Εικόνα 45: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με 50 κόμβους και χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο.....	101
Εικόνα 46: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με με 50 κόμβους και 30 Femtocells.....	102
Εικόνα 47: Συνολική κατανάλωση macro BS συναρτήσει των κόμβων, σε δίκτυο με 30 femtocells.....	102
Εικόνα 48: Κατανάλωση ενέργειας τερματικών συνδεδεμένων με το Macro BS ή με Fmetocell ή και μπορεί να συνδέεται και με τα 2.....	103
Εικόνα 49: Διάρκεια ζωής μπαταρίας των Macro UE, Femto UE και UE με δυνατότητα σύνδεσης τόσο στο Macro BS όσο και σε Femtocell.	104



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Διαδίκτυο, όπως το γνωρίζουμε σήμερα, είναι σχεδόν 30 ετών. Ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980 με ερευνητικά δίκτυα, με λίγους χρήστες και περιορισμένες οικονομικές επιπτώσεις, και στη συνέχεια, τη δεκαετία του '90 ήρθε η δεύτερη γενιά των εμπορικών υπηρεσιών, γεγονός που οδήγησε σε έκρηξη της κίνησης και τις αυξημένες οικονομικές επιπτώσεις του. Το Διαδίκτυο σήμερα έχει γίνει η κινητήρια δύναμη για τη δικτυακή καινοτομία και ο κύριος δρόμος προς την παγκοσμιοποίηση και την κυκλοφορία των υπηρεσιών και της γνώσης. Το μέγεθός του, η πολυπλοκότητά του και ο ρόλος που διαδραματίζει στη σύγχρονη κοινωνία έχει υπερβεί κατά πολύ τις προσδοκίες των δημιουργών του. Είναι μια πολύπλοκη και συνεχώς διευρυνόμενη δομή που αποτελεί σημαντικό μέρος της ζωής, της εργασίας, της επικοινωνίας και της ψυχαγωγίας [1].

Πλέον το Διαδίκτυο εξυπηρετεί περισσότερους από 1 δισεκατομμύριο χρήστες σε όλο τον κόσμο και αποτελεί μια πλήρως διάχυτη υποδομή που παρέχει οπουδήποτε και οποτεδήποτε, συνδεσιμότητα και υπηρεσίες. Με την περαιτέρω ανάπτυξη των ασύρματων τεχνολογιών, ο αριθμός των χρηστών του Διαδικτύου αναμένεται να φτάσει τα 4 δισεκατομμύρια σε λίγα χρόνια [2]. Το Διαδίκτυο, λοιπόν, έχει καταστεί κρίσιμη υποδομή, τόσο από κοινωνική όσο και οικονομική άποψη.

Αν και ο αρχικός σχεδιασμός του Διαδικτύου επέτρεψε πολλαπλά επιτυχή κύματα καινοτομίας, νέες κοινωνικές και εμπορικές χρήσεις συνεχίζουν να ωθούν την αρχική αρχιτεκτονική του Διαδικτύου στα όριά της. Εκτός από τα βασικά πρωτόκολλα του Διαδικτύου, τα οποία σήμερα είναι 30 ετών και τη κλίμακα του Διαδικτύου που έχει αυξηθεί κατά πολλές τάξεις μεγέθους, έχουν επίσης προσαυξηθεί κατά εκατοντάδες τα πρωτόκολλα και οι επεκτάσεις, τα οποία καθιστούν τη διαχείρισή του όλο και πιο πολύπλοκη. Επιπλέον, έχουν ξεπηδήσει απρόβλεπτες και εξαιρετικά χρήσιμες και δημοφιλείς εφαρμογές, όπως το Skype, Wikipedia, Facebook, και το YouTube, οι οποίες πλέον κατευθύνουν τη χρήση του



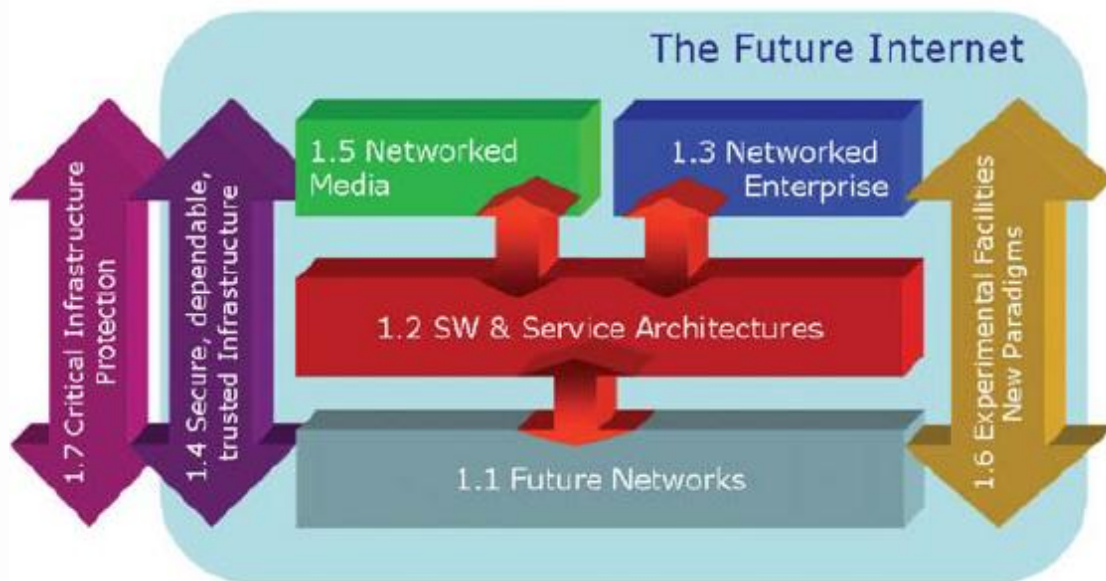
Διαδικτύου σε κατευθύνσεις που δεν είχαν αρχικά προβλεφθεί, θέτοντας απαιτητικές τεχνολογικές προκλήσεις και πολιτικές σε διάφορους τομείς, όπως της ασφάλειας, της κινητικότητας, της ετερογένειας, των ad hoc συνδέσεων και της πολυπλοκότητας [1].

Στο Διαδίκτυο του Μέλλοντος (Future Internet), θα πρέπει να αναδειχθούν νέα δίκτυα, ασφαλή, αξιόπιστα, διαβαθμισμένα, συνεπή, συνεκτικά, διαλειτουργικά, διάχυτα, αποτελεσματικά ώστε να συνδέουν υπηρεσίες, αντικείμενα και ανθρώπους. Είναι επίσης σημαντικό να υποστηρίζεται η καινοτομία, η δημιουργικότητα και η οικονομική ανάπτυξη. Οι δυνατότητες, λοιπόν, που αναμένεται να παρέχει το Διαδίκτυο του Μέλλοντος στους χρήστες του είναι οι εξής:[2]

- i. Κινητικότητα – 3 δισεκατομμύρια κινητές συσκευές θα μπορούν να είναι online παράλληλα
- ii. Καθόλου/Χαμηλοί φραγμοί πρόσβασης – Τυποποίηση της τεχνολογίας και χαμηλό κόστος.
- iii. Εύκολη και ασφαλή χρήση – Πιο ασφαλής χρήση και μεγαλύτερη εμπιστοσύνη για επιχειρηματικούς σκοπούς, ηλεκτρονικές αγορές, διασκέδαση, και με αποδέκτες όλους, συμπεριλαμβανομένων παιδιά.
- iv. Ανάπτυξη και απασχόληση – Στο Διαδίκτυο του μέλλοντος θα είναι δυνατή η συμμετοχή σε κάθε επιχειρηματική διαδικασία, στην υπηρεσία και την παραγωγή. Ως βασικός οικονομικός παράγοντας και ένα διάνυσμα στην παγκοσμιοποίηση οδηγεί την παραγωγικότητα, τις νέες επιχειρήσεις και το εμπόριο.
- v. Ενδυνάμωση του χρήστη – Η κοινωνική δικτύωση με το τρόπο που λειτουργεί μετατρέπει το Διαδίκτυο σε ένα πραγματικό δίκτυο peer-to-peer δίκτυο με πολύ περισσότερο οπτικοακουστικό περιεχόμενο.
- vi. Υπηρεσίες – Το Διαδίκτυο του Μέλλοντος θα επιτρέψει μια πολύ διαφορετική εμπειρία με τους παρόχους υπηρεσιών, είτε αυτές είναι δημόσιες αρχές ή ιδιωτικές επιχειρήσεις.
- vii. Εκπαίδευση – Ευκαιρία για τους ανθρώπους να μεγαλώσουν και να αναπτυχθούν.



- viii. Διασκέδαση – Κόσμοι εικονικής πραγματικότητας σε ένα 3D Διαδίκτυο για ψυχαγωγία, αγορές και τυχερά παιχνίδια.
- ix. Περισσότερος και μεγαλύτερος όγκος κίνησης – Κείμενο, φωνή, εικόνα, βίντεο (μαγνητοσκοπημένο και live).
- x. Ένα δημόσιο αγαθό – Το Διαδίκτυο είναι μια πολύ κρίσιμη υποδομή, όπως ο ηλεκτρισμός ή το νερό και είναι απαραίτητη η ανοικτή και δίκαιη πρόσβαση σε ολόκληρο τον κόσμο.



Εικόνα 1: The Future Internet

Οι νέες δικτυακές υποδομές και υπηρεσίες θα αντικαταστήσουν το σημερινό Διαδίκτυο. Το Διαδίκτυο του Μέλλοντος θα διαθέτει σχεδόν απεριόριστο εύρος ζώνης, μεγαλύτερα μεγέθη υπολογιστικής απόδοσης, ασύρματη πρόσβαση οπουδήποτε, τρισεκατομμύρια συσκευές διασυνδεδεμένες μεταξύ τους, ολοκληρωμένη ασφάλεια και εμπιστοσύνη όλων των μερών και προσαρμοσμένες και εξατομικευμένες υπηρεσίες και εργαλεία. Αυτές οι εξελίξεις κατευθύνονται από ευρύτερες και διαφορετικές μορφές χρήσης των τεχνολογιών του Διαδικτύου και του Ιστού μερικές από τις οποίες βλέπουμε ήδη με τις αναδυόμενες εφαρμογές του Web 2.0, το «Διαδίκτυο των Υπηρεσιών» και το "Διαδίκτυο των Πραγμάτων". Το αναμενόμενο αποτέλεσμα περιλαμβάνει την ανάπτυξη αρχιτεκτονικών και νέων τεχνολογιών που επιτρέπουν εφαρμογές βασισμένες στο Διαδίκτυο για εργασία και ολοκληρωμένες επιχειρηματικές λύσεις με έμφαση στη συνεργασία και τη διαλειτουργικότητα [3].

1.1 Στόχος Εργασίας

Ένα μέρος του Διαδικτύου του Μέλλοντος, είναι και τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης τα οποία παρουσιάζουν ραγδαία εξέλιξη. Στα ασύρματα δίκτυα του Διαδικτύου του Μέλλοντος όλα τα είδη συσκευών και δικτύων έχουν δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ τους. Οποιαδήποτε οντότητα ή στοιχείο του δικτύου έχει δυνατότητα επικοινωνίας και διασύνδεσης με κάποιο άλλο οπότε διάφορες οντότητες σε συγκεκριμένο περιβάλλον είναι σε θέση να δημιουργήσουν ένα δίκτυο επικοινωνίας. Ωστόσο, προκύπτουν θέματα όπως η επέκταση της κάλυψης των υποδομών ή η επέκταση της χωρητικότητας. Υπάρχει, λοιπόν, ανάγκη ενίσχυσης των δικτύων για καλύτερο χειρισμό της αύξησης της κυκλοφορίας και προσφοράς καλύτερων υπηρεσιών όσον αφορά την ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών (QoS), την ασφάλεια και την κινητικότητα [4] [5].



Εικόνα 2: Διαδίκτυο και Ασύρματη Πρόσβαση

Τα προβλήματα της χωρητικότητας, είναι δυνατό να οφείλονται σε διάφορους λόγους, όπως την αύξηση του πλήθους των πελατών, μια μαζική εκδήλωση, μια μετατόπιση των χρηστών, μια δυσλειτουργία στην υποδομή και άλλα. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων είναι αναγκαίο να υιοθετηθούν λύσεις που θα στοχεύουν στη βελτιστοποίηση του δικτύου και θα υπολογίζουν και πτυχές της ενεργειακής απόδοσης για την εξοικονόμηση κεφαλαιουχικών (CAPEX) και λειτουργικών (OPEX) δαπανών [4] [5].

Μια πολλά υποσχόμενη λύση για το πρόβλημα της επέκτασης χωρητικότητας κορεσμένων υποδομών είναι η χρήση των ONs. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για την 'ανακούφιση' των κορεσμένης υποδομής είναι η εκφόρτωση, δηλαδή η



μεταβίβαση ενός μέρους της κίνησης, προκειμένου να εναλλάσσεται στα Δίκτυα Ραδιο-Πρόσβασης (Radio Access Networks - RANs) που δεν είναι προβληματικά (π.χ. Wi-Fi, femtocells, άλλα BSs, και άλλα) [4].

Αρχικά, λοιπόν, θεωρείται ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από ένα macro BS, τους τερματικούς σταθμούς που εξυπηρετούνται μέσω του μακρο BS και femtocells που διανέμονται εντός της περιοχής κάλυψης του μακρο BS. Λόγω της υψηλής επισκεψιμότητας από τους τερματικούς σταθμούς τίθενται προβλήματα συμφόρησης τα οποία ο macro BS καλείται να εξυπηρετήσει. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος ένα ποσοστό της κυκλοφορίας εκχωρείται στα femtocells μέσω της δημιουργίας ενός ON μεταξύ femtocells και των τερματικών σταθμών, επιτυγχάνοντας έτσι την βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου.

Με την αλλαγή της δρομολόγησης των macro-τερματικών σε femtocells χρειάζεται να γίνει και ο υπολογισμός των πτυχών της ενεργειακής απόδοσης. Στη παρούσα εργασία εξετάζεται τόσο η κατανάλωση της ενέργειας των τερματικών (πχ. μπαταρία κινητών συσκευών) όσο και η συνολική κατανάλωση ενέργειας του σταθμού βάσης με κύριο στόχο την ανάδειξη της χρήσης των femtocells ως μια ενεργειακά αποδοτική μέθοδος η οποία βοηθά και στην εξοικονόμηση κεφαλαιουχικών και λειτουργικών δαπανών (αντίστοιχα CAPEX και OPEX).

1.2 Μεθοδολογία

Στη παράγραφο αυτή γίνεται αναφορά στα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας και την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Αρχικά έγινε συγκέντρωση όλων των απαραίτητων πληροφοριών για τη κατανόηση και ανάπτυξη του θεωρητικού πλαισίου. Η παρούσα εργασία εξετάζει νέες τεχνολογίες που σχετίζονται με το Διαδίκτυο του Μέλλοντος όπου τα νέα δίκτυα θα πρέπει να αναδειχθούν, ασφαλή, αξιόπιστα, διαβαθμισμένα, συνεπή, συνεκτικά, διαλειτουργικά, διάχυτα, αποτελεσματικά ώστε να συνδέουν υπηρεσίες, αντικείμενα και ανθρώπους.



Πρώτα, λοιπόν, συλλέχτηκαν πληροφορίες σχετικά με το Μελλοντικό Διαδίκτυο και στη συνέχεια για τις νέες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτό, όπως είναι τα ONs, τα Γνωσιακά Συστήματα (Cognitive Systems) τα δίκτυα MANET και τα Femtocells τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Στη συνέχεια, για το δίκτυο που αναπτύχθηκε, χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία δικτύων ασύρματης πρόσβασης 3GPP Long Terminal Evolution (LTE), χαρακτηριστικά της οποίας περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο και τέλος προτιμήθηκε ως μοντέλο διάδοσης ραδιοσυχνότητων, το μοντέλο Okumura-Hata το οποίο επίσης περιγράφεται σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

Προσομοιωτής Δικτύου – Σενάρια

Για τις ανάγκες της εργασίας, προτιμήθηκε και χρησιμοποιήθηκε ο προσομοιωτής δικτύου Opportunistic Network Environment (ONE). Ύστερα από την εγκατάσταση του λογισμικού, έγινε παραμετροποίηση και διαμόρφωση του κώδικα ώστε να εστιάσουμε στην ενεργειακή απόδοση του συστήματος και να γίνει εξαγωγή των αποτελεσμάτων που χρειάζονταν για την εργασία. Στη συνέχεια έγινε αναζήτηση όλων των πιθανών σεναρίων και εκτέλεση των προσομοιώσεων.

Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Από την εξαγωγή και την ανάλυση των αποτελεσμάτων, το συμπέρασμα το οποίο προέκυψε είναι ότι με τη χρήση των Femtocells και την ανάπτυξη των ONs τόσο η συνολική κατανάλωση του σταθμού βάσης όσο και η ενέργεια των τερματικών μειώνεται με αποτέλεσμα τη μείωση των δαπανών αλλά και τη καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών.

1.3 Δομή Εργασίας

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται εννέα κεφάλαια. Στο επόμενο, δεύτερο κεφάλαιο, περιλαμβάνονται τα MANET δίκτυα, με περιγραφή των χαρακτηριστικών τους, ενώ γίνεται και αναφορά στην ασφάλεια των συγκεκριμένων δικτύων και στις εφαρμογές τους στη καθημερινότητα μας.



Εν συνεχεία, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ONs. Πρόκειται για δίκτυα τα οποία δημιουργούνται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων υπηρεσιών με σκοπό την παροχή βοήθειας σε υπάρχοντα δίκτυα και όχι την αντικατάστασή τους.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιέχει το θεωρητικό υπόβαθρο για τα Cognitive Systems. Οι πληροφορίες που παρέχονται αφορούν τη δομή τους και την αρχιτεκτονική τους και στόχο έχουν την εμπειρική συμπεριφορά ενώ ουσιαστικά προσπαθούν να επιτύχουν τη μεταβίβαση από μια τεχνολογία, ή συχνότητα, σε μια άλλη με παράλληλη καταγραφή συνθηκών και αποτελεσμάτων.

Το πέμπτο κεφάλαιο, περιλαμβάνει πληροφορίες για τα Femtocells, τη λειτουργικότητα των οποίων εξετάζουμε στη παρούσα εργασία. Γίνεται εκτενής αναφορά στους μηχανισμούς πρόσβασης, σύγκριση αυτών και τέλος η μέθοδος που επιλέχθηκε στην εκτέλεση των προσομοιώσεων.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη τεχνολογία 3GPP Long Term Evolution (LTE) η οποία χρησιμοποιήθηκε στα σενάρια που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της, η αρχιτεκτονική της, οι τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας καθώς και εφαρμογές της ενώ στο επόμενο (έβδομο) κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα μοντέλα διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και συγκεκριμένα το μοντέλο διάδοσης Okumura-Hata.

Το όγδοο κεφάλαιο περιέχει πληροφορίες για το προσομοιωτή που χρησιμοποιήθηκε. Αυτός είναι ο ONE και παρακάτω γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους του ενώ παρουσιάζεται και μαθηματική διατύπωση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο ένατο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν με ανάλυση των αποτελεσμάτων και σύγκριση αυτών, ικανοποιώντας το πρωταρχικό στόχο για την αύξηση των απόδοσης του συστήματος με τη χρήση των Femtocells.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ



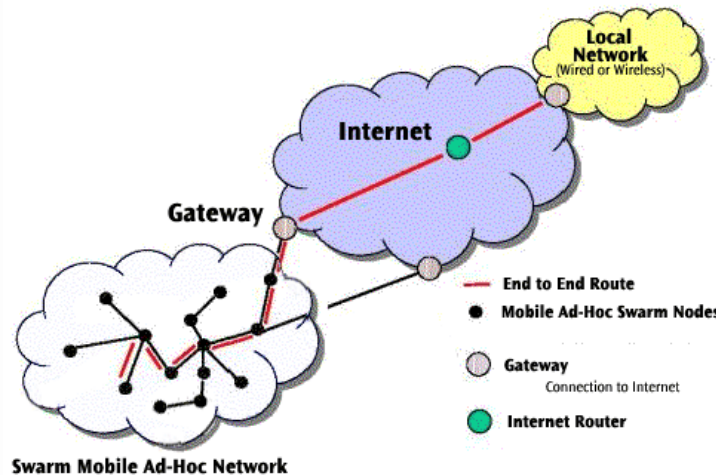
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 Mobile Ad hoc NETwork

Οι υπολογιστές και το διαδίκτυο αποτελούν πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας όλων και συνεχώς καταλαμβάνουν όλο και σημαντικότερη θέση σε αυτή, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται περισσότερες απαιτήσεις από τους χρήστες. Η σύνδεση των χρηστών σε οποιοδήποτε δίκτυο επιτυγχάνεται είτε με ενσύρματη είτε με ασύρματη σύνδεση. Για τις ενσύρματες επικοινωνίες έχουν γίνει διάφορες αναπτύξεις και υπάρχουν αρκετές λύσεις εδώ και πολύ καιρό. Ωστόσο υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον και ζήτηση για κάλυψη των αναγκών των χρηστών, όπως η σύνδεση στο Διαδίκτυο, η ανάγνωση και η αποστολή email και πολλά άλλα, μέσω των ασύρματων δικτύων. Μία λύση είναι η ανάπτυξη ενός ασύρματου τοπικού δικτύου βασισμένο στο πρότυπο IEEE 802.11. Ωστόσο, υπάρχει ανάγκη για σύνδεση σε περιπτώσεις όπου δεν είναι κάποιος BS διαθέσιμος, όταν για παράδειγμα χρειάζεται να γίνει σύνδεση δύο ή περισσότερων συσκευών PDA. Για τη κάλυψη αυτής της ανάγκης μία προτεινόμενη λύση είναι τα ad hoc δίκτυα.

2.1 Περιγραφή Δικτύων MANET

Η φράση ad hoc είναι λατινική και σημαίνει 'γι' αυτό' ή ακόμα καλύτερα 'γι' αυτό το σκοπό'. Η ιδιαιτερότητα αυτών των δικτύων είναι ότι μπορούν να αναπτυχθούν οπουδήποτε και χωρίς υποδομή, δηλαδή καλώδια ή σταθμούς βάσης. Συνήθως αποτελείται από κινητές συσκευές και γι' αυτό χρησιμοποιείται κυρίως ο όρος Mobile Ad hoc NETWORKS (MANET). Ένα δίκτυο MANET λοιπόν, είναι ένα αυτόνομο σύστημα αποτελούμενο από κινητούς κόμβους οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με ασύρματες συνδέσεις. Οι κόμβοι αυτοί είναι ελεύθεροι να μετακινούνται τυχαία και να οργανώνονται αυθαίρετα και μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε [6].



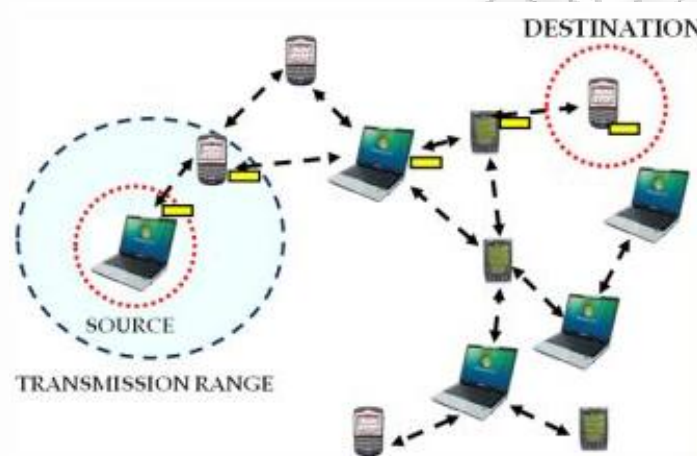
Εικόνα 3: Δίκτυο MANET

Λόγω της κινητικότητας των κόμβων, είναι δυνατό κάποιοι να εμφανίζονται, να εξαφανίζονται και να στη συνέχεια να επανεμφανίζονται αλλάζοντας κάθε στιγμή την ad hoc τοπολογία. Οι ασύρματες συνδέσεις δημιουργούνται κάθε φορά ανάμεσα στους κόμβους που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο ανάλογα με τη θέση τους, την εμβέλεια των πομποδεκτών τους, τη μεταδιδόμενη ισχύ τους αλλά και τα επίπεδα παρεμβολών. Όπως φαίνεται για τη διασφάλιση της συνδεσιμότητας και της ισχύος τα ad hoc δίκτυα είναι πιο απαιτητικά σε σχέση με τα ενσύρματα [6].

Το ad hoc δίκτυο είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας χωρίς προ-υπάρχον δίκτυο υποδομών, σε αντίθεση με τα κυψελωτά δίκτυα όπου υπάρχει δίκτυο υποδομών που αποτελείται από τους σταθμούς βάσεις, τους ελεγκτές ασύρματης επικοινωνίας και πολλά άλλα. Επιπλέον, στα ad hoc δίκτυα κάθε τερματική συσκευή συνδέεται με κάποια άλλη με peer-to-peer σύνδεση. Αν κάποια τερματική συσκευή προσπαθήσει να συνδεθεί με κάποια συσκευή η οποία όμως δεν είναι μέσα στην εμβέλειά της τότε προσπαθεί να συνδεθεί με άλλες τερματικές συσκευές του δικτύου έως ότου το πακέτο φθάσει στο τελικό αποδέκτη. Η συνεργασία των κόμβων για την αναμετάδοση της δικτυακής κίνησης μεταξύ τους, ώστε να φτάνουν σε μακρινούς σταθμούς που διαφορετικά θα ήταν εκτός εμβέλειας υποδηλώνεται από τον όρο multi-hop. Επειδή όμως ένα πακέτο για να φτάσει από έναν κόμβο-αποστολέα σε έναν κόμβο-παραλήπτη μπορεί να περάσει από πολλούς ενδιάμεσους κόμβους, χρειάζεται η ύπαρξη ενός πρωτόκολλου δρομολόγησης πακέτων [6].

2.2 Χαρακτηριστικά Δικτύων MANET

Τα δίκτυα MANET αποτελούνται από ένα σύνολο κινητών ανεξάρτητων κόμβων τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους με ασύρματη σύνδεση. Η δυνατότητα των κόμβων να επικοινωνούν μεταξύ τους κατευθείαν όταν ο ένας κόμβος είναι στην εμβέλεια του άλλου ή διαφορετικά να εξυπηρετούνται μέσω ενδιάμεσων κόμβων, κάνει τα συγκεκριμένα δίκτυα ευέλικτα και εύρωστα [6] [8].



Εικόνα 4: Ασύρματη επικοινωνία των κόμβων για καλύτερη εξυπηρέτηση

Κάποια από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

Δυναμικές τοπολογίες

Οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να μετακινούνται τυχαία και αυθαίρετα, οπότε η τοπολογία του δικτύου μπορεί να αλλάζει τυχαία και απρόβλεπτα με τη πάροδο του χρόνου. Επίσης η τοπολογία μπορεί να απαρτίζεται και από αμφίδρομες (bidirectional) αλλά και από μονοκατευθυντικές (unidirectional) ζεύξεις [6] [8].

Ζεύξεις περιορισμένου εύρους ζώνης.

Οι ασύρματες ζεύξεις έχουν σημαντικά μικρότερες χωρητικότητες από τις αντίστοιχες ενσύρματες και το πραγματικό throughput στις ασύρματες επικοινωνίες είναι συνήθως πολύ μικρότερο από τη μέγιστη εκπομπή των πομπών. Σε αυτό σημαντικό ρόλο έχουν και τα φαινόμενα της πολλαπλής πρόσβασης (multiple access), του θορύβου, των παρεμβολών και άλλων [6].



Ζεύξεις μεταβλητής χωρητικότητας

Οι ασύρματες ζεύξεις έχουν σχετικά χαμηλή έως μέτρια χωρητικότητα και αποτέλεσμα αυτού είναι και ο συνωστισμός [6] [8].

Περιορισμοί ενέργειας

Κάθε τερματική συσκευή τροφοδοτείται κυρίως από περιορισμένης ενέργειας πηγές όπως είναι οι μπαταρίες. Κάθε συσκευή καταναλώνει ενέργεια για την επεξεργασία δεδομένων, για τη μετάδοση των 'δικών του' πληροφοριών αλλά και όταν χρησιμοποιείται δρομολογητής, δηλαδή ως ενδιάμεσος κόμβος. Η κατανάλωση της ενέργειας είναι ένα σημαντικό κριτήριο στο σχεδιασμό ενός ad hoc δικτύου το οποίο απαιτεί βελτίωση [6] [8].

Περιορισμένη ασφάλεια του φυσικού μέσου μετάδοσης (physical layer)

Τα κινητά ασύρματα δίκτυα είναι γενικά πιο ευπαθή σε θέματα ασφάλειας του φυσικού μέσου μετάδοσης σε σχέση με τα ασύρματα δίκτυα. Η ασφάλεια των MANET δικτύων περιγράφεται με περισσότερες λεπτομέρειες στην επόμενη παράγραφο [6] [8].

2.3 Ασφάλεια δικτύων MANET

Η ασφάλεια δικτύων αποτελεί επέκταση του Computer Security- Ασφάλεια Υπολογιστών, όπου εξακολουθούν να ισχύουν ότι για εκείνο αλλά προστίθενται και κάποιες άλλες παράμετροι που χρειάζεται να εξεταστούν. Αυτές αφορούν την ασφάλεια στην επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών και άλλων συσκευών. Σε ένα ad hoc σύστημα δεν είναι όλες οι συσκευές υπολογιστές γι' αυτό και δε μπορούν να εφαρμόζονται οι ίδιοι κανόνες ασφάλειας που εφαρμόζονται στα λειτουργικά συστήματα [6] [8].

Οι διάφορες μεταβλητές επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο την ασφάλεια των δικτύων αλλά και το σχεδιασμό της. Τέτοιες μεταβλητές είναι το περιβάλλον, το εύρος, η ποιότητα των υπηρεσιών, η κρισιμότητα της ασφάλειας και άλλες. Εξετάζοντας το περιβάλλον, τα δίκτυα μπορούν να αναπτυχθούν τόσο εχθρικά όσο και σε φιλικά περιβάλλοντα. Οι απαιτήσεις στην ασφάλεια του δικτύου στο πεδίο της μάχης διαφέρουν κατά πολύ σε σχέση με αυτές σε οικιακά δίκτυα. Σε πεδία μάχης μάλιστα, είναι πιθανό να χρειάζονται και ασφάλεια σε φυσικό επίπεδο ώστε να εξασφαλιστεί η λειτουργία του δικτύου [6] [8].



Επιπλέον οι τρόποι λειτουργίας της ασφάλειας στα δίκτυα ποικίλουν ανάλογα με το εύρος κάθε δικτύου. Σε περίπτωση που οι κόμβοι είναι αρκετά μακριά ο ένας από τον άλλο, είναι μεγαλύτερος ο κίνδυνος για επιθέσεις στην ασφάλεια. Από την άλλη πλευρά, αν οι κόμβοι είναι κοντά και μάλιστα τόσο ώστε να μπορεί να υπάρξει και φυσική σύνδεση μεταξύ τους, είναι πιθανό απόρρητες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα μυστικά κλειδιά, να μπορούν να μεταδοθούν χωρίς την αποστολή τους στον αέρα. Αυτό θα μπορούσε να βελτιώσει το επίπεδο της ασφάλειας καθώς η μετάδοση δεδομένων ενσύρματα είναι πιο ασφαλής σε σχέση με τις ασύρματες επικοινωνίες [6] [8].

Η ποιότητα των υπηρεσιών καλύπτει θέματα που αφορούν στη μετάδοση των μηνυμάτων, αν αυτά έφθασαν στο προορισμό τους ή σε πόσο χρόνο έφθασαν. Η ποιότητα των υπηρεσιών απαιτείται κυρίως σε real-time εφαρμογές όπου υπάρχει ανάγκη για αξιόπιστη επικοινωνία [6] [8].

Η τελευταία μεταβλητή που χρειάζεται να εξεταστεί είναι η κρισιμότητα της ασφάλειας. Αυτό σημαίνει ότι πριν την εφαρμογή της ασφάλειας, χρειάζεται να εξεταστεί κατά πόσο χρειάζεται η ασφάλεια, κατά πόσο έχει σημασία ή όχι και αν κάποιος έξω μπορεί να δει ποια πακέτα μεταδίδονται και το περιεχόμενό τους. Επίσης κατά πόσο έχει σημασία αν μεταδίδονται και λάθος πακέτα ή στέλνονται εκ νέου παλιά πακέτα. Είναι πιθανό κάποια θέματα ασφαλείας να μην είναι κρίσιμα αλλά έχει μεγάλο κόστος η εξακρίβωσή του και κάποιες φορές υπάρχει trade-off μεταξύ ασφάλειας και κόστους [6] [8].

2.3.1 Προβλήματα ασφαλείας στα δίκτυα MANET

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα MANET δίκτυα είναι πιο ευαίσθητα σε επιθέσεις σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα. Γι' αυτό το λόγο είναι πιο εύκολο να γίνουν υποκλοπές σε αυτά τα δίκτυα ενώ λόγω της συχνής αλλαγής της τοπολογίας επιτρέπεται σε κακόβουλες συσκευές να συνδεθούν στο δίκτυο χωρίς να εντοπιστούν.

Επιπλέον ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στα MANET δίκτυα απαιτεί αμοιβαία εμπιστοσύνη μεταξύ των κόμβων, κάτι που παραβιάζει τις αρχές της ασφάλειας των δικτύων. Επίσης, λόγω έλλειψης οποιασδήποτε κεντρικής υποδομής δε μπορεί να υπάρξει κάποιο μέσο παρακολούθησης του συστήματος [6] [8].



Τέλος, η γραμμή που χρησιμοποιείται σήμερα είναι άμυνα και πρόληψη επίθεσης, η οποία από μόνη ίσως δεν είναι τόσο αποτελεσματική. Είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν περισσότεροι μηχανισμοί ασφάλειας και να προστεθούν και οι παράμετροι της ανίχνευσης και αντίδρασης σε πιθανές επιθέσεις [6] [8].

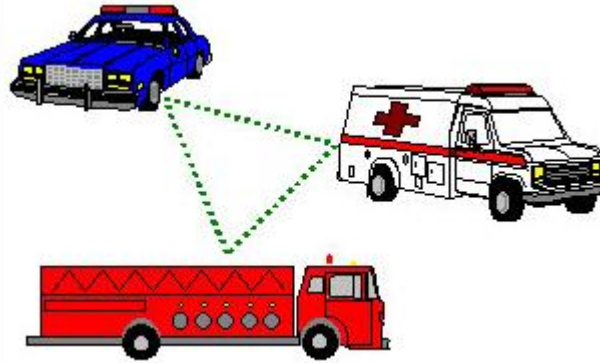
2.4 Εφαρμογές Δικτύων MANET

Τα δίκτυα MANET εφαρμόζονται κυρίως σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κάποια σταθερή ενσύρματη δικτυακή υποδομή. Η αδυναμία ανάπτυξης ενσύρματων δικτύων θα μπορούσε να οφείλεται σε οικονομικούς ή γεωγραφικούς παράγοντες αλλά θα μπορούσαν να συντρέχουν κι άλλοι λόγοι.

Εφαρμογές των δικτύων MANET είναι δυνατό να συναντήσουμε σε:

- Στρατιωτικές επιχειρήσεις ή της αστυνομίας για καλύτερο συντονισμό
- Περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως επιχειρήσεις διάσωσης για συντονισμό των προσπαθειών
- Επιχειρηματικά συνέδρια ή meetings όπου οι συμμετέχοντες είναι πιθανό να θέλουν να ανταλλάξουν πληροφορίες

ενώ υπάρχουν και άλλες πολλές εφαρμογές που θα μπορούσαν να βελτιωθούν με εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα δίκτυα MANET. Ένα άλλο αρκετά ενδιαφέρον πεδίο έρευνας είναι η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων.



Εικόνα 5: Δίκτυο MANET με οχήματα – κόμβους για καλύτερη κάλυψη έκτακτων αναγκών

Αυτού του είδους τα δίκτυα πραγματικά θα άλλαζαν το τρόπο επικοινωνίας καλύπτοντας τόσο οχήματα ιδιωτικής χρήσης όσο και επαγγελματικά για εξυπηρέτηση αναγκών, όπως για παράδειγμα ανταλλαγή δεδομένων για περιστατικά στο δρόμο. Τέλος, η συγκεκριμένη περίπτωση δε θα μπορούσε να εξυπηρετηθεί από ενσύρματα δίκτυα λόγω της μεγάλης κινητικότητας [6] [7].

2.5 Συμπέρασμα

Τα δίκτυα MANET αποτελούν πλέον την πιο εξελιγμένη μορφή των δικτύων Ad-Hoc και εφαρμόζονται ήδη στη πράξη. Σε αυτό βοήθησε πολύ η εξέλιξη στις τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών, οι υψηλότερες ταχύτητες και οι πιο σταθερές ζεύξεις.

Ο Πίνακας 1 δείχνει τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματά των δικτύων ad hoc.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Παρέχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και υπηρεσίες ανεξάρτητα από τη γεωγραφική θέση. Έχουν τη δυνατότητα να αναπτυχθούν σε οποιοδήποτε μέρος και οποιαδήποτε στιγμή. Λειτουργούν χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη υποδομών.	Περιορισμένοι πόροι Περιορισμένη ασφάλεια φυσικού μέσου μετάδοσης Ευάλωτα σε επιθέσεις



Αδυναμία εντοπισμού κακόβουλων κόμβων

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα δικτύου MANET

Ωστόσο, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα MANET είναι αυτό της δρομολόγησης της δικτυακής κίνησης, καθώς τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν καλύπτουν τις ανάγκες των δικτύων MANET. Τα πολλά πρωτόκολλα που έχουν ήδη προταθεί, με κυριότερα τα AODV, DSR και ZRP, προσφέρουν λύσεις αλλά δεν έχει επιτευχθεί ακόμη η τυποποίησή τους.



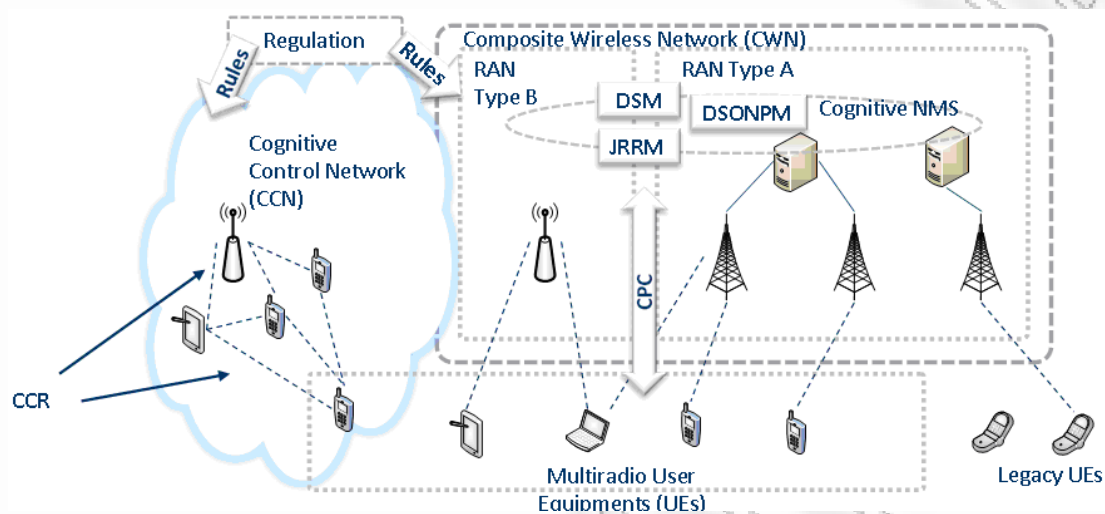
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 OPPORTUNISTIC NETWORKS

Τα ONs είναι μια υποσχόμενη λύση για το πρόβλημα της επέκτασης της κάλυψης ώστε να καθίσταται εφικτή η παροχή υπηρεσιών σε χρήστες / τερματικά, τα οποία υπό άλλες συνθήκες θα ήταν εκτός κάλυψης δικτύου αλλά και για την αποσυμφόρηση του σταθμού βάσης επεκτείνοντας τη χωρητικότητα. Σε γενικές γραμμές τα ONs περιέχουν κόμβους και τερματικά τα οποία παρουσιάζουν περιστασιακή κινητικότητα και δυναμικά ρυθμιζόμενα μοτίβα δρομολόγησης. Επιπλέον, μπορούν να περιλαμβάνουν πολλά στοιχεία δικτύου των υποδομών και τα τερματικά ενδέχεται να είναι οργανωμένα με λιγότερο αυστηρό τρόπο σε σχέση με τις υποδομές. Ο ρόλος τους είναι να βοηθούν τις υπάρχουσες υποδομές και όχι να αποτελέσουν μια εναλλακτική λύση υποδομών. Η διαχείριση των ONs επιτυγχάνεται μέσω πολιτικών που προβλέπονται από το διαχειριστή του δικτύου., ενώ η διαχείριση του δικτύου παρέχει το συνολικό επιχειρησιακό πλαίσιο ενός ON [9].

Εν συνεχεία, τα ONs δημιουργούνται προσωρινά, για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την υποστήριξη συγκεκριμένων υπηρεσιών του δικτύου καθώς και τη κάλυψη νέων εφαρμογών του Διαδικτύου του Μέλλοντος. Σε μια συγκεκριμένη περιοχή είναι δυνατό να έχουν αναπτυχθεί περισσότερα από ένα ONs, όπου ο συντονισμός τους γίνεται από το χειριστή. Εξετάζοντας τα πιο χαμηλά επίπεδα, το φάσμα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία των κόμβων στο ONs ορίζεται από το χειριστή, ενώ σε επίπεδο δικτύου, αξιοποιούνται το πλαίσιο λειτουργίας, οι πολιτικές, το προφίλ και η γνώση για τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης και των υπηρεσιών. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μηχανισμών για την αποτελεσματική και δυναμική δημιουργία ONs οι οποίοι χρειάζεται να συμμορφώνονται με την επιλογή των κόμβων σύμφωνα με συγκεκριμένα και προκαθορισμένα χαρακτηριστικά.

Από αυτή την άποψη τα ONs μπορούν να χαρακτηριστούν ως μέρος του Cognitive Control Network (CCN) όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6 [10] .



Εικόνα 6: Το γνωσιακό ασύρματο δίκτυο του Future Internet

Το CCN περιλαμβάνει ένα σύνολο από λειτουργίες με στόχο την εισαγωγή γνωσιακών μηχανισμών στο συνεχώς εξελισσόμενο ασύρματο κόσμο. Η αυτόματη δημιουργία των ONs είναι πιθανό να οφείλεται στο αποτέλεσμα προηγμένης λήψης αποφάσεων που προβλέπονται από τους γνωσιακούς μηχανισμούς.

3.1 Κύκλος ζωής των ONs

Ο κύκλος ζωής ενός ON αποτελείται από τέσσερις φάσεις:

- προσδιορισμό καταλληλότητας
- δημιουργία
- συντήρηση
- τερματισμό

3.2 Προσδιορισμός Καταλληλότητας

Η φάση του προσδιορισμού καταλληλότητας είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς βασίζεται στη παρατήρηση του ασύρματου περιβάλλοντος, των δυνατοτήτων των κόμβων, των πολιτικών διαχείρισης του δικτύου, των προφίλ των χρηστών. Το αποτέλεσμα αυτής της φάσης είναι καθορίζει κατά πόσο είναι κατάλληλη ή όχι η



δημιουργία ενός ON, σε ένα δεδομένο χώρο και χρόνο. Προκειμένου να αξιολογηθεί η καταλληλότητα, χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψιν ως κύριες πηγές, τόσο η ανίχνευση ευκαιριών για εγκατάσταση των ON σε σχέση με το σύνολο των κόμβων όσο και οι πιθανές ασύρματες διαδρομές. Ως αποτέλεσμα, ο διαχειριστής του δικτύου χρειάζεται να γνωρίζει τις σχετικές πληροφορίες των κόμβων.

Κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών. Τέτοια είναι οι δυνατότητες τους που περιλαμβάνει τις διαθέσιμες διεπαφές, τα υποστηριζόμενα RATs, συχνότητες και πολλαπλές συνδέσεις καθώς και τις δυνατότητες μετεγκατάστασης/ γεφύρωσης και η κατάσταση κάθε υποψήφιου κόμβου όσον αφορά τους πόρους για τη μεταβίβαση, την αποθήκευση, την επεξεργασία και την ενέργειά τους. Επιπλέον ο χειριστής είναι απαραίτητο να γνωρίζει τη θέση κάθε κόμβου όπως και το επίπεδο της κινητικότητας. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι κάθε κόμβος να έχει κάποιο είδος πρόσβασης στην υποδομή ή σε κάποιο αποσυμφορημένο Access Point (AP) [9].

Τέλος, είναι χρήσιμο να λαμβάνονται υπ' όψιν οι απαιτήσεις των εφαρμογών καθώς και ο βαθμός ομοιότητας των απαιτούμενων εφαρμογών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το καθορισμό των εμπλεκόμενων εφαρμογών, τις απαιτήσεις των πόρων και τη καταλληλότητά τους ώστε να παρέχονται μέσω ONs. Επίσης, χρειάζεται να εξεταστούν και τα δυνητικά οφέλη από τη πιθανή δημιουργία ενός ON ώστε να είναι πλήρης η πληροφορία που παρέχεται από το συγκεκριμένο βήμα.

3.3 Δημιουργία ONs

Η επόμενη φάση στο κύκλο ζωής των ON είναι η δημιουργία τους. Η φάση αυτή είναι υπεύθυνη για τη παροχή μηχανισμών και αποφάσεων για την αποτελεσματική δημιουργία των ONs, βασισμένη στο αποτέλεσμα της πρώτης φάσης ως προς το προσδιορισμό της καταλληλότητας. Επικεντρώνεται στην επιλογή των κόμβων σύμφωνα με τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά και των βέλτιστων ασύρματων διαδρομών ώστε να διασφαλιστεί η βέλτιστη ποιότητα στις υπηρεσίες.

Τέλος, εκτελεί όλες τις απαιτούμενες διαδικασίες για την αποτελεσματική σύνδεση των μελών του ON μεταξύ τους και τη διασφάλιση, όσον αφορά την υποδομή, της συνέχισης παροχής υπηρεσιών στα μέλη του. Από αυτή τη φάση, προκύπτουν οι επιλεγμένοι κόμβοι, οι συνδέσεις, οι διεπαφές, τα RATs και το φάσμα [9].

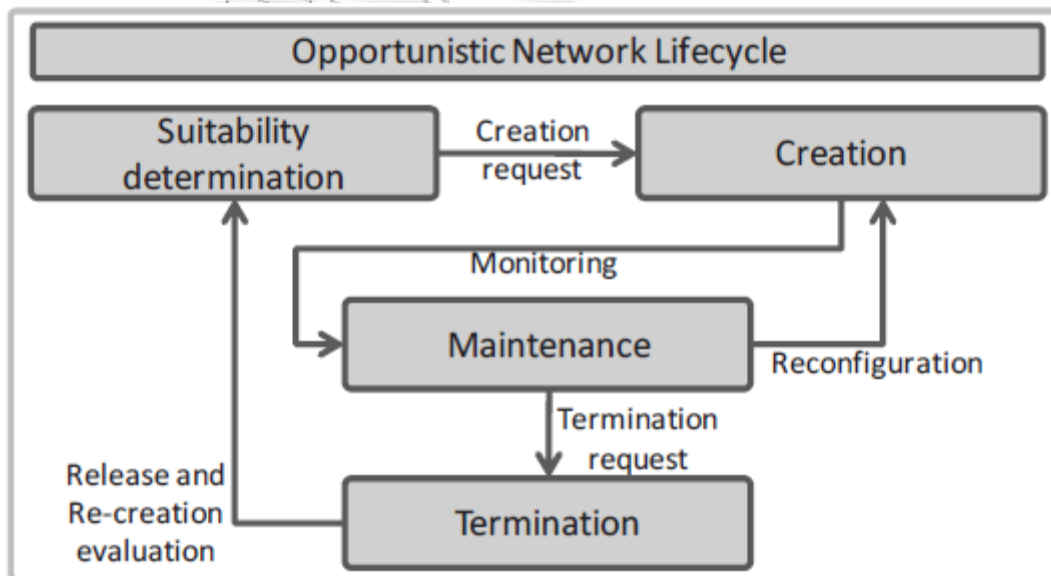
3.4 Συντήρηση των ONs

Όταν ένα ON δημιουργείται, θα πρέπει συνεχώς να προσαρμόζεται δυναμικά στις αλλαγές του περιβάλλοντός του. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, μετά την φάση δημιουργίας ενός ON ξεκινάει η φάση της συντήρησης.

Σε γενικές γραμμές, στη φάση της συντήρησης, γίνεται συνεχώς παρακολούθηση των κόμβων, του φάσματος, των πολιτικών του διαχειριστή, της ποιότητας των υπηρεσιών καθώς και λήψη αποφάσεων ως προς τη καταλληλότητα για αναδιάρθρωση του ON. Η παρακολούθηση των μηχανισμών κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ON γίνεται ώστε να μπορεί το σύστημα να προσαρμόζεται στις αλλαγές που στο ON και να πράττει αναλόγως [9].

3.5 Τερματισμός των ONs

Στη τελευταία φάση του κύκλου ζωής, τον τερματισμό, λαμβάνεται η απόφαση για 'απελευθέρωση' του ON, οπότε και όλων των απαραίτητων λειτουργιών και του σήματος με το οποίο συνδέεται. Οι λόγοι όμως τερματισμού ενός ON ποικίλουν. Ένας πιθανός λόγος είναι να υπάρξει αίτημα διακοπής παροχής της εφαρμογής, ενώ κάποιος άλλος είναι ο υποχρεωτικός τερματισμός λόγω έλλειψης κερδών.



Εικόνα 7: Κύκλος ζωής ενός ON



Σύμφωνα με την Εικόνα 7 η φάση προσδιορισμού καταλληλότητας προκαλεί τη φάση δημιουργίας ενός ΟΝ. Όταν αυτό δημιουργηθεί επιτυχώς, απαιτείται συχνός έλεγχος για τη διατήρηση της σωστής λειτουργίας του ΟΝ. Αν αυτό κρίνεται απαραίτητο, είναι πιθανό να δημιουργηθεί εκ νέου το ΟΝ. Από τη φάση της συντήρησης μπορεί να αποφασιστεί διακοπή της λειτουργίας του ΟΝ, σε περιπτώσεις που αυτό συναντήσει πρόβλημα στη διατήρηση της καλής ποιότητας των υπηρεσιών ή αν η παροχή της εφαρμογής διεκόπη επιτυχώς, οπότε το ΟΝ πλέον δεν χρειάζεται.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 COGNITIVE SYSTEMS

4.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Τα Cognitive Systems ή Γνωσιακά Συστήματα καθορίζουν τη συμπεριφορά τους, με ένα αντιδραστικό ή προληπτικό τρόπο, με βάση τα εξωτερικά ερεθίσματα (θέματα περιβάλλοντος), καθώς και τους στόχους, τις αρχές, τις ικανότητες, την εμπειρία και τη γνώση. Στην περίπτωση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, ο ορισμός αυτός σημαίνει ότι ένα Cognitive System έχει τη δυνατότητα να επιλέξει δυναμικά τη διάρθρωση του δικτύου, μέσω της λειτουργίας της αυτοδιαχείρισης το οποίο προσεγγίζει τις βέλτιστες αποφάσεις, λαμβάνοντας υπόψη το πλαίσιο λειτουργίας (απαιτήσεις του περιβάλλοντος και τα χαρακτηριστικά του), τους στόχους και τις πολιτικές [11] (που αντιστοιχούν στις αρχές), το προφίλ (που αντιστοιχεί σε δυνατότητες) και τη μηχανική μάθηση (για τη διαχείριση και αξιοποίηση της γνώσης και της εμπειρίας) [12] [13] [14] [15] [16].

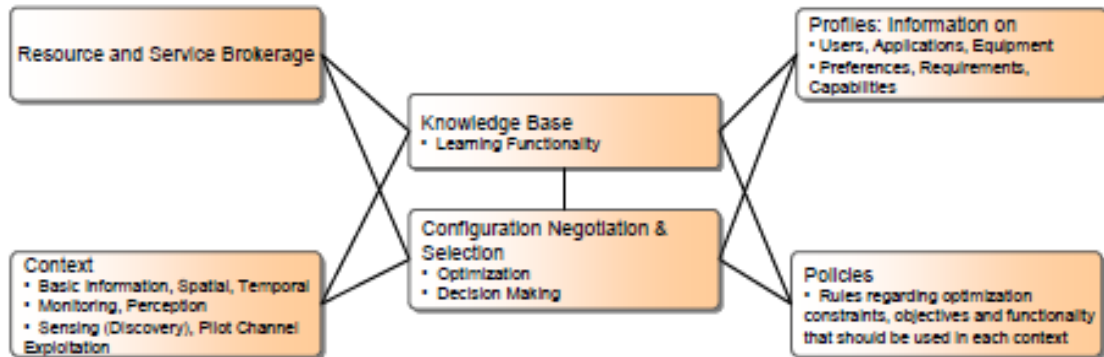
Όπως μπορεί να προκύψει από τους παραπάνω ορισμούς, τα Cognitive Systems έχουν εκείνα τα χαρακτηριστικά (επίγνωση πλαισίου, πολιτικές, προφίλ, δυνατότητα λήψης βέλτιστων αποφάσεων) που απαιτούνται για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων που προσδιορίζονται για τη λειτουργικότητα της διαχείρισης. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από δύο πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά, δηλαδή, τη μάθηση και την αυτο-διαχείριση, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας και προσφέρουν επεκτασιμότητα.

Η μάθηση δίνει τη δυνατότητα το σύστημα να αποκτήσει σταδιακά τις γνώσεις σχετικά με το πώς να χειριστεί πολύπλοκες καταστάσεις. Αυτό μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, καθώς επίσης το βαθμό βεβαιότητας σχετικά με την ποιότητα των αποφάσεων. Ως εκ τούτου, η μάθηση

συμβάλλει στην προσφορά της κλιμάκωσης. Η αυτο-διαχείριση μπορεί επίσης να αυξήσει την ταχύτητα με την οποία αντιμετωπίζονται οι συχνές αλλαγές της κατάστασης. Επιπλέον, σε συνδυασμό με την σωστή κατανομή των γνωσιακών συστημάτων στην υποδομή, αποφέρει επίσης την επεκτασιμότητα που απαιτείται για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των συχνών αλλαγών της κατάστασης. Η αυτο-διαχείριση περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα για την αυτο-ρύθμιση, την αυτό-βελτιστοποίηση, την αυτο-ίαση και την αυτο-προστασία. Οι λειτουργικές αυτές περιοχές είναι ανάλογες με τη διαχείριση των συνθέσεων, των επιδόσεων, των λαθών και της ασφάλειας, που προσφέρονται από τις συμβατικές πλατφόρμες. [17]

4.2 Δομή Γνωσιακών Συστημάτων

Ένα γνωσιακό σύστημα στην ασύρματη περιοχή “Beyond the 3rd Generation (B3G)” χαρακτηρίζεται από τη λειτουργικότητα της διαχείρισης και από τα διαχειρίσιμα στοιχεία αναδιάρθρωσης (ένα ή περισσότερα) [18] [19] [20].



Εικόνα 8: Ανάλυση λειτουργιών ενός Γνωσιακού Συστήματος

Το κομμάτι της διαχείρισης ενός γνωσιακού συστήματος αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

- Πλαίσιο Λειτουργίας (Context) : Υποστηρίζει την επίγνωση του περιεχομένου
- Προφίλ (Profiles) : Υποστηρίζει την ανάγκη για εξατομίκευση και διάχυτη χρήση υπολογιστών



- Πολιτικές (Policies) : Προσφέρουν λειτουργικότητα και κανόνες για καλύτερη συνδεσιμότητα
- Πόροι και 'μεσιτικές' υπηρεσίες (Resource and service brokerage) : Επιτρέπει τη συνεργασία μεταξύ των γνωσιακών συστημάτων. Η συνεργασία είναι ρητή απαίτηση σε επιχειρηματικό επίπεδο και επίσης συμβάλλει στην επίτευξη καλύτερης συνδεσιμότητας, με συνεχή και αδιάλειπτο τρόπο.
- Διαπραγμάτευση και Επιλογή Διάρθρωσης (Configuration negotiation and selection) : Προσφέρουν λειτουργικότητα και κανόνες για καλύτερη συνδεσιμότητα
- Βάση Γνώσης (Knowledge base) : Στηρίζεται στη λειτουργικότητα της εκμάθησης η οποία, είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας και επεκτασιμότητα

Το '**Πλαίσιο Λειτουργίας**' παρέχει τη δυνατότητα για αντίληψη και αιτιολογία της κατάστασης των υπό διαχείριση στοιχείων αναδιάρθρωσης και του περιβάλλοντός τους. Διαφορετικά, το συγκεκριμένο στοιχείο παρέχει το πλαίσιο, στο οποίο τα υπό διαχείριση στοιχεία λειτουργούν. Σχετικές πληροφορίες μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι οι βασικές πληροφορίες, κυρίως για τη περιοχή και το χρόνο. Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται στην παρακολούθηση ή αντίληψη των λειτουργιών. Επίσης, παρέχει τις τρέχουσες συνθήκες για τη κίνηση, την κινητικότητα και τις παρεμβολές, καθώς και τα επίπεδα ποιότητας QoS υπηρεσιών που προσφέρει, από την τρέχουσα διαμόρφωση των διαχειριζόμενων στοιχείων. Τέλος, η τρίτη κατηγορία βασίζεται στην ανίχνευση της λειτουργικότητας και, ενδεχομένως, τις πληροφορίες που διαβιβάζονται από τα pilot channels. Παρέχει επίσης, τις δυνατότητες των εναλλακτικών διαμορφώσεων πομποδεκτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα υπό διαχείριση στοιχεία. Από μια ευρύτερη άποψη, το συγκεκριμένο στοιχείο, σε συνεργασία με τα άλλα και ειδικότερα, τη 'Βάση Γνώσης', μπορεί να σκεφθεί για το "τι" είναι γενικά δυνατό, υπό τις παρούσες συνθήκες. Το στοιχείο αυτό περιορίζει τις επιλογές που αναφέρονται στο στοιχείο 'Προφίλ'.

Το '**Προφίλ**' παρέχει τα μέσα για την αναπαράσταση και την ενημέρωση των πληροφοριών σχετικά με τα διαχειριζόμενα στοιχεία, τις προσφερόμενες εφαρμογές, καθώς και των εξυπηρετούμενων χρηστών και του εξοπλισμού. Όσον αφορά τα στοιχεία του δικτύου διαχείρισης και του εξοπλισμού εξυπηρέτησης, η εστίαση γίνεται στις ικανότητές του, δηλαδή, οι συνθέσεις με τις οποίες μπορεί να



λειτουργεί, κυρίως, από την άποψη των RATs και του φάσματος που μπορούν να λειτουργούν ανά πομποδέκτη. Όσον αφορά τις εφαρμογές εστιάζουμε στα επιτρεπτά επίπεδα QoS στα οποία μπορούν να προσφερθούν. Ως προς τους χρήστες που εξυπηρετούνται εστιάζουμε στη συμπεριφορά τους (όταν χρησιμοποιείται κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή), στις προτιμήσεις τους (όσον αφορά τα επίπεδα QoS ανά εφαρμογή) και στις συμφωνίες τους (εύρος των επιτρεπόμενων επιπέδων QoS ανά εφαρμογή). Από μια ευρύτερη άποψη, το στοιχείο αντανακλά το "τι" είναι γενικά δυνατό.

Οι **‘Πολιτικές’** είναι θεμελιώδεις σε ένα γνωσιακό (αυτο-διαχειριζόμενο) σύστημα. Οι πολιτικές καθορίζουν τους κανόνες που πρέπει να διέπουν τη συμπεριφορά των υπό διαχείριση στοιχείων. Ως εκ τούτου, οι πολιτικές μπορούν να καθορίζουν περιορισμούς, στόχους βελτιστοποίησης και τη λειτουργικότητα που πρέπει να ακολουθείται από το στοιχείο **‘Διαπραγμάτευση και Επιλογή Διάρθρωσης’**, σε συγκεκριμένο πλαίσιο. Ουσιαστικά, αυτό το στοιχείο μπορεί να βελτιώσει τη πληροφορία για το "τι" επιτρέπεται γενικά, στην τρέχουσα κατάσταση. Το στοιχείο αυτό περιορίζει τις επιλογές που αναφέρονται στο στοιχείο **‘Πλαίσιο Λειτουργίας’**.

Οι **‘Πόροι και ‘μεσιτικές’ υπηρεσίες’** προσφέρουν τη λειτουργικότητα της συνεργασίας που είναι αναγκαία στην εποχή B3G [21]. Μέσα από αυτό το στοιχείο ένα γνωσιακό σύστημα είναι σε θέση να συνεργαστεί με άλλα. Η συνεργασία μπορεί να περιλαμβάνει αιτήματα για κοινή χρήση ή ανταλλαγών πόρων.

Η συνιστώσα **‘Διαπραγμάτευση και Επιλογή Διάρθρωσης’** παρέχει την απαραίτητη λειτουργικότητα βελτιστοποίησης. Τα δεδομένα εισόδου του περιλαμβάνουν την πληροφορία για το περιεχόμενο, το προφίλ και τις πολιτικές. Τα δεδομένα εξόδου περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση αποφάσεων. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να υπάρχει ένα σημαντικός αριθμός υπολογισμών που σχετίζονται με τον προσδιορισμό των βέλτιστων διαμορφώσεων[22]. Στο πλαίσιο αυτό, για το σχεδιασμό υπολογιστικά αποδοτικών αλγορίθμων που μπορούν να παρέχουν καλές (σχεδόν βέλτιστες) λύσεις, απαιτείται ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Οι κλασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι αλγόριθμοι simulated annealing [23], οι γενετικοί αλγόριθμοι [24], taboo αναζήτηση [25], άπληστοι αλγόριθμοι [22], και άλλοι. Μπορούν επίσης να σχεδιαστούν και Hybrid heuristic τεχνικές .

Η **‘Βάση Γνώσεων’** εκμαιεύει τα ακόλουθα:

- Σχετικά με το **‘Πλαίσιο Λειτουργίας’**, τις καταστάσεις που αντιμετώπισε το γνωσιακό σύστημα, δηλαδή, τη κυκλοφορία, τη κινητικότητα, τις



παρεμβολές και την κατάσταση του δικτύου, σε διάφορες χρονικές στιγμές και τοποθεσίες.

- Σχετικά με το 'Προφίλ', τις προτιμήσεις του χρήστη και τη συμπεριφορά του στα διάφορα πλαίσια.
- Σχετικά με τις 'Πολιτικές', την αποτελεσματικότητα των διαφόρων πολιτικών στα διάφορα πλαίσια.
- Σχετικά με τη 'Διαπραγμάτευση και Επιλογή Διάρθρωσης' τις καλύτερες διαμορφώσεις για το χειρισμό κάθε παρόμοιας κατάστασης και αίτησης 'μεσιτείας' των πόρων.

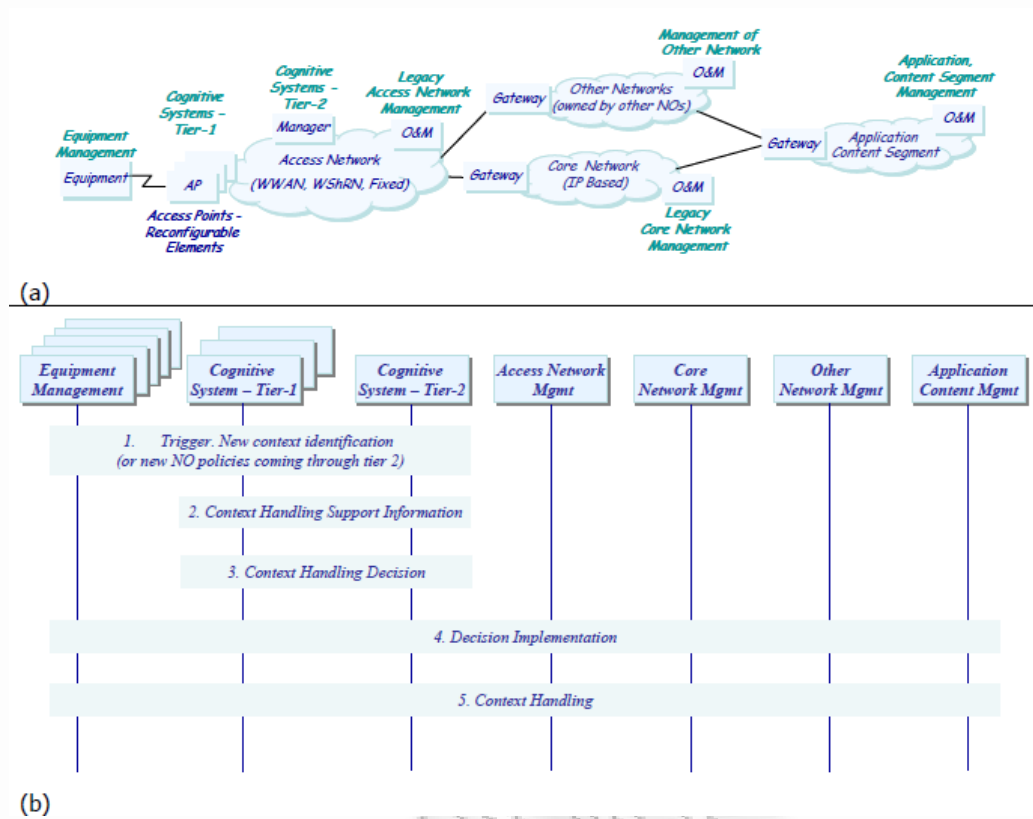
4.3 Ανάπτυξη Γνωσιακών Συστημάτων σε ασύρματο B3G περιβάλλον

Η γνώση μπορεί να αποκτηθεί με την εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης [12] [13] [14] [15].

Τα Cognitive Systems που πρόκειται να αναπτυχθούν μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βαθμίδες. Στη πρώτη βαθμίδα έχει οντότητες στο επίπεδο των σημείων πρόσβασης των υποδομών. Η δεύτερη βαθμίδα θα έχει λιγότερο αποκεντρωμένο ρόλο.

Κάθε γνωσιακό σύστημα της πρώτης βαθμίδας μπορεί να διαχειρίζεται ένα σύνολο σημείων πρόσβασης. Θα πρέπει να αναπτυχθούν σε ένα περιβάλλον όπου θα υπάρχουν

- (i) Οντότητες διαχείρισης δύο βαθμίδων
- (ii) Cognitive Systems δύο βαθμίδων
- (iii) Πλατφόρμες διαχείρισης κληρονομικότητας τα οποία στοχεύουν στη πρόσβαση, στο δίκτυο πυρήνα, σε άλλα δίκτυα που ανήκουν σε άλλα ΝΟs, την εφαρμογή και το περιεχόμενο.



Εικόνα 9: Ανάπτυξη γνωσιακών συστημάτων σε B3G περιβάλλον

Εν συνεχεία, κάθε γνωσιακό σύστημα της δεύτερης βαθμίδας θα μπορεί να διαχειρίζεται ένα σύνολο οντοτήτων της πρώτης βαθμίδας. Ο ρόλος των συστημάτων στη δεύτερη βαθμίδα είναι

- (i) η συμπλήρωση της πρώτης βαθμίδας, στη περίπτωση έλλειψης γνώσης, όπως για παράδειγμα ως προς το 'Προφίλ', τις 'Πολιτικές' ή πως να χειριστεί ορισμένες περιπτώσεις
- (ii) ο ρόλος του ως μεσάζων μεταξύ της πρώτης βαθμίδας και του NO (είτε γενικά είτε σε επιχειρησιακό επίπεδο). Είναι δυνατό να ενημερώνεται πρώτα η δεύτερη βαθμίδα με τις 'Πολιτικές' που εισήχθησαν από τα NO και στη συνέχεια να γίνεται κατανομή στη πρώτη βαθμίδα.

4.4 Αρχιτεκτονική Γνωσιακών Συστημάτων

Η αρχιτεκτονική των γνωσιακών συστημάτων είναι στην πραγματικότητα το αποτέλεσμα μιας τυποποιημένης διαδικασίας μηχανικής, η οποία άρχισε με την εξέταση διαφόρων σεναρίων συστήματος και τον ορισμό ενός μεγάλου συνόλου

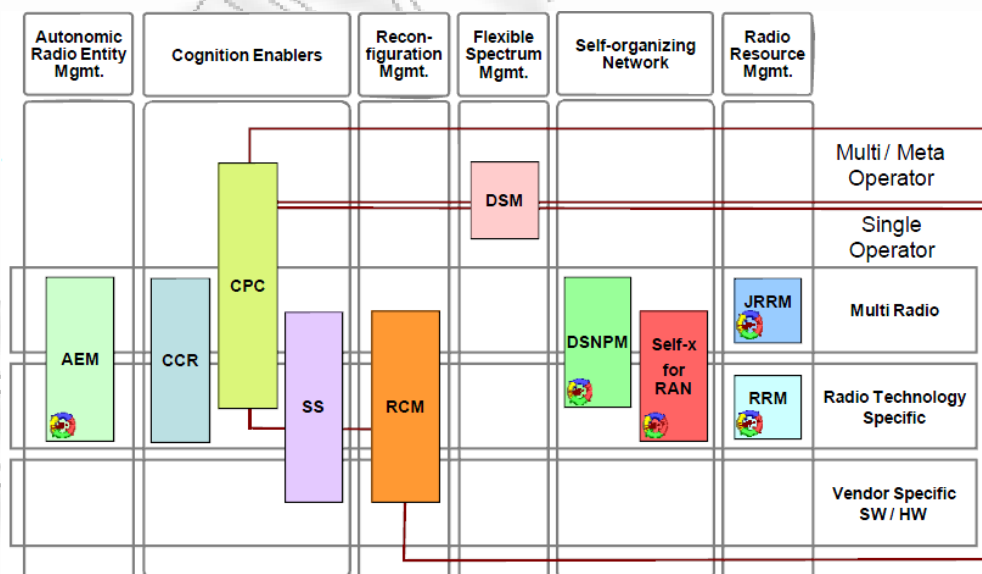


αντίστοιχων περιπτώσεων χρήσης που ενθυλακώνουν τις βασικές έννοιες και τους στόχους του έργου. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης χρησιμοποιήθηκαν αργότερα, για την παραγωγή των λειτουργικών απαιτήσεων. Με βάση τη φύση τους και τα βασικά τεχνικά ζητήματα που θέτουν, οι απαιτήσεις έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα και τελικά οδήγησαν στη διαμόρφωση των κύριων λειτουργικών ενοτήτων (οικοδομικά τετράγωνα) της αρχιτεκτονικής.

Ειδικότερα, τα δομικά στοιχεία της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής οργανώνονται σε ένα σύνολο από 6 πυλώνες, και συγκεκριμένα:

- Διαχείριση Αυτόνομης Ασύρματης Οντότητας (Autonomic Radio Entity Management),
- Γνώση Προϋποθέσεων (Cognition Enablers),
- Διαχείριση Αναδιάρθρωσης (Reconfiguration Management),
- Ευέλικτη Διαχείριση του Ραδιοφάσματος (Flexible Spectrum Management),
- Αυτο-οργάνωση του Δικτύου (Self-organizing Network),
- Διαχείριση Ασύρματων Πόρων (Radio Resource Management)

τα οποία και παρουσιάζονται στην Εικόνα 10. Στο ίδιο σχήμα, στο κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι διάφορες περιπτώσεις αναπτύξεων της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής, ονομαστικά (από πάνω προς τα κάτω) : Multi/Meta Operator, Single Operator, Multi Radio, Radio Technology Specific and Vendor Specific HW/SW.



Εικόνα 10: Οι 6 πυλώνες της αρχιτεκτονικής ασύρματων γνωστικών συσκευών



Πιο αναλυτικά:

Η 'Autonomic Radio Entity Management' ή Διαχείριση Αυτόνομης Ασύρματης Οντότητας περιέχει την οντότητα AEM (Autonomic Entity Management) ή Διαχείριση Αυτόνομης Οντότητας. Η AEM στοχεύει στην αυτόνομη λειτουργία των ασύρματων γνωσιακών οντοτήτων για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης του συστήματος.

Ο πυλώνας 'Cognition Enablers', όπως προσδιορίζει και το όνομά του, περιέχει τις τεχνολογίες οι οποίες αναπτύχθηκαν/βελτιώθηκαν ώστε να διευκολυνθεί η αποτελεσματική, γνωσιακή επικοινωνία σε ένα ετερογενές περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα τις:

- (i) CCR (Cognitive Control Radio)
- (ii) CPC (Cognitive Pilot Channel) και
- (iii) SS (Spectrum Sensing)

Το 'Reconfiguration Management' ή Διαχείριση Επαναδιάρθρωσης περιέχει το RCM (Reconfiguration Control Module) το οποίο είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση της επαναδιάρθρωσης ενός τερματικού ή σταθμού βάσης, ακολουθώντας τις οδηγίες που παρέχονται από άλλα δομικά στοιχεία, συνήθως το DSNPM, το Self-x του RAN και το JRRM.

Το 'Flexible Spectrum Management' ή Ευέλικτη Διαχείριση Φάσματος περιέχει το DSM (Dynamic Spectrum Management) ή Δυναμική Διαχείριση Φάσματος. Το DSM εκτελεί τη μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη διαχείριση (σε τάξη ωρών ή ημερών) του φάσματος για τα διάφορα ασύρματα συστήματα και παρέχει τη γνώση σχετικά με τις πολιτικές εκχώρησης ραδιοφάσματος.

Ο πυλώνας του 'Self-organizing Network' ή Αυτο-οργάνωσης Δικτύου αποτελείται από δύο τμήματα, τα:

- (i) DSNPM (Dynamic Self-organising Network Planning & Management), το οποίο παρέχει τις μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αποφάσεις κατά τις ενέργειες αναδιάρθρωσης ενός τμήματος του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψιν ορισμένα στοιχεία εισόδου και εφαρμόζοντας λειτουργικότητα βελτιστοποίησης, με δυνατότητες εκμάθησης
- (ii) Self-X του RAN (Self-x for Radio Access Networks), το οποίο στοχεύει στις λειτουργίες αυτο-οργάνωσης για τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης,



παρέχοντας κυρίως βραχυπρόθεσμες με μεσοπρόθεσμες αποφάσεις και εστιάζει στις περιπτώσεις συγκεκριμένου διαχειριστή RAT όπως οι “handover parameter optimization”, “cell outage detection and compensation” και “load balancing”.

Ο τελευταίος πυλώνας ‘Radio Resource Management’ ή Διαχείριση Ασύρματων Πόρων είναι υπεύθυνος για τους ασύρματους πόρους και ως εκ τούτου περιέχει τα

- (i) JRRM (Joint Radio Resource Management), το οποίο εκτελεί τη κοινή διαχείριση των ασυρματων πόρων τα οποία είναι δυνατό να ανήκουν σε ετερογενή RATs και
- (ii) RRM (Radio Resource Management), το οποίο περιέχει τη λειτουργικότητα διαχείρισης συγκεκριμένου ασύρματου πόρου που υπάρχει ήδη, όπως για παράδειγμα στα υπάρχοντα δίκτυα GSM και UMTS αλλά χρειάζεται να επεκταθούν με μια ενοποιημένη διεπαφή προς το JRRM.



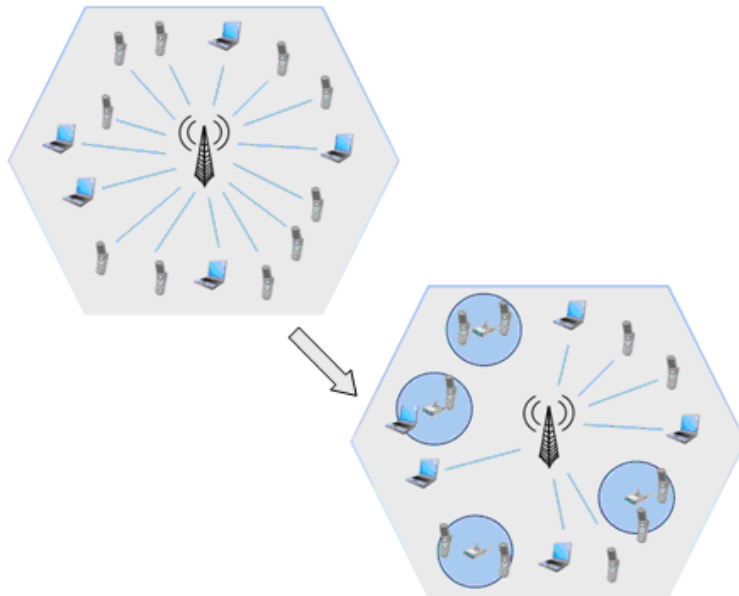
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 FEMTOCELLS

5.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

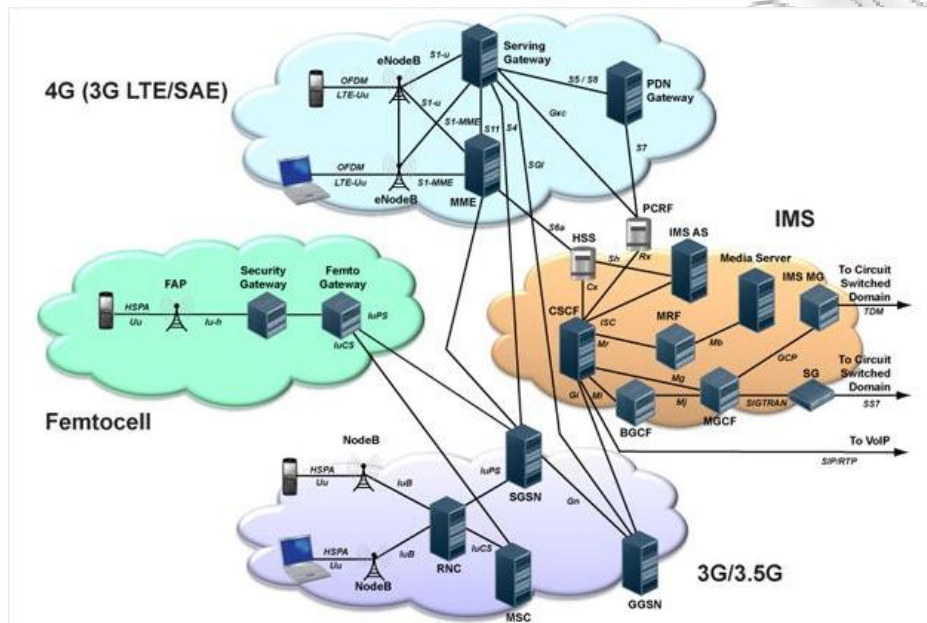
Με την ευρεία χρήση των ασύρματων δικτύων και την αυξημένη κίνηση σε αυτά, καλύπτουν τα 2/3 της φωνής και το 90% της κίνησης δεδομένων (data), προκύπτει πρόβλημα στην εσωτερική κάλυψη του δικτύου. Ο τρόπος με τον οποίο οι διάφοροι πάροχοι διαχειρίζονται σήμερα το συγκεκριμένο πρόβλημα, είναι με τη χρήση Wifi και Distributed Antenna Systems (DAS). Παράλληλα όμως γίνονται προσπάθειες εξεύρεσης νέων μεθόδων ώστε να καλύπτονται μεν οι απαιτήσεις των χρηστών με το καλύτερο δυνατό τρόπο αλλά και να μειώνεται το κόστος και η πολυπλοκότητα του δικτύου [28].



Εικόνα 11: Λειτουργία Femtocells



Από τη στιγμή που τα macrocells δεν είναι πολύ αποτελεσματικά ως προς την εσωτερική κάλυψη λόγω των μεγάλων απωλειών διείσδυσης, μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση αποτελεί η χρήση σημείων πρόσβασης femtocells.

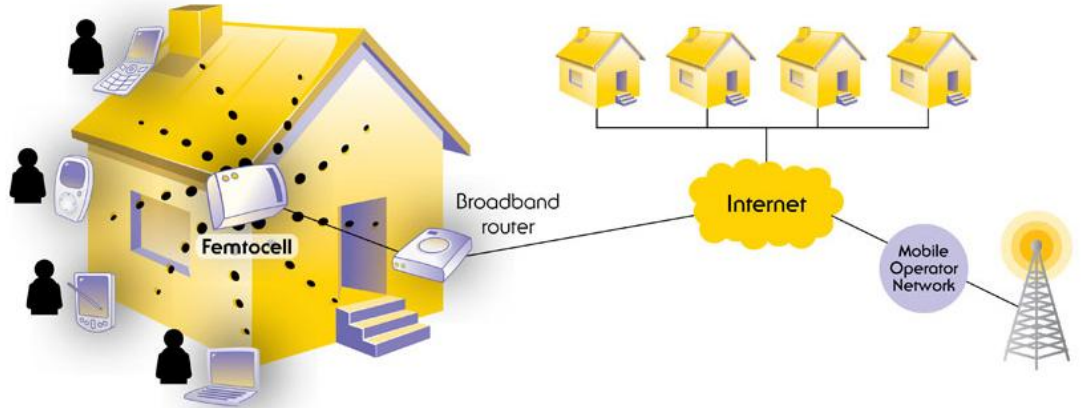


Εικόνα 12: Femtocells και LTE δίκτυο

Ένα femtocell είναι ένας BS κυψέλης, χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος που αναπτύσσεται από το τελικό πελάτη. Από την υλοποίηση των femtocells αναμένεται ενίσχυση της εσωτερικής κάλυψης, δυνατότητα παροχής μεγαλύτερου εύρους ζώνης και νέων υπηρεσιών καθώς και αποφόρτωση της κίνησης στα υπάρχοντα δίκτυα [27].

5.2 Προβλήματα tier-2 δικτύων

Εντούτοις δεν είναι ακόμη δυνατό να αποκομισθούν αυτά τα οφέλη καθώς υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού από femtocells πάνω στα υπάρχοντα macrocells. Επίσης ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στα tier-2 δίκτυα είναι η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, η οποία μπορεί να εμποδίσει τα παραπάνω οφέλη και να επηρεάσει ακόμη και την απόδοση ολόκληρου του δικτύου [29].



Εικόνα 13: Οικιακή χρήση των Femtocells

Στα tier-2 δίκτυα οι παρεμβολές κατατάσσονται ως εξής:

- Cross-tier: είναι οι παρεμβολές που προκαλούνται από ένα στοιχείο της βαθμίδας του femtocell στη βαθμίδα του macrocell και το αντίστροφο.
- Co-tier: είναι η παρεμβολή που συναντάται μεταξύ των στοιχείων της ίδιας βαθμίδας, για παράδειγμα μεταξύ γειτονικών femtocells.

Η επίδραση των παρεμβολών εξαρτάται από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κατανομή των πόρων στις βαθμίδες των macrocell και femtocell, όπως και στη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη πρόσβαση στα femtocell [28].

Σε μια ορθογώνια ανάπτυξη από macrocells και femtocells, όπου σε κάθε βαθμίδα αποδίδονται ξεχωριστοί carriers αφαιρούνται εξ ολοκλήρου οι παρεμβολές cross-tier. Αυτό όμως γίνεται με κόστος τη μείωση του εύρους της απόδοσης του δικτύου. Αντιθέτως, οι αναπτύξεις co-channel όπου και οι 2 βαθμίδες μοιράζονται τους carriers μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο εύρος της απόδοσης δια μέσου της χρήσης τεχνικών αυτο-οργάνωσης. Σε αυτή τη περίπτωση και για την αποφυγή των παρεμβολών, χρειάζεται να γίνει έξυπνη κατανομή των πόρων της ενέργειας, της συχνότητας και του χρόνου του femtocell βάσει ακριβούς αίσθησης του ασύρματου περιβάλλοντος καθώς και η βέλτιστη ρύθμιση των παραμέτρων του. Με αυτό το τρόπο οι παρεμβολές cross-tier μπορούν να μετριασθούν αποτελεσματικά.

5.3 Μηχανισμοί Ελέγχου Πρόσβασης

Η απόδοση συνολικά του δικτύου επηρεάζεται και από τους μηχανισμούς ελέγχου πρόσβασης των femtocells, κυρίως λόγω του ρόλου τους στο καθορισμό των παρεμβολών. Οι προσεγγίσεις που έχουν προταθεί, είναι οι εξής:

- Closed Access: Μόνο ένα υποσύνολο χρηστών, καθορισμένο από τον διαχειριστή του femtocell, μπορεί να συνδεθεί στο femtocell. Το μοντέλο αυτό αναφέρεται και ως closed subscriber group (CSG) από το Third Generation Partnership Project (3GPP) [30].
- Open access: Όλοι οι πελάτες του φορέα έχουν δικαίωμα να κάνουν χρήση οποιουδήποτε femtocell.
- Hybrid Access: Ένας περιορισμένος αριθμός από femtocell διατίθενται σε όλους τους χρήστες του δικτύου ενώ τα υπόλοιπα λειτουργούν με τον (CSG) τρόπο.



Εικόνα 14: Μηχανισμοί Ελέγχου Πρόσβασης (a) Closed (b) Open (c) Hybrid

Όταν η μέθοδος πρόσβασης εμποδίζει τη χρήση του femtocell για ένα υποσύνολο των χρηστών εντός της περιοχής κάλυψης, ένα νέο σύνολο παρεμβαλλόμενων σημάτων ορίζεται εμμέσως σε αυτή τη περιοχή. Ως εκ τούτου στην ανάπτυξη CSG femtocells γίνεται πιο σύνθετο το πρόβλημα του περιορισμού των παρεμβολών. Αντιθέτως, η ανάπτυξη open femtocells θα έλυne αυτό το πρόβλημα αλλά θα δημιουργούσε ανησυχίες στο πελάτη ως προς την ασφάλεια και την



ανταλλαγή δεδομένων. Επιπλέον όταν οι χρήστες κινούνται σε περιοχές με μεγάλο αριθμό από open femtocells αυξάνεται ο αριθμός των μεταβιβάσεων κι έτσι και το σήμα του δικτύου. Τέλος οι hybrid μέθοδοι πρόσβασης αποτελούν μια μέση κατάσταση ανάμεσα στις open και closed προσεγγίσεις. Ωστόσο, ο αριθμός των κοινών πόρων πρέπει να ρυθμίζεται προσεκτικά ώστε να μην επηρεάζεται η ποιότητα των υπηρεσιών των femtocells [28].

Οι μηχανισμοί ελέγχου πρόσβασης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο μετριασμό των cross-tier παρεμβολών και της προσπάθειας μεταβιβάσεων, γι' αυτό και πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά ανάλογα με το προφίλ του πελάτη και τις ανάγκες που καλούνται να εξυπηρετήσουν. Παρακάτω περιγράφονται οι μέθοδοι ελέγχου πρόσβασης που εφαρμόζονται ήδη για τα femtocells με τα πλεονεκτήματά και μειονεκτήματά τους ενώ παρουσιάζονται και κάποια σενάρια και τεχνικές προκλήσεις αυτών μαζί με κάποιες πιθανές λύσεις.

5.3.1 Χρήστες femtocell

Για τη καλύτερη περιγραφή των διαδικασιών ελέγχου πρόσβασης σε femtocells είναι χρήσιμο να γίνει διαχωρισμός των χρηστών ανάλογα με τα δικαιώματα του femtocell όπου είναι συνδεδεμένοι [28].

Σε αυτό το πλαίσιο:

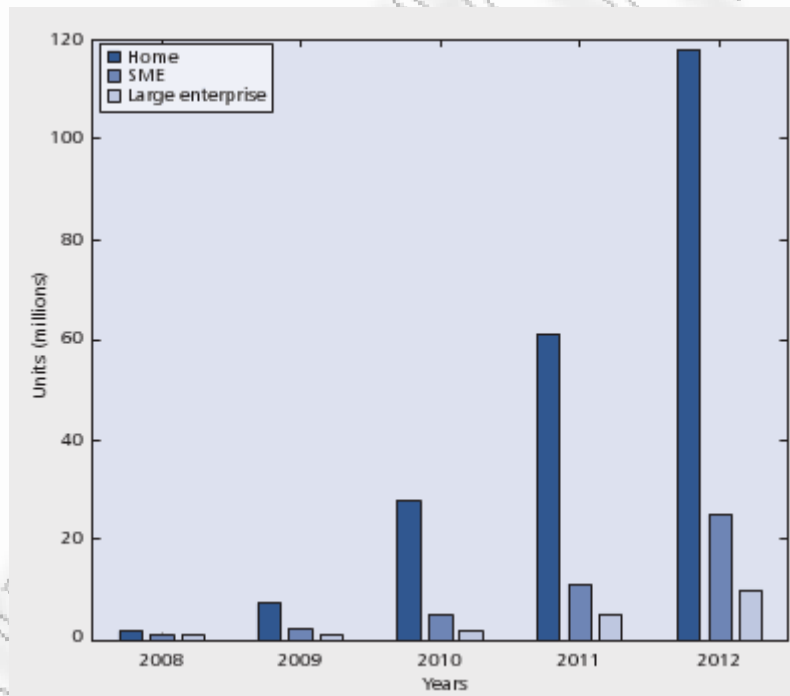
- Ο συνδρομητής ενός femtocell είναι ένας εγγεγραμμένος σ' αυτό χρήστης. Οι συνδρομητές είναι νόμιμοι χρήστες του femtocell και είναι συνήθως κινητά τερματικά που ανήκουν στον ιδιοκτήτη του femtocell ή σε οικείους του.
- Ένας μη συνδρομητής είναι ένας μη εγγεγραμμένος στο femtocell χρήστης.

5.3.2 Closed Access

Η πρώτη ανάπτυξη closed access femtocell εμφανίστηκε σε σπίτια όπου η κάλυψη από τα macrocells ήταν αδύναμη αλλά είχε αναπτυχθεί επαρκώς η ευρυζωνική σύνδεση. Για παράδειγμα, στη μέση της Βόρειας Αμερικής η Sprint είχε αναπτύξει



femtocells από τα τέλη του 2008. Παρ' όλα αυτά, αυτή η λύση έχει ως στόχο το τμήμα της αγοράς που αναζητά λύσεις στο σπίτι, που στη παραπάνω περίπτωση οι παρεμβολές δεν αποτελούσαν σημαντικό πρόβλημα λόγω της χαμηλής πληθυσμιακής πυκνότητας και των μεγάλων αποστάσεων από τα macrocells. Ωστόσο, έχουν προταθεί νέες αναπτύξεις στην Ευρώπη, όπου τα femtocells έχουν ως στόχο σπίτια πόλεων και οι παρεμβολές αποτελούν υπαρκτό πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στο Ηνωμένο Βασίλειο όπου τα femtocells άρχισαν να διατίθενται στην αγορά από τη Vodafone τον Ιούλιο του 2009. Όπως φαίνεται στο σχήμα στο μέλλον τα femtocells θα είναι διαθέσιμα και σε επιχειρήσεις και γι' αυτό αναμένεται ότι τα closed access femtocells θα μπορούσαν να αναπτυχθούν σε μικρές-μεσαίες επιχειρήσεις, όπου ένας περιορισμένος αριθμός χρηστών θα επιτρέπεται να έχει πρόσβαση σε αυτά [28].



Εικόνα 15: Χρήση των Femtocells από οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις

5.3.2.1 Περιγραφή μεθόδου Closed Access

Στη closed access μέθοδο, έχουν δικαίωμα σύνδεσης στα femtocells μόνο οι συνδρομητές αυτού. Αυτό συμβαίνει ακόμη κι αν το σήμα του femtocell είναι πιο ισχυρό από εκείνο του πλησιέστερου macrocell. Σε αυτή τη περίπτωση



δημιουργούνται ισχυρές cross-tier παρεμβολές μεταξύ των 2 βαθμίδων. Τυχόν πρόβλημα που θα μπορούσαν να προκληθούν είναι να εμποδίζεται το downlink σε τερματικά διερχόμενων μη-συνδρομητών, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε macrocell, αλλά και το uplink στο femtocell των συνδρομητών του [28].

Στη περίπτωση όπου ένας συνδρομητής βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης ενός closed access femtocell τότε οι παρεμβολές cross-tier είναι πιο ισχυρές από το σήμα. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι ο ιδιοκτήτης του femtocell να εξουσιοδοτεί με γρήγορο τρόπο τους προσκεκλημένους μη-συνδρομητές, ώστε να μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση. Οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες ενός femtocell καταχωρούνται σε ένα κατάλογο, ο οποίος ελέγχεται από το φορέα και ενημερώνεται χειροκίνητα από τον ιδιοκτήτη του femtocells [28].

Παρεμβολές όμως εμφανίζονται και μεταξύ γειτονικών femtocells, ειδικά όταν αυτοί βρίσκονται σε πυκνές αναπτύξεις. Αυτές είναι οι co-tier παρεμβολές, που συμβαίνουν δηλαδή στο ίδιο επίπεδο. Η τυχαία τοποθέτηση των femtocells ανάλογα με την επιθυμία του κάθε ιδιοκτήτη μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στη σύνδεση του με αυτό λόγω co-tier παρεμβολών, καθώς μπορεί να γίνονται ακόμα και αλληλοεπικαλύψεις με τα γειτονικά femtocells [28].

Για τους παραπάνω λοιπόν λόγους, είναι απαραίτητη η εξεύρεση λύσεων ώστε να μειωθούν ή ακόμα και να εξαλειφτούν οι co-tier και cross-tier παρεμβολές και είναι δυνατή η ανάπτυξη μεγάλου αριθμού femtocells στο πλαίσιο υφιστάμενων δικτύων.

Μία λύση εξομάλυνσης των παρεμβολών και διασφάλισης της δυνατότητας του χρήστη να συνδεθεί στα femtocell δίκτυα είναι η σωστή ρύθμιση της ισχύος εκπομπής του femtocell. Ένας τρόπος να επιτευχθεί αυτό είναι με αυτό-βελτιστοποίηση της ισχύος εκπομπής του femtocell όπως περιγράφεται στο [31], όπου κάθε femtocell θέτει την ισχύ του σε μια τιμή που κατά μέσο όρο είναι ίση με την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος από το πλησιέστερο macrocell.

Μια άλλη λύση για το μετριασμό του προβλήματος των παρεμβολών είναι η χρήση των sector antennas στα femtocells, το οποίο έχει προταθεί στο [32] για την ελαχιστοποίηση των επικαλύψεων στις περιοχές κάλυψης. Επιπλέον, έχει προταθεί στο [33] η χρήση αρκετών στοιχείων ακτινοβολίας για τη διαμόρφωση της δέσμης και τη προσαρμογή στη περιοχή κάλυψης του femtocell, στο σχήμα του σπιτιού.

Τέλος, τα femtocells που εφαρμόζουν το πρωτόκολλο OFDMA έχουν το πλεονέκτημα ότι επιτρέπουν να διανέμονται οι πόροι της συχνότητας και του



χρόνου ορθογώνια μεταξύ τους στους χρήστες. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί η αποφυγή παρεμβολών όχι μόνο με τη διαχείριση της ισχύος ή των κεραιών αλλά και με τη κατανομή των υποκαναλιών και του διαθέσιμου χρόνου. Παρ' όλα αυτά, η επιτυχία αυτών των μεθόδων περιορισμού των παρεμβολών βασίζεται στην ικανότητα των femtocells να ελέγχουν το περιβάλλον και να εκχωρούν τους πόρους με το βέλτιστο δυνατό τρόπο σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνουν [34].

5.3.2.2 Τρόπος χρήσης

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες [35], η μέθοδος closed access είναι η προτιμώμενη μέθοδος πρόσβασης στα femtocells για πελάτες που επιθυμούν οικιακή χρήση. Ο κύριος λόγος είναι ότι οι περισσότεροι πελάτες θα δέχονταν να έχουν femtocell στο σπίτι, αν είχαν τον πλήρη έλεγχο του καταλόγου των εγκεκριμένων χρηστών. Επιπλέον, τα femtocells επιτρέπουν βάσει νόμου τη διεξαγωγή κλήσεων έκτακτης ανάγκης σε όλους τους τύπους χρηστών. Αυτό σημαίνει ότι ορισμένοι πόροι πρέπει να αποδεδμεύονται από κάθε femtocell έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι και οι μη εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να διεκπεραιώσουν κλήσεις έκτακτης ανάγκης. Όσον αφορά όμως το κόστος στις λύσεις που προτείνονται με τη χρήση των femtocells, έχουν προταθεί και άλλες προσεγγίσεις. Μία πρώτη επιλογή είναι οι φορείς να παρέχουν τα femtocells δωρεάν ή να τα πωλούν σε καθορισμένη τιμή, ώστε να βελτιωθεί η ασύρματη κάλυψη. Για να αυξήσουν όμως τα έσοδά τους οι φορείς και να μπορούν να ανταγωνιστούν την ενσύρματη αγορά αναμένεται να προσπαθήσουν να προσφέρουν ειδικές τιμές (ή δωρεάν κλήσεις) στους συνδρομητές femtocell. Επιπλέον, για να προσελκύσουν νέους πελάτες τόσο οι φορείς όσο και οι κατασκευαστές καταβάλουν προσπάθεια για την ανάπτυξη πολύ καλών εφαρμογών για femtocells.

5.3.3 Open Access

Στην open access μέθοδο επιτρέπεται να συνδεθούν στα femtocells όλοι οι χρήστες είτε είναι συνδρομητές είτε όχι. Οπότε σε αντίθεση με την closed access μέθοδο, σε αυτή τη περίπτωση μειώνονται τα προβλήματα των παρεμβολών. Η συγκεκριμένη



όμως μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματά της τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο [28].

5.3.3.1 Περιγραφή μεθόδου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην open access μέθοδο δίνεται η δυνατότητα χρήσης των πόρων του femtocell σε όλους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι σε ένα macrocell και εισέρχονται στη περιοχή κάλυψής τους. Σε αυτή τη περίπτωση επιλέγεται εκείνο το δίκτυο με τη πιο δυνατή ισχύ (macrocell ή femtocell) οπότε αποφεύγονται οι cross-tier παρεμβολές και αυξάνεται η αποδοτικότητα του δικτύου. Στα πλεονεκτήματά του προστίθεται η δυνατότητα που δίνει για διαφορετικού τύπου αναπτύξεις. Τα open access femtocells μπορούν να αναπτυχθούν σε τυχαίες θέσεις μέσα στο σπίτι, όπως και τα closed access femtocells αν και πάλι μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα λόγω co-tier παρεμβολών με γειτονικά femtocells. Σε αυτό θα βοηθούσε η αυτοοργάνωση. Αντίθετα, όταν οι αναπτύξεις γίνονται από κάποιο διαχειριστή, υπάρχει η δυνατότητα να περιοριστούν οι παρεμβολές κατά το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του δικτύου με έλεγχο της τοποθεσίας, της ισχύος και των συχνοτήτων που ανατίθενται σε κάθε femtocells [28].

Η open access μέθοδος όμως παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι η μείωση της απόδοσης για τον ιδιοκτήτη του femtocell καθώς μοιράζεται τους πόρους του femtocell και με άλλους χρήστες. Επιπλέον αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των μεταβιβάσεων μεταξύ των κελιών καθώς ένας χρήστης μπορεί να μετακινείται από ένα femtocell σε ένα άλλο ή το macrocell [28].

Οι μετακινήσεις αυτές έχουν αρνητικές επιπτώσεις και στο διαχειριστή του δικτύου καθώς παρουσιάζεται αύξηση του σήματος του δικτύου ενώ υπάρχει και η πιθανότητα αποτυχίας στη μεταβίβαση και άρα και απόρριψης των κλήσεων των χρηστών. Η αποτυχία όμως στη μεταβίβαση εξαρτάται και από τη λίστα γειτόνων του femtocell, αν αυτός έχει ρυθμιστεί σωστά και αν έχει ενημερωθεί. Ανεξάρτητα από αυτό όμως έχουν προταθεί διάφορες λύσεις που επικεντρώνονται στο ασύρματο κανάλι το οποίο μπορεί να χρησιμοποιείται σα μέσο για την ανάκτηση παραμέτρων για το ευρύτερο περιβάλλον και ενημέρωσης της λίστας γειτόνων των femtocells [36].



Στα macrocell δίκτυα, οι υφιστάμενοι BSs έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν σε αυτή τη λίστα έναν ορισμένο αριθμό από 'γείτονες'. Για παράδειγμα, η λίστα με τους "γείτονες" στα UMTS macrocells έχει περιοριστεί σε 32 θέσεις για να επιταχυνθεί η μέτρηση των χρηστών και οι διαδικασίες ενημέρωσης των κελιών. Ωστόσο, αυτός ο αριθμός είναι ανεπαρκής σε αναπτύξεις με μεγάλο αριθμό open access femtocells, όπου οι σχέσεις μεταξύ των femtocells (πιο πιθανό να ενεργοποιούνται / απενεργοποιούνται) πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικά από τις σχέσεις macrocells με femtocells [28].

Επιπρόσθετα, αν τα femtocells έχουν αναπτυχθεί μαζί και ο αριθμός των cell IDs είναι περιορισμένος (πχ. στο UMTS υποστηρίζονται 512 cell IDs), δε θα μπορούν να δοθούν cell IDs σε όλα τα femtocells που εμπίπτουν στη περιοχή κάλυψης του macrocell. Γι' αυτό θα έπρεπε να γίνει επαναχρησιμοποίηση των cell IDs εντός της περιοχής κάλυψης ενός macrocell οπότε η ανάθεση ίδιου cell ID σε κάποια από αυτά θα ήταν αναπόφευκτη [28].

Ως εκ τούτου, πριν αναπτυχθούν ευρέως τα open femtocells, είναι απαραίτητο να γίνει μεγαλύτερη έρευνα για την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων διαχείρισης περισσότερων γειτόνων και του διαφορετικού χαρακτήρα τους με γρήγορο τρόπο. Επίσης, χρειάζονται νέες προσεγγίσεις ώστε να επιλέγονται δυναμικά τα cell IDs των femtocells ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη σύγχυση και τη σύγκρουση.

5.3.3.2 Τρόπος Χρήσης

Όπως περιγράφηκε και παραπάνω τα open access femtocells δε προτιμώνται ακόμη από τους οικιακούς χρήστες αν και η συγκεκριμένη μέθοδος μειώνει τις παρεμβολές που δημιουργούνται με τα macrocells. Αυτό συμβαίνει αφενός γιατί μειώνεται η απόδοση του ιδιοκτήτη του femtocell αφού μοιράζεται τους πόρους του δικτύου και με άλλους χρήστες και αφετέρου γιατί δεν είναι πάντοτε σαφές ποιος καλύπτει το κόστος των femtocells και τη συντήρησή τους [28].

Οι ιδιοκτήτες λοιπόν των femtocells δεν είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για τα open access femtocells το ίδιο ποσό με τα closed access femtocells. Αυτό όμως που πρέπει να σημειωθεί, είναι ότι τα open femtocells μειώνουν το φορτίο του macrocell δικτύου κάτι που εξυπηρετεί τους φορείς καθώς μπορούν να



υποστηρίξουν νέους πελάτες ή εξοικονομήσουν χρήματα για τη συντήρηση του macrocell (πχ. ισχύς). Για το λόγο αυτό θα μπορούσε να βρεθεί μια μέση λύση όπως να είναι το κόστος των open femtocells χαμηλότερο ώστε να προτιμώνται περισσότερο [28].

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι δε λαμβάνονται υπόψη οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης που πραγματοποιούνται από διερχόμενους χρήστες, καθώς σε αυτή τη περίπτωση επιτρέπεται σε όλους να συνδεθούν στο femtocell. Αυτή τη στιγμή τα open access femtocells διατίθενται κυρίως σε επιχειρήσεις. Σε αυτή τη περίπτωση τα femtocells αναπτύσσονται είτε από το φορέα είτε από τους τελικούς χρήστες, εκμεταλλευόμενοι τις χαμηλές τιμές των femtocells συγκριτικά με άλλες λύσεις όπως τα Pico cells, indoor repeaters ή τα distributed indoor systems [28].

Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η περίπτωση τα femtocells να μπορούν να ρυθμίζονται αυτόματα, κάτι που θα ελαχιστοποιούσε τη συντήρηση. Με παρόμοιο τρόπο και ακολουθώντας προσεκτικό σχεδιασμό τα συγκεκριμένα femtocells θα μπορούσαν να αναπτυχθούν σε δημόσιους χώρους όπως τα αεροδρόμια και οι σιδηροδρομικοί σταθμοί ώστε να βελτιωθεί η κάλυψη αλλά και η εξυπηρέτηση των χρηστών.

5.3.4 Σύγκριση των μεθόδων Closed και Open Access

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, παρατηρούμε ότι τόσο τα Closed Access Femtocells όσο και Open Access Femtocells έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των Closed Access Femtocells είναι οι μεγαλύτερες παρεμβολές, το χαμηλότερο throughput, η εξυπηρέτηση μόνο των συνδρομητών, η προτίμηση τους από τους οικιακούς χρήστες οπότε είναι και πιο εύκολος ο καθορισμός του υπεύθυνου για το κόστος και τη συντήρησή του [28].

Από την άλλη στα Open Access Femtocells επιτρέπονται περισσότερες μετακινήσεις από ένα δίκτυο σε ένα (femtocell – femtocell ή femtocell – macrocell), έχουν υψηλότερο throughput και καλύτερη εξυπηρέτηση όλων των χρηστών είτε είναι συνδρομητές είτε όχι. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέγεται κυρίως από μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις αλλά υπάρχουν ακόμη αρκετά τεχνικά θέματα τα οποία χρειάζεται να διερευνηθούν, όπως το σήμα του δικτύου αλλά και θέματα ασφάλειας [28].



Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους παρατηρήθηκε, μέσα από μια σειρά προσομοιώσεων σε επίπεδο συστήματος [37] [38], ότι η συνολική απόδοση του δικτύου με τη χρήση της μεθόδου open access ξεπερνά αυτή της μεθόδου closed access [36]. Όσον αφορά τις διακοπές στη σύνδεση των χρηστών με το δίκτυο φαίνεται ότι συμβαίνει και στις δύο μεθόδους αλλά με μεγαλύτερη ένταση στα Closed Access Femtocells. Αυτό συμβαίνει λόγω των cross-tier παρεμβολών και για τις υπηρεσίες Voice over IP (VoIP) η διακοπή μπορεί να έχει διάρκεια μέχρι και 200ms. Ομοίως και στα Open Access Femtocells, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι πιθανό να προκληθούν διακοπές λόγω σφάλματος στη μεταβίβαση. Η μεταβίβαση γίνεται κάθε φορά που παρατηρείται μεγαλύτερη ισχύ σε κάποιο γειτονικό femtocell απ' ότι σε εκείνο που εξυπηρετεί ένα τερματικό και η πιθανότητα διακοπής δηλαδή απόρριψης κλήσης είναι 2% [31].

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αν και τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της Open Access μεθόδου είναι περισσότερα οι χρήστες δείχνουν μεγαλύτερη προτίμηση στα Closed Access Femtocells. Για το λόγο υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση και ανάπτυξη νέων μεθόδων πρόσβασης η οποία να συγκεντρώνει κυρίως τα πλεονεκτήματα των δύο μεθόδων. Μία τέτοια προσέγγιση αποτελεί η υβριδική μέθοδος.

5.3.5 Υβριδικές Προσεγγίσεις

Οι μηχανισμοί πρόσβασης επηρεάζουν άμεσα τις παρεμβολές και γι' αυτό τα χαρακτηριστικά τους χρειάζεται να αναλυθούν προσεκτικά. Για να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα και να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων τους είναι υπό έλεγχο κάποιες ενδιάμεσες προσεγγίσεις, όπως είναι η υβριδική μέθοδος [28].

Οι υβριδικές μέθοδοι πρόσβασης προσπαθούν να επιτύχουν ένα συμβιβασμό ανάμεσα στην απόδοση των συνδρομητών και στο επίπεδο πρόσβασης που δίνεται σε μη συνδρομητές. Γι' αυτό το λόγο χρειάζεται να γίνει σωστός συντονισμός στη κατανομή των femtocells ανάμεσα στους συνδρομητές και στους μη-συνδρομητές. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό είναι διαθέτοντας ένα περιορισμένο ποσοστό των πόρων σε όλους τους χρήστες είτε είναι συνδρομητές είτε όχι ενώ τους υπόλοιπους να μπορούν να τους εκμεταλλευτούν μόνο οι συνδρομητές [28].



Με αυτό το τρόπο περιορίζεται η αίσθηση που έχουν οι συνδρομητές ότι πληρώνουν για μια υπηρεσία την οποία εκμεταλλεύονται κι άλλοι. Παράλληλα βελτιώνεται και η απόδοση του δικτύου ενώ για τη προσέλκυση περισσότερων συνδρομητών είναι πιθανό να προσφέρονται και κάποια οικονομικά οφέλη, όπως για παράδειγμα μειωμένο κόστος.

5.3.6 Επιλεγμένη Μέθοδος

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την εκτέλεση των προσομοιώσεων στη παρούσα εργασία είναι η Open Access. Συγκεκριμένα, όταν ένας BS αντιμετωπίζει πρόβλημα συμφόρησης, κοινοποιείται ένας διαχειριστικός φορέας ώστε να γίνει έναρξη της διαδικασίας επίλυσης του προβλήματος. Ο συγκεκριμένος φορέας διερευνά και επιλέγει εκείνα τα femtocells που μπορούν να βοηθήσουν.

Στη συνέχεια η απαραίτητη πληροφορία αποστέλλεται στα femtocells, ώστε να επιτραπεί στους χρήστες να κάνουν χρήση των πόρων τους και αντίστοιχα οι τερματικοί σταθμοί να διαμορφώσουν την ισχύ εκπομπή τους ώστε να μπορούν συνδεθούν με τα femtocells. Με αυτό το τρόπο γίνεται καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών και επιτυγχάνεται και η αποσυμφόρηση του σταθμού βάσης.

Η Open Access μέθοδος παρουσιάζει περισσότερα πλεονεκτήματα και είναι η κατάλληλη μέθοδος για τη παρούσα μελέτη, καθώς επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση της ενέργειας των τερματικών των χρηστών αλλά και χαμηλότερη ισχύ εκπομπής για το σταθμό βάσης, που είναι οι βασικοί στόχοι.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ



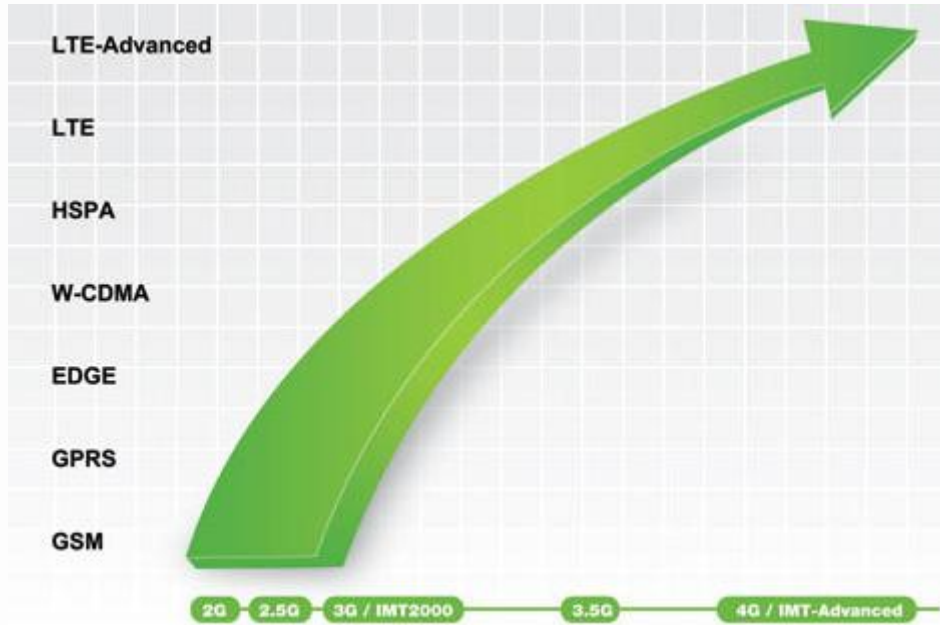
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 3GPP LONG TERM EVOLUTION

6.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Η τεχνολογία 3GPP Long Term Evolution (LTE) είναι το τελευταίο πρότυπο τεχνολογίας που χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως, με στόχο τον καθορισμό νέων μεθόδων για υψηλότερες ταχύτητες στην ασύρματη επικοινωνία και στα δίκτυα κινητών τηλεφώνων. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3rd Generation Partnership Project (3GPP) και το όνομα του έχει προτυποποιηθεί από το **Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων** (European Telecommunications Standards Institute (ETSI)).

Το LTE βασίζεται και αποτελεί φυσική εξέλιξη στα προϋπάρχοντα δίκτυα GSM/EDGE και UMTS/HSPA, με αύξηση της χωρητικότητας και της ταχύτητας του δικτύου. Πολλές φορές το LTE αναφέρεται πιο επίσημα και ως Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA) και Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) (Δίκτυο Πρόσβασης αυτού) [44].

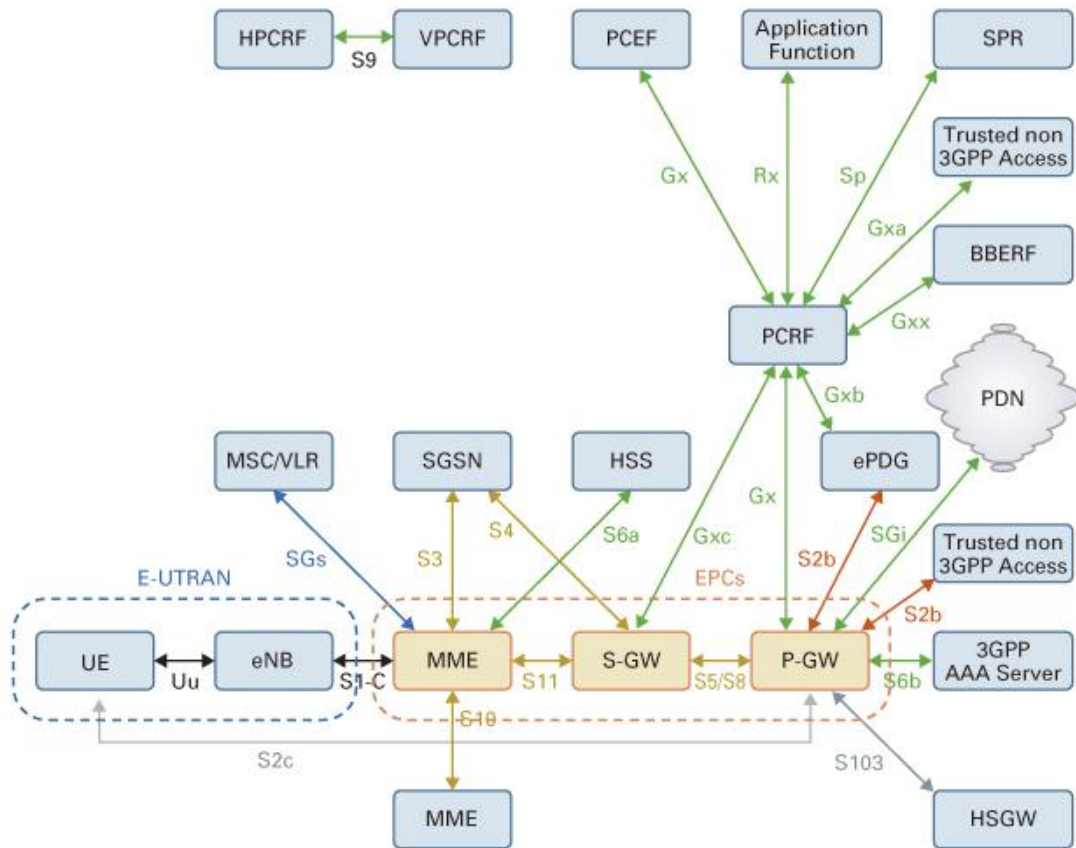


Εικόνα 16: Εξέλιξη δικτύων Ασύρματης Πρόσβασης

Το πρότυπο LTE προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004 και οριστικοποιήθηκε το 2008. Ένα χρόνο αργότερα, το Δεκέμβριο του 2009 γίνεται η εγκατάσταση των πρώτων δικτύων LTE για δημόσια χρήση στο Όσλο και στη Στοκχόλμη από την εταιρεία TeliaSonera ενώ λίγα χρόνια μετά γίνονται διαθέσιμα πλέον στην αγορά και τα πρώτα LTE Smartphone, συγκεκριμένα τα Samsung Galaxy Indulge (από τη MetroPCS) και HTC Thunderbolt στη Β. Αμερικής.[44]

Τα πρότυπα που ανταγωνίζονται το LTE είναι το Mobile WiMAX και το Ultra-Mobile Broadband (UMB) το οποίο χρησιμοποιήθηκε από διαχειριστές των δικτύων CDMA για αναβάθμιση των συστημάτων τους. Ωστόσο, ενδιαφέρον είναι ότι προτιμάται ευρέως η τεχνολογία LTE και αναμένεται να επηρεάσει σταδιακά την αγορά.

Συνηθίζεται επίσης, να αναφέρεται και ως σύστημα 4^{ης} γενιάς κινητής τηλεφωνίας (4G), το οποίο όμως δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο διεθνής οργανισμός ITU Radiocommunication Sector (ITU-R). Η εξέλιξη του LTE, η οποία πληροί τις προϋποθέσεις ώστε να καλείται σύστημα 4G, είναι το LTE Advanced, το οποίο προτυποποιήθηκε το Μάρτιο του 2011 και οι αναβαθμισμένες υπηρεσίες του αναμένεται να διατεθούν το 2013 [44].



Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική δικτύου LTE

Το LTE σχεδιάστηκε με σκοπό την εξέλιξη της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης από τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα και στηρίζονται στη μεταγωγή πακέτων (packet switched) και κυκλώματος (circuit access), σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο χρήσης IP πρωτοκόλλου (Internet Protocol). Για την επίτευξη πλήρους απόδοσης των δυνατοτήτων του LTE σε δικτυακό επίπεδο χρησιμοποιείται μια επίπεδη αρχιτεκτονική πλήρως βασισμένη σε IP (Internet Protocol), η System Architecture Evolution (SAE), με κύριο μέρος της το Evolved Packet Core (EPC).

Σε σχέση λοιπόν, με τις υπάρχουσες τεχνολογίες GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA και το HSPA, το LTE επιτυγχάνει βελτίωση της ρυθμαπόδοσης, αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου και μείωση του χρόνου λανθάνουσας καθυστέρησης (latency). Επιπλέον, λόγω της απλούστερης αρχιτεκτονικής είναι χαμηλότερα και τα λειτουργικά έξοδα του δικτύου [40] [43] [44].



6.2 Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Συστήματος LTE

Σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA και το HSPA η τεχνολογία LTE αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου, τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και ταυτόχρονα μειώνει τις λανθάνουσες καθυστερήσεις. Το 3GPP συγκεκριμενοποιεί τις προδιαγραφές του LTE στο Release 8, όπως παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα [44] [45].

Category		1	2	3	4	5
Peak rate Mbps	DL	10	50	100	150	300
	UL	5	25	50	50	75
Capability for physical functionalities						
RF bandwidth	20MHz					
Modulation	DL	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	UL	QPSK, 16QAM				QPSK, 16QAM, 64QAM
Multi-antenna						
2 Rx diversity	Assumed in performance requirements.					
2x2 MIMO	Not supported	Mandatory				
4x4 MIMO	Not supported					Mandatory

Πίνακας 2: Προδιαγραφές LTE στο Release 8 του 3GPP

Παρακάτω περιγράφονται κάποια από τα πιο σημαντικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά της LTE τεχνολογίας [39] [40] [44].

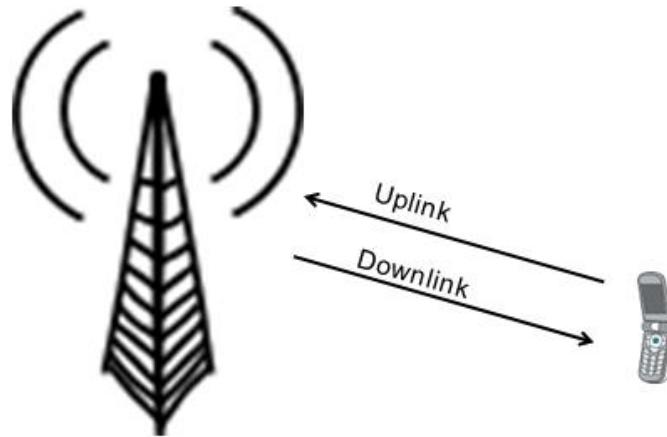
Ρυθμοί Μετάδοσης Δεδομένων

Κάθε σύστημα κυψελωτών επικοινωνιών είναι απαραίτητο να μπορεί να υποστηρίξει αμφίδρομη ταυτόχρονη μετάδοση και να εξασφαλίζει ταυτόχρονες επικοινωνίες (εικονικά ή πραγματικά) προς αμφότερες κατευθύνσεις κατά την ανταλλαγή δεδομένων. Οι δύο ζεύξεις που χρησιμοποιούνται με βάση τη κατεύθυνση της μετάδοσης, είναι οι:



Uplink: γίνεται μετάδοση από το τερματικό του χρήστη (UE) προς τον NodeB ή σταθμό βάσης.

Downlink γίνεται μετάδοση από τον eNodeB ή σταθμό βάσης προς το τερματικό του χρήστη (UE).



Εικόνα 18: Ζεύξεις Uplink και Downlink

Το LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει μέγιστο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300Mbps και στην ανοδική ζεύξη (uplink) έως και 75Mbps ανάλογα με τη κατηγορία στην οποία ανήκει το τερματικό του χρήστη, όπως παρουσιάζονται στο πίνακα [40] [44].

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	1	2	3	4	5
Downlink	10	50	100	150	300
Uplink	5	25	50	50	75

Πίνακας 3: LTE UE κατηγορίες ταχυτήτων δεδομένων

Τα τερματικά των χρηστών διακρίνονται σε 5 κατηγορίες από εκείνη που υποστηρίζει απλή τηλεφωνία έως εκείνη που υποστηρίζει μεταφορά δεδομένων με



τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Όλες όμως οι τερματικές συσκευές μπορούν να επεξεργαστούν σήμα 20MHz.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	1	2	3	4	5
Downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM				
Uplink	QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM, 64QAM	

Πίνακας 4: LTE UE κατηγορίες μορφές διαμόρφωσης που υποστηρίζονται

Mode Λειτουργίας

Το LTE λειτουργεί τόσο σε FDD (Frequency Division Duplex) σχήμα όσο και σε TDD (Time Division Duplex) σχήμα. Με το σχήμα FDD για κάθε κατεύθυνση uplink ή downlink χρησιμοποιείται διαφορετική συχνότητα και προτιμάται σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται κάλυψη μεγάλων αποστάσεων οπότε και πιο ισχυρή ισχύ μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά στο σχήμα TDD χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα σε κάθε δίαυλο αλλά γειτονικές χρονοσχισμές (timeslot). Το TDD είναι κατάλληλο όταν υπάρχει περιορισμένο εύρος ζώνης και πυκνή δομή επαναχρησιμοποίησης, ενώ στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγεται ότι επιτρέπει τη πλήρη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης και του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού.

Χρόνος λανθάνουσας καθυστέρησης (latency)

Κατά τη μεταφορά δεδομένων υπάρχει μικρότερη καθυστέρηση. Συγκεκριμένα:

- Μικρότερος χρόνος εγκατάστασης και σύντομη καθυστέρηση μεταφοράς
- Μικρή καθυστέρηση στη μεταφορά από μια τεχνολογία δικτύου ασύρματης πρόσβασης σε άλλο και χρόνος διακοπής
- Σύντομο Transmission Time Interval (TTI) στο 1ms
- Σύντομη διαδικασία Radio Resource Control (RRC)
- Απλές καταστάσεις RRC



Εύρος Ζώνης

Το LTE έχει βελτιωμένη φασματική λειτουργία, με το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος να είναι κυμαινόμενο στα 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz και 20 MHz .

Διαλειτουργικότητα

Υποστηρίζεται η συνύπαρξη με παλαιότερες τεχνολογίες (όπως GSM/EDGE, UMTS) και σε μια περιοχή όπου δεν υπάρχει κάλυψη LTE οι χρήστες μπορούν να κάνουν χρήση των υφιστάμενων δικτύων χωρίς να διακοπεί η σύνδεσή τους.

Μέγεθος κυψελών

Το μέγεθος των κυψελών στα LTE δίκτυα είναι μεταβλητό και κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι και 100 χιλιόμετρα. Ανάλογα με το μέγεθος των κυψελών διαφέρει η απόδοση του δικτύου, η οποία μικραίνει όσο μεγαλώνει το μέγεθος της κυψέλης.

Άλλα Χαρακτηριστικά

Υποστηρίζονται κι άλλες λειτουργίες όπως η συνέχιση της σύνδεσης του χρήστη με το δίκτυο ακόμη κι αν εκείνος κινείται μέχρι και 500 χλμ/ώρα και ανάλογα με τη συχνότητα που χρησιμοποιείται. Είναι δυνατό επίσης να υπάρχουν μέχρι και 200 ενεργές συνδέσεις δεδομένων σε κάθε κανάλι συχνότητας 5MHz. Τέλος αποτελεί και άμεσο ανταγωνιστή του προτύπου DVB-H καθώς δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης τηλεοπτικού προγράμματος στις κινητές συσκευές.

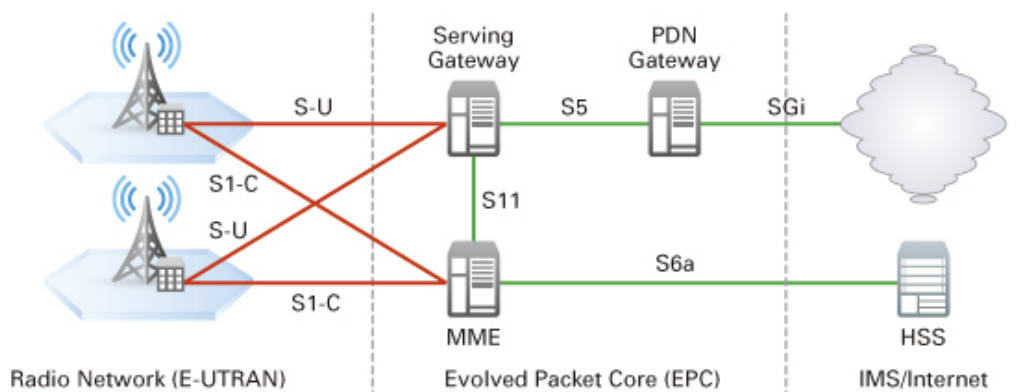
Υπάρχουν όμως κι άλλα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν ένα σύστημα LTE και τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους. Αυτά είναι η απλούστερη αρχιτεκτονική του σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες και οι τεχνολογίες μετάδοσης της πληροφορίας που χρησιμοποιεί.

6.2.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος LTE

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κύρια αρχιτεκτονική για την ασύρματη επικοινωνία με τεχνολογία LTE είναι η System Architecture Evolution (SAE). Η SAE αποτελεί την εξέλιξη του GPRS core network, το οποίο είναι το βασικό μέρος του



General Packet Radio Service και επιτρέπει στις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G και WCDMA να μεταδίδουν IP πακέτα σε εξωτερικά δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο. Η SAE είναι μία επίπεδη και πλήρως βασισμένη σε IP αρχιτεκτονική, απλοποιημένη με χαρακτηριστικό της ότι διαχωρίζει το User Plane από το Control Plane. Το δίκτυο αποτελείται από το δίκτυο κορμού Evolved Packet Core (EPC) και το δίκτυο πρόσβασης E-UTRAN. Το δίκτυο κορμού αποτελείται από πολλές λογικές οντότητες, ενώ αντίθετα το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από τον evolved NodeB (eNodeB), ο οποίος συνδέεται με τους χρήστες (UEs) [40] [41] [42].



Εικόνα 19: Αρχιτεκτονική LTE συστήματος

Η αρχιτεκτονική του διαφέρει και προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με προηγούμενες τοπολογίες και συστήματα. Χαρακτηρίζεται από μία μη ιεραρχική δομή για αυξημένη επεκτασιμότητα και αποτελεσματικότητα ενώ ο σχεδιασμός του βελτιστοποιεί την υποστήριξη υπηρεσιών βασισμένες σε IP, σε πραγματικό χρόνο.

Πιο αναλυτικά:

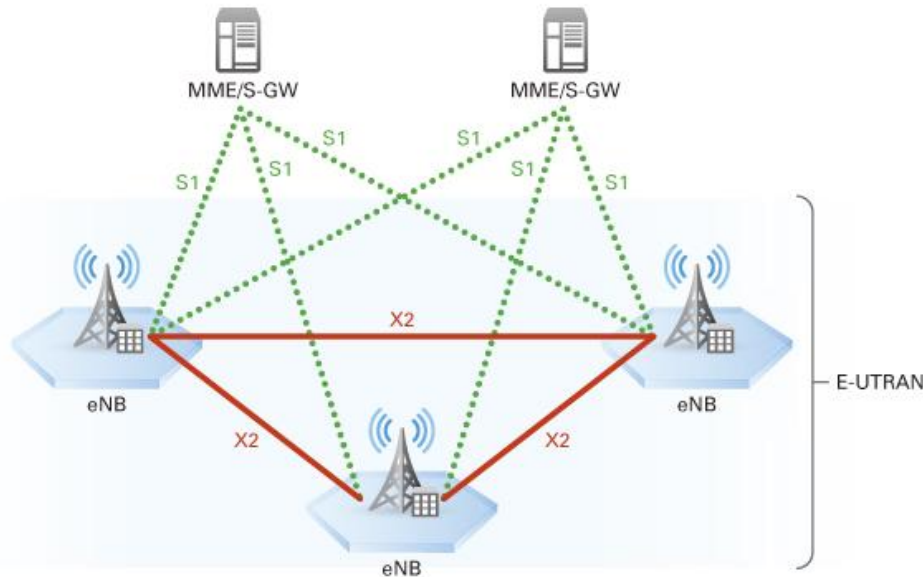
1. **Επιτυγχάνει βελτίωση της ρυθμαπόδοσης:** Το LTE έχει τη δυνατότητα να παρέχει μέγιστο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300Mbps
2. **Επιτυγχάνει μείωση του χρόνου λανθάνουσας καθυστέρησης (latency):** Με την LTE τεχνολογία υπάρχει σημαντική μείωση του Round-Trip Time (RTT) από το χρήστη έως το σταθμό βάσης περίπου 5ms – 10ms.



3. **Πρόκειται για all-IP Network (AIPN):** Η χρήση IP πάνω στις τεχνολογίες δικτύου παρέχει συνδεσιμότητα για οποιαδήποτε τεχνολογία μεταφοράς και προσφέρει χαμηλότερο κόστος και ευελιξία.
4. **Προσφέρει Διαλειτουργικότητα:** Υποστηρίζει τη ταυτόχρονη λειτουργία πολλαπλών ετερογενών ασύρματων δικτύων πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένης της LTE διεπαφής, αντίστοιχα των διεπαφών των επακόλουθων τεχνολογιών, όπως GPRS and UMTS, αλλά και μη 3GPP συστημάτων, όπως το WiMAX.
5. **Εξασφαλίζει χαμηλότερο κόστος απόκτησης εξοπλισμού (CAPEX) και λειτουργικό κόστος (OPEX):** Η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται για τη ΣΑΕ, με μόνο δύο είδη nodes αλλά και η χρήση IP βοηθούν στην μείωση του κόστους.

6.2.1.1 Radio Network

Το δίκτυο Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) υλοποιεί το LTE δίκτυο πρόσβασης και αποτελείται από ένα δίκτυο από Evolved-NodeBs (eNodeBs). Τα eNodeBs υποστηρίζουν τη τεχνολογία OFDMA αλλά και εξελιγμένες τεχνικές κεραιών, ενώ κάθε eNodeB έχει μία IP διεύθυνση και αποτελεί μέρος ενός all-IP δικτύου. Η διαφορά του από τα δίκτυα πρόσβασης που χρησιμοποιούνταν σε άλλες γενιές ασύρματων δικτύων είναι η απουσία κεντρικού ελεγκτή ασύρματων δικτύων. Επίσης, ενώ στα προηγούμενα δίκτυα οι λειτουργίες ήταν κεντρικά συντονισμένες, σε αυτό το δίκτυο έχουν διανεμηθεί στα eNodeBs και στις X2 διεπαφές με τις οποίες διασυνδέονται [40] [41][42] [44].



Εικόνα 20: Δίκτυο E-UTRAN

Κάποιες από αυτές τις λειτουργίες για τις οποίες είναι υπεύθυνο το eNodeB είναι οι ακόλουθες:

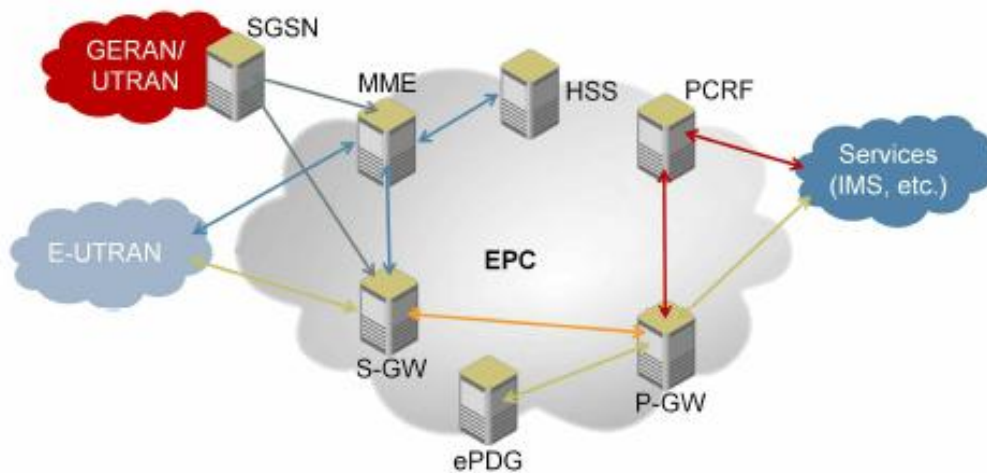
- **Radio resource management (RRM)**: Είναι το επίπεδο ελέγχου του συστήματος για τις διακαναλικές διεπαφές και άλλα χαρακτηριστικά ασύρματων μεταδόσεων στα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας
- Συμπίεση/ Αποσυμπίεση IP κεφαλίδων και κρυπτογράφηση/ αποκρυπτογράφηση δεδομένων χρήστη
- Ο προγραμματισμός και η κατανομή των πόρων για uplink και downlink
- Η συνεργασία με άλλα eNodeBs στο LTE δίκτυο για την εκτέλεση λειτουργιών όπως το handover και ο περιορισμός των παρεμβολών.

Τέλος, όσον αφορά τις συνδέσεις των eNodeBs με τις υπόλοιπες λογικές οντότητες του δικτύου, αυτές έχουν ως εξής:

- Κάθε eNodeB μπορεί να είναι συνδεδεμένο με πολλές MMEs και SGWs μέσω της S1διεπαφής, η οποία υποστηρίζει σχέσεις 'πολλά-προς-πολλά'
- Κάθε eNodeB μπορεί να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες μέσα στη περιοχή κάλυψής του.
- Κάθε UE μπορεί να είναι συνδεδεμένο μόνο με ένα eNodeB.
- Τα eNodeBs χρειάζεται να συνδέονται μεταξύ τους.

6.2.1.2 Evolved Packet Core

Το βασικό στοιχείο της SAE αρχιτεκτονικής, είναι το Evolved Packet Core (EPC) ή διαφορετικά SAE Core το οποίο παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το the 3GPP UMTS packet core Network, διαφοροποιείται όμως από αυτό με λειτουργίες όπως η δυνατότητα αύξησης της κίνησης των πακέτων, υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, μείωση της λανθάνουσας καθυστέρησης και υποστήριξη της 'διασυνεργασίας' με αρκετές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης [40] [41] [42] [44].



Εικόνα 21: Δίκτυο EPC

Οι 3 πιο βασικές λογικές οντότητες του EPC, είναι οι ακόλουθες :

Mobility Management Entity

Η οντότητα MME είναι ο βασικός κόμβος που ελέγχει τη πρόσβαση των χρηστών στο LTE SAE δίκτυο και τη λειτουργία του. Τα θέματα τα οποία διαχειρίζεται αφορούν τη παρακολούθηση εκείνων των UE τα οποία είναι σε κατάσταση αδράνειας αλλά και την διαδικασία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του Bearer. Επιπλέον, συμμετέχει στη διαδικασία επιλογής του SGW για κάποιο UE όταν αυτό εισέρχεται στο δίκτυο και σε περιπτώσεις handover εσωτερικά του LTE, περιλαμβάνοντας και μετατόπιση κόμβου του Core Network (CN). Μέσω αλληλεπίδρασης με τον Home Subscriber Server (HSS) έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τη ταυτότητα των χρηστών ενώ με τις διαδικασίες Non Access Stratum (NAS), οι



οποίες υποστηρίζουν το σήμα και τη κίνηση ανάμεσα στο CN και τον εξοπλισμό του χρήστη και τερματίζουν στο MME μπορεί και να προσφέρει προσωρινές ταυτότητες στα τερματικά των χρηστών. Παράλληλα επειδή αποτελεί το τελικό σημείο της κρυπτογράφησης των NAS σημάτων και διαχειρίζεται το κλειδί ασφαλείας. Επίσης, ελέγχει τη πρόσβαση των χρηστών στις υπηρεσίες των παρόχων, αν είναι εξουσιοδοτημένοι ή όχι ενώ μπορεί να επιβάλλει περιορισμούς roaming στους χρήστες. Τέλος, η οντότητα MME παρέχει τη δυνατότητα φορητότητας από τα 2G/3G δίκτυα στα LTE δίκτυα με την περάτωση της S3 διεπαφής αλλά και να τερματίζει την S6a διεπαφή προς τον HSS για τις roaming τερματικές συσκευές.

Serving Gateway

Η λογική οντότητα SGW έχει ως βασική της λειτουργία τη διαχείριση της φορητότητας των UEs όταν αυτά κινούνται μεταξύ των eNodeBs αλλά και μεταξύ του LTE και άλλων 3GPP τεχνολογιών. Σε περίπτωση που τα UEs είναι σε κατάσταση αδράνειας, η SGW τερματίζει τη πορεία των δεδομένων και αρχικοποιεί τη διαδικασία τηλεειδοποίησης όταν λάβει δεδομένα από αυτό. Επίσης, η SGW διαχειρίζεται και αποθηκεύει τα περιεχόμενα των UEs, όπως για παράδειγμα τις παραμέτρους των υπηρεσιών του φορέα IP και τις πληροφορίες εσωτερικής δρομολόγησης στο δίκτυο. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να εκτελεί αναπαραγωγή της κίνησης των χρηστών σε περιπτώσεις νόμιμης παρακολούθησης. Χρειάζεται να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια μετακίνησης των UEs, σε αντίθεση με τη PGW, η SGW μπορεί να μεταφερθεί. Για το λόγο αυτό η SGW πρέπει να είναι σε θέση να συνδέεται με οποιαδήποτε PGW στο δίκτυο. Τη μετακίνηση από μία SGW σε μία άλλη την ελέγχει η MME. Τέλος, η SGW μπορεί να εξυπηρετεί μόνο μία γεωγραφική περιοχή με περιορισμένο αριθμό eNodeBs και την οποία μπορεί να ελέγχει περιορισμένος αριθμός MMEs.

PDN Gateway

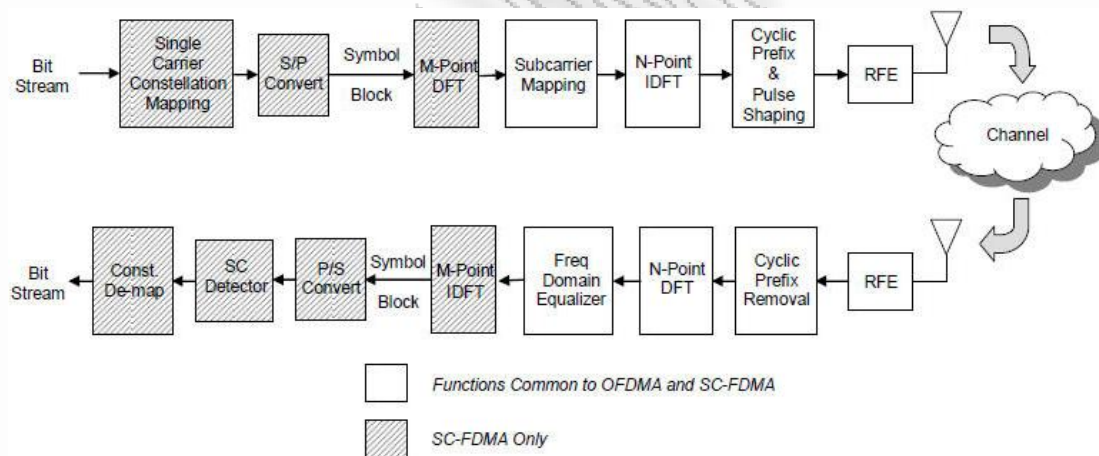
Η PGW προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης των UEs με εξωτερικά δίκτυα πακέτων δρώντας έτσι ως σημείο αναφοράς εισόδου – εξόδου της κυκλοφορίας των UEs. Ένα UE έχει τη δυνατότητα να είναι συνδεδεμένο με περισσότερα από ένα PGWs ώστε να έχει πρόσβαση σε περισσότερα Packet Data Networks (PDNs). Η PGW διανέμει IP διευθύνσεις στους UEs, οι οποίοι με της σειρά τις χρησιμοποιούν για να επικοινωνούν με άλλους IP hosts σε εξωτερικά δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο. Τέλος,



Βασικό στοιχείο της PGW είναι ότι αποτελεί σημείο αναφοράς για τη μετακίνηση των UE ανάμεσα σε 3GPP και μη 3GPP τεχνολογίες, όπως είναι οι WiMAX and 3GPP2.

6.2.2 Τεχνολογίες Μετάδοσης Πληροφορίας

Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του δικτύου μεγάλη σημασία έχουν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της πληροφορίας σε αυτό. Αυτές είναι η Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) και η Multiple-Input Multiple-Output (MIMO). Συγκεκριμένα, το LTE χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDMA για την downlink σύνδεση (πύργος/σταθμός προς κινητό) και τον ενιαίο μεταφορέα FDMA (SC-FDMA) για uplink ενώ υιοθετεί MIMO με μέχρι τέσσερις κεραιές (δηλ. 4x4) ανά σταθμό.



Εικόνα 22: Τεχνολογίες Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE σύστημα

6.2.2.1 LTE OFDM

Ένα από τα κύρια στοιχεία του LTE είναι η χρήση της τεχνολογίας Ορθογωνική Πολύπλεξη Διάρθρωσης Συχνότητας (OFDM). Η OFDM είναι μία μέθοδος μετάδοσης όπου γίνεται χρήση πολλαπλών φερόντων (Multi-Carrier) και μία μοναδική ροή δεδομένων μεταδίδεται από έναν αριθμό υποφερόντων χαμηλότερου ρυθμού. Για



υψηλότερη φασματική απόδοση, τα υποκανάλια έχουν επικαλυπτόμενες περιοχές συχνοτήτων, κάτι που θα μπορούσε να προκαλέσει ισχυρές παρεμβολές. Το πρόβλημα όμως αυτό λύνεται με την ορθογωνιότητα, καθώς τα φασματικά επικαλυπτόμενα υποφέροντα διέπονται από μία τέτοια μαθηματική σχέση που καθιστά απλό το διαχωρισμό τους στο δέκτη.

Τα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης που υιοθετούνται για το LTE δίκτυο είναι το OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) (Σχήμα Πολλαπλής Πρόσβασης Ορθογωνικής Διάρθρωσης Συχνότητας) για τη καθοδική ζεύξη και το SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) (Σχήμα Πολλαπλής Πρόσβασης Διάρθρωσης Συχνότητας Μονού Φέροντος) για την ανοδική ζεύξη. Η εφαρμογή της τεχνολογίας μεταξύ downlink και uplink διαφέρει καθώς διαφέρουν οι απαιτήσεις μεταξύ των κατευθύνσεων και του εξοπλισμού σε κάθε άκρο της σύνδεσης, δηλαδή του σταθμού βάσης και του τερματικού του χρήστη. Τα πλεονεκτήματα του OFDM είναι ότι αποτελεί ένα αρκετά ανθεκτικό στη παρεμβολή φυσικό στρώμα, είναι αρκετά κατάλληλο για την υποστήριξη μεγάλου ρυθμού δεδομένων, όπως απαιτεί και το LTE δίκτυο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε FDD αλλά και TDD σχήματα [39] [40] [46].

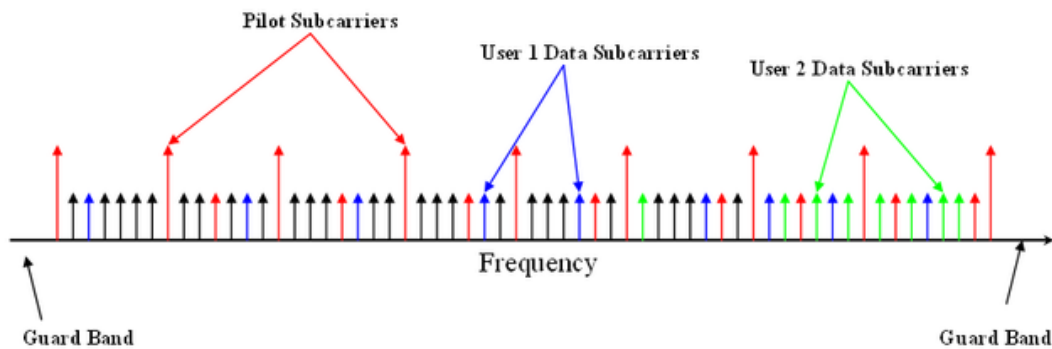
6.2.2.2 LTE OFDMA

Το (OFDMA) είναι μια multiuser έκδοση του OFDM μοντέλου. Η πολλαπλή πρόσβαση επιτυγχάνεται με την ανάθεση των υποσυνόλων των υπομεταφορέων σε μεμονωμένους χρήστες. Αυτό επιτρέπει την ταυτόχρονη χαμηλή μετάδοση ποσοστού στοιχείων από διάφορους χρήστες. Κάποια από τα βασικά πλεονεκτήματα του OFDMA είναι:

- Η ευελιξία της εγκατάστασης σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων με ελάχιστη τροποποίηση στο πρωτόκολλο πρόσβασης [26].
- Ο υπολογισμός του μέσου όρου των παρεμβολών από γειτονικές κυψέλες, χρησιμοποιώντας διαφορετικές βασικές παραλλαγές μεταφορέα μεταξύ των χρηστών σε διαφορετικές κυψέλες.
- Οι Παρεμβολές στο εσωτερικό των κυψελών υπολογίζονται κατά μέσο όρο χρησιμοποιώντας κατανομή με κυκλικές μεταθέσεις.



- Επιτρέπει την ενιαία κάλυψη δικτύου συχνότητας, όπου υπάρχει πρόβλημα κάλυψης και παρέχει εξαιρετική κάλυψη.
- Προσφέρει αρκετές συχνότητες με την κατανομή των φορέων σε όλο το φάσμα που χρησιμοποιείται.
- Επιτρέπει έλεγχο ισχύος ανά κανάλι ή ανά υποκανάλι.



Εικόνα 23: Μέθοδος μετάδοσης OFDMA

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το OFDMA είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο downlink, δηλαδή η κατεύθυνση σταθμός προς τερματικό χρήστη. Παρακάτω αναλύεται ο τρόπος που λειτουργεί για τη καθοδική ζεύξη.

Το σήμα OFDM που χρησιμοποιείται στο LTE αποτελείται κατά το μέγιστο από 2048 διαφορετικά υπόφέροντα, με φασματικό περιεχόμενο στα 15kHz. Παρόλο που είναι υποχρεωτικό για τις κινητές συσκευές να έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν όλα τα 2048 διαφορετικά υπόφέροντα, απεναντίας δεν είναι απαραίτητο ο BS να τα μεταδίδει όλα, αρκεί μόνο να έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει τη μετάδοση 72 εξ αυτών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, όλα τα κινητά τερματικά θα μπορούν να επικοινωνούν σε οποιονδήποτε σταθμό βάσης [39].

Στο OFDM σήμα μπορεί να γίνει επιλογή μεταξύ των ειδών διαμόρφωσης, QPSK (ή 4QAM) με 2 bits ανά σύμβολο, 16QAM με 4 bits ανά σύμβολο και 64QAM με 6 bits ανά σύμβολο. Το ακριβές σχήμα επιλέγεται βάσει των συνθηκών που επικρατούν. Τα χαμηλότερα σχήματα διαμόρφωσης (QPSK), σε σχέση με τα άλλα, δεν απαιτούν υψηλό σηματοθορυβικό λόγο, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι υποστηρίζουν χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Τα υψηλότερα σχήματα διαμόρφωσης μπορούν χρησιμοποιηθούν μόνο αν επιτευχθεί υψηλός σηματοθορυβικός λόγος.



Στο downlink, τα υποφέροντα χωρίζονται σε resource block. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο σύστημα να διαχωρίζει τα δεδομένα προς ένα συγκεκριμένο αριθμό υποφερόντων σε τμήματα.

Κάθε resource block αποτελείται από 12 υποφέροντα, ανεξαρτήτως του συνολικού εύρους ζώνης του LTE σήματος. Ταυτόχρονα, καλύπτουν μία χρονοσχισμή (slot) στο πλαίσιο του χρόνου (time frame), δηλαδή διαφορετικά εύρη ζώνης του LTE σήματος μπορούν να έχουν διαφορετικούς αριθμούς από resource blocks.

Channel bandwidth (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Number of resource blocks	6	15	25	50	75	100

Πίνακας 5: Αντιστοιχία εύρους ζώνης LTE και αριθμού χρονοσχισμών

6.2.2.3 LTE SC-FDMA

Η Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Συχνότητας Μονού Φέροντος (Single Carrier Frequency Division Multiple Access, **SC-FDMA**) είναι μία διαφορετική τεχνική πρόσβασης. Ο λόγος που χρησιμοποιείται από το LTE σύστημα για το uplink είναι γιατί παρουσιάζει ιδιαίτερα καλή απόδοση καθώς έχει πολύ υψηλό λόγο Peak-to-Average Ratio (PAR) σήματος. Ο λόγος PAR είναι πολύ κρίσιμη μετρική η οποία σχετίζεται με τη κατανάλωση ισχύος. Στόχος είναι η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας των τερματικών συσκευών, κάτι που δεν επιτυγχάνεται με το OFDMA. Άλλα πλεονεκτήματα της SC-FDMA είναι ότι επιτρέπει υψηλή απόδοση, μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης της κεραίας του σταθμού βάσης και επιφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στο uplink, κυρίως όταν το τερματικό βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης [39].

Για το uplink στο LTE, χρησιμοποιείται μια διαφορετική αρχή, όσον αφορά στην τεχνική πρόσβασης. Παρόλο που και εδώ γίνεται πάλι χρήση της τεχνολογίας OFDMA, η υλοποίηση ονομάζεται Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Συχνότητας Μονού Φέροντος (Single Carrier Frequency Division Multiple Access, **SC-FDMA**). Ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζει όλα τα κινητά τερματικά είναι ο χρόνος διάρκειας της μπαταρίας. Παρόλο που η απόδοση των μπαταριών ολοένα



και βελτιώνεται, παραμένει αναγκαίο να επιδιώκουμε τα τερματικά να ξοδεύουν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια από τη μπαταρία. Ο RF ενισχυτής (RF power amplifier) που μεταδίδει το σήμα ραδιοσυχνότητας διαμέσου της κεραίας, προς το σταθμό βάσης, με τον τελευταίο να αποτελεί το τμήμα με τη μεγαλύτερη διαθέσιμη ενέργεια στο σύστημα, είναι αναγκαίο να λειτουργεί με όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικό τρόπο γίνεται [39].

6.2.2.4 LTE MIMO

Η MIMO (Multiple Input Multiple Output) είναι μία διαφορετική τεχνολογία μετάδοσης της πληροφορίας, η οποία στηρίζεται στη χρήση πολλαπλών κεραιών τόσο στο πομπό όσο και στο δέκτη για τη βελτίωση του συστήματος επικοινωνίας. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί μια από τις φόρμες των smart antennas ενώ οι όροι 'είσοδος' και 'έξοδος' αντιστοιχούν στο ασύρματο κανάλι στο μεταδίδεται το σήμα και όχι στις συσκευές [40] [47].

Τα βασικά πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ότι προσφέρει σημαντική βελτίωση στη ρυθμαπόδοση και στην έκταση των συνδέσεων σε ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης, χωρίς όμως την απαίτηση μεγαλύτερης ισχύος μετάδοσης. Επιπλέον, με τη χρήση πολλαπλών κεραιών δίνεται η δυνατότητα στο σύστημα να δημιουργεί περισσότερες ροές δεδομένων στο ίδιο κανάλι, οπότε επιτυγχάνει αύξηση της χωρητικότητας των δεδομένων σε αυτό. Από την άλλη πλευρά σα μειονέκτημα θα μπορούσε να θεωρηθεί η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα για την επεξεργασία και τον αριθμό των κεραιών που απαιτεί το σύστημα.

Η βελτίωση της ρυθμαπόδοσης και της φασματικής απόδοσης καθιστά το MIMO μία πολύ χρήσιμη και αξιοποιήσιμη μέθοδο μετάδοσης για την LTE τεχνολογία.

6.3 Εφαρμογές και Υπηρεσίες της τεχνολογίας LTE

Η τεχνολογία LTE προσφέρει πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (downlink και uplink), μειωμένη λανθάνουσα καθυστέρηση, καλύτερη ποιότητα και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Με όλες τις παραπάνω δυνατότητες, το LTE δύναται να υποστηρίξει τη μετάδοση υψηλής ποιότητας περιεχομένου σε real time



ή ακόμα να αποθηκεύεται και να αναμεταδίδεται περιεχόμενο τόσο σε υπηρεσίες ήχου όσο και εικόνας [40].

Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιφέρει επιτάχυνση της πρόσβασης στις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες, κάτι που ευνοεί την ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου καθώς και τη βελτιστοποίηση των υφιστάμενων αλλά και ανάπτυξη νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας. Τέτοιες υπηρεσίες είναι η Τηλείατρική, με γρήγορη μετάδοση δεδομένων για τα ιστορικά των ασθενών, με προστασία του ιατρικού απορρήτου, εξέταση και παρακολούθηση από απόσταση, η εκπαίδευση εξ αποστάσεως, η διαδραστική τηλεόραση, τηλεπαρουσία, εργασία εξ αποστάσεως και πολλές άλλες οι οποίες θα βελτιώσουν και θα απλουστεύσουν τη καθημερινότητα των χρηστών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Ένα **μοντέλο διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων** είναι μια εμπειρική μαθηματική διατύπωση για τον χαρακτηρισμό της διάδοσης των ραδιοκυμάτων ως συνάρτηση της συχνότητας, της απόστασης και άλλων συνθηκών. Ένα ενιαίο μοντέλο συνήθως φτιάχνεται για να προβλέψει τη συμπεριφορά της διάδοσης για παρόμοιες συνδέσεις και με ανάλογους περιορισμούς. Τα μοντέλα διάδοσης δημιουργήθηκαν με στόχο την τυποποίηση του τρόπου που τα ραδιοκύματα μεταδίδονται από το ένα μέρος στο άλλο και προβλέπουν συνήθως το path loss κατά μήκος ενός συνδέσμου ή τη περιοχή που καλύπτει αποτελεσματικά ένας πομπός [48].

Χαρακτηριστικά

Καθώς το path loss το συναντάμε σε οποιαδήποτε ασύρματη σύνδεση, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε ως κυρίαρχο παράγοντα για το χαρακτηρισμό της μετάδοσης της σύνδεσης. Τα μοντέλα διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων συνήθως επικεντρώνονται στην υλοποίηση του path loss με το βοηθητικό έργο τη πρόβλεψη της περιοχής κάλυψης ενός πομπού ή τη μοντελοποίηση της διανομής σημάτων σε διαφορετικές περιοχές [48].

Επειδή κάθε τηλεπικοινωνιακή σύνδεση έχει να αντιμετωπίσει διαφορετικές καταστάσεις, όπως το έδαφος, τη διαδρομή, τα εμπόδια ή ατμοσφαιρικές όπως και άλλα φαινόμενα, είναι δύσκολο να διατυπωθεί το ακριβές path loss για όλα τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα σε μια ενιαία μαθηματική εξίσωση. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τους διάφορους τύπους συνδέσεων κάτω από διαφορετικές καταστάσεις. Τα μοντέλα βασίζονται σε υπολογισμό του μέσου path loss για μία σύνδεση κάτω από μια ορισμένη πιθανότητα ότι οι καταστάσεις που εξετάζονται θα συμβούν [48].



Ανάπτυξη μεθοδολογίας

Τα μοντέλα διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων είναι εμπειρικά, πράγμα που σημαίνει, ότι αναπτύσσονται βάσει δεδομένων που συλλέγονται για κάποιο συγκεκριμένο σενάριο. Για κάθε μοντέλο, η συλλογή των δεδομένων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να παρέχει αρκετές πιθανότητες (ή αρκετό περιθώριο) σε κάθε είδους κατάσταση που μπορεί να συμβεί σε κάποιο συγκεκριμένο σενάριο. Όπως όλα τα εμπειρικά μοντέλα, τα μοντέλα διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων δεν επισημαίνουν την ακριβή συμπεριφορά μιας σύνδεσης, αλλά προβλέπουν την πιο πιθανή συμπεριφορά που μπορεί η σύνδεση να παρουσιάσει υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες [48].

Παραλλαγές

Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά μοντέλα για να καλύψουν την ανάγκη να καταλάβουμε τη συμπεριφορά μετάδοσης σε διαφορετικές συνθήκες. Τύποι μοντέλων για τη μετάδοση ραδιοσυχνοτήτων είναι [48]:

- Models for indoor applications
- Models for outdoor applications
 - Ground wave propagation models
 - Sky wave propagation models
 - Environmental Attenuation models
 - Point-to-Point propagation models
 - Terrain models
 - City Models

Μοντέλα για εξωτερικές εξασθενήσεις

Near-earth propagation models

- Foliage models
 - Weissberger's modified exponential decay model
 - Early ITU Model
 - Updated ITU model
 - One Woodland Terminal Model
 - Single Vegetative Obstruction Model
- Terrain models
 - Egli Model



- Longley–Rice model
- ITU Terrain Model
- City models
 - Young Model
 - Okumura Model
 - Hata Model for Urban Areas
 - Hata Model for Suburban Areas
 - Hata Model for Open Areas
 - COST Hata model
 - Area to Area Lee Model
 - Point to Point Lee Model
- Band-specific models
 - 2.4 GHz (ISM Band, of particular interest for WiFi)
 - Green-Obaidat Model

Μοντέλα για την εσωτερικές εξασθενήσεις

- ITU Model for Indoor Attenuation
- Log-distance path loss model

Μοντέλα με περιβαλλοντικές επιδράσεις

Rain attenuation model

- ITU rain attenuation model
- ITU rain attenuation model for satellites
- Crane global model
- Crane two-component model
- Crane model for satellite paths
- DAH model

Μοντέλα για επιδράσεις κεραίας/περιβάλλοντος

- ☒ Classical (antenna gains are orthogonal to propagation effects)
- ☒ Directional beam scattering
 - Greenstein-Erceg
 - Environmental Directivity Antenna Model (EDAM)



7.1 Μοντέλο Διάδοσης Okumura

Το μοντέλο Okumura για αστικές περιοχές είναι ένα μοντέλο διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων, το οποίο φτιάχτηκε χρησιμοποιώντας στοιχεία που συλλέχθηκαν από τη πόλη Τόκυο της Ιαπωνίας. Το μοντέλο είναι ιδανικό για χρήση σε πόλεις με πολλές αστικές δομές, αλλά όχι πολλές ψηλές κατασκευές. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ως βάση για το μοντέλο Hata [49].

Το μοντέλο Okumura κατασκευάστηκε σε τρεις εκδοχές. Αυτά για τις αστικές, προαστιακές περιοχές και για ανοιχτούς χώρους. Το μοντέλο για τις αστικές περιοχές χτίστηκε πρώτο και χρησιμοποιήθηκε ως βάση για τις άλλες [49].

Κάλυψη

Συχνότητα = 150 MHz και 1920 MHz

Ύψος κεραίας κινητού σταθμού: μεταξύ 1 μ. και 10 μ.

Ύψος κεραίας σταθμού βάσης: μεταξύ 30 μ. και 1000 μ.

Απόσταση Συνδέσεων: μεταξύ 1 χλμ και 100 χιλιόμετρα

Μαθηματική διατύπωση

Το μοντέλο Okumura επίσημα εκφράζεται ως εξής:

$$PL = L_{FSL} + A_{MU} - H_{MG} - H_{BG} - \sum K_{correction}$$

όπου,

PL = path loss . Μονάδα: ντεσιμπέλ (dB)

L = το free path loss. Μονάδα: ντεσιμπέλ (dB)

A_{MU} = Μέση εξασθένηση. Μονάδα: ντεσιμπέλ (dB)

H_{MG} = Συντελεστής ωφέλειας ύψους κεραίας κινητού σταθμού

H_{BG} = Συντελεστής ωφέλειας ύψους κεραίας σταθερής βάσης



$K_{\text{correction}}$ = συντελεστής διόρθωσης ωφέλειας (όπως το είδος του περιβάλλοντος, υδάτινες επιφάνειες, απομονωμένο εμπόδιο κ.λπ.) [49]

7.2 Μοντέλο Διάδοσης Okumura-Hata

Στην ασύρματη επικοινωνία, το μοντέλο Okumura-Hata για Αστικές Περιοχές, είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των μεταδόσεων στις κυψέλες σε κατοικημένες περιοχές. Το μοντέλο ενσωματώνει τις γραφικές πληροφορίες του μοντέλου Okumura, στο οποίο βασίζεται και τις αναπτύσσει περισσότερο περιλαμβάνοντας τις επιπτώσεις από τη περίθλαση, ανάκλαση και σκέδαση που προκαλείται από τις δομές της πόλης. Το μοντέλο αυτό διαθέτει επίσης δύο ποικιλίες που προορίζονται για μετάδοση σε προαστιακές περιοχές και υπαίθριοι χώροι [50].

Το μοντέλο Okumura-Hata προβλέπει το συνολικό path loss μιας σύνδεσης χερσαίων μικροκυμάτων ή άλλου τύπου της κυψελοειδούς επικοινωνίας.

Εφαρμόσιμο σε/υπό όρους

Η συγκεκριμένη έκδοση του μοντέλου Okumura-Hata ισχύει για τη μετάδοση ραδιοσυχνοτήτων εντός αστικών περιοχών. Αυτό το μοντέλο είναι κατάλληλο τόσο για μεταδόσεις σημείο-προς-σημείο όσο και αναμεταδόσεις και βασίζεται σε εκτενείς εμπειρικές μετρήσεις που λαμβάνονται. Επίσης το PCS είναι μια άλλη επέκταση του μοντέλου Okumura-Hata, ενώ το μοντέλο Walfisch και Bertoni είναι πιο προηγμένο [50].

Κάλυψη

Συχνότητα : 150 MHz έως 1500 MHz

Ύψος κεραίας κινητού σταθμού: μεταξύ 1 μ. και 10 μ.

Ύψος κεραίας BS: μεταξύ 30 μ. και 200 μ.

Απόσταση συνδέσεων: μεταξύ 1 χλμ και 20 χλμ.

Μαθηματική διατύπωση

Το μοντέλο Okumura-Hata για αστικές περιοχές, όπως διατυπώνεται:



$$PL = 69,55 + 26,16\log f - 13,82\log h_B - C_H + (44,9 - 6,55\log h_B)\log d$$

Για μικρού ή μεσαίου μεγέθους πόλη,
 $C_H = 0,8 + (1,1\log f - 0,7)h_M - 1,56\log f$

όπου

PL= path loss σε αστικές περιοχές. Μονάδα: ντεσιμπέλ (dB)

h_B = Ύψος της κεραίας σταθμού βάσης. Μονάδα: μέτρο (m)

h_M = Ύψος της κεραίας κινητού σταθμού. Μονάδα: μέτρο (m)

f= Συχνότητα διαβίβασης. Μονάδα: Megahertz (MHz).

C_H = Συντελεστής διόρθωσης ύψους κεραίας

d= Απόσταση μεταξύ της βάσης και των κινητών σταθμών. Μονάδα: χιλιόμετρα (km).



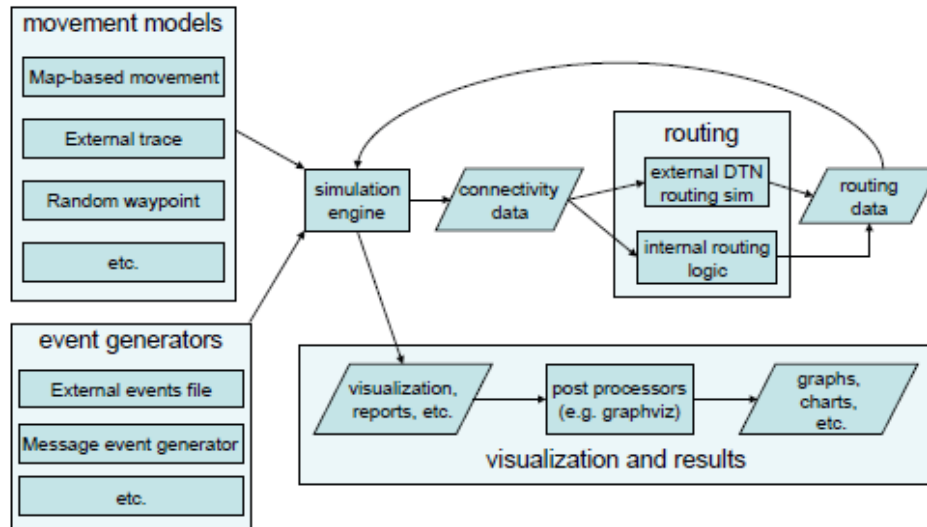
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Ο προσομοιωτής που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία είναι ο ONE. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται χαρακτηριστικά τόσο του προσομοιωτή όσο και των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν.

8.1 Opportunistic Network Environment (ONE)

Ο ONE είναι μία μηχανή προσομοίωσης διακριτών συμβάντων. Σε κάθε βήμα της προσομοίωσης η μηχανή ανανεώνει τον αριθμό των μοντέλων που υλοποιούν τις βασικές λειτουργίες προσομοίωσης. Οι κύριες λειτουργίες του προσομοιωτή ONE είναι η μοντελοποίηση της κίνησης των κόμβων, οι επαφές μεταξύ των κόμβων και η δρομολόγηση και η διακίνηση των μηνυμάτων. Τα αποτελέσματα και οι αναλύσεις των προσομοιώσεων συλλέγονται μέσω της απεικόνισης, αναφορών και με εργαλεία επεξεργασίας. Τα στοιχεία και οι αλληλεπιδράσεις φαίνονται στην Εικόνα 24. Αναλυτική περιγραφή του προσομοιωτή ONE είναι διαθέσιμη στο [51] και η σελίδα της εφαρμογής όπου είναι διαθέσιμος και ο κώδικάς του είναι στο [52].



Εικόνα 24: Προσομοιωτής Δικτύου ONE

8.2 Παράμετροι & Χαρακτηριστικά Προσομοιώσεων

Η κίνηση των κόμβων υλοποιείται από τα μοντέλα κίνησης. Αυτά είναι είτε συνθετικά μοντέλα είτε τα υπάρχοντα ίχνη κίνησης. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν 2 μοντέλα. Το πρώτο ήταν το ShortestPathMapBasedMovement [51] όπου οι κόμβοι κινούνταν σε καθορισμένες διαδρομές στο χάρτη της πόλης Ελσίνκι και δεύτερο ήταν το RandomWalk [51], όπου η θέση και η κίνηση των κόμβων ήταν τυχαία χωρίς να υπάρχει κάποιος χάρτης, ενώ ρυθμίστηκε το μήκος της μέγιστης διαδρομής που μπορεί να διανύσει κάθε κόμβος σε 5m.

Η συνδεσιμότητα των κόμβων μεταξύ τους βασίζεται στη θέση τους, το εύρος της επικοινωνίας τους και το bitrate. Στην εργασία όμως αυτή τέθηκε περιορισμός να μην υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, δηλαδή των τερματικών καθώς το αντικείμενο μελέτης ήταν η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ενός τερματικού αν αυτό είναι συνδεδεμένο με τον macro BS ή κάποιο femtocell και η κατανάλωση της ενέργειας ενός BS κατά τη σύνδεσή του με κάποιο τερματικό.

Εν συνεχεία, η λειτουργία της δρομολόγησης υλοποιείται από τα μοντέλα δρομολόγησης τα οποία αποφασίζουν ποια μηνύματα μπορούν να προωθηθούν μέσω των υφιστάμενων κάθε φορά επαφών. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε εδώ ήταν το EnergyAwareRouter [51]. Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί παραλλαγή



του EpidemicRouter [51] και πρόκειται για δρομολογητής που 'ρίχνει' το πιο παλιό buffer, επιτρέπει μεταφορά μηνύματος μόνο από μία σύνδεση κάθε φορά και συνυπολογίζει τη κατανάλωση της ενέργειας. Για τις ανάγκες της εργασίας έγινε τροποποίηση του κώδικα του EnergyAwareRouter ώστε να εστιάσουμε και να εξάγουμε τα απαραίτητα για τη παρούσα μελέτη στοιχεία.

Όσον αφορά τα μηνύματα, αυτά δημιουργούνται μέσω γεννήτριας μηνυμάτων και είναι πάντα unicast έχοντας μία ενιαία πηγή προέλευσης και προορισμό μέσα στο χώρο της προσομοίωσης. Στις προσομοιώσεις παρακάτω, έχουν όλα μέγεθος 500KB με 1MB και το όνομά τους είναι Mx όπου x είναι ένας αύξων αριθμός μεγαλύτερος του 1 [51] [52].

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συλλέγονται αρχικά μέσω αναφορών που δημιουργούνται από μοντέλα αναφορών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τα μοντέλα αναφορών λαμβάνουν events (όπως για παράδειγμα, κάποιο μήνυμα ή events σύνδεσης) από τη μηχανή προσομοίωσης και δημιουργούν τα αποτελέσματα βασισμένα σε αυτά. Τα αποτελέσματα που δημιουργούνται μπορούν να είναι logs ή events τα οποία έχουν υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία από εξωτερικά εργαλεία μετεπεξεργασίας ή μπορεί να είναι συγκεντρωτικά στατιστικά που υπολογίστηκαν από το προσομοιωτή [51] [52].

Δευτερευόντως, η γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) εμφανίζει μια απεικόνιση της κατάστασης της προσομοίωσης δείχνοντας τις θέσεις, τις ενεργές συνδέσεις και τα μηνύματα που μεταφέρονται από τους κόμβους [51] [52].

Τέλος, χρειάζεται να σημειωθεί ότι στην εργασία αυτή ο τύπος διεπαφής δικτύου που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μοντέλο InterferenceLimitedInterface [51]. Πρόκειται για μία απλή διεπαφή δικτύου που παρέχει ένα μεταβλητό αριθμό υπηρεσιών bitrate, όπου το bitrate εξαρτάται από τον αριθμό των άλλων σταθμών που επίσης μεταδίδουν εσωτερικά στο χώρο εμβέλειας κάποιου σταθμού. Η τρέχουσα ταχύτητα μετάδοσης ενημερώνεται μόνο αν υπάρχουν εν εξελίξει μεταδόσεις και η διαμορφωμένη ταχύτητα είναι η μέγιστη εφικτή ταχύτητα. Παρομοίως έγιναν τροποποιήσεις και στο κώδικα του InterferenceLimitedInterface, ώστε να κατά τις προσομοιώσεις να εφαρμόζονται οι περιορισμοί που θέσαμε παραπάνω, όπως για παράδειγμα να μη καθίσταται δυνατό να επικοινωνούν τα τερματικά μεταξύ τους.



8.3 Μαθηματική Διατύπωση

Για τη προτεινόμενη λύση, θεωρείται ένα δίκτυο που αποτελείται από ένα macro σταθμό βάσης, femtocells και τερματικά. Ο στόχος είναι να υπολογιστεί η κατανάλωση ενέργειας του BS σε σχέση με τις συνδέσεις και τα τερματικά που εξυπηρετεί. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Okumura-Hata για Αστικές Περιοχές, ώστε να μας δώσει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε τη δύναμη μετάδοσης που απαιτείται για την επικοινωνία ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τα τερματικά [53]. Επιπλέον θεωρείται δε μεταδίδουν όλοι οι τερματικοί σταθμοί ταυτόχρονα. Ως εκ τούτου, αν T είναι ο αριθμός των τερματικών, το $IT \subseteq T$ θα δηλώνει το σύνολο των τερματικών που βρίσκονται σε αδράνεια και το $AT \subseteq T$, θα δηλώνει το σύνολο των τερματικών που είναι ενεργά, όπως για παράδειγμα εκείνα τα τερματικά τα οποία μεταδίδουν δεδομένα. Προφανώς $IT \cup AT = T$.

Η ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης για μια δεδομένη χρονική στιγμή t μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$P(t) = \sum_{i \in IT} P_i + \sum_{a \in AT} P_a \quad (1)$$

Όπου, P_i είναι η ισχύς που απαιτείται για την επικοινωνία με ένα αδρανές τερματικό και P_a είναι η ισχύς για επικοινωνία με ενεργά τερματικά. Το P_a μπορεί να υπολογιστεί με το μοντέλο μετάδοσης ραδιοσυχνοτήτων Okumura-Hata, ενώ το P_i θεωρείται ότι είναι ένα μικρό ποσοστό της ισχύος εκπομπής, το οποίο ο BS χρειάζεται ώστε να επικοινωνήσει με το τερματικό, αν αυτό ήταν ενεργό.

Η κατανάλωση ενέργειας του σταθμού βάσης, για μια δεδομένη χρονική στιγμή μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$C(t_0) = \sum_{t \leq t_0} P(t) \cdot t \quad (2)$$

Όπου, t είναι το χρονικό διάστημα για το οποίο ο BS μεταδίδει με ισχύ $P(t)$.



Τέλος, το μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιήθηκε για τα femtocells είναι αυτό που περιγράφεται στο [54].

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9 ΣΕΝΑΡΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης της κατανάλωσης ενέργειας του BS του macrocell αλλά και των τερματικών που βρίσκονται μέσα στην εμβέλειά του, ώστε να αξιολογηθεί κατά πόσο τα ONs αποτελούν ενεργειακά αποδοτική μέθοδος για την εκμετάλλευση των ασύρματων δικτύων. Παρακάτω γίνεται περιγραφή 3 περιπτώσεων μέσα από μία σειρά προσομοιώσεων, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται με γραφήματα. Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις.

Παράμετροι	Τιμή
Ύψος κεραίας BS	20m
Ύψος κεραίας τερματικών	1.6m
Συχνότητα μετάδοσης	2000 MHz
Ευαισθησία τερματικών	-120 dBm

Πίνακας 6: Παράμετροι Προσομοίωσης

Όλες οι προσομοιώσεις έγιναν με τη χρήση του προσομοιωτή ONE [51] σε ένα σύστημα με επεξεργαστή στα 1.6 GHz Intel Core i7 720QM και μνήμη RAM 4 GB DDR3 RAM.

9.1 Ανάλυση Περιπτώσεων Προσομοίωσης

Η τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των προσομοιώσεων αποτελούνταν από ένα macro BS, μέγιστο αριθμό 30 femtocells τα οποία ήταν



κατανεμημένα εντός της περιοχής κάλυψης του BS και μέγιστο αριθμό 50 τερματικών, τα οποία κινούνταν τυχαία μέσα στη περιοχή κάλυψης του BS με μέγιστη απόσταση διάνυσης 5m και ταχύτητα 5.0km/h.

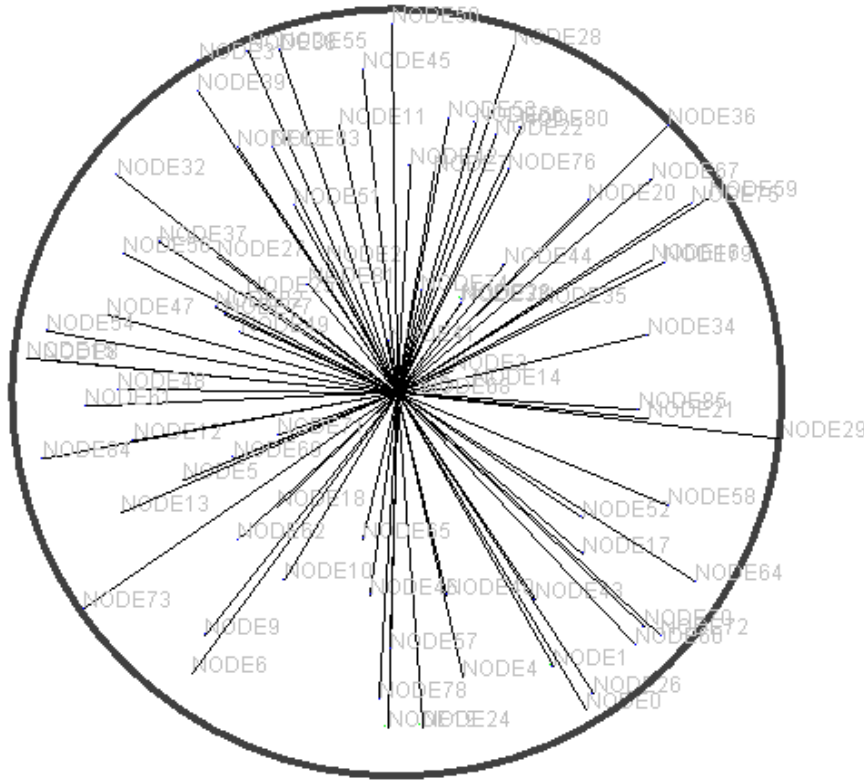
Στη 1^η περίπτωση παρουσιάζεται η επίδραση του αριθμού των femtocells στο δίκτυο στη συνολική κατανάλωση ενέργειας του macro BS ενώ στη 2^η περίπτωση φαίνεται η επίδραση σε αυτή από τον αριθμό των χρηστών. Τέλος στη 3^η περίπτωση μελετάται η κατανάλωση της ενέργειας στα τερματικά σε περιβάλλον όπου γίνεται χρήση femtocells.

Για τις περιπτώσεις 1 και 2, η διάρκεια κάθε προσομοίωσης ήταν 2000sec. Κάθε τερματικό μπορούσε να είναι συνδεδεμένο είτε με τον macro BS είτε με κάποιο femtocell ενώ δεν υπήρχε η δυνατότητα να συνδεθούν και με τα 2 ή μεταξύ τους. Για αυτές τις 2 περιπτώσεις, η διάρκεια κάθε εκτέλεσης ήταν 2000sec και κάθε 3-5 sec γινόταν αποστολή μηνυμάτων μεγέθους 500KB με 1MB από τα τερματικά προς το σταθμό με τον οποίο ήταν συνδεδεμένα. Στη περίπτωση 3, η διάρκεια κάθε προσομοίωσης ήταν 20000sec και η αποστολή των μηνυμάτων γινόταν κάθε 20sec ενώ το μέγεθος των μηνυμάτων κυμαινόταν στα ίδια πλαίσια με τις άλλες περιπτώσεις δηλαδή 500KB με 1MB.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για τις 2 πρώτες περιπτώσεις η κατανάλωση ενέργειας του macro BS ήταν ανάλογη του αριθμού των τερματικών με τα οποία ήταν συνδεδεμένος κάθε στιγμή, από τις λήψεις των μηνυμάτων και από τον όγκο τους. Ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας για κάθε σύνδεση με κάποιο τερματικό είτε ήταν δε αδράνεια είτε γινόταν μεταφορά μηνύματος, έγινε σύμφωνα με το μοντέλο διάδοσης Okumura-Hata [50].

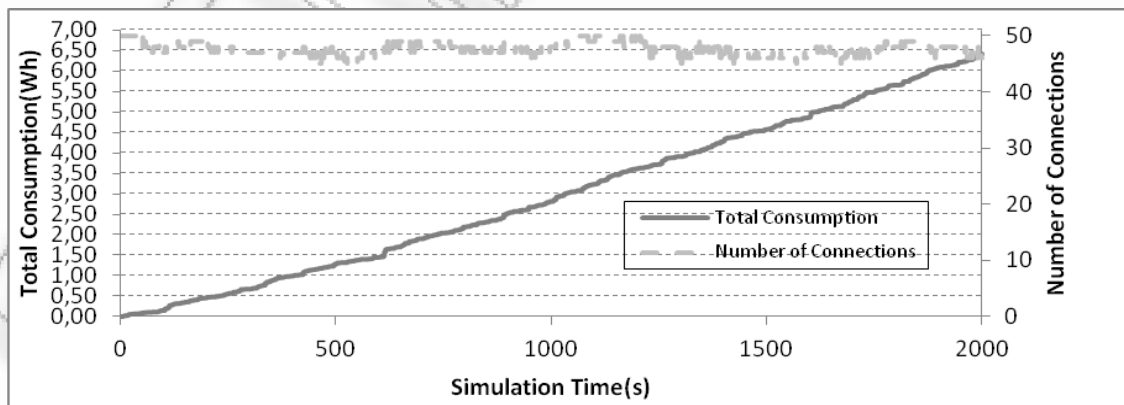
9.1.1 Περίπτωση 1: Κατανάλωση Ενέργειας BS με Μεταβλητό Αριθμό Femtocells

Αρχικά προσομοιώθηκε ένα δίκτυο με ένα macro BS και 50 τερματικά. Η τοπολογία που προέκυψε ήταν αυτή που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Ο εξωτερικός κύκλος παρουσιάζει την εμβέλεια του macro BS ενώ οι γραμμές απεικονίζουν τη σύνδεση όλων τερματικών που βρίσκονται μέσα στη περιοχή κάλυψης του macro BS με αυτόν.



Εικόνα 25: Δίκτυο με 50 τερματικά

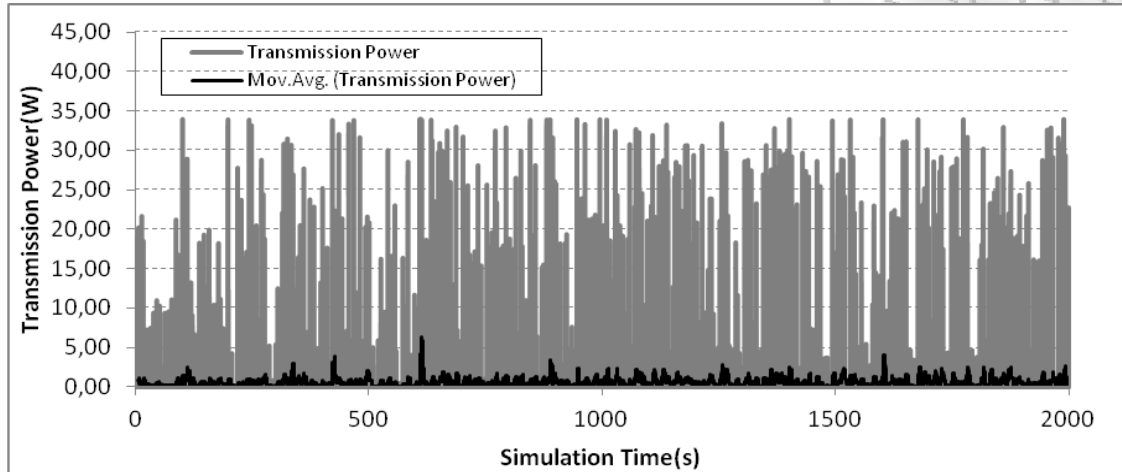
Από τη παραπάνω προσομοίωση προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στην Εικόνα 26 εμφανίζεται η συνολική κατανάλωση η οποία με το πέρασ του χρόνου αυξάνεται συνεχώς και μετά από 2000sec είναι 6,42Wh, ενώ ο αριθμός των τερματικών κυμαινόταν από 45 μέχρι 50.



Εικόνα 26: Συνολική Κατανάλωση του macro BS χωρίς τη λειτουργία Femtocells

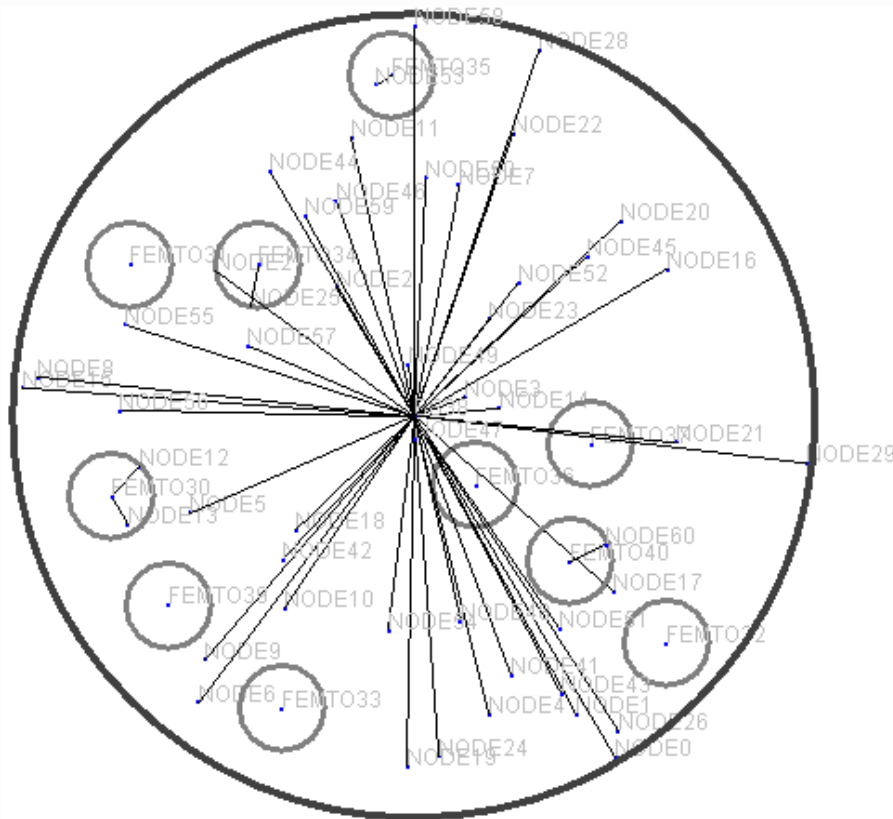


Στην Εικόνα 27 παρουσιάζεται η στιγμιαία κατανάλωση του macro BS καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, η οποία έφθασε μέχρι 35W όταν γινόταν λήψη μηνυμάτων από τα τερματικά.



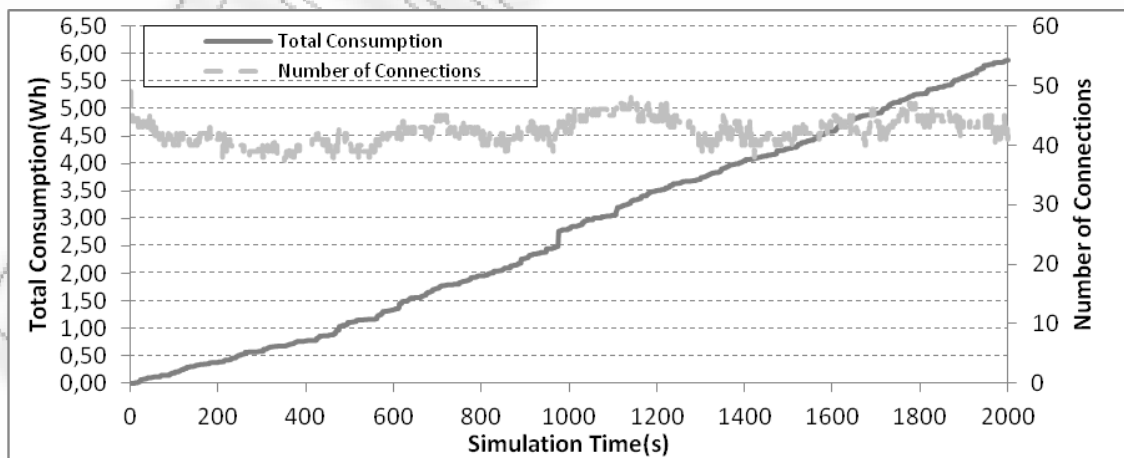
Εικόνα 27: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο χωρίς Femtocells

Στη συνέχεια προστέθηκαν στη τοπολογία 10 femtocells, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 28 με τους μικρότερους κύκλους και όσα από τα τερματικά βρίσκονται στη περιοχή κάλυψης των femtocells είναι συνδεδεμένα μόνο με αυτό και όχι με τον BS.



Εικόνα 28: Δίκτυο με 50 τερματικά και 10 Femtocells

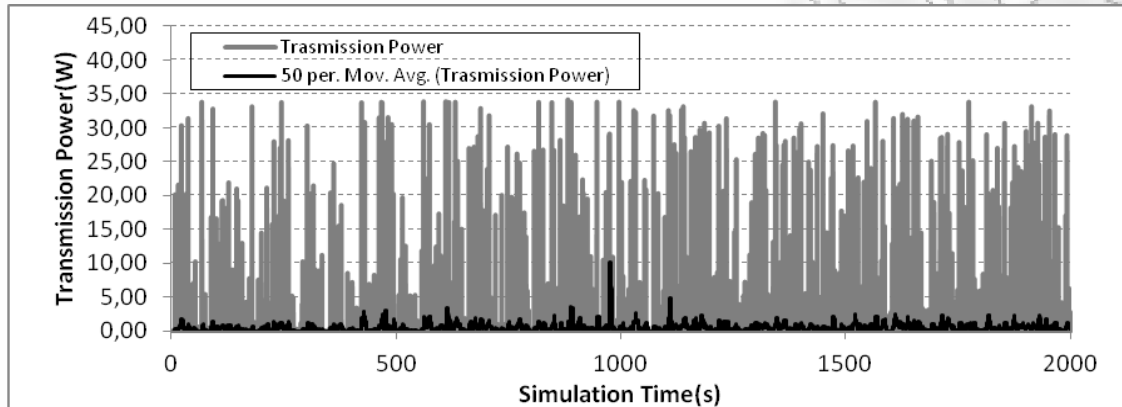
Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση του macro BS, η οποία στα 2000sec είναι 5,88Wh, ενώ λόγω των femtocells ο αριθμός των τερματικών κυμαίνεται από 35 έως 50.



Εικόνα 29: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με χρήση 10 Femtocells στο δίκτυο

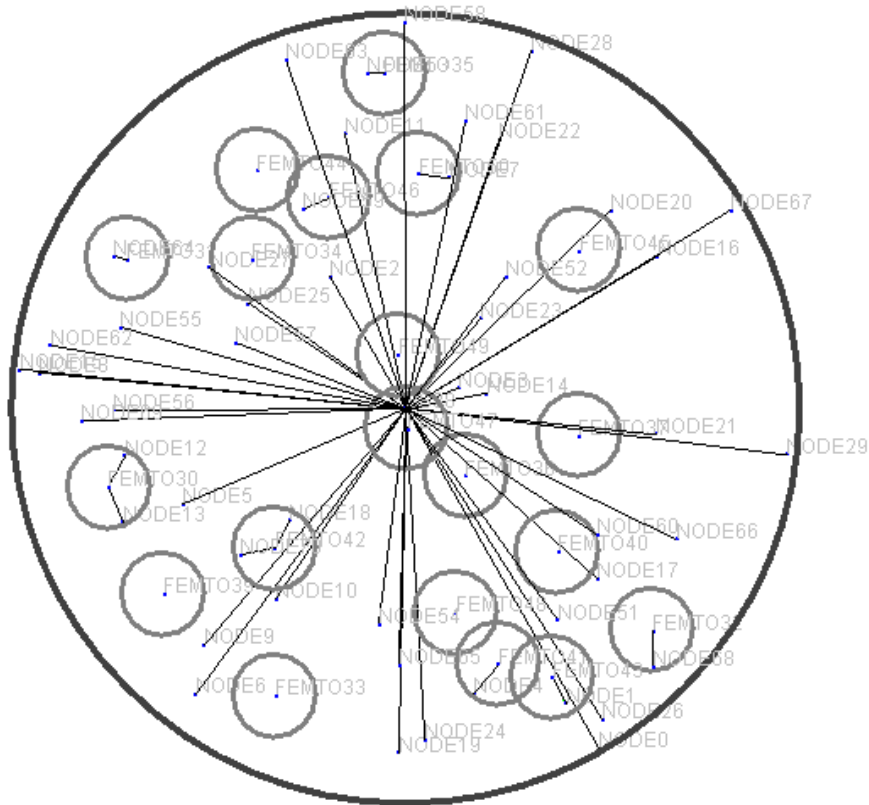


Στη μελέτη αυτής της περίπτωσης κάποια τερματικά συνδέονταν και με femtocells οπότε όπως φαίνεται στην Εικόνα 30: Στιγμαϊά κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 10 Femtocells η στιγμαϊά κατανάλωση του macro BS έφθανε τα 35W όταν γινόταν λήψη κάποιου μηνύματος αλλά τα διαστήματα είναι πιο αραιά μεταξύ τους.



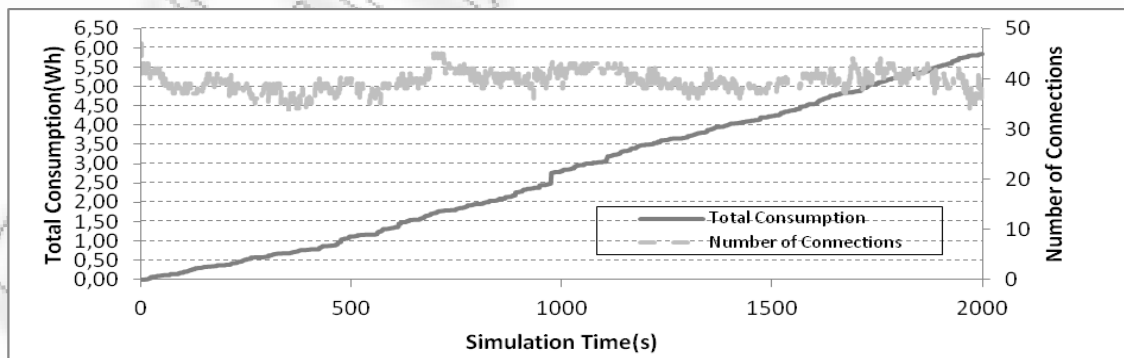
Εικόνα 30: Στιγμαϊά κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 10 Femtocells

Με τη πρόσθεση επιπλέον 10 femtocells η τοπολογία αλλάζει σύμφωνα με την Εικόνα 31. Είναι δυνατό να γίνονται αλληλοεπικαλύψεις των περιοχών κάλυψης των femtocells οπότε επιλέγεται κάθε φορά εκείνο το femtocell στο οποίο εισήλθε το τερματικό πιο πρόσφατα.



Εικόνα 31: Δίκτυο με 50 τερματικά και 20 Femtocells

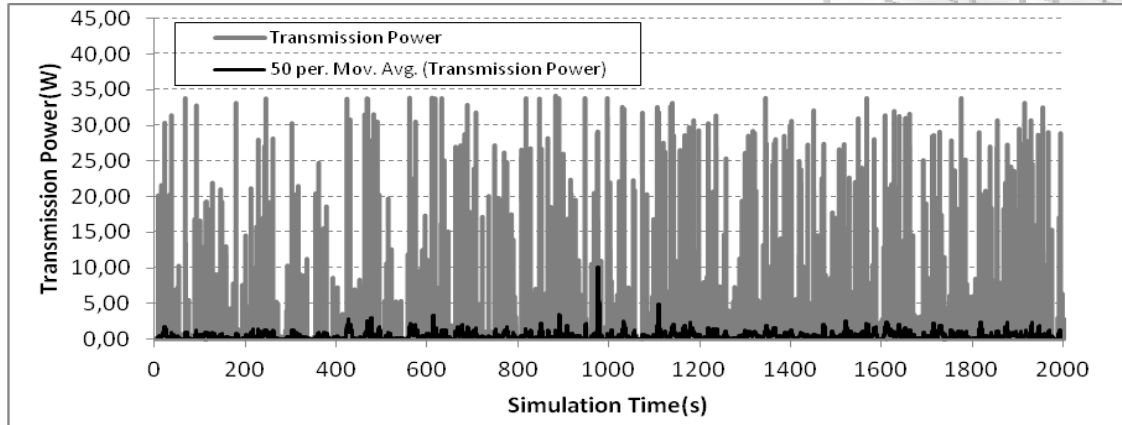
Σε αυτό το σενάριο παρατηρούμε, σύμφωνα με την Εικόνα 32, ότι η συνολική κατανάλωση του BS είναι μειωμένη σε σχέση με το προηγούμενο κατά 0,02Wh και στα 2000sec είναι 5,86Wh, ενώ λόγω των περισσότερων femtocells ο αριθμός των τερματικών κυμαίνεται από 33 έως 50.



Εικόνα 32: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με χρήση 20 Femtocells στο δίκτυο

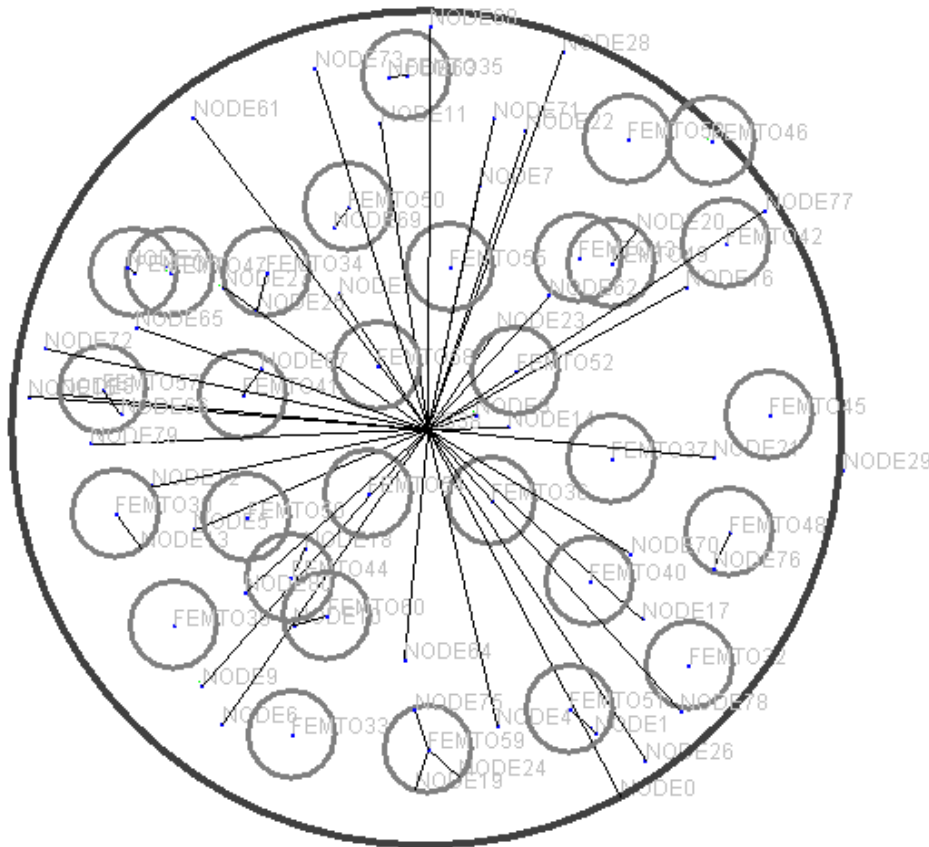


Στην Εικόνα 33 όπου παρουσιάζεται η στιγμιαία κατανάλωση παρατηρούμε ότι τα διαστήματα όπου η κατανάλωση φθάνει τα 35W γίνονται περισσότερο αραιά, καθώς οι σταθμοί όπου αποστέλλονται τα μηνύματα τώρα είναι περισσότεροι.



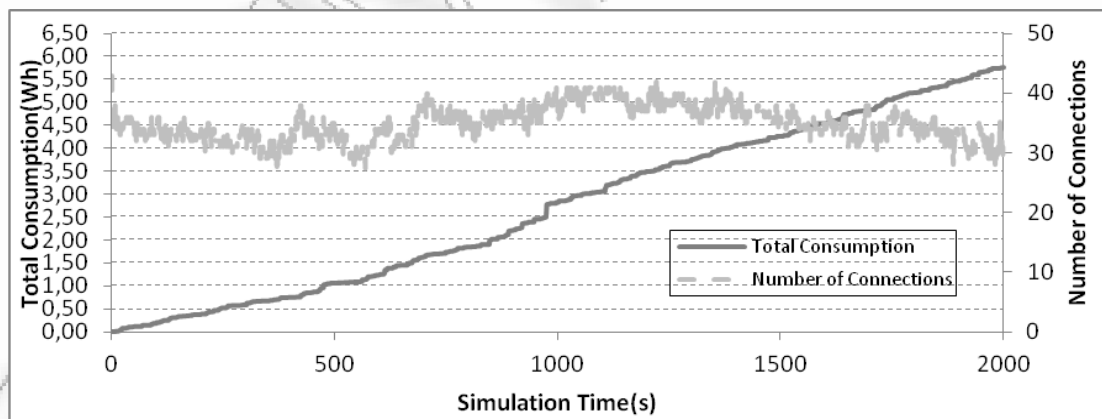
Εικόνα 33: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 20 Femtocells

Στο τελευταίο σενάριο για αυτή τη περίπτωση με αριθμό τερματικών ίσο με 50 και 30 femtocells το δίκτυο φαίνεται όπως στην Εικόνα 34.



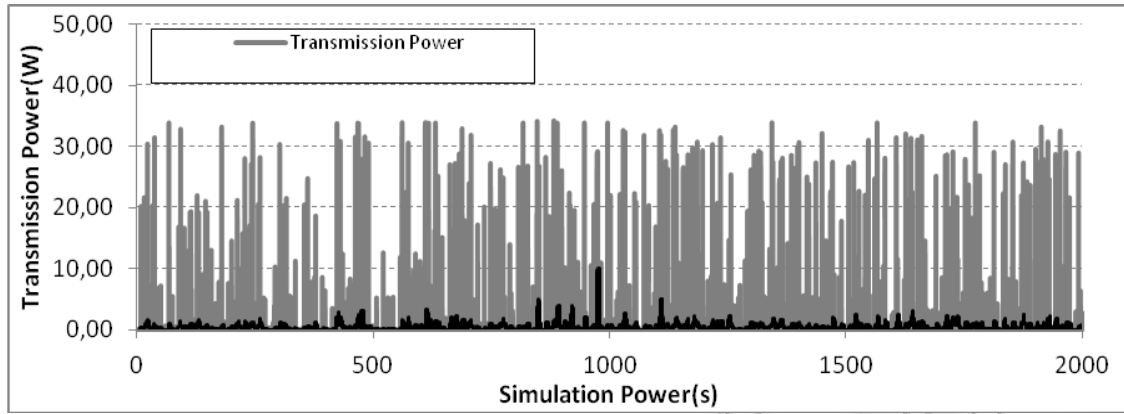
Εικόνα 34: Δίκτυο με 50 τερματικά και 30 Femtocells

Η συνολική κατανάλωση απεικονίζεται στην Εικόνα 35 και στο τέλος της προσομοίωσης είναι 5,75Wh.



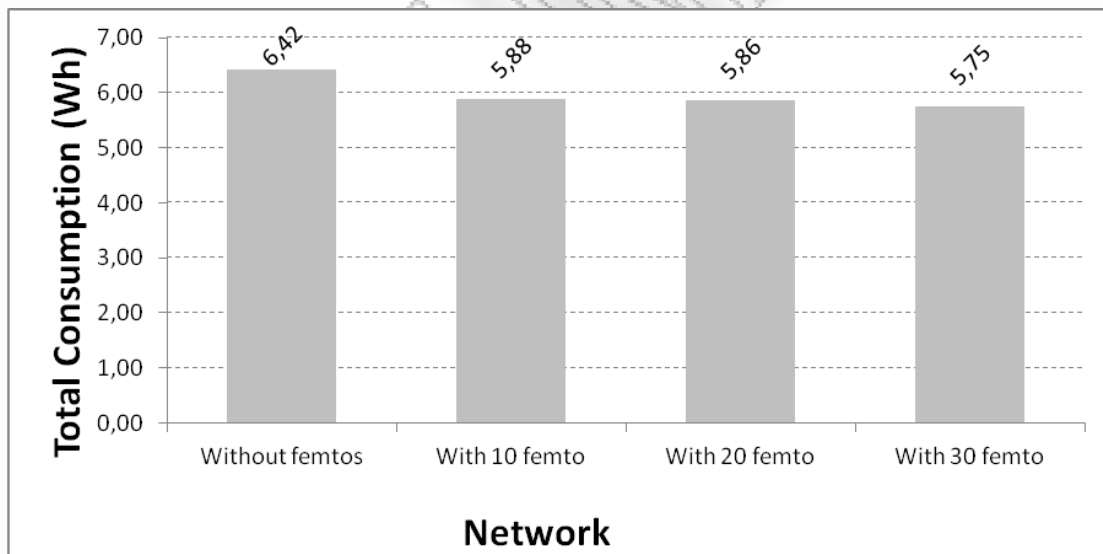
Εικόνα 35: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο

Στην Εικόνα 36 παρουσιάζεται η στιγμιαία κατανάλωση ενέργειας, με μέγιστη τιμή 33,95W.



Εικόνα 36: Στιγμαϊά κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 20 Femtocells

Τέλος, στην Εικόνα 37 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωσης ενέργειας στο macro BS ενός δικτύου με μέγιστο αριθμό 50 τερματικών και μεταβλητό αριθμό femtocells. Με την αύξηση του αριθμού των femtocells μειώνεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας.



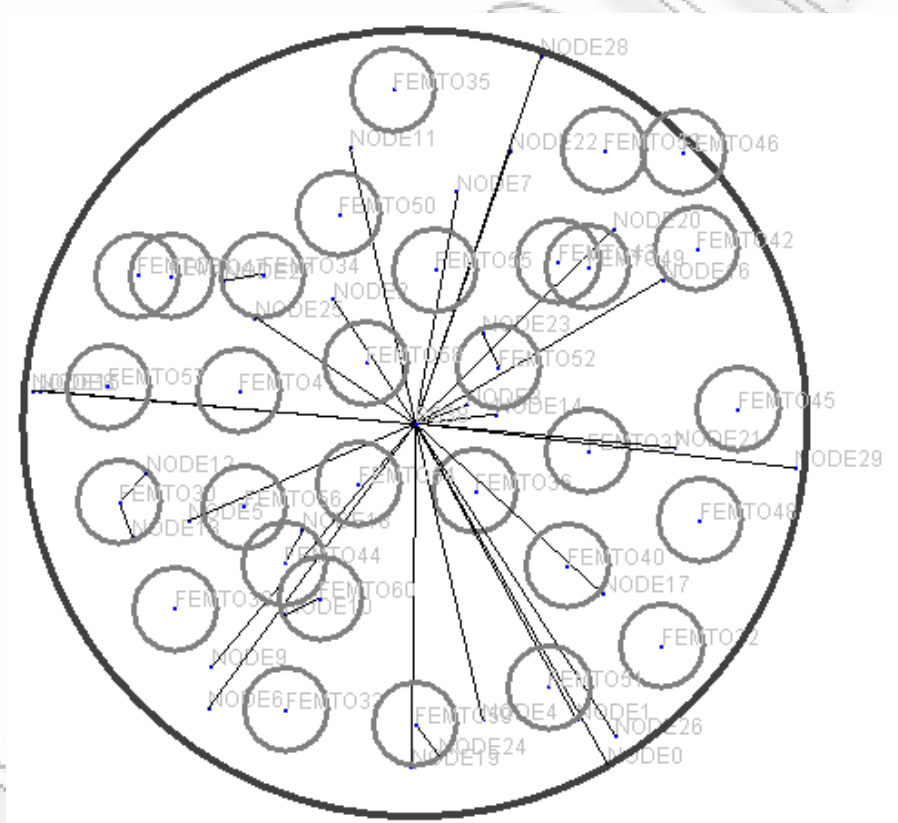
Εικόνα 37: Συνολική Κατανάλωση του Macro BS συναρτήσει του αριθμού των Femtocells



9.1.2 Περίπτωση 1: Κατανάλωση Ενέργειας BS με Μεταβλητό Αριθμό Τερματικών

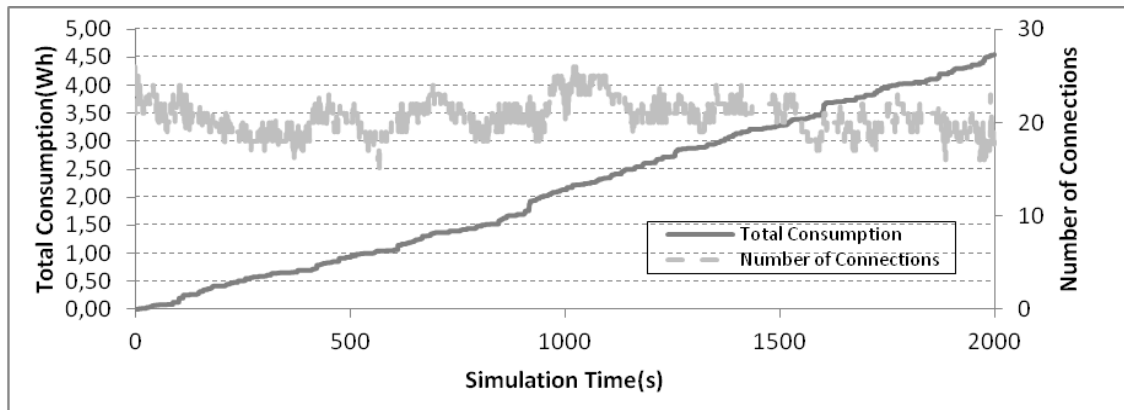
Σε αυτή τη περίπτωση έγινε μια προσπάθεια μελέτης της κατανάλωσης ενέργειας του BS σε ένα περιβάλλον με 30 femtocells, στο οποίο όμως μεταβάλλεται ο αριθμός των τερματικών.

Στο πρώτο σενάριο, το δίκτυο αποτελείται από 1 macro BS, 30 femtocells και 30 τερματικά όπως φαίνεται στην Εικόνα 38.



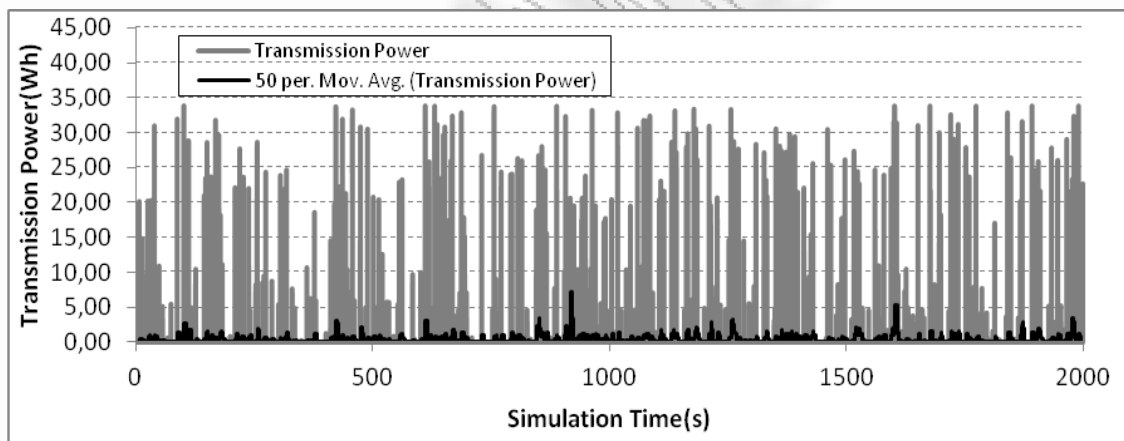
Εικόνα 38: Δίκτυο με 30 τερματικά και 30 Femtocells

Στην Εικόνα 39 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση του macro BS, η οποία στα 2000sec είναι 4,55Wh, ενώ λόγω των femtocells ο αριθμός των τερματικών κυμαίνεται από 15 έως 30.



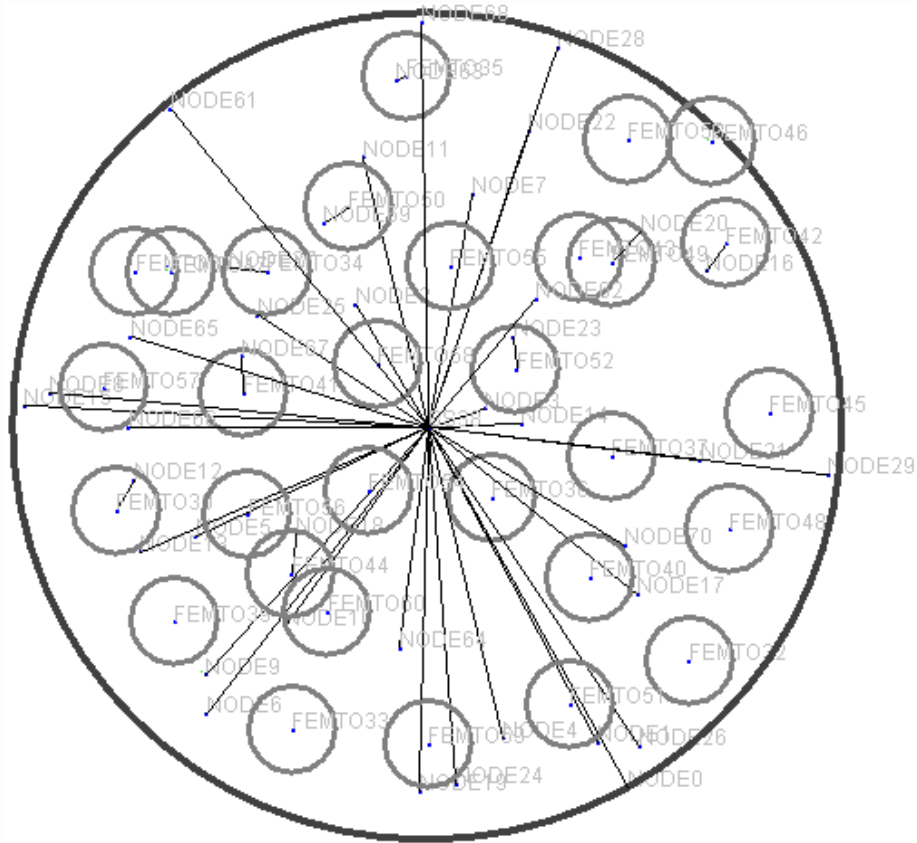
Εικόνα 39: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με 30 κόμβους και χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο

Η στιγμιαία κατανάλωση παρουσιάζεται στην Εικόνα 40 και παρατηρούμε ότι κατά τη λήψη μηνυμάτων από τα τερματικά η κατανάλωση ενέργειας φθάνει 33,93W.



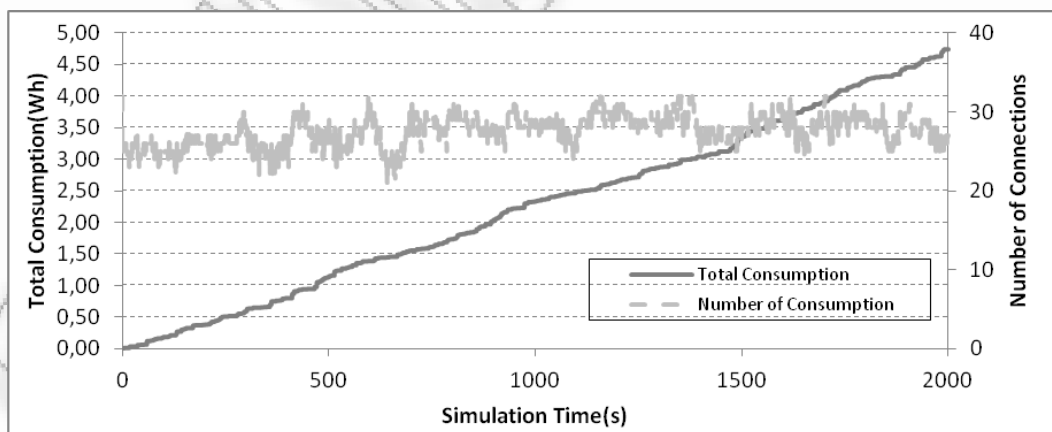
Εικόνα 40: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 30 κόμβους και 30 Femtocells

Στο επόμενο σενάριο προστίθενται στο δίκτυο 10 τερματικά, οπότε είναι συνολικά 40 και είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα 41.



Εικόνα 41: Δίκτυο με 40 τερματικά και 30 Femtocells

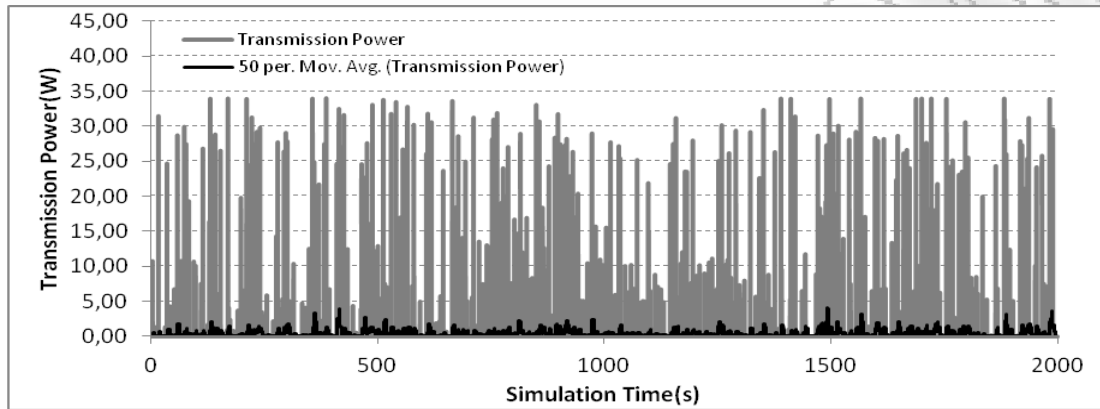
Σύμφωνα με την Εικόνα 42 η συνολική κατανάλωση του macro BS με την αύξηση των τερματικών αυξήθηκε κατά 0,2Wh και είναι 4,75Wh ενώ ο αριθμός των τερματικών που είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν συνεχώς μεταβάλλεται.



Εικόνα 42: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με 40 κόμβους και χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο

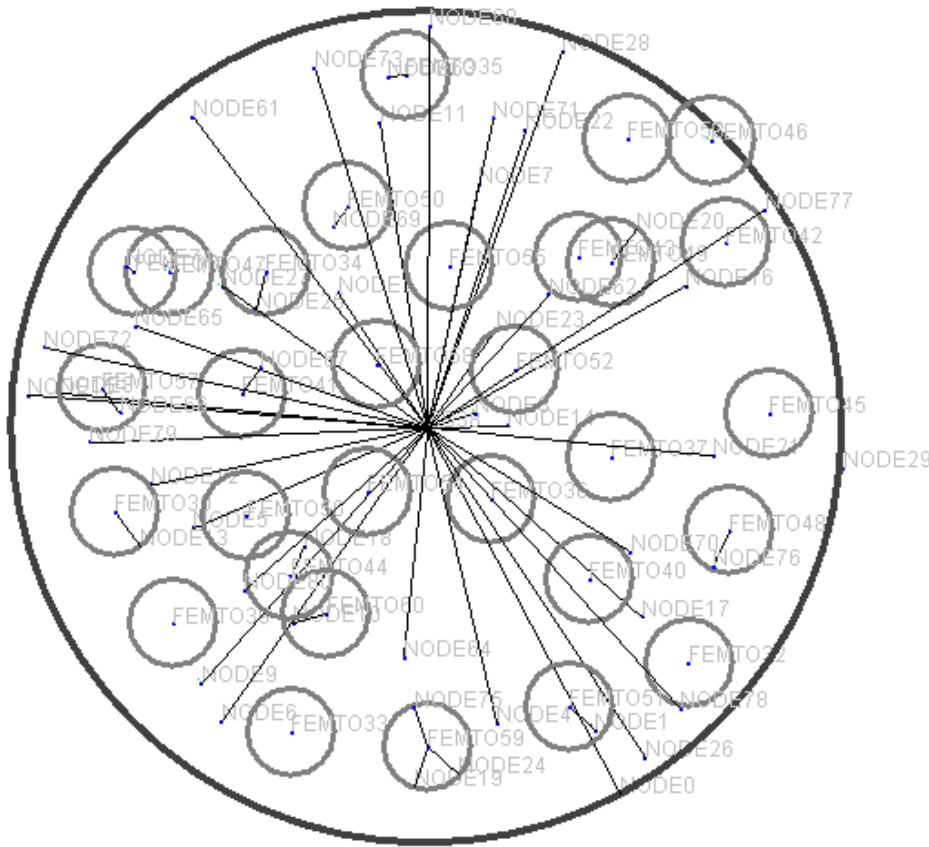


Στη συνέχεια εμφανίζεται στην Εικόνα 43 η στιγμιαία κατανάλωση του BS με μέγιστη τιμή 33,94W, μεγαλύτερη κατά 0,01W σε σχέση με το προηγούμενο δίκτυο λόγω των περισσότερων τερματικών.



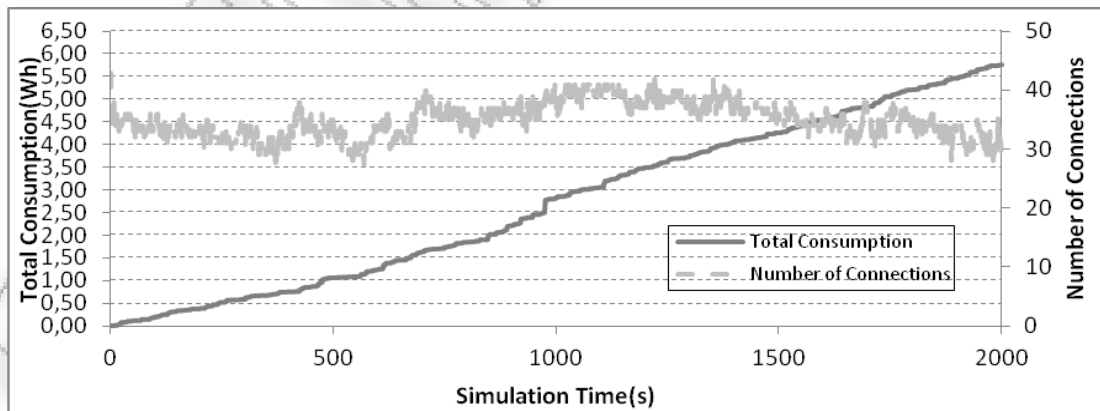
Εικόνα 43: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με με 40 κόμβους και 30 Femtocells

Στο τελευταίο σενάριο για αυτή τη περίπτωση ο μέγιστος αριθμός των τερματικών είναι 50 και το δίκτυο φαίνεται όπως στην Εικόνα 44.



Εικόνα 44: Δίκτυο με 50 τερματικά και 30 Femtocells

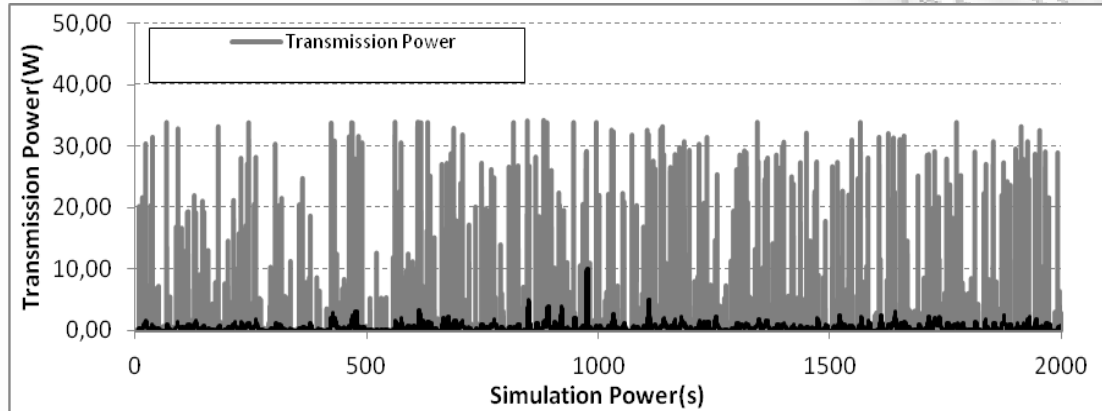
Η συνολική κατανάλωση απεικονίζεται στην Εικόνα 45 και στο τέλος της προσομοίωσης είναι 5,75Wh.



Εικόνα 45: Συνολική Κατανάλωση του macro BS με 50 κόμβους και χρήση 30 Femtocells στο δίκτυο

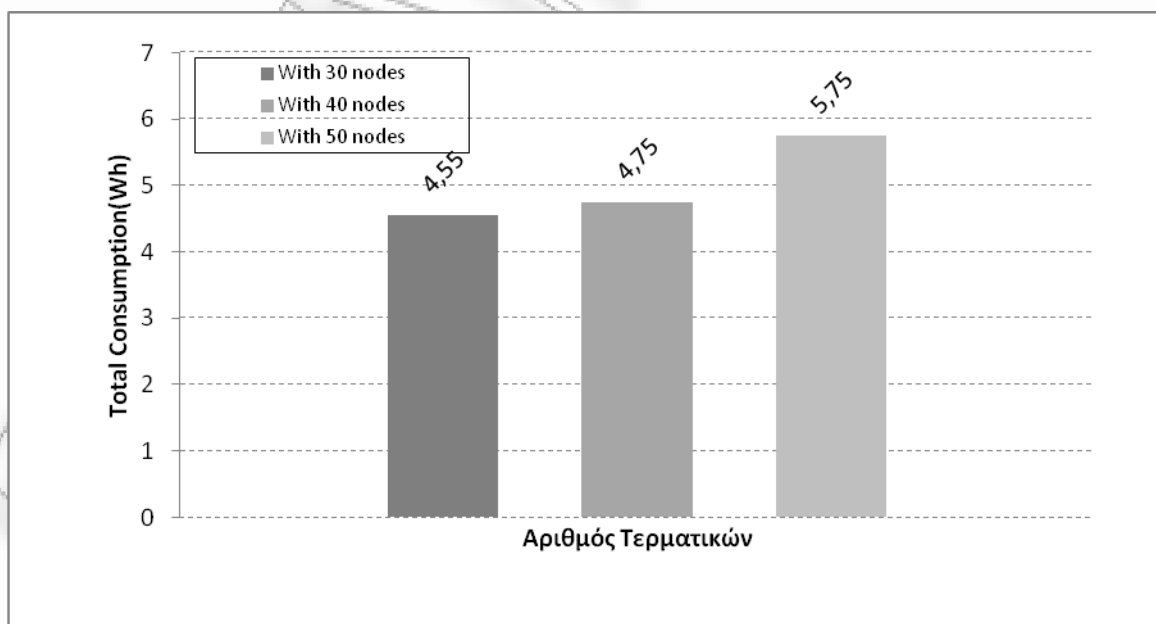


Τέλος, όπως και στο προηγούμενο σενάριο παρουσιάζεται αύξηση και στη στιγμιαία κατανάλωση ενέργειας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 46, με μέγιστη τιμή 33,95W.



Εικόνα 46: Στιγμιαία κατανάλωση macro BS σε δίκτυο με 50 κόμβους και 30 Femtocells

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας για τα 3 σενάρια που περιγράφηκαν για τη περίπτωση που μελετάμε. Με την αύξηση του αριθμού των τερματικών, όπως ήταν και αναμενόμενο, αυξανόταν και η συνολική κατανάλωση ενέργειας του macro BS.



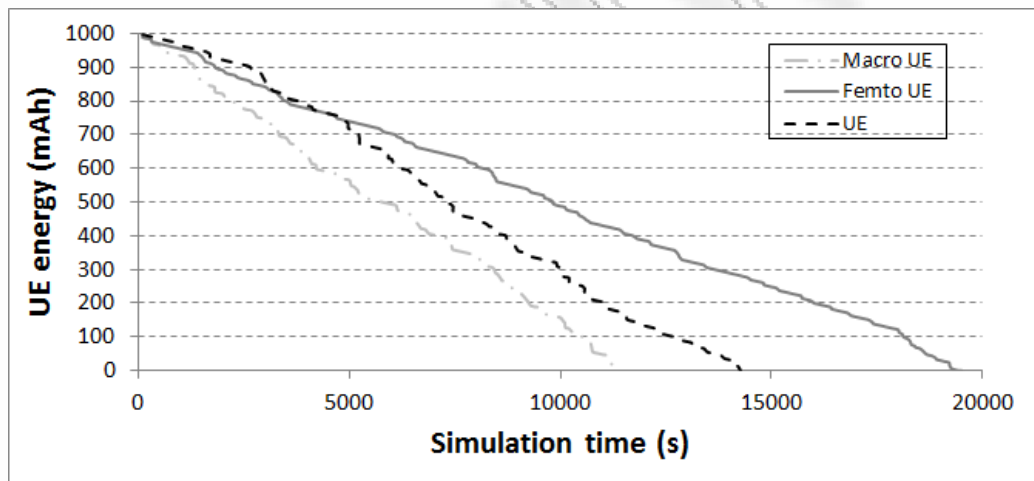
Εικόνα 47: Συνολική κατανάλωση macro BS συναρτήσει των κόμβων, σε δίκτυο με 30 femtocells



9.1.3 Περίπτωση 3: Κατανάλωση Μπαταρίας Τερματικών

Σε αυτή τη περίπτωση μελετάται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ενός τερματικού το οποίο συνδέεται μόνο με το BS ενός macrocell (Macro UE) ή εξυπηρετείται μόνο από ένα femtocell (Femto UE) ή κινείται στο χώρο και εξυπηρετείται τόσο από τον macro BS όσο και από femtocell (UE).

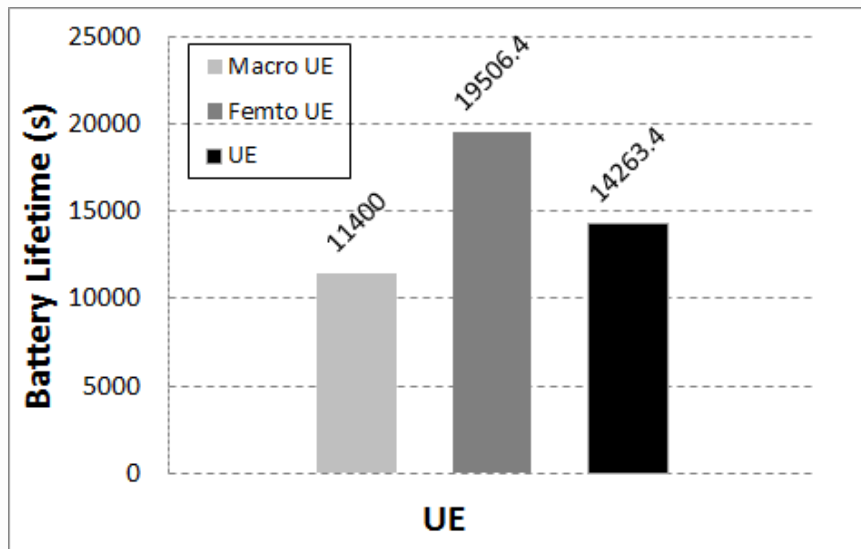
Όπως φαίνεται από την Εικόνα 48, κάθε τερματικό αρχικά έχει ενέργεια 1000mAh και καταναλώνεται πιο γρήγορα από εκείνα που είναι συνδεδεμένα με το macro BS απ' ότι εκείνων που είναι σε femtocell. Ενώ σε μία μέση κατάσταση βρίσκονται εκείνα τα τερματικά τα οποία κινούνται και συνδέονται είτε με το macro BS είτε με το femtocell.



Εικόνα 48: Κατανάλωση ενέργειας τερματικών συνδεδεμένων με το Macro BS ή με Femtocell ή και μπορεί να συνδέεται και με τα 2.

Συγκεκριμένα στο Macro UE η μπαταρία έχει διάρκεια ζωής 11400sec, στο Femto UE όλη η ενέργειά του έχει καταναλωθεί με το πέρας 19506,4sec ενώ για το UE που έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί και στα 2, μετά από 14263,4sec.

Τα παραπάνω παρουσιάζονται διαγραμματικά στην Εικόνα 49 και όπως φαίνεται, η χρήση των femtocells αυξάνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας.



Εικόνα 49: Διάρκεια ζωής μπαταρίας των Macro UE, Femto UE και UE με δυνατότητα σύνδεσης τόσο στο Macro BS όσο και σε Femtocell.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

- [1] http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/overview_en.html#why
- [2] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/futint-book_en.pdf
- [3] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/futint-3-internet-of-things_en.pdf
- [4] D. Karvounas, A. Georgakopoulos, D. Panagiotou, V. Stavroulaki, K.Tsagkaris, P.Demestichas, "Achieving energy efficiency through the opportunistic exploitation of resources of infrastructures comprising cells of various sizes", Journal of Green Engineering, River Publishers, Vol.2, pp. 233-253, 2012
- [5] D. Karvounas, A. Georgakopoulos, D. Panagiotou, V. Stavroulaki, K.Tsagkaris, P.Demestichas, "Opportunistic Exploitation of Resources for Improving the Energy Efficiency of Wireless Networks", IEEE International Conference on Communications (ICC) 2012, 3rd Workshop On Energy Efficiency in Wireless Networks & Wireless Networks for Energy Efficiency (E2Nets), Ottawa, Canada, June, 2012
- [6] <http://www.saching.com/Article/MANET--Mobile-Adhoc-NETwork--/334>
- [7] http://w3.antd.nist.gov/wahn_ssn.shtml
- [8] S. Corson, J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations", IETF working group
- [9] Georgakopoulos, K. Tsagkaris, V. Stavroulaki, P. Demestichas, «Efficient opportunistic network creation in the context of Future Internet», Future Internet: Achievements and Technological Promises, pp.293-306, Springer Verlag, May 2011.
- [10] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Reconfigurable Radio Systems (RRS), "Summary of feasibility studies and potential standardization topics", TR 102.838, V.1.1.1 (October 2009)
- [11] J. Strassner, "Policy-based network management: solutions for the next generation", Morgan Kaufmann (series in networking), 2005
- [12] R. E. Neapolitan, "Learning Bayesian networks", Prentice Hall (series in artificial intelligence), 2002
- [13] T. Mitchell, "Machine learning", Mc Graw Hill, 1997
- [14] M. Bishop, "Pattern recognition and machine learning", Springer, 2006
- [15] E. Rasmussen, C. K. I. Williams, "Gaussian processes for machine learning", MIT Press, 2006
- [16] Alpaydin, "Introduction to machine learning", MIT press, 2004



- [17]P. Demestichas, "Introducing cognitive systems in the wireless B3G world: motivations and basic engineering challenges", *Telematics and Informatics journal*, Vol. 27, pp. 256-268, 2010.
- [18]R. Thomas, D. Friend, L. DaSilva, A. McKenzie, "Cognitive networks: adaptation and learning to achieve end-to-end performance objectives", *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 44, No. 12, pp. 51-57, Dec. 2006
- [19]P.Demestichas, G.Dimitrakopoloulos, J.Strassner, D. Bourse, "Introducing reconfigurability and cognitive network concepts in the wireless world", *IEEE Vehicular Technology Mag.*, Vol. 1, No. 1, pp. 33-39, June 2006
- [20]P.Demestichas, D.Boscovic, V.Stavroulaki, A.Lee, J.Strassner, "m@ANGEL: autonomic management platform for seamless wireless cognitive connectivity to the mobile Internet", *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 44, No.6, pp. 118-127, June 2006
- [21]P.Demestichas, V.Stavroulaki, "Issues in introducing resource brokerage functionality in B3G, composite radio, environments", *IEEE Wireless Commun. Mag.*, Vol. 11, No. 10, pp. 32-40, Oct. 2004
- [22]C. Papadimitriou, K. Steiglitz, "Combinatorial optimization: Algorithms and complexity", Prentice Hall, Inc., 1982
- [23]Aarts, J. Korts, "Simulated annealing and the Boltzmann machines", J. Wiley & Sons, New York, 1989
- [24]Z. Michalewicz, "Generic algorithms + Data structures = Evolution programs", Springer-Verlag, Berlin, 1995
- [25]Glover, E. Taillard, D. de Werra, "A User's Guide to Taboo Search", *Annals of Operations Research*, Vol. 41, pp. 3-28, 1993
- [26]Hujun Yin and Siavash Alamouti (August 2007). "OFDMA: A Broadband Wireless Access Technology". *IEEE Sarnoff Symposium, 2006 (IEEE)*: pp. 1-4. doi:10.1109/SARNOF.2006.4534773
- [27]J. Zhang et al., *Femtocells: Technologies and Deployment*, Wiley, 2010.
- [28]G.Roche, A.Valcarce, D.López-Pérez, J. Zhang, "Access Control Mechanisms for Femtocells", University of Bedfordshire
- [29]FemtoForum Report, "Interference Management in UMTS Femtocells," Dec. 2008.
- [30]3GPP TS 22.220 v. 9.0.0, Mar. 2009.



- [31] Claussen, L. T. W. Ho, and L. G. Samuel, "An Overview of the Femtocell Concept," Bell Labs. Tech. J., vol. 3, no. 1, May 2008, pp. 221–45.
- [32] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Uplink Capacity and Interference Avoidance for Two-Tier Femtocell Networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 8, no. 7, Feb. 2008, pp. 3498–3509.
- [33] Claussen and F. Pivitt, "Femtocell Coverage Optimization using Switched Multi-Element Antennas," IEEE ICC, Dresden, Germany, June 2009.
- [34] D. López-Pérez et al., "OFDMA Femtocells: A Self-Organizing Approach for Frequency Assignment," PIMRC, Tokyo, Japan, Sept. 2009.
- [35] S. Carlaw, "IPR and The Potential Effect on Femtocell Markets," FemtoCells Europe, London, UK, June 2008.
- [36] M. Amirijoo et al., "Neighbor Cell Relation List and Physical Cell Identity Self-Organization in LTE," IEEE ICC Wksp., New Orleans, LA, May 2008, pp. 37–41.
- [37] Valcarce et al., "Applying FDTD to the Coverage Prediction of WiMAX Femtocells," EURASIP J. Wireless Commun. Net., Feb. 2009, article ID: 308606.
- [38] D. López-Pérez et al., "Access Methods to WiMAX Femtocells: A Downlink System-Level Case Study," IEEE Int'l. Conf. Commun. Sys., Guangzhou, China, Nov. 2008.
- [39] Lescuyer, P., Lucidarme, T. Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS. John Wiley & Sons. 2008.
- [40] Sesia, S., Toufik, I., Baker, M. LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons. 2009.
- [41] Holma, and A. Toskala, LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA based radio access, John Wiley & Sons: Chichester, 2009.
- [42] Motorola, white paper, Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview, 2007.
- [43] Holma, H., Toskala, A. WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE. 4th edition. John Wiley & Sons. 2007.
- [44] http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_%28telecommunication%29
- [45] www.3gpp.org/
- [46] H. Schulze, C. Luders, "Theory and Applications of OFDM and CDMA", John Wiley & Sons, 2005
- [47] V. Kuhn, "Wireless Communications over MIMO Channels: Applications to CDMA and Multiple Antenna Systems" John Wiley & Sons, Sep. 2006



[48]http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_propagation_model

[49]http://en.wikipedia.org/wiki/Okumura_Model

[50]http://en.wikipedia.org/wiki/Hata_Model_for_Urban_Areas

[51]KERÄNEN, A. Opportunistic Network Environment Simulator. Special Assignment report, Helsinki University of Technology, Department of Communications and Networking, May 2008.

[52]TKK/COMNET. Project page of the ONE simulator.

[53]M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-29, No. 3, August 1980, pp.317–325

[54]Z. Jako, G. Jeney, "Downlink Femtocell Interference in WCDMA Networks", Energy-Aware Communications, 17th International Workshop, EUNICE 2011, Springer, September 2011