

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ &
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τεχνικές cognitive radio σε two-tier post -LTE συστήματα

Διπλωματική εργασία

της

Ζαρνομήτρου Μαρίνας

A.M: 4316

Υπεύθυνος καθηγητής: Χρήστος Ι. Μπούρας

Επιβλέπων: Γεώργιος Δηλές

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου και καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Χρήστο Ι. Μπούρα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της μελέτης αυτής και για την πολύτιμη και συνεχή καθοδήγηση που μου πρόσφερε.

Επίσης, θέλω να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον μεταδιδάκτορα κ. Γεώργιο Δηλέ για τη συνεχή υποστήριξη, την αμέριστη συμβολή και τις γνώσεις που μου παρείχε και ήταν απαραίτητες για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την Ιωάννα, την Ευγενία, την Γεωργία και τον Παναγιώτη για την πολύτιμη και συνεχή συμπαράσταση που μου πρόσφεραν.

Κλείνοντας, ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου που μου έδωσαν όλα τα απαραίτητα εφόδια και είναι πάντα κοντά μου.

Πάτρα, 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην τεχνολογία cognitive radio. Αρχικά γίνεται μια ιστορική ανασκόπηση για την εξέλιξη των κινητών δικτύων από την πρώτη γενιά μέχρι και την πέμπτη. Έπειτα γίνεται ανάλυση της τεχνολογίας Long Term Evolution και περιγράφεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική της. Στη συνέχεια γίνεται μια εισαγωγή στα ετερογενή δίκτυα και στην τεχνολογία των small cells. Ακολούθως γίνεται μια περιγραφή της τεχνολογίας cognitive radio. Τέλος παρουσιάζονται οι τεχνικές cognitive radio και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν.

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι παρόλο που η τεχνολογία cognitive radio είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να επιλύσει βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται στο φάσμα στα σύγχρονα κινητά δίκτυα, η ενσωμάτωση της σε αυτά παρουσιάζει, αρκετές τεχνικές προκλήσεις.

ABSTRACT

This dissertation is concerned with the technology of cognitive radio. It begins with a review of the temporal evolution of mobile networks, spanning from the first to the fifth generation. Continuing with an in depth analysis of Long Term Evolution technology, where its architecture is also described in detail. Furthermore, an introduction is given on heterogeneous networks and the small cell technology. A description of the cognitive radio technology follows. Lastly, the various cognitive radio techniques are presented in tandem with the present challenges they need to cope with. This study illustrates that despite being a highly promising technology capable to resolve fundamental problems occurring in the spectrum of modern mobile networks, cognitive radio technology and its implementation still faces an array of technical hurdles.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ABSTRACT

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

- 2.1 Πρώτη γενιά δικτύων (1G)
- 2.2 Δεύτερη γενιά δικτύων (2G)
- 2.3 Τρίτη γενιά δικτύων (3G)
- 2.4 Τέταρτη γενιά δικτύων (4G)
- 2.5 Πέμπτη γενιά δικτύων (5G)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – LONG TERM EVOLUTION

- 3.1 Εισαγωγή
- 3.2 Βασικά χαρακτηριστικά και τεχνολογίες LTE
- 3.3 Αρχιτεκτονική LTE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ

- 4.1 Εισαγωγή
- 4.2 Ιστορική ανασκόπηση των small cells
- 4.3 Small cells
- 4.4 Femtocells

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ COGNITIVE RADIO

- 5.1 Εισαγωγή
- 5.2 Βασικά χαρακτηριστικά και τύποι cognitive radio
- 5.3 Αρχιτεκτονική transceiver
- 5.4 Αρχιτεκτονική cognitive radio δικτύου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΤΕΧΝΙΚΕΣ COGNITIVE RADIO

- 6.1 Ανίχνευση φάσματος
- 6.2 Απόφαση φάσματος
- 6.3 Κινητικότητα φάσματος
- 6.4 Κοινή χρήση φάσματος
- 6.5 Τεχνικές cognitive radio στα small cells

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8- ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 2.1 Αρχιτεκτονική UMTS
- Σχήμα 2.2 Εξέλιξη κινητών δικτύων
- Σχήμα 3.1 Δομικά στοιχεία αρχιτεκτονικής LTE
- Σχήμα 3.2 Εσωτερική αρχιτεκτονική E-UTRAN
- Σχήμα 3.4 Βασικά δομικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής 4G LTE
- Σχήμα 5.1 Αρχιτεκτονική transceiver
- Σχήμα 5.2 Infrastructure αρχιτεκτονική
- Σχήμα 5.3 Ad-hoc αρχιτεκτονική
- Σχήμα 5.4 Mesh αρχιτεκτονικής
- Σχήμα 5.5 Αρχιτεκτονική CR δικτύου
- Σχήμα 6.1 Απεικόνιση τρύπας φάσματος
- Σχήμα 6.2 Τεχνολογία CR στα femtocells

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1	Σύγκριση γενιών κινητών δικτύων
Πίνακας 4.1	Σύγκριση των τεχνολογιών small cells

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια τα κινητά δίκτυα αντιμετωπίζουν πρωτοφανή αιτήματα για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Ένας βασικός παράγοντας που οδήγησε σε αυτή την αλλαγή είναι η εκθετική ανάπτυξη των ενεργών κινητών συσκευών (smartphones, laptops, tablets) με δυνατότητες Internet. Τα ετερογενή δίκτυα συνδυάζοντας τεχνολογίες προσπαθούν να καλύψουν τις ανάγκες αυτές. Ωστόσο ένα ζήτημα που προκύπτει και αναμένεται να ανακόψει την ταχύτατη εξέλιξη στα κινητά δίκτυα είναι το περιορισμένο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων θεωρείται ένας πολύτιμος φυσικός πόρος και για τη χρήση του οι διαχειριστές επιβάλλεται να έχουν άδεια από τη κυβέρνηση και να αγοράσουν με ψηλό κόστος συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων.

Μια πολλά υποσχόμενη λύση στο πρόβλημα του περιορισμένου φάσματος είναι η τεχνολογία cognitive radio, η οποία προσφέρει έξυπνη και αποδοτική διαχείριση του φάσματος. Πιο αναλυτικά, το cognitive radio με τη χρήση ενός πομποδέκτη (transceiver) εντοπίζει στο αχρησιμοποίητο φάσμα, μια τρύπα του φάσματος (δηλαδή τη ζώνη συχνότητας, το χρόνο και τη θέση), και καθορίζει τη μέθοδο προσπέλασης της, αξιοποιώντας έτσι στο μέγιστο το διαθέσιμο φάσμα. Η τεχνολογία cognitive radio μπορεί να επεκταθεί και στα κινητά δίκτυα. Ένα cognitive radio δίκτυο είναι ένα ευφυές σύστημα ασύρματης επικοινωνίας πολλών χρηστών που αντιλαμβάνεται το ραδιο-περιβάλλον, προσαρμόζεται στις μεταβολές του περιβάλλοντος αυτού, διευκολύνει την επικοινωνία μέσω της συνεργασίας μεταξύ των χρηστών και ελέγχει την επικοινωνία μέσω σωστής κατανομής πόρων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια αναδρομή στην εξέλιξη των γενιών των κινητών δικτύων καθώς και οι τεχνολογίες που χαρακτήρισαν κάθε γενιά. Στο κεφάλαιο 3 αναπτύχθηκε η τεχνολογία δικτύων ασύρματης πρόσβασης 3GPP Long Term Evolution (LTE).

Αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά της και η αρχιτεκτονικής της. Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται η τεχνολογία των small cells καθώς και τα ζητήματα ανάπτυξης τους στα ετερογενή δίκτυα. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια εισαγωγή στην τεχνολογία cognitive radio και περιγράφεται η αρχιτεκτονική ενός cognitive radio δικτύου. Τέλος στο κεφάλαιο 6 αναπτύσσονται οι τεχνικές cognitive radio ,οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν καθώς και η χρήση του cognitive radio στα small cells .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας. Η πρωτοφανής αύξηση του αριθμού των κινητών τηλεφώνων, των φορητών συσκευών και των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας έκανε αναγκαία την αναβάθμιση των κυψελοειδών τεχνολογιών επικοινωνίας σε αρκετές γενιές, για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των σύγχρονων υπηρεσιών δεδομένων, των υπηρεσιών πολυμέσων και των φωνητικών επικοινωνιών. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στάδια από τα οποία έχουν περάσει τα κινητά δίκτυα και οδήγησαν στην παρούσα ανάπτυξη τους.

2.1 Πρώτη Γενιά κινητών δικτύων (1G) :

Η πρώτη γενιά αναλογικών κινητών συστημάτων αποτελείται από την τεχνολογία AMPS (Advanced Mobile Phone Systems) που εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην Αμερική το 1983. Η Ομοσπονδιακή επιτροπή επικοινωνιών (FCC) παρείχε για το AMPS 40MHz φάσματος από τα 800MHz που υπήρχαν και διέθετε περιοχή εξυπηρέτησης 2100 τετραγωνικών μιλίων. Ήταν διαθέσιμα συνολικά 832 κανάλια και ο ρυθμός δεδομένων (data rate) έφτανε τα 10kbps. Αρχικά όταν εφαρμόστηκε η τεχνολογία AMPS χρησιμοποιήθηκαν παγκατευθυντικές (omnidirectional) κεραιές όμως στη συνέχεια αυτό άλλαξε καθώς με τη χρήση των κατευθυντικών (directional) κεραιών μπορούσε να επιτευχθεί καλύτερη επαναχρησιμοποίηση κυψέλης. Συγκεκριμένα, βάσει της αναλογίας σήματος - παρεμβολών (SIR) και των διαθέσιμων κεραιών υιοθετήθηκε το πρότυπο

επαναχρησιμοποίησης 7-κυψελών. Οι μεταδόσεις από τους σταθμούς βάσης προς τα κινητά συστήματα γίνονταν από τα εμπρόσθια κανάλια με συχνότητες που κυμαίνονταν ανάμεσα στα 869 και στα 894 MHz, ενώ οι μεταδόσεις από τα κινητά στους σταθμούς βάσεις συνέβαιναν στο αντίστροφο κανάλι με συχνότητες ανάμεσα στα 824 και στα 849 MHz.

Στην Ευρώπη το 1983 εμφανίστηκε η τεχνολογία TACS (Total Access Communication System), που αποτελεί μια παραλλαγή του AMPS. Το TACS χρησιμοποιούσε 1000 κανάλια και έφτασε ρυθμό δεδομένων της τάξης των 8kbps. Το AMPS και το TACS χρησιμοποιούν την τεχνική διαμόρφωσης συχνότητας (FM) και τη μέθοδο FDMA (Frequency Division Multiple Access) για την πρόσβαση καναλιών. Οι δυο αυτές τεχνολογίες ήταν ανεπαρκείς λόγω του αναλογικού σήματος μετάδοσης που επηρεάζεται από το περιορισμένο φάσμα, καθώς και από τις μη ασφαλείς μεταδόσεις δεδομένων και σήμερα έχουν πλέον καταργηθεί.

Γενικότερα η πρώτη γενιά κινητών δικτύων καθιέρωσε τα θεμέλια για τις μετέπειτα γενιές όπως η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων χωρίς παρεμβολές μέσω γεωγραφικού διαχωρισμού, το συντονισμένο δίκτυο για απρόσκοπτη πρόσβαση και απρόσκοπτη κινητικότητα και το αδειοδοτημένο φάσμα για την αποκλειστική χρήση του από τις κινητές τεχνολογίες. Ωστόσο η χαμηλή χωρητικότητα, η χαμηλή ποιότητα ήχου, η έλλειψη ασφάλειας στις μεταδόσεις και το πολύ χαμηλό επίπεδο αποδοτικότητας φάσματος που χαρακτήρισαν την πρώτη γενιά έκαναν αναγκαία την εξέλιξη στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. [1],[2]

2.2 Δεύτερη Γενιά κινητών δικτύων(2G) :

Σε αντίθεση συστήματα πρώτης γενιάς, τα συστήματα δεύτερης γενιάς ήταν ψηφιακά, όχι αναλογικά, και βασίστηκαν στις ψηφιακές τεχνολογίες πολλαπλής πρόσβασης όπως η TDMA (Time Division Multiple Access) και η CDMA (Code Division Multiple Access).

Η δεύτερη γενιά κινητών δικτύων ήταν πιο αποδοτική ως προς το φάσμα επιτρέποντας πολύ μεγαλύτερα επίπεδα ασύρματης διείσδυσης

καθώς και εισήγαγε τις υπηρεσίες δεδομένων στα κινητά όπως τα μηνύματα κειμένου, τα μηνύματα εικόνας και πολυμέσων (MMS). Η ταχύτητα δεδομένων έφτασε μέχρι και τα 64kbps. Επιπλέον παρουσιάστηκε ένα νέο σχέδιο για τα κινητά κέντρα μεταγωγής (Mobile Switching Centers) που ελάττωσε το φορτίο που υπήρχε σε αυτά στα δίκτυα πρώτης γενιάς. Μια ακόμη προσθήκη που εμφανίστηκε στα δίκτυα δεύτερης γενιάς είναι ο μηχανισμός του handover. Το handover είναι μια διαδικασία μεταβίβασης όπου μια συνεδρία δεδομένων μεταφέρεται από ένα σταθμό βάσης σε άλλο χωρίς να διακόπτεται η συνεδρία αυτή.

Τα συστήματα δεύτερης γενιάς πρόσφεραν υψηλότερη αποδοτικότητα φάσματος, καλύτερες υπηρεσίες δεδομένων και πιο προηγμένη περιαγωγή σε σχέση με τα συστήματα πρώτης γενιάς και πυροδότησαν μια πρωτόγνωρη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα συστήματα δεύτερης γενιάς έχουν παγκοσμίως αρχίσει να μπαίνουν σε διαδικασία τερματισμού, ενώ σε μερικές χώρες έχουν ήδη καταργηθεί (Νέα Ζηλανδία, Σιγκαπούρη), καθώς και άλλες χώρες (Ελβετία, Αυστραλία, Αμερική) αναμένεται να ακολουθήσουν στο προσεχές μέλλον.

Παραδείγματα συστημάτων δεύτερης γενιάς είναι τα Global System for Mobile Communications (GSM), Cordless Telephone (CT2), Personal Access Communications Systems (PACS) και Digital European Cordless Telephone (DECT).

2.2.1 GSM (Global System for Mobile Communications)

Η τεχνολογία GSM ήταν αυτή που προωθήθηκε πρώτη στις αγορές το 1991 στην Φινλανδία. Αποτελεί το επικρατέστερο πρότυπο στα δίκτυα δεύτερης γενιάς και αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI). Το GSM υποστηρίζει 8 χρήστες για κάθε κανάλι με συχνότητα στα 200KHz. Η συχνότητα ανοδικής ζεύξης από το σταθμό βάσης στον κινητό σταθμό είναι μεταξύ 890 και 915MHz και η συχνότητα καθοδικής ζεύξης από το κινητό σταθμό προς το σταθμό βάσης είναι μεταξύ 935 και 960MHz. Ο διαχωρισμός του φέροντος σήματος για την τεχνολογία GSM είναι 200KHz και το εύρος ζώνης του GSM αντιστοιχεί στα 25MHz.

Το GSM είχε σαν βασικό χαρακτηριστικό την κάρτα SIM (Subscriber Identity Module), στην οποία εμπεριέχονται τα στοιχεία συνδρομής του χρήστη. Η κάρτα SIM είναι αφαιρούμενη έτσι ώστε αλλάζοντας την οι χρήστες να έχουν την επιλογή αλλαγής και του φορέα δικτύου που τους εξυπηρετεί καθώς και να μεταφέρουν τα στοιχεία τους, για παράδειγμα τη λίστα επαφών τους, σε άλλη συσκευή. Η πιο δημοφιλής υπηρεσία του GSM είναι η υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων (SMS) που επιτρέπει την αποστολή δεδομένων σε αλφαβητική μορφή ανάμεσα στους χρήστες. Ακόμη μέσω του GSM ξεκίνησαν να υπάρχουν διάφορες υπηρεσίες όπως το φαξ, οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης, το videotext και το teletext.

Με το πέρασμα του χρόνου το GSM έγινε όλο και πιο δημοφιλές και το 2008 έφτασε τα 6 δισεκατομμύρια χρήστες. Αυτό οφείλεται στα πλεονεκτήματα που προσφέρει στους χρήστες του. Συγκριτικά με τις αναλογικές τεχνολογίες, διατίθεται εγγενής προστασία στη φωνή και τα δεδομένα του GSM διαφυλάσσοντας τα από υποκλοπές και πειρατεία με αποτέλεσμα αυτή η επιλογή να είναι πιο ελκυστική για τους χρήστες και ιδιαίτερα για τις επιχειρήσεις. Επιπρόσθετα, δίνει τη δυνατότητα της διεθνούς περιήγησης σε 219 χώρες, που δεν ήταν διαθέσιμη στα δίκτυα πρώτης γενιάς. Η δυνατότητα αυτή προσφέρει ευελιξία και προσβασιμότητα για τους χρήστες αφού μπορούν πλέον να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του GSM που προσφέρονταν και εγχώρια. Η συνεργασία μεταξύ των κοινοτήτων GSM στις διάφορες χώρες που είναι διαθέσιμο βοήθησε στο να διατηρηθούν τα τέλη περιαγωγής σε προσιτές τιμές για τους χρήστες. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η ευελιξία φάσματος με τις υπάρχουσες υποδομές δικτύου, ώστε να προσφέρει διαθεσιμότητα στις συσκευές των χρηστών για πολλές ζώνες φάσματος. [3]

Η συνεχής αναβάθμιση της τεχνολογίας GSM για να προσφέρει στους χρήστες της καλύτερες υπηρεσίες οδήγησε στη δημιουργία μια προηγμένης τεχνολογίας ανάμεσα στα δίκτυα δεύτερης γενιάς και τρίτης γενιάς δίκτυα και ονομάστηκε 2.5G. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Οι τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2.5G είναι: η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

2.2.2 GPRS (General Packet Radio Service)

Το GPRS είναι μια υπηρεσία μεταφοράς πακέτο-δεδομένων που έδωσε τη δυνατότητα στους φορείς εκμετάλλευσης του GSM να ξεκινήσουν ασύρματες υπηρεσίες δεδομένων όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail) και τη πρόσβαση στο internet. Παρόλο που πρόκειται μόνο τεχνολογία δεδομένων βοήθησε και στη βελτιστοποίηση της φωνητικής χωρητικότητας στα GSM. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός νέου τύπου κωδικοποιητή φωνής (vocoder) που μετατρέπει τη φωνή σε ψηφιακά σήματα πριν περάσει στο ασύρματο δίκτυο. Ο vocoder χρησιμοποιεί την τεχνολογία Adaptive Multi-Rate transcoding speech (AMR), η οποία μπορεί να χειριστεί ταυτόχρονα διπλάσιες φωνητικές κλήσεις σε σύγκριση με ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί τον παλιό κωδικοποιητή φωνής. Ως αποτέλεσμα με το ίδιο φάσμα οι φορείς μπορούν να εξυπηρετήσουν περισσότερους πελάτες. Το GPRS έφτασε λήψη ρυθμού δεδομένων μέχρι και 115kbps, φέρνοντας το αρκετά βήματα μπροστά από τις ανάλογες τεχνολογίες της εποχής που είχαν μέσο όρο ρυθμού λήψης δεδομένων 40-50kbps. Μια ακόμη δυνατότητα που παρέχει το GPRS στο χρήστη είναι να μπορεί να διατηρήσει μια συνεδρία δεδομένων ενώ απαντά σε μια τηλεφωνική κλήση. [4]

2.2.3 EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution)

Η τεχνολογία EDGE προτάθηκε για πρώτη φορά στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) το 1997 σαν εξέλιξη του GSM. Η EDGE συχνά αναφέρεται και σαν 2.75G και δίνει στα δίκτυα GSM τη δυνατότητα να χειριστεί υπηρεσίες 3G. Η ανάπτυξη της επιτρέπει τη μετάδοση μεγάλης ποσότητας δεδομένων που έφτασε ρυθμό μέχρι και 472 kbps. Η τεχνολογία της EDGE ξεκίνησε να είναι διαθέσιμη στις αγορές το 2003 στις Η.Π.Α. Γενικά το πρότυπο της EDGE είναι πιο αποδοτικό από τα πρότυπα της ίδιας γενιάς αφού υπάρχει σημαντική αύξηση της χωρητικότητας και της απόδοσης σε σύγκριση με αυτά. [5]

2.3 Τρίτη Γενιά κινητών δικτύων (3G) :

Η ταχύτατη εξέλιξη των προσφερόμενων υπηρεσιών σε συνδυασμό με τη ραγδαία αύξηση των πελατών/χρηστών, κατέστησε τη χρήση κινητών συσκευών μέρος της καθημερινότητας στη παγκόσμια αγορά. Η ανάγκη για ακόμα μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων αλλά και για ένα σύστημα που θα παρέχει υπηρεσίες «οπουδήποτε» και «οποιαδήποτε στιγμή» οδήγησε στην 3η γενιά κινητών δικτύων.

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων της τρίτης γενιάς είναι οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, η πρόσβαση σε προηγμένα συστήματα πολυμέσων (multimedia) και οι σύγχρονες, παγκόσμιας εμβέλειας, δυνατότητες περιαγωγής (roaming). Ακόμη, τα 3G δίκτυα επιτρέπουν την ταυτόχρονη χρήση υπηρεσιών φωνής και δεδομένων και προσφέρουν ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι 2 Mbps, καθιστώντας ρεαλιστική τη χρήση υπηρεσιών όπως κλήσεις βίντεο και κινητής τηλεόρασης (mobile TV), μηνύματα πολυμέσων (Multi Media Messaging Services - MMS), υποστήριξη τρισδιάστατων παιχνιδιών (3D gaming και Multi-Gaming), υπηρεσίες κινητού διαδικτύου (mobile internet), μεταφοράς μεγάλων αρχείων, αλλά και σύνθετες υπηρεσίες (π.χ. triple-play services).

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) καθόρισε ένα σύνολο απαιτήσεων για μια οικογένεια προτύπων για τα δίκτυα 3G, που αναφέρονται ως Διεθνείς Τηλεπικοινωνίες-2000 (IMT-2000). Αρχικά ήταν επιθυμητό να επικρατήσει ένα πρότυπο παγκοσμίως όμως αυτό στη συνέχεια αποδείχτηκε αδύνατο. Το IMT-2000 παρέχει παγκόσμιες κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες πολυμέσων μέσω μιας ενιαίας παγκόσμιας ζώνης συχνοτήτων οποία βρίσκεται στα 2000MHz.

Τα χαρακτηριστικά που αποφασίστηκαν για τα IMT-2000 είναι:

- Η ενσωμάτωση των δορυφορικών και επίγειων συστημάτων για την παγκόσμια κάλυψη.
- Η χρήση σε όλα τα ραδιοφωνικά περιβάλλοντα (LAN, ασύρματο, κυψελοειδές, δορυφορικό).
- Το μεγάλο φάσμα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (φωνή, δεδομένα,

πολυμέσα, διαδίκτυο).

- Το ότι υποστηρίζουν τόσο τη μετάδοση πακέτων (PS – Packet Switched) όσο και τη μετάδοση δεδομένων (CS- Circuit Switched).
- Το ότι προσφέρουν υψηλή απόδοση φάσματος.
- Το ότι προσφέρουν υψηλές ταχύτητες δεδομένων μέχρι 2 Mbps, 144 kbps για υψηλή κινητικότητα, 384 kbps με περιορισμένη κινητικότητα και 2 Mbps σε εσωτερικό περιβάλλον γραφείου.

Στα IMT-2000 ανήκουν τα εξής πρότυπα: το Σύστημα Παγκόσμιας Κινητής Τηλεπικοινωνίας (UMTS, επίσης αναφερόμενο ως Σχέδιο Σύμπραξης Τρίτης Γενιάς – 3GPP) που καθιερώθηκε στην Ευρώπη και το CDMA 2000 (που αναφέρεται ως Σχέδιο Συνεργασίας Τρίτης Γενιάς – 3GPP2) και επικράτησε στην Αμερική. [2], [6], [7]

2.3.1 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Το πρώτο εμπορικό UMTS δίκτυο μεγάλης κλίμακας υλοποιήθηκε πρώτα στην Ιαπωνία το 2001 και ακολούθησε στην Αυστρία το Σεπτέμβριο του 2002. Ως τρόπος ραδιομετάδοσης για το UMTS ορίστηκε το WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Το UMTS δεσμεύει ένα κανάλι εύρους ζώνης 5 MHz (σε αντίθεση το CDMA2000 δεσμεύει μόνο 1.5MHz) και έχει την ικανότητα να μεταφέρει ταυτόχρονα πάνω από 100 φωνητικές κλήσεις και να μεταφέρει δεδομένα με ταχύτητες πάνω από 2Mbps. Η ανάπτυξη του UMTS προσφέρει σταθερές υποδομές δικτύου και ελκυστικές, αξιόπιστες κινητές συσκευές που έχουν πλούσιες δυνατότητες. Η δημιουργία του UMTS βασίστηκε σε στοιχεία από το Δίκτυο Κορμού (Core Network- CN) του GSM όπου παρέχονται υπηρεσίες GPRS.

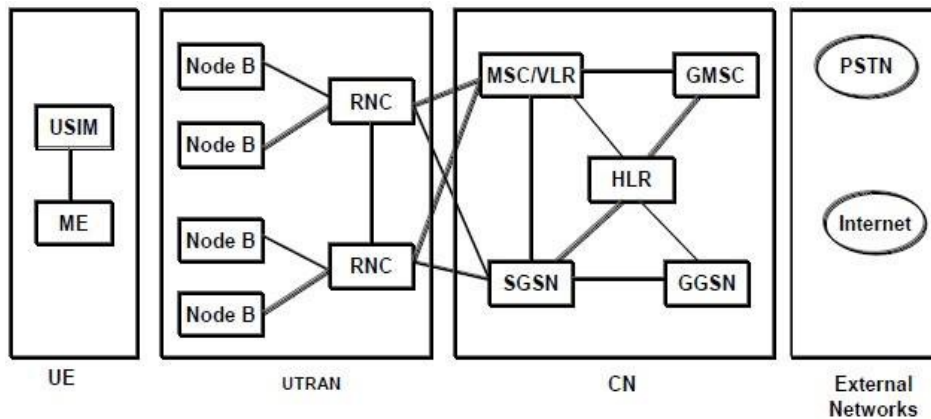
Η αρχιτεκτονική του UMTS αποτελείται από:

- UE -User Equipment. Τον εξοπλισμό του χρήστη με τον οποίο διασυνδέεται ο χρήστης.
- UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network. Το δίκτυο αυτό διαχειρίζεται όλες τις ραδιοσυχνότητες. Το WCDMA είναι το πρότυπο

που χρησιμοποιείται εδώ.

- CN- Core Network. Το δίκτυο αυτό είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες μεταφορών όπως εναλλαγή και δρομολόγηση κλήσεων και δεδομένων, παρακολούθηση χρηστών.

Παρακάτω παρατίθεται το σχήμα 2.1 που απεικονίζει την αρχιτεκτονική του UMTS. [8]



Σχήμα 2.1 Η αρχιτεκτονική του UMTS

2.3.2 CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000)

Το CDMA2000 είναι πρότυπο της 3ης γενιάς δικτύων που ακολουθεί τις προδιαγραφές των IMT-2000 και χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην Αμερική και στην Κορέα. Αναπτύχθηκε για να διαδεχθεί το προηγούμενο πρότυπο cdmaOne (IS-95) και είναι αντιστρόφως συμβατό με αυτό. Το CDMA2000 αντιπροσωπεύει μια οικογένεια τεχνολογιών που περιλαμβάνει: το CDMA2000 1X (φωνή) και το CDMA2000 1xEV(δεδομένα). Το CDMA2000 1X είναι το βασικό πρότυπο CDMA2000 ασύρματης εναέριας διεπαφής, ενώ το CDMA2000 1xEV είναι ένα τηλεπικοινωνιακό πρότυπο για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων μέσω ραδιοφωνικών σημάτων, συνήθως για ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο.

2.4 Τέταρτη γενιά κινητών δικτύων (4G) :

Η γενιά 4G άρχισε σταδιακά να εδραιώνεται, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες του δυτικού κόσμου, και αποτελεί μια ολοκληρωμένη και ασφαλή λύση κινητής ευρυζωνικής επικοινωνίας η οποία καλύπτει φορητούς υπολογιστές, smartphones και οποιαδήποτε άλλη φορητή συσκευή. Τα δίκτυα τέταρτης γενιάς προσφέρουν στους χρήστες τους δυνατότητες που δεν ήταν διαθέσιμες από τα προηγούμενης γενιάς δίκτυα.

Βασικός στόχος του 4G είναι η ανάπτυξη ενός παγκόσμιου ετερογενούς δικτύου, το οποίο να ενσωματώνει όλα τα προϋπάρχοντα δίκτυα, εξασφαλίζοντας την επικοινωνία μεταξύ συσκευών διαφορετικών τεχνολογιών και μεταξύ χρηστών που έχουν παραμείνει σε παλαιότερες τεχνολογίες δικτύων. Για να γίνει αυτό είναι απαραίτητη η ενοποίηση τερματικών δικτύων και εφαρμογών ώστε να ικανοποιηθούν οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες των συνδρομητών. Αυτό το επίπεδο ενοποίησης συντίθεται από 5 υποεπίπεδα τα οποία είναι το cellular , το hot spot, το personal, το network και το fixed.

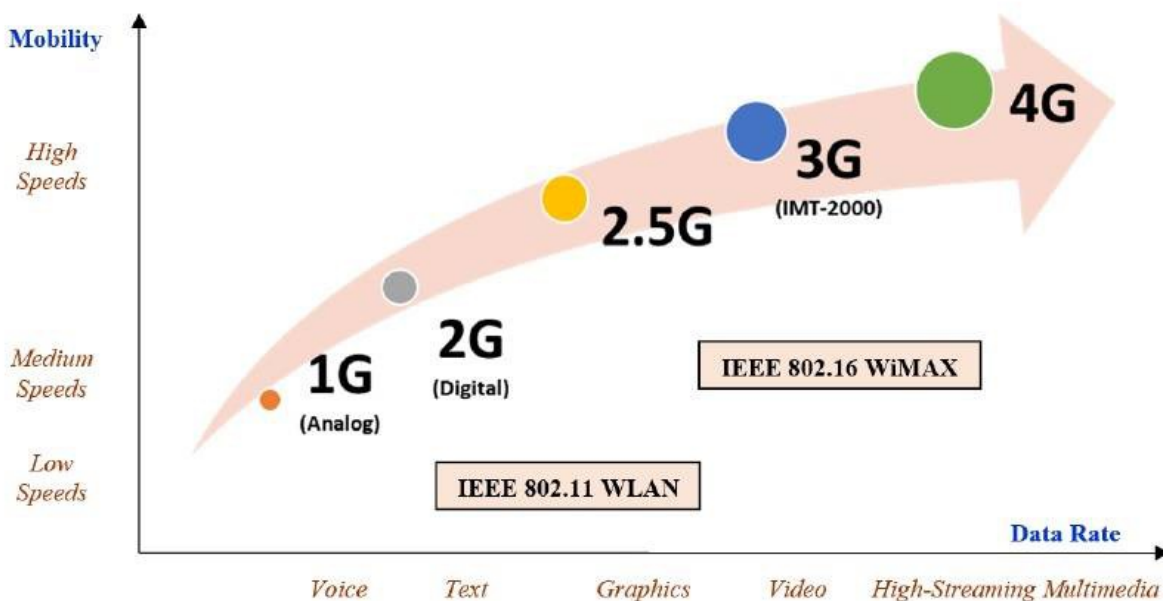
Τα 4G υποστηρίζουν πιο ψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από τα 3G και προσφέρουν υπηρεσίες ποιότητας (Quality of Service- QoS). Οι υπηρεσίες που παρέχει το 4G είναι η υπερευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο, η τηλεφωνία IP (Internet Protocol), υπηρεσίες παιχνιδιών, καθώς και συνεχούς ροής πολυμεσικές εφαρμογές (streamed multimedia).

Ο Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών της ITU (ITU-R) βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της καθιέρωσης ενός παγκοσμίως αποδεκτού και συμφωνημένου ορισμού του 4G. Στα μέσα του 2008 η ITU επέλεξε κάποια χαρακτηριστικά ώστε να αποφασιστεί ποιες τεχνολογίες ανήκουν στα 4G. Σήμερα, τα δύο πρότυπα που ικανοποιούν τις απαιτήσεις που καθορίστηκαν για τα δίκτυα τέταρτης γενιάς, είναι το LTE-Advanced και το WiMAX. Το σύνολο των απαιτήσεων αυτών ονομάστηκε IMT-Advanced , οι οποίες αναφέρονται πιο κάτω:

- Τα 4G συστήματα θα παρέχουν μέγιστο ρυθμό δεδομένων στο χαμηλότερο κόστος μετάδοσης. Οι μέγιστοι ρυθμοί δυαδικών ψηφίων

θα αντιστοιχούν περίπου στα 100 Mbps για την υψηλή κινητικότητα (mobile access) και 1 Gbps για την χαμηλή κινητικότητα (local wireless access ή hot spots).

- Τα συστήματα 4G θα παρέχουν απρόσκοπτη κινητικότητα (seamless mobility) /ομαλή μεταφορά (soft handover) σε ένα πλήθος διαφορετικών ετερογενών ασύρματων δικτύων με ένα μοντέλο Always Best Connect (ABC).
- Τα συστήματα 4G θα χρησιμοποιούν κλιμακωτό εύρος ζώνης καναλιού από 5-20 MHz με τη δυνατότητα να φτάσει μέχρι και τα 40MHz.
- Τα συστήματα 4G πρέπει να προσφέρουν υψηλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για την υποστήριξη πολυμέσων της επόμενης γενιάς.
- Τα συστήματα 4G θα μοιράζονται δυναμικά και θα αξιοποιούν έξυπνα τους διαθέσιμους πόρους δικτύου, ώστε να υποστηρίξουν ταυτόχρονα περισσότερους χρήστες ανά κυψέλη.
- Το 4G Systems πρέπει να είναι ένα All IP based Packet Switched δίκτυο, παρέχοντας απρόσκοπτη επικοινωνία/κινητικότητα οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Πιο κάτω παρατίθεται η εικόνα 2.2 που παρουσιάζει την εξέλιξη των δικτύων.



Σχήμα 2.2 Εξέλιξη κινητών δικτύων

2.4.1 WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Το 1998 το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ανέπτυξε το πρότυπο 802.16 στη συνέχεια το πρότυπο αυτό εξελίχθηκε στο πρότυπο 802.16e για να προσφέρει κινητικότητα και ολοκληρώθηκε το 2005. Το 2006 άρχισε η ανάπτυξη του προτύπου 802.16m το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις του IMT-Advanced. Με την τελευταία έκδοση του WiMAX ο ρυθμός δεδομένων μπορεί να φτάσει μέχρι και 1 Gbps. Το WiMAX είναι μια τεχνολογία βασισμένη στα πρότυπα 802.16 που επιτρέπει την παράδοση ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης τελευταίου μιλίου.

Κάποια από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του WiMAX είναι τα εξής:

- Ο πολύ υψηλός ρυθμός δεδομένων: Το WiMAX μπορεί να φτάσει ρυθμό δεδομένων μέχρι και 74Mbps όταν χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα 20MHz και όταν χρησιμοποιεί φάσμα των 5MHz μπορεί να φτάσει τα 18Mbps. Αυτοί οι ρυθμοί είναι εφικτοί όταν χρησιμοποιείται η 64QAM διαμόρφωση.

- Η χρήση OFDM/OFDMA στο φυσικό επίπεδο: Η μέθοδος OFDM εφαρμόζεται στο WiMAX και του επιτρέπει να λειτουργεί και σε συνθήκες non-line-of sight (NLOS) ακόμα και με μεγάλο εύρος ζώνης. Για την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης χρησιμοποιείται το OFDMA.
- Το κλιμακωτό εύρος ζώνης και η υποστήριξη ρυθμού δεδομένων: Η αρχιτεκτονική φυσικού επιπέδου του WiMAX επιτρέπει στο ρυθμό δεδομένων να κλιμακώνεται με ευκολία ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης καναλιού. Αυτή η κλιμάκωση γίνεται δυναμικά και δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα περιαγωγής σε διάφορα δίκτυα.
- Η δυναμική και η ευέλικτη κατανομή πόρων: Η κατανομή πόρων ελέγχεται από ένα προγραμματιστή στο σταθμό βάσης. Η χωρητικότητα κατανέμεται σε πολλούς χρήστες ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου.
- Η υποστήριξη για προηγμένες τεχνικές κεραιάς: Με διάφορες τεχνικές όπως η χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing), η μορφοποίηση δέσμης (beamforming) και χωρο-χρονική κωδικοποίηση (space-time coding) επιτυγχάνεται η αποδοτικότητα της χωρητικότητας και του φάσματος με την χρήση πολλαπλών κεραιών στο πομπό και στον δέκτη.
- Η IP-based Αρχιτεκτονική: Όλες οι διατεματικές (end-to-end) υπηρεσίες διανέμονται πάνω από μια IP αρχιτεκτονική που βασίζεται σε IP πρωτόκολλα για διατεματική μεταφορά, για την ποιότητα (QoS) για την ασφάλεια, για την κινητικότητα και για τη διαχείριση συνεδριών. Αυτό επιτρέπει στο WiMAX να εκμεταλλευτεί την ανάπτυξη των εφαρμογών που υπάρχουν για το IP και το μειωμένο κόστος επεξεργασίας του IP. [9]

2.4.2 LTE-Advanced (Long Term Evolution -Advanced)

Το LTE-Advanced αποτελεί μια περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας LTE η οποία δημιουργήθηκε με σκοπό να εξυπηρετήσει και να ξεπεράσει τις απαιτήσεις του IMT-A. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη του LTE-A είναι η προς τα πίσω συμβατότητα με τα LTE, έτσι ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί το LTE-A στο φάσμα που χρησιμοποιεί το LTE χωρίς κάποιο αντίκτυπο. Οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο LTE-A ώστε να επιτευχθεί υψηλότερος ρυθμός δεδομένων είναι το OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) και το MIMO (Multiple Input Multiple Output). Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της LTE-A είναι η δυνατότητα να υποστηρίξει βελτιστοποιημένα ετερογενή δίκτυα με ένα μείγμα μακροκυψέλων (macrocells) με κόμβους χαμηλής ισχύος όπως τα picocells, τα femtocells και τα relays βελτιώνοντας έτσι την κάλυψη και τη χωρητικότητα του δικτύου.

Το LTE-A προσφέρει μικρότερες καθυστερήσεις, καθώς μειώνει το χρόνο μετάβασης που χρειάζεται για να φτάσει από απραξία σε σύνδεση σε λιγότερο από 50ms, σε αντίθεση με τα LTE που ο αντίστοιχος χρόνος ήταν 100ms. Επιπρόσθετα, μείωση δέχεται και ο χρόνος μετάβασης από την κατάσταση αδράνειας σε ενεργή σε λιγότερο από 10ms, σε σχέση με τα 50 ms που ίσχυε για την τεχνολογία LTE. Κάποιες σημαντικές βελτιώσεις που έγιναν στο LTE-A είναι οι εξής:

- Ο συσσωρευτής φορέα (carrier aggregation-CA): Το CA χρησιμοποιείται στη τεχνολογία LTE-A με σκοπό να αυξήσει το εύρος ζώνης και κατ'επέκταση το ρυθμό δεδομένων του δικτύου. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία οι φορείς εκμετάλλευσης είναι σε θέση να χρησιμοποιούν πολλαπλά κανάλια είτε στις ίδιες ζώνες είτε σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος για να παρέχουν το απαιτούμενο εύρος ζώνης.
- Η χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing): είναι μια τεχνική μετάδοσης στην ασύρματη επικοινωνία MIMO για τη μετάδοση ανεξάρτητων και χωριστά κωδικοποιημένων σημάτων δεδομένων,

γνωστών ως ροών (streams), από κάθε μία από τις πολλαπλές κεραίες μετάδοσης. Επομένως, η διάσταση του χώρου επαναχρησιμοποιείται, ή πολυπλέκεται περισσότερο από μία φορά.

- Τα συντονισμένα πολλαπλά σημεία μετάδοσης (coordinated multipoint -CoMP): Το CoMP αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα τεχνικών που επιτρέπουν τον δυναμικό συντονισμό ή τη μετάδοση και τη λήψη με πολλαπλούς γεωγραφικά διαχωρισμένους κόμβους (eNBs). Στόχος του είναι να βελτιώσει την απόδοση του συνολικού συστήματος, να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικότερα τους πόρους και να βελτιώσει την ποιότητα των υπηρεσιών του τελικού χρήστη. [10], [11], [12]

2.5 Πέμπτη γενιά κινητών δικτύων (5G) :

Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς αναμένονται να φέρουν αξιοσημείωτες αλλαγές στο μέλλον των κινητών δικτύων με απεριόριστους όγκους κλήσεων και απεριόριστες εκπομπές δεδομένων στα κινητά συστήματα. Η τεχνολογία 5G θα είναι ικανή να υποστηρίξει τις καλύτερες τεχνολογίες και στο μέλλον θα κατακτήσει την αγορά των κινητών δικτύων. Η ονομασία που θα δοθεί στα δίκτυα πέμπτης γενιάς είναι WWW (Worldwide Wireless Web).

Αυτή η στιγμή η τεχνολογία 5G βρίσκεται ακόμα σε θεωρητικά στάδια αφού ακόμα δεν έχει αποφασιστεί κάποιο πρότυπο για τα βασικά της χαρακτηριστικά. Ωστόσο ορισμένα από τα ζητούμενα έχουν ήδη καθοριστεί, όπως η ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα δεδομένων με τιμές μέχρι και 10 φορές μεγαλύτερες από την μέγιστη ιδανική τιμή που προσφέρεται σήμερα. Ο χρόνος καθυστέρησης αποστολής ενός πακέτου δεδομένων από μια συσκευή σε άλλη που αυτή τη στιγμή στα δίκτυα 4G είναι στα 50 milliseconds αναμένεται να μειωθεί εξαιρετικά καθώς θα φτάσει το 1 millisecond ανοίγοντας νέους ορίζοντες για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Ακόμη με την εμφάνιση όλο και παραπάνω “έξυπνων” συσκευών θα υπάρχει όλο και μεγαλύτερη ανάγκη το δίκτυο να μπορεί να υποστηρίξει

δισεκατομμύρια συσκευές ταυτόχρονα και τα 5G δίκτυα αναμένεται να έχουν τη δυνατότητα να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των χρηστών τους προσφέροντας την απαραίτητη χωρητικότητα και εύρος ζώνης.

Η τεχνολογία 5G δεν είναι έτοιμη ακόμη να εφαρμοστεί πρακτικά, οι καινοτομίες όμως που θα προσφέρει, θα αλλάξουν την καθημερινή μας ζωή ριζικά. Υπάρχουν κάποια προβλήματα που θα χρειαστεί να υπερβεί η τεχνολογία 5G πριν καταφέρει να φτάσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Ένα από αυτά είναι το ζήτημα της συμβατότητας με τις τεχνολογίες των προηγούμενων γενιών (3G, 4G) καθώς θα πρέπει να βρεθεί τρόπος να ενσωματωθούν αυτά τα πρότυπα στην τεχνολογία 5G για να εξασφαλιστεί η μελλοντική της επιτυχία. Ακόμη θα πρέπει να κατασκευαστεί η κατάλληλη υποδομή καθώς τα δίκτυα πέμπτης γενιάς είναι πιθανό να βασιστούν στη χρήση υψηλών συχνοτήτων για μεγαλύτερο φάσμα και εκεί έγκειται και το πρόβλημα αφού τα σήματα υψηλών συχνοτήτων δεν μεταφέρονται όσο μακριά μεταφέρονται τα σήματα συχνοτήτων στις τωρινές τεχνολογίες (4G). Μια ακόμη πρόκληση που πρέπει να ξεπεραστεί θα είναι οι παρεμβολές που θα προκύπτουν από τα κτίρια, τα δέντρα ακόμα και από την κακοκαιρία. Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό οι χρήστες θα πρέπει εγκαταστήσουν περισσότερους σταθμούς βάσης (base stations) και να χρησιμοποιηθούν ειδικές κεραιές με τεχνολογίες όπως η MIMO (Multi Input Multi Output).

Τα κινητά δίκτυα έχουν κάνει άλματα εξέλιξης τις τελευταίες δεκαετίες και αναμένεται να εξελιχθούν ραγδαία και στα επόμενα χρόνια. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας που συνοψίζει τις γενιές κινητών δικτύων. [13]

Πίνακας 2.1 Σύγκριση γενιών κινητών δικτύων

Network Generation	1G	2G	3G	4G	5G
Start/Deployment	1970 – 1980	1990 – 2004	2004 – 2010	Now	Soon (probably 2020)
Data Bandwidth	2kbps	64kbps	2Mbps	1Gbps	> 1Gbps
Technology	Analog Cellular Technology	Digital Cellular Technology	CDMA 2000 UMTS, EDGE	Wi-Max LTE	WWWW
Service	Mobile Telephony (Voice)	Digital voice, SMS, Higher capacity packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic Information access, Wearable devices	Dynamic Information access, Wearable devices with AI Capabilities
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit, Packet	Packet	All Packet	All Packet
Core Network	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Long Term Evolution

3.1 Εισαγωγή

Πολλοί φορείς εκμετάλλευσης έχουν συγκλίνει στην τεχνολογία που πιστεύουν ότι θα προσφέρει σε αυτούς και τους πελάτες τους τα περισσότερα οφέλη. Αυτή η τεχνολογία είναι τα LTE. Οι περισσότεροι κορυφαίοι φορείς, κατασκευαστές συσκευών και υποδομών, καθώς και οι πάροχοι περιεχομένου υποστηρίζουν την LTE ως την κινητή τεχνολογία του μέλλοντος. Τα Long Term Evolution (LTE) δίκτυα είναι η τεχνολογία που χαρακτήρισε τα κινητά δίκτυα τέταρτης γενιάς. Η ανάπτυξη του LTE ξεκίνησε το 2004 στο 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Τα πρώτα εμπορικά δίκτυα LTE ξεκίνησαν από την TeliaSonera στη Νορβηγία και τη Σουηδία το Δεκέμβριο του 2009, αλλά μέχρι τα τέλη του 2013 υιοθετήθηκε από χώρες όπως η Η.Π.Α, η Ουγγαρία, η Νότια Κορέα και το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ πλέον έχει αναπτυχθεί τις περισσότερες χώρες του πλανήτη.

Οι παράγοντες που συνέβαλαν στην εξέλιξη της τεχνολογίας LTE είναι η ευρεία δυνατότητα ανάπτυξης των ενσύρματων επικοινωνιών, η αυξημένη ανάγκη για ασύρματα κανάλια μεγαλύτερης χωρητικότητας, η ανάγκη για χαμηλότερου κόστους ασύρματης μεταφοράς δεδομένων καθώς και ο ανταγωνισμός από άλλες ασύρματες τεχνολογίες. Με την συνεχή ανάπτυξη των ενσύρματων τεχνολογιών κρίνεται αναγκαία η παράλληλη ανάπτυξη και των ασύρματων, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι όλες οι εφαρμογές είναι συμβατές και με τα ασύρματα μέσα μετάδοσης. Ο γενικός στόχος του LTE είναι η παροχή τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης εξαιρετικά υψηλής απόδοσης που να μπορεί εύκολα να συνυπάρχει με τα προηγούμενα δίκτυα. Σε σύγκριση με τις προηγούμενες τεχνολογίες (GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA) το LTE επιτυγχάνει βελτίωση της ρυθμοαπόδοσης, 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. [14],[15],[16]

Οι δυνατότητες του LTE περιλαμβάνουν:

- Ρυθμό δεδομένων καθοδικής ζεύξης (downlink) 326Mbps με εύρος ζώνης 20MHz
- Ρυθμό δεδομένων ανοδικής ζεύξης (uplink) 86.4 Mbps με εύρος ζώνης 20 MHz
- Υποστήριξη του TDD (Time Division Duplexing) και του FDD (Frequency Division Duplexing)
- Αυξημένη φασματική απόδοση έναντι της έκδοσης 6 HSPA κατά δύο έως τέσσερις φορές
- Κλιμακωτή χρήση φάσματος του εύρους ζώνης της τάξης των 1.4 , 3 , 5 , 10 ,15 και 20MHz.
- Σημαντική μείωση του χρόνου καθυστέρησης Round-Trip Time (RTT) έως 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη και του σταθμού βάσης.
- Δυνατότητα εξυπηρέτησης έως και 200 ενεργών χρηστών ανά κυψέλη στα 5MHz.
- Παροχή βέλτιστης εξυπηρέτησης στους χρήστες με μέγεθος κυψέλης έως τα 5km, ενώ οι χρήστες μπορεί να παρουσιάζουν ανεκτή απόδοση για μέγεθος κυψέλης 100km.
- Συμβατότητα με μη-3GPP πρότυπα καθώς και με τα υπάρχοντα UTRAN/GSM/EDGE Radio Access Network συστήματα κινητών επικοινωνιών. Επίσης δυνατότητα υποστήριξης handover από και προς τα συστήματα αυτά. [17], [18]

3.2 Βασικά χαρακτηριστικά και τεχνολογίες για τα LTE

Για να μπορέσει να παρέχει τις ζητούμενες υπηρεσίες και αποδόσεις το LTE δίκτυο ενσωμάτωσε κάποιες σημαντικές τεχνολογίες στο σχεδιασμό του. Παρακάτω παρατίθενται μερικές από αυτές.

3.2.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Η τεχνολογία OFDM ικανοποιεί την απαίτηση των δικτύων LTE για ευελιξία φάσματος και παρέχει οικονομικά αποδοτικές λύσεις για πολλούς χρήστες με υψηλά επιδόσεις. Το πρότυπο της ορθογωνικής πολύπλεξιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) έρχεται να καλύψει τις απαιτήσεις της ανάπτυξης των ασύρματων δικτύων που περιλαμβάνουν νέες διασυνδέσεις τερματικών με το διαδίκτυο, την αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος και τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφόρων ταχυτήτων πρόσβασης.

Το πρότυπο OFDM είναι μια τεχνική πολυδιάστατης διαμόρφωσης. Η βασική ιδέα είναι ότι διαχωρίζει μια ροή δεδομένων με ψηλό ρυθμό bit σε μικρότερες παράλληλες ροές δεδομένων που ονομάζονται sub-carriers. Η τεχνική OFDM είναι ιδιαίτερα αποδοτική όσο αφορά το φάσμα καθώς οι sub-carriers επιλέγονται ώστε να είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, αποφεύγοντας έτσι την ανάγκη να υπάρχουν κανάλια που θα απέτρεπαν την επικάλυψη(overlap) για να μην υπάρχουν παρεμβολές.

Το πρότυπο OFDM αναπτύχθηκε για να προσφέρει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και χρησιμοποιείται σαν βασική τεχνολογία και στο Wi-fi και WiMAX. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που το καθιστούν μια ελκυστική επιλογή είναι:

- Το OFDM είναι μια καλή λύση για παρεμβολές πολλαπλών διαδρομών καθώς λύνει το πρόβλημα των παρεμβολών ISI (Inter-symbol Interference) .
- Η μειωμένη υπολογιστική πολυπλοκότητα: Το OFDM μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας FFT(Fast Fourier Transforms) και οι υπολογιστικές απαιτήσεις του αυξάνονται σχεδόν γραμμικά με το ρυθμό δεδομένων ή το εύρος ζώνης. Η μειωμένη πολυπλοκότητα

είναι ιδιαίτερα επιθυμητό χαρακτηριστικό για το downlink.

- Η αποτελεσματική υποστήριξη των ευρυζωνικών υπηρεσιών.
- Η ομαλή υποβάθμιση των επιδόσεων υπό συνθήκες υπερβολικής καθυστέρησης: Το OFDM είναι ιδανικό για προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση αφού επιτρέπει στο σύστημα να αξιοποιήσει όσο καλύτερα μπορεί τις συνθήκες καναλιού.
- Η ανθεκτικότητα σε παρεμβολές στενής ζώνης.
- Η εκμετάλλευση της ποικιλομορφίας των συχνοτήτων: Το OFDM επιτρέπει στο εύρος ζώνης καναλιού να είναι κλιμακωτό χωρίς να επηρεάζει το σχέδιο υλικού (hardware) για τους σταθμούς βάσης και τους κινητούς σταθμούς. Αυτό επιτρέπει και στα LTE δίκτυα να αναπτύσσονται σε διάφορες κατανομές φάσματος και διάφορα εύρη ζώνης καναλιού.
- Το OFDM επιτρέπει αποδοτικό σύστημα πολλαπλών προσβάσεων: Το OFDM δίνει τη δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση των διάφορων sub-carriers μεταξύ πολλών χρηστών. Το σχέδιο αυτό ονομάζεται OFDMA και αξιοποιείται στην τεχνολογία LTE.
- Το OFDM διευκολύνει τη χρήση του MIMO: Λόγω της εξάλειψης των παρεμβολών ISI είναι εφικτή η χρήση της τεχνικής MIMO.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

Το σύστημα μετάδοσης καθοδικής ζεύξης του LTE, βασίζεται στην OFDMA, η οποία είναι μια εκδοχή πολλών χρηστών του συστήματος της OFDM διαμόρφωσης. Η διαφορά μεταξύ τους είναι ότι σε αντίθεση με την OFDM, η OFDMA είναι μία μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης. Μια ακόμα διαφορά είναι ότι σε αντίθεση με την OFDM, η OFDMA είναι ανεπαρκής όσο αφορά την αποδοτική χρήση του φάσματος, επειδή σπαταλά ένα σημαντικό τμήμα του φάσματος για την υλοποίηση διαστημάτων προστασίας (guard intervals). Αυτές οι σπατάλες εύρους ζώνης, δεν είναι αποδεκτές από την 4η γενιά δικτύων και ο λόγος είναι ότι το διαθέσιμο φάσμα είναι μικρό σε σχέση με την ζήτηση. [19],[20]

3.2.2 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)

Η SC-FDMA είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται από το LTE για την ανοδική ζεύξη (uplink) και είναι μια τροποποιημένη μορφή του OFDM με παρόμοιες επιδόσεις και πολυπλοκότητα απόδοσης. Το SC-FDMA μπορεί να θεωρηθεί ως ένα Discrete Fourier Transform (DFT) – διευρυμένου φάσματος (spread) OFDMA χρησιμοποιώντας τα σήματα δεδομένων στο πεδίο του χρόνου και την μετατροπή αυτών σε πεδίο συχνότητας από ένα DFT πριν την ανάλυση μέσω OFDMA διαμόρφωσης. Αυτές οι τεχνικές μειώνουν τη στιγμιαία ισχύ μετάδοσης, αυξάνοντας την απόδοση του ενισχυτή ισχύος και έτσι μειώνεται η πολυπλοκότητα του δέκτη. Παράλληλα διατηρείται η ευελιξία του εύρους ζώνης (bandwidth) εκχώρησης.

Οι απαιτήσεις που υπάρχουν για το uplink του LTE είναι πολύ διαφορετικές και κλειδί για την καλύτερη απόδοση είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας από το τερματικό του χρήστη. Η τεχνική SC-FDMA επιλέχθηκε επειδή έχει πολύ χαμηλό Peak-to-Average Power Ratio (PAPR). Αντιθέτως, τα OFDM έχουν υψηλότερο PAPR που περιορίζει την αποδοτικότητα καθώς μειώνει τη ζωή της μπαταρίας και αυξάνει το κόστος αφού κάνει αναγκαία τη χρήση ενισχυτών ισχύος (RF) που είναι ένα ακριβό εξάρτημα. Επιπλέον το χαμηλό PAPR προσφέρει μεγαλύτερη κάλυψη και καλύτερη απόδοση στις άκρες των κυψελών. Το SC-FDMA χρησιμοποιεί ένα σήμα εκπομπής μονού φορέα (single carrier) σε αντίθεση με το OFDM που χρησιμοποιεί ένα σύστημα μετάδοσης πολλαπλού φορέα (multi-carrier). [21], [22]

3.2.3 MIMO (Multiple Input Multiple Output)

MIMO ονομάζεται η χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στο δέκτη σε μια σύνδεση για να βελτιώσουμε την απόδοση της. Συχνά για την τεχνολογία MIMO χρησιμοποιείται και ο όρος “έξυπνες” κεραιές. Η MIMO είναι ένας τύπος τεχνολογίας ραδιοσυχνότητας που χρησιμοποιούν πολλές τεχνολογίες ασύρματων δικτύων για να αυξήσουν τη χωρητικότητα και την

απόδοση φάσματος. Στα δίκτυα LTE η MIMO είναι το κλειδί για να καλυφθούν οι ανάγκες για υψηλό ρυθμό δεδομένων που παρουσιάζονται. Η MIMO προσφέρει επιλογές στις τεχνικές μετάδοσης όπως τη SIMO(Single Input Multiple Output) και τη MISO(Multiple Input Single Output). Η χρήση πολλαπλών κεραιών βοηθά την απώλεια σήματος και αυξάνει το SNR (Signal to Noise Ratio).

Στα LTE η χρήση της MIMO είναι διαφορετική ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται για ανοδική ή καθοδική ζεύξη για να παραμείνει το κόστος σε αποδεκτά επίπεδα καθώς υπάρχουν πολλά παραπάνω τερματικά από σταθμούς βάσης. Στο downlink η διαμόρφωση που επιλέγεται συνήθως αποτελείται από δύο κεραιές μετάδοσης στο σταθμό βάσης και δύο κεραιές δέκτες στο κινητό (τερματικό). Για το uplink χρησιμοποιείται το σχέδιο MU-MIMO (Multi-User MIMO) με σκοπό να χρειάζεται μόνο μια κεραία στο κινητό του χρήστη για να παραμένει το κόστος της συσκευής χαμηλό. Πολλά κινητά μπορούν να μεταδίδουν ταυτόχρονα στο ίδιο κανάλι ή κανάλια, αλλά δεν προκαλούν παρεμβολή μεταξύ τους επειδή χρησιμοποιούνται ορθογώνια πρότυπα. [23], [24]

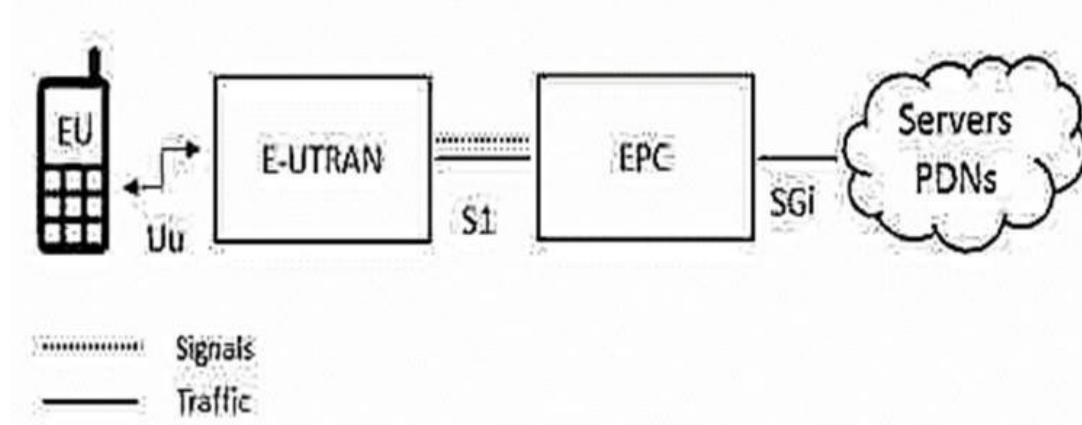
3.2.4 IP- based επίπεδη αρχιτεκτονική δικτύου

Ένας βασικός χαρακτηρισμός που έχει δοθεί για την αρχιτεκτονική δικτύου LTE είναι ότι θεωρείται επίπεδη (flat) αρχιτεκτονική. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν λιγότεροι κόμβοι (nodes) και η αρχιτεκτονική του δικτύου είναι λιγότερο ιεραρχική. Μια επίπεδη αρχιτεκτονική προσφέρει λιγότερες καθυστερήσεις και χαμηλότερο κόστος αφού θα υπάρχουν μειωμένες απαιτήσεις για υποδομές. Επιπλέον, οι λιγότερες διεπαφές και η μειωμένη ανάγκη για δοκιμές διαλειτουργικότητας μειώνουν το κόστος εγκατάστασης και ανάπτυξης. Ένα βασικό στοιχείο της επίπεδης αρχιτεκτονικής του LTE είναι ότι όλες οι υπηρεσίες βασίζονται στο δίκτυο IP πακέτου (IP packet network) και χρησιμοποιούν IP πρωτόκολλα. Σε αντίθεση με άλλα δίκτυα που χρησιμοποιούν τα δικά τους MSCs και δίκτυα μετάδοσης το LTE χρησιμοποιεί ένα Evolved packet-switched core (EPC), το οποίο υποστηρίζει όλες τις υπηρεσίες του LTE και προσφέρει μεγάλη εξοικονόμηση κόστους στην υποδομή. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που τα LTE δίκτυα

υποστηρίζουν υπηρεσίες IP με επίπεδη αρχιτεκτονική για λόγους συμβατότητας με παλιότερες τεχνολογίες υπάρχουν και non-IP στοιχεία στην αρχιτεκτονική τους.

3.3 Αρχιτεκτονική LTE

Η αρχιτεκτονική του δικτύου LTE είναι απλοποιημένη συγκριτικά με τις προγενέστερες αρχιτεκτονικές δικτύων (2G και 3G) καθώς υπάρχουν μόνο δύο κόμβοι επικοινωνίας. Ο σταθμός βάσης που ονομάζεται και evolved NodeB (eNB) και ο Mobility Management Entity (MME). Πιο κάτω περιγράφεται η αρχιτεκτονική των LTE δικτύων.



Σχήμα 3.1 Δομικά στοιχεία αρχιτεκτονικής LTE

Δομικά στοιχεία αρχιτεκτονικής LTE:

- UE (User Equipment)
- E-UTRAN (Evolved- UMTS Terrestrial Radio Access Network)
- EPC (Evolved Packet Core)

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής LTE.

3.3.1 Εξοπλισμός χρήστη (UE)

Η συσκευή χρήστη UE είναι η συσκευή μέσω της οποίας ο συνδρομητής χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του δικτύου. Είναι όμοια με τη συσκευή χρήστη των 2G και 3G δικτύων με μόνη διαφορά την ικανότητα της τη χρήση των υπηρεσιών του LTE δικτύου, υποστηρίζοντας το OFDMA CSC-FDMA. Όπως τα 3G δίκτυα έτσι και στα LTE η συσκευή αυτή περιέχει την USIM, μια εφαρμογή τοποθετημένη σε μια αφαιρούμενη έξυπνη κάρτα, την UICC η οποία βρίσκεται στον εξοπλισμό του χρήστη με παρόμοια εφαρμογή. Μέσω της UE διεξάγεται η σηματοδότηση για τη σύνδεση του χρήστη στο δίκτυο, την διατήρηση των ασύρματων ζεύξεων κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας και την κατάργηση τους μετά το τέλος αυτής. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει διάφορες λειτουργίες, όπως τη διαχείριση της κινητικότητας του χρήστη, τις μεταπομπές ανάμεσα σε γειτονικούς σταθμούς βάσης και την καταγραφή της θέσης της συσκευής οι οποίες εκτελούνται στη συσκευή σύμφωνα με την πολιτική του δικτύου που είναι συνδεδεμένη. Γενικά μέσω της UE ο χρήστης μπορεί να διατηρεί τη σύνδεση με το δίκτυο και να ανταλλάσσει δεδομένα χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες του δικτύου. Μια τέτοια συσκευή μπορεί να είναι για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο, ένας φορητός υπολογιστής ή οποιαδήποτε συσκευή υποστηρίζει σύνδεση με δίκτυα LTE. [25]

3.3.2 E-UTRAN (Evolved- UMTS Terrestrial Radio Access Network)

Το E-UTRAN διαχειρίζεται την επικοινωνία μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη και του EPC και απαρτίζεται από τους εξελεγμένους σταθμούς βάσης που ονομάζονται eNodeB ή eNB. Κάθε eNB ελέγχει τις κινητές συσκευές σε μια ή περισσότερες κυψέλες.

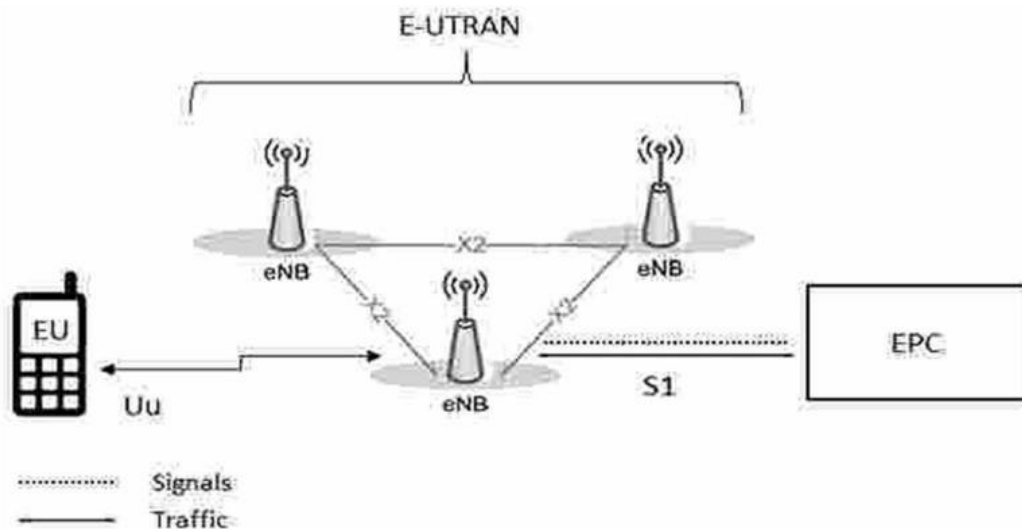
Ο eNB λειτουργεί σαν μια γέφυρα που ενώνει το EPC τμήμα του δικτύου και το χρήστη, αποτελώντας τον τερματικό σταθμό όλων των ασύρματων πρωτοκόλλων προς το χρήστη και αναμεταδίδοντας δεδομένα

μέσω της ασύρματης ζεύξης προς το χρήστη και μέσω IP συνδεσιμότητας προς το EPC. Στη διαδικασία ο eNB κρυπτογραφεί και αποκρυπτογραφεί τα δεδομένα του χρήστη, τα συμπιέζει και τα αποσυμπιέζει. Μια ακόμα ευθύνη του eNB είναι να αναθέτει IP κεφαλίδες στα πλαίσια δεδομένων αποτρέποντας την επαναποστολή ίδιων ή διαδοχικών δεδομένων.

Ο eNB ελέγχει την ασύρματη σύνδεση με το χρήστη. Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει την κατανομή καναλιών ανάλογα με τις αιτήσεις, την προτεραιότητα εξυπηρέτησης και τη διαχείριση συμφόρησης σύμφωνα με την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου και την καταγραφή των χρησιμοποιούμενων ζεύξεων για κάθε στιγμή.

Τα eNBs έχουν επίσης σημαντικό ρόλο και στη διαχείριση της κινητικότητας στο δίκτυο αφού, έπειτα από μετρήσεις που κάνουν για την ποιότητα του σήματος στη συσκευή του χρήστη, μπορούν να μεταφέρουν το χρήστη από την κυψέλη που βρίσκεται σε μια γειτονική κυψέλη που θα του παρέχει καλύτερες υπηρεσίες. Η διαδικασία αλλαγής από την μια κυψέλη στην άλλη ονομάζεται handover. Για να επιτευχθεί αυτή ο eNodeB με τον οποίον είναι ενωμένος ο χρήστης πρέπει να επικοινωνήσει με τους γειτονικούς eNBs και να διαπιστώσει σε ποιον από αυτούς θα έχει ο χρήστης το καλύτερο δυνατό σήμα. Στο E-UTRAN χρησιμοποιείται το soft handover που εξασφαλίζει την ομαλή μετάβαση του χρήστη από το παλιό eNB στο νέο διατηρώντας την σύνδεση και στα δύο (παλιό και νέο eNB) για μικρό χρονικό διάστημα.

Κάθε eNB συνδέεται με το EPC μέσω της διεπαφής S1 και μπορεί επίσης να συνδεθεί με κοντινούς σταθμούς βάσης μέσω της διεπαφής X2, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για σηματοδότηση και προώθηση πακέτων κατά τη διάρκεια της παράδοσης. Ένα οικιακό eNB (HeNB) είναι ένας σταθμός βάσης που έχει αγοραστεί από ένα χρήστη για να παρέχει κάλυψη μέσα στο σπίτι του. Ένα HeNB ανήκει σε μια κλειστή ομάδα συνδρομητών (CSG) και μπορεί να είναι προσβάσιμο μόνο από κινητά με USIM που ανήκει επίσης στην κλειστή ομάδα συνδρομητών. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η εσωτερική αρχιτεκτονική του E-UTRAN.



Σχήμα 3.2 Εσωτερική αρχιτεκτονική E-UTRAN

3.3.3 EPC (Evolved Packet Core)

Το βασικό σχέδιο δικτύου που παρουσιάστηκε από το 3GPP για να υποστηρίξει τη λειτουργία των LTE ονομάζεται Evolved Packet Core. Το EPC είναι σχεδιασμένο για να προσφέρει υψηλή χωρητικότητα, μειωμένη καθυστέρηση (latency), μια αρχιτεκτονική που ελαττώνει το κόστος αισθητά και να υποστηρίζει πραγματικού χρόνου, πολυμεσικές υπηρεσίες. Ακόμη δίνει τη δυνατότητα της διαλειτουργικότητας με τις παλιότερες τεχνολογίες μέσω του SSGN. Το EPC είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση του δικτύου, για την ασφάλεια, για τη δρομολόγηση και μεταφορά των πακέτων, για τον έλεγχο πρόσβασης, για τη διαχείριση διαχείριση ραδιοφωνικών πόρων και της κινητικότητας. Το EPC περιλαμβάνει νέα στοιχεία τα οποία είναι:

Home Subscriber Server (HSS):

Ο HSS αποτελεί την αποθήκη δεδομένων των συνδρομητών και περιέχει πληροφορίες για κάθε χρήστη που είναι εγγεγραμμένος στο δίκτυο. Επίσης καταγράφει ανά τακτά χρονικά διαστήματα την τοποθεσία που βρίσκεται στη περιοχή κάλυψης του δικτύου μέσω επικοινωνίας με την MME. Ο HSS είναι μια βάση δεδομένων που βρίσκεται σε χώρο ελέγχου των φορέων.

Αποθηκεύει το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας που αφορά το προφίλ των χρηστών, το οποίο περιέχει πληροφορίες για τις υπηρεσίες που

έχει πρόσβαση ο κάθε χρήστης, συμπεριλαμβάνοντας και τα διαφορετικά δίκτυα στα οποία μπορεί να συνδεθεί, τα στοιχεία του, καθώς πληροφορίες για τη θέση στην οποία βρισκόταν κατά την τελευταία σύνδεση του στο δίκτυο. Για τη διατήρηση συμβατότητας με τα υπόλοιπα δίκτυα, ο HSS καταγράφει κάθε φορά την ταυτότητα των P-GW που χρησιμοποιούνται. Το κύριο κλειδί, το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των διανυσμάτων αυθεντικοποίησης κατά τη σύνδεση των χρηστών στο δίκτυο, καθώς και για την παραγωγή των κλειδιών κρυπτογράφησης και ακεραιότητας της επικοινωνίας, είναι αποθηκευμένο στο κέντρο αυθεντικοποίησης (AuC) που αποτελεί μέρος του HSS. Για κάθε σηματοδότηση που σχετίζεται με αυτές τις λειτουργίες, ο HSS αλληλεπιδρά με την MME ανταλλάσσοντας δεδομένα. Ο HSS πρέπει να μπορεί να συνδεθεί με κάθε MME του δικτύου στα πλαίσια του οποίου οι χρήστες μπορούν να κινηθούν. Για κάθε χρήστη ο HSS θα καταγράψει τη θέση του μέσω της MME που τον εξυπηρετεί. Σε περίπτωση που ο χρήστης περάσει στην υπηρεσία μια νέας MME, ο HSS θα διαγράψει τη θέση του από την παλιά και θα αρχίσει να καταγράφει μέσω της νέας MME. [26]

Packet Data Network (PDN) Gateway (P-GW) :

Είναι η πύλη που επικοινωνεί με τον έξω κόσμο, όπως με τα διάφορα PTNs χρησιμοποιώντας τη διεπαφή SGi. Ευθύνεται για την κατανομή IP διευθύνσεων στα UEs όπως για παροχή υπηρεσιών QoS καθώς και για χρεώσεις βασιζόμενες στη ροή δεδομένων στις οποίες προβαίνει ανά πάσα στιγμή κάθε συνδρομητής σύμφωνα πάντα με τους κανόνες χρεώσεων που ορίζονται από την υπηρεσία PCRF (που στεγάζει ο αντίστοιχος εξυπηρετητής/ πύλη). Πραγματοποιεί το φιλτράρισμα των πακέτων IP καθοδικής ζεύξης στα διαφορετικά QoS-based κανάλια-κομιστές. Λειτουργεί επίσης και ως κόμβος κινητικότητας για την υποστήριξη του 4G- LTE τερματικού με άλλες non-3GPP τεχνολογίες, όπως τα δίκτυα CDMA2000 και τα ασύρματα δίκτυα πολύ μεγάλων αποστάσεων WiMAX.

Serving Gateway (S-GW)

Όλα τα IP πακέτα μεταφέρονται μέσω της πύλης S-GW, η οποία λειτουργεί ως κόμβος τοπικής κινητικότητας, δηλαδή ως δρομολογητής που προωθεί τα δεδομένα χρήστη μεταξύ σταθμού βάσης eNB και κάποιας

πύλης PDN, καθώς ένα LTE τερματικό μετακινείται από ένα σταθμό βάσης eNB σε άλλο σταθμό βάσης eNB στο E-UTRAN. Επιπρόσθετα διατηρεί τις πληροφορίες για τα κανάλια-κομιστές όταν το UE είναι σε κατάσταση αδράνειας. Επιπλέον, λειτουργεί ως κόμβος κινητικότητας για την υποστήριξη του LTE τερματικού με άλλες 3GPP τεχνολογίες, όπως τα δίκτυα GPRS, EDGE, UMTS εφόσον το τερματικό του χρήστη δεν διαθέτει σήμα 4G σε κάποιο σημείο. Από λειτουργικής πλευράς η πύλη S-GW αποτελεί το ένα από τα δύο τερματικά σημεία της διεπαφής πακέτων δεδομένων S1-U μεταξύ E-UTRAN και ETC. Η λογική διεπαφή μεταξύ της πύλης S-GW και της πύλης P-GW είναι γνωστή ως S5/S8.

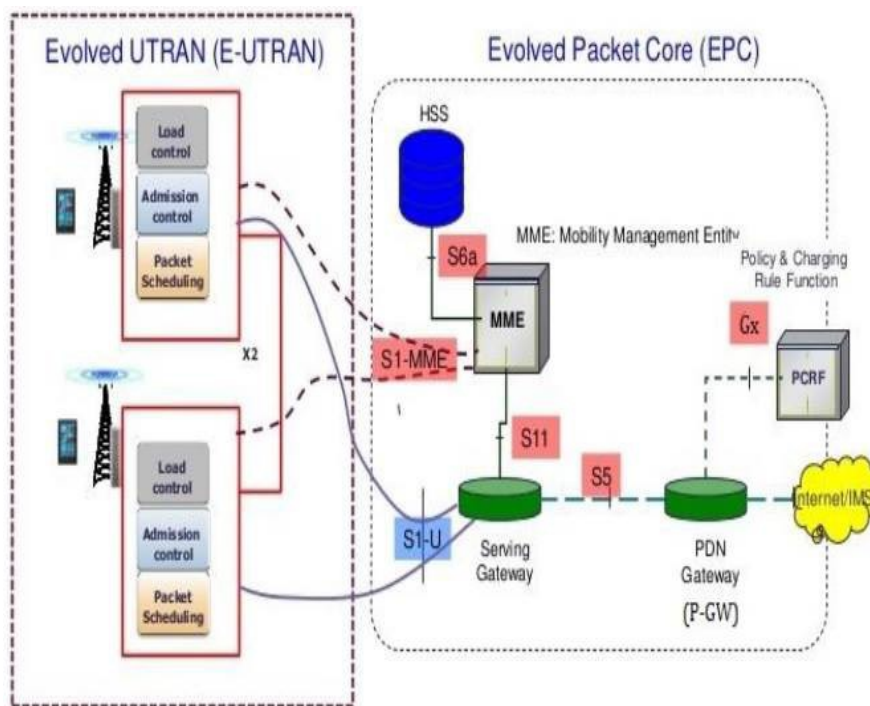
Mobility Management Entity (MME)

Είναι ο κεντρικός κόμβος για τη διαχείριση της κινητικότητας των UE. Είναι υπεύθυνος για τη πιστοποίηση αυθεντικότητας του χρήστη για να του επιτρέψει την πρόσβαση στο LTE δίκτυο και το επιτυγχάνει αλληλεπιδρώντας με τη βάση δεδομένων HSS. Επίσης ευθύνεται για την κρυπτογράφηση και την ακεραιότητα του σήματος NAS (Non-Access Stratum), ενώ ελέγχει και τη διαχείριση καναλιών-κομιστών (π.χ. την ενεργοποίηση/ απενεργοποίηση του EPS καναλιού-κομιστή). Επιπλέον, το MME είναι υπεύθυνο για την ανίχνευση της κατάστασης του εξοπλισμού χρήστη UE, την επιλογή της πύλης S-GW για ένα UE όταν απαιτείται ανακατανομή του δικτύου-κορμού, ενώ παρέχει στους εξοπλισμούς χρηστών UE και προσωρινά αναγνωριστικά (ID). Ένα τυπικό δίκτυο μπορεί να περιέχει περισσότερες από μια μονάδες MME για την κάλυψη διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών. Κάθε εξοπλισμός χρήστη UE ανατίθεται σε μια μόνο μονάδα MME του δικτύου που είναι γνωστή ως MME εξυπηρέτησης. Σε περίπτωση που το UE βρεθεί σε αρκετά μακρινή απόσταση είναι πιθανό να ανατεθεί σε κάποια άλλα MME του δικτύου. Η μονάδα MME συνδέεται μέσω της διεπαφής S6 με τη βάση δεδομένων HSS.

Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)

Είναι ο εξυπηρετητής που σχετίζεται με λειτουργίες δημιουργίας αποφάσεων πολιτικών ελέγχου και χρεώσεων στην PCEF (Policy Charging Enforcement Function) της πύλης P-GW ανάλογα με τον όγκο δεδομένων που διακινούνται από κάθε συνδρομητή για συγκεκριμένο χρόνο. Η

λειτουργία πολιτικής και κανόνων χρέωσης (PCRF) του συγκεκριμένου εξυπηρετητή ανιχνεύει τη ροή υπηρεσιών και επιβάλλει πολιτικές ελέγχου. Στέλνει τόσο πληροφορίες ρυθμίσεων QoS για κάθε σύνοδο χρήστη (User session) όσο και πληροφορίες χρέωσης στην PCEF της πύλης P_GW. Συνδέεται λογικά με την πύλη P-GW μέσω της διεπαφής Gx. Στο σχήμα 3.3 φαίνονται τα δομικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του 4G LTE.



Σχήμα 3.3 Βασικά δομικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής 4G LTE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Ετερογενή δίκτυα

4.1 Εισαγωγή

Για να καλυφθούν οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες χωρητικότητας και κάλυψης στα κινητά δίκτυα αναπτύχθηκε ένα νέο μοντέλο σχεδιασμού στα LTE, τα ετερογενή δίκτυα. Ένα ετερογενές δίκτυο (HetNet) είναι ένα σύγχρονο δίκτυο κινητών επικοινωνιών που αποτελείται από ένα συνδυασμό διαφορετικών τύπων κυψελών και διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης. [27]

4.2 Ιστορική ανασκόπηση των small cells

Η ιδέα για τα small cells υπάρχει εδώ και τρεις δεκαετίες. Αρχικά ο όρος small cell χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει το μέγεθος της κυψέλης σε μια μητροπολιτική περιοχή, όπου ένα macrocell με διάμετρο χιλιομέτρων χωριζόταν σε μικρότερες κυψέλες με μειωμένη ισχύ μετάδοσης και με ακτίνα αρκετών εκατοντάδων μέτρων, τα οποία είναι σήμερα γνωστά ως microcells,. Παράλληλα γινόταν έρευνα και για επαναληπτές (repeaters) και ενισχυτές σαν μια εναλλακτική λύση για τους σταθμούς βάσης όμως η επαναχρησιμοποίηση του αδειοδοτηθέντος φάσματος περιόριζε την απόδοσή τους.

Το 1990 ξεκίνησαν κάποιες πρώιμες εκδοχές των picocells με μεγέθη κυψέλης που αντιστοιχούσαν σε δεκάδες μέτρα. Αυτές οι κυψέλες χρησιμοποιήθηκαν για χωρητικότητα και για να καλύψουν τα κενά σε περιπτώσεις που τα macrocells ήταν ανεπαρκή για την παροχή αξιόπιστης

σύνδεσης ή όπου υπήρχε υπερφόρτωση του δικτύου. Ακόμη στις αρχές της δεκαετίας του '90 αναπτύχθηκε από την Southwest Bell και τη Panasonic ένα βιομηχανικό σχέδιο που ήταν πολύ παρόμοιο με τα σημερινά femtocells και χρησιμοποιούσε το ίδιο φάσμα με τα macrocells. Όπως και οι άλλες τεχνολογίες μικρών κυττάρων που μόλις αναφέρθηκαν, ενώ τεχνικά βρίσκονταν ένα βήμα μπροστά, ήταν οικονομικά ανεπιτυχείς, επειδή το κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας μεγάλου αριθμού μικρών κυψελών υπερέβαινε το πλεονέκτημα που παρείχαν.

Το πρώτα small cells αναπτύχθηκαν το 2002 από την ip.access, όταν η εταιρεία ξεκίνησε να παρέχει μια end-to-end GSM υπηρεσία για εσωτερικούς χώρους, την οποία ονόμασε nanoGSM. Το 2007 διάφορες εταιρίες ξεκίνησαν να αναπτύσσουν 3G small cells εσωτερικού χώρου που ήταν για οικιακή χρήση. Οι περισσότερες εταιρίες επέλεξαν την πιο δημοφιλή τεχνολογία 3G UMTS όμως η Samsung επέλεξε την τεχνολογία CDMA και με αυτή την επιλογή μπόρεσε να βγει πρώτη στις αγορές. Οι εταιρίες μαζί με τους διαχειριστές δικτύων προώθησαν τα small cells και το 2007 σχηματίστηκε το Femto Forum.

Τα επόμενα χρόνια διάφορες άλλες εταιρίες, όπως η Vodafone, η Verizon και άλλες, ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν τα femtocells, πολλές μάλιστα σε μεγάλη κλίμακα, καθώς πολλοί φορείς εκμετάλλευσης στην Αμερική είχαν ξεπεράσει το ένα εκατομμύριο femtocells. Τον Οκτώβρη του 2012 ο αριθμός των femtocells ξεπέρασε τον αριθμό των υπάρχοντων macrocells και ο αριθμός τους συνεχίζει να αυξάνεται. [28]

4.3 Small cells

Οι μικρές κυψέλες (small cells) χρησιμοποιούνται για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών εντός κτιρίου και στην ύπαιθρο. Οι φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας τις χρησιμοποιούν για να επεκτείνουν την κάλυψη των υπηρεσιών τους και να αυξήσουν την χωρητικότητα του δικτύου. Τα microrcells, τα picocells και τα femtocells ανήκουν στην κατηγορία των small cells και ονομάζονται μικρά καθώς συγκρίνονται με τα macrocells που μπορούν να έχουν εμβέλεια μέχρι και 20 μίλια.

4.3.1 Τύποι κυψελών

Macrocells

Τα macrocells είναι κυψέλες που χρησιμοποιούνται για την παροχή ραδιοφωνικής κάλυψης που εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης υψηλής ισχύος. Γενικά, παρέχουν τη μεγαλύτερη κάλυψη σε σχέση με τις άλλες κυψέλες που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες. Τοποθετούνται σε επίγειους ιστούς, στέγες και άλλες υπάρχουσες κατασκευές, συνήθως πάντα σε ύψος που παρέχει μια καθαρή θέα της γύρω περιοχής.

Microcells

Τα microcells είναι πολύ παρόμοια με τα picocells έχοντας ως κύρια διαφορά τους την περιοχή κάλυψης τους. Τα microcells μπορούν να καλύψουν περιοχές με διάμετρο μικρότερη από ένα μίλι και να χρησιμοποιήσουν έλεγχο ισχύος για να περιορίσουν την ακτίνα. Μπορούν να εγκατασταθούν προσωρινά, στην περίπτωση που αναμένεται μεγάλη κυκλοφορία εντός μιας περιορισμένης περιοχής, όπως ένα αθλητικό γεγονός, αλλά εγκαθίστανται επίσης και ως μόνιμο χαρακτηριστικό των κινητών κυψελοειδών δικτύων.

Picocells

Τα picocells είναι μικροί κυψελοειδείς σταθμοί βάσης με μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης από τα femtocells. Έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν περιοχές όπως γραφεία, εμπορικά κέντρα, γήπεδα ή σταθμούς τρένων που έχουν πυκνή χρήση κινητών δικτύων. Πρόσφατα έχει αρχίσει και η χρήση τους μέσα σε αεροσκάφη. Συχνά χρησιμοποιούνται για την παροχή χωρητικότητας και τη διείσδυση εντός κτιρίου που απαιτείται στις αστικές περιοχές με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού, αποσυμφορίζοντας έτσι τους σταθμούς βάσης ευρύτερης εμβέλειας. Τα picocells διαφέρουν από τα femtocells επειδή βασίζονται στη διαχείριση τους από το φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου που πληρώνει για την ενοικίαση του χώρου και τη μετάδοση στο κεντρικό δίκτυο. Τα picocells μπορούν να υποστηρίξουν μέχρι και 100 χρήστες.

Femtocells

Τα femtocells, γνωστά και ως home base stations, είναι σημεία πρόσβασης κυψελοειδούς δικτύου που ενώνουν τυπικές κινητές συσκευές σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιώντας οικιακό DSL, καλωδιακές ευρυζωνικές συνδέσεις, οπτικές ίνες και άλλες τεχνολογίες τελευταίου μιλίου (last-mile). Τα femtocells μπορούν να διαμορφωθούν με διάφορους τρόπους ώστε να ταιριάζουν στο περιβάλλον που εξυπηρετούν. Χρησιμοποιούνται κυρίως στο σπίτι και σε μικρές επιχειρήσεις. Εάν προγραμματιστεί για οικιακό περιβάλλον, ένα τυπικό femtocell θα μπορούσε να υποστηρίξει τέσσερα έως οκτώ ενεργά κινητά τηλέφωνα ή οκτώ έως 16, αν χρησιμοποιείται σε περιβάλλον γραφείου ή επιχείρησης. [29]

Πιο κάτω παρατίθεται πίνακας που συνοψίζει τα χαρακτηριστικά των small cells.

Πίνακας 4.1 σύγκριση τεχνολογιών small cells

Τεχνολογία	Macrocell	Microcell	Picocell	Femtocell
Κύρια Χρήση	Κλάση Φορέα, Ευρεία Κάλυψη	Περιοχές Μέσης Κάλυψης	Εξωτερικοί και Εσωτερικοί Χώροι	Εσωτερικοί Χώροι Ιδιοκατοικήσεις
Εμβέλεια	μέχρι 5 Km	μέχρι 3 Km	100 m - 1 Km	20 – 30 m
Τομείς	3	3	1	1
Αριθμός Χρηστών ανα Τομέα	>200	μέχρι 200	μέχρι 50	>10
Κινητικότητα	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Καμία

Ενδεικτική Απόδοση Ισχύος RF	10 W	4 W	500 mw	100 mw
Εφαρμογή	Εξωτερικοί Χώροι	Εξωτερικοί Χώροι	Εξωτερικοί και Εσωτερικοί Χώροι	Εσωτερικοί Χώροι
Κόστος	Υψηλό	Μέσο Υψηλό	Μέσο Χαμηλό	Πολύ Χαμηλό
Παραδείγματα Χρήσης	Αγροτικές Περιοχές	Αγροτικές Περιοχές	Αεροδρόμια, Στάδια, Αεροσκάφη	Σπίτι Γραφείο
Μέθοδος Πρόσβασης	Open	Open	Open	CSG, Open

4.3.2 Επιλογές ανάπτυξης στα small cells (deployment)

Η επιλογή για το πως θα εξυπηρετούνται οι χρήστες από τα small cells γίνεται με τρεις πολιτικές πρόσβασης. Τα picocells χρησιμοποιούν την πολιτική της ανοιχτής πρόσβασης καθώς σκοπός τους είναι να αποφορτίζουν το δίκτυο όταν υπάρχει μεγάλη κυκλοφορία στα macrocells, ενώ τα femtocells μπορούν να εφαρμόσουν οποιαδήποτε από τις τρεις πολιτικές ανάλογα με τη χρήση που θα επιλέξει ο ιδιοκτήτης τους. Οι πολιτικές πρόσβασης είναι οι εξής:

- Κλειστή πρόσβαση: Στην περίπτωση που επιλεγθεί η πολιτική της κλειστής πρόσβασης στα small cells έχουν πρόσβαση μόνο οι εγγεγραμμένοι χρήστες που ανήκουν στο Closed Subscriber Group (CSG). Υπάρχει πιθανότητα με την επιλογή της κλειστής πρόσβασης να υπάρχουν παρεμβολές από χρήστες σε γειτονικά macrocells.
- Ανοιχτή πρόσβαση: Στην περίπτωση επιλογής της ανοιχτής πρόσβασης δίνεται η δυνατότητα σε όλους του χρήστες να ενωθούν στα small cells. Οι παρεμβολές είναι πολύ λιγότερες, όμως για να

μοιραστούν οι χρήστες την πρόσβαση τους στα small cells πρέπει να δοθούν κάποια κίνητρα. Η ανοικτή πρόσβαση ονομάζεται Open Subscriber Group (OSG).

- Υβριδική πρόσβαση: Στην υβριδική πρόσβαση εξυπηρετούνται όλοι οι χρήστες στο δίκτυο όμως προτεραιότητα έχουν στα small cells ένας σταθερός αριθμός χρηστών. Η συγκεκριμένη πρόσβαση αντιμετωπίζει περιορισμούς λόγω κόστους.

Στα ετερογενή δίκτυα για την κοινή χρήση των ζωνών συχνοτήτων(frequency bands) μεταξύ macrocells και small cells γίνεται κατανομή φάσματος. Οι τρεις προσεγγίσεις που ακολουθούνται για την κατανομή φάσματος είναι, η dedicated προσέγγιση στην οποία έχουν ανατεθεί διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων για τα macrocells και τα small cells, η co-channel όπου τα macrocells και τα small cells μοιράζονται όλες τις διαθέσιμες ζώνες συχνοτήτων και η partial προσέγγιση όπου τα macrocells και τα small cells μοιράζονται κάποιες από τις ζώνες συχνοτήτων που είναι διαθέσιμες και οι υπόλοιπες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από τα macrocells. [30]

4.3.3 Προκλήσεις deployment

- Αυτοδιοργάνωση

Τα picocells και τα femtocells εγκαθίστανται από τους χρήστες τους χωρίς να υπάρχει επίβλεψη από τους διαχειριστές του δικτύου. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαίο για τη σωστή λειτουργία των κυψελών αυτών μέσα στο δίκτυο να είναι αυτόνομες. Συγκεκριμένα για να έχουν τα ετερογενή δίκτυα την ικανότητα να ρυθμίζονται αυτόματα πρέπει να έχουν τις εξής ιδιότητες: την αυτόματη διαμόρφωση (self-configuration), την αυτο-θεραπεία (self-healing) και αυτόματη βελτιστοποίηση(self-optimization). Η αυτόματη διαμόρφωση είναι η ικανότητα να μπορεί μια κυψέλη που μόλις έχει εγκατασταθεί να ρυθμίζεται αυτόματα μέσω της λήψης κατάλληλου λογισμικού πριν να τεθεί σε λειτουργία μέσα στο δίκτυο. Η αυτο-θεραπεία

εξασφαλίζει ότι οι κυψέλες μπορούν να αποκαταστήσουν αυτόματα βλάβες που μπορεί να προκύψουν ή σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η διόρθωση τους να εκτελούν κάποιους μηχανισμούς αντιστάθμισης. Η αυτόματη βελτιστοποίηση είναι η ικανότητα των κυψελών να παρακολουθούν την κατάσταση του δικτύου και να βελτιστοποιούν τις ρυθμίσεις τους έτσι ώστε να παρέχουν καλύτερη κάλυψη μέσα στο δίκτυο και μείωση των παρεμβολών. Η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων HetNets είναι μια περίπλοκη εργασία λόγω των διαφόρων τύπων κυψελών που συνυπάρχουν καθώς και του αυξανόμενου αριθμού παραμέτρων δικτύου που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η τυχαία, ανομοιογενής και χρονικά μεταβαλλόμενη φύση των αφίξεων των χρηστών και το φορτίο που προκύπτει από αυτές, επιδεινώνει τις δυσκολίες που σχετίζονται με την ανάπτυξη ενός πλήρως αυτο-οργανωμένου ετερογενούς δικτύου.

- Backhauling

Το backhaul είναι ο σύνδεσμος που ενώνει το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (BS) στο βασικό δίκτυο του φορέα εκμετάλλευσης. Ο σχεδιασμός ενός δικτύου backhaul θα είναι ένα δύσκολο επιλύσιμο ζήτημα εξαιτίας της πολύπλοκης τοπολογίας των διαφόρων τύπων κυψελών που υπάρχουν στα ετερογενή δίκτυα.

- Handover

Το handover είναι απαραίτητο για την παροχή ομοιόμορφης υπηρεσίας χωρίς προβλήματα όταν οι χρήστες μετακινούνται μέσα ή έξω από την κάλυψη των κυψελών. Επιπλέον, το handover είναι αποτελεσματικό για την εξισορρόπηση φορτίου κυκλοφορίας, καθώς είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των χρηστών σε διπλανές ή αλληλεπικαλυπτόμενες κυψέλες έτσι ώστε να αποφορτίσει τις κυψέλες στις οποίες βρίσκεται. Αυτό συμβαίνει σε βάρος του γενικού συστήματος και όσον αφορά τα ετερογενή δίκτυα, λόγω του μεγάλου αριθμού κυψελών και των διαφόρων backhaul που είναι διαθέσιμα, η επιβάρυνση είναι σημαντική. Επιπλέον, η πιθανότητα αποτυχίας του handover αυξάνει την πιθανότητα αποσύνδεσης του χρήστη από το δίκτυο.

- Παρεμβολές

Στα ετερογενή δίκτυα παρουσιάζονται σημαντικά cross-tier και two-tier προβλήματα παρεμβολών. Η παρουσία των εν λόγω παρεμβολών οφείλεται σε διάφορους παράγοντες που αναλύονται παρακάτω. Αρχικά, το δίκτυο backhaul λόγω των διαφορετικών τύπων κυψέλης που υποστηρίζει μπορεί να έχει διαφορετικό εύρος ζώνης και περιορισμούς καθυστέρησης. Ένα ακόμη ζήτημα είναι ότι οι περιορισμοί πρόσβασης (CSG) που σχετίζονται με τα picocells και τα femtocells μπορούν να οδηγήσουν σε ισχυρά σενάρια παρεμβολών τόσο στο uplink όσο και στο downlink, δεδομένου ότι οι χρήστες δεν μπορούν να μεταβούν στις πλησιέστερες κυψέλες. Επιπλέον, η ικανότητα αυτο-οργάνωσης των κυψελών απαιτεί συνεχή ανίχνευση και παρακολούθηση του περιβάλλοντος γύρω από αυτές προκειμένου να μετριάζονται δυναμικά και προσαρμοστικά ή να αποφεύγονται οι παρεμβολές. [31]

4.4 Femtocells

4.4.1 Πλεονεκτήματα

Πλεονεκτήματα για τους χρήστες:

- Καλύτερη κάλυψη σε κλειστούς χώρους: Η απώλεια που δέχεται το σήμα των macrocells στην προσπάθεια να διεισδύσει τοίχους είναι σημαντική, για αυτό το λόγο τα femtocells αποτελούν μια πιο ελκυστική λύση για τους εσωτερικούς χώρους.
- Χαμηλότερη ισχύς μετάδοσης στο σπίτι: Οι σταθμοί βάσης, δηλαδή τα femtocells είναι πλέον μέσα στο σπίτι μαζί με τις συσκευές του χρήστη οπότε δεν απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς για τη μετάδοση.
- Αύξηση στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας στις συσκευές.
- Εύκολη εγκατάσταση εφόσον δεν χρειάζονται τεχνικές γνώσεις για

την εγκατάσταση των femtocells.

Πλεονεκτήματα για τους διαχειριστές:

- Υψηλότερα ποσοστά δεδομένων: Οι χρήστες που έχουν εγγραφεί στους φορείς κινητής τηλεφωνίας λαμβάνουν υψηλότερες τιμές δεδομένων από femtocells ανάλογα με την ευρυζωνική τους σύνδεση μέσω της τοπικής πρόσβασης IP.
- Αυξημένη χωρητικότητα δικτύου: Η αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας στα macrocells προσφέρει καλύτερη χωρητικότητα δικτύου και συμβάλλει στην επιβράδυνση της ωρίμανσης του κόστους backhaul.
- Αυξημένα έσοδα: Οι φορείς κινητής τηλεφωνίας μπορούν να έχουν ειδικές χρεώσεις για τις επικοινωνίες που γίνονται μέσω των femtocells, προσφέροντας έτσι επιπλέον κέρδος στις επιχειρήσεις.

4.4.2 Μειονεκτήματα

- Παρεμβολές: Σε περίπτωση που η ανάπτυξη των femtocells γίνεται μέσω γίνεται στο ίδιο κανάλι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να προκύψουν παρεμβολές ανάμεσα στα femtocells και στα macrocells αλλά και ανάμεσα στα διάφορα femtocells που υπάρχουν στο κανάλι.
- Ποιότητα υπηρεσιών: Αν το femtocell μοιράζεται τη σύνδεση backhaul στο σπίτι για κυκλοφορία δεδομένων με άλλο εξοπλισμό, όπως αγορές μέσω internet και κονσόλες παιχνιδιών, αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας της υπηρεσίας που προσφέρει στους χρήστες του.
- Ακρίβεια φάσματος: Τα femtocells είναι συσκευές χαμηλού κόστους. Όμως με την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη με την εξέλιξη της τεχνολογίας για ακρίβεια φάσματος, τα πρότυπα σχεδιασμού των femtocells δεν μπορούν να ικανοποιήσουν αυτές τις ανάγκες.

- Τοποθεσία εξοπλισμού: Οι σταθμοί βάσης συνήθως βρίσκουν την θέση τους χρησιμοποιώντας το Global Positioning System (GPS). Ωστόσο με τη χαμηλή ποιότητα σήματος που υπάρχει λόγω του ότι τα femtocells βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους το GPS δεν μπορεί να εντοπίσει τη γεωγραφική θέση του femtocell.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Εισαγωγή στο Cognitive Radio

5.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία 20 χρόνια τα ραδιόφωνα έχουν αρχίσει να απομακρύνονται από την ιδέα απλών συσκευών υλικού και εξελίσσονται σε συσκευές υλικού και λογισμικού. Το 1990 ο Joseph Mitola παρουσίασε την ιδέα των SDRs (Software Defined Radios). Τα SDRs είναι ραδιόφωνα που αισθάνονται και αντιδρούν ραδιοσυχνότητα του λειτουργικού περιβάλλοντος και στη γεωγραφική θέση. Αργότερα, το 1999 ο Joseph Mitola και ο Gerard Maguire βασιζόμενοι στην ιδέα των SDR χρησιμοποίησαν τον όρο cognitive radio (CR) για πρώτη φορά. Τα επόμενα χρόνια εμφανίστηκαν διάφοροι ορισμοί και δόθηκαν πολλές ερμηνείες για το CR.

Σήμερα η βιομηχανία της πληροφορικής και των επικοινωνιών αντιμετωπίζει μια παγκόσμια πρόκληση. Συγκεκριμένα, ο στόχος είναι η ανάπτυξη νέων υπηρεσιών με βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και ταυτόχρονα μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι σαφές ότι υπάρχει μεγάλη ανάγκη όσον αφορά την παγκόσμια αποτελεσματικότητα όχι μόνο στον τομέα της ενέργειας αλλά και στον φασματικό τομέα. Το χάσμα μεταξύ των διαθέσιμων πόρων και της υπάρχουσας ζήτησης διευρύνεται συνεχώς. Σύντομα αναμένεται με την εξάπλωση της χρήσης των έξυπνων κινητών συσκευών και τις μεγάλες απαιτήσεις που αυτό προκαλεί στα κινητά δίκτυα να δημιουργηθεί σημαντικό πρόβλημα λόγω του περιορισμένου φάσματος. Συγκεκριμένα αναμένεται στα επόμενα χρόνια τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα να χρησιμοποιούν όλο το διαθέσιμο φάσμα για να καλύψουν τις ανάγκες των χρηστών. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα η λύση που προτάθηκε για αποδοτικότητα στο φάσμα είναι η ιδέα του cognitive radio.

Ένα δημοφιλές παράδειγμα χρήσης του cognitive radio είναι η πρόσβαση στο φάσμα βάσει των ευκαιριών που θα προκύψουν.

Αναλυτικότερα η πρόσβαση αυτή είναι μια προσωρινή, χωρική και γεωγραφική επαναχρησιμοποίηση φάσματος που επιτρέπει σε ένα μη εξουσιοδοτημένο χρήστη να αξιοποιήσει το αχρησιμοποίητο φάσμα χωρίς να προκαλέσει στον εξουσιοδοτημένο χρήστη παρεμβολές. Με βάση τις έρευνες που έχουν γίνει, το φάσμα δεν χρησιμοποιείται επαρκώς και αυτό κάνει το cognitive radio μια πολύ ελκυστική λύση.

Το cognitive radio έχει τη δυνατότητα να φέρει μεγάλες αλλαγές στις τεχνολογίες διαχείρισης φάσματος, καθώς για τη διαχείριση ήταν πάντα υπεύθυνες ιδιωτικές και κυβερνητικές επιχειρήσεις και κατ'επέκταση χρειαζόταν κάποιο άτομο να επιβλέπει τη διαχείριση αυτή. Όμως το cognitive radio επιτρέπει πλέον την αλλαγή της διαχείρισης φάσματος από μια χειροκίνητη διαδικασία σε αυτόματη. Αυτή η αλλαγή έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει μια πιο εντατική χρήση του φάσματος με τη μείωση του φραγμού πρόσβασης στο φάσμα για την είσοδο νέων συσκευών και υπηρεσιών.

Το cognitive radio είναι ένα νέο πρότυπο για το σχεδιασμό συστημάτων ασύρματων δικτύων επικοινωνίας που στοχεύουν στον εμπλουτισμό της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων (RF). Συγκεκριμένα το cognitive radio είναι ένα έξυπνο ράδιο που μπορεί να προγραμματιστεί και να διαμορφωθεί δυναμικά για να παρακολουθεί και να αισθάνεται πιθανές ευκαιρίες στο περιβάλλον ραδιοσυχνοτήτων. Ένα τέτοιο ράδιο ανιχνεύει αυτόματα διαθέσιμα κανάλια στο ασύρματο φάσμα και έπειτα αλλάζει ανάλογα τις παραμέτρους μετάδοσης ή λήψης ούτως ώστε να επιτρέψει περισσότερες ταυτόχρονες ασύρματες επικοινωνίες για μια συγκεκριμένη ζώνη φάσματος σε μία θέση. Αυτή η διαδικασία είναι μια μορφή δυναμικής διαχείρισης φάσματος (DSM). [32]

5.2 Βασικά χαρακτηριστικά και τύποι cognitive radio

Το cognitive radio ορίζεται σαν ένα ράδιο το οποίο μπορεί να αλλάξει τις παραμέτρους του ανάλογα με τις αλληλεπιδράσεις στο περιβάλλον του. Με βάση αυτό τον ορισμό, προκύπτουν δύο βασικά χαρακτηριστικά για το CR. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η γνωστική ικανότητα και η αναδιαμόρφωση.

Η γνωστική ικανότητα (cognitive capability) επιτρέπει στο cognitive radio να ψάξει για πληροφορίες στο περιβάλλον ραδιοσυχνοτήτων έτσι ώστε να ανακαλύψει το αχρησιμοποίητο φάσμα για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή τοποθεσία. Βάσει αυτών των πληροφοριών δύναται να επιλέξει το κατάλληλο τμήμα φάσματος ούτως ώστε να παρέχει επικοινωνία χωρίς να προκαλεί παρεμβολές στους υπόλοιπους χρήστες. Ο γνωστικός κύκλος απαιτεί προσαρμοστική λειτουργία στην ανοικτή πρόσβαση φάσματος και αποτελείται από τρία βασικά βήματα. Πιο συγκεκριμένα, από την ανίχνευση φάσματος, την απόφαση φάσματος και την ανάλυση φάσματος.

Η γνωστική ικανότητα παρέχει γνώσεις στο φάσμα, ενώ η αναδιαμόρφωση (reconfigurability) υποδηλώνει ότι το φάσμα μεταβάλλεται δυναμικά ανάλογα με το περιβάλλον των λειτουργιών. Ουσιαστικά, το cognitive radio μπορεί να μεταδίδει και να λαμβάνει σε μια ποικιλία συχνοτήτων και να χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης. Εν ολίγοις, το CR δύναται να αλλάζει τη ραδιοσυχνότητα, τη δύναμη εκπομπής αποστολής, το σχήμα διαμόρφωσης και το πρωτόκολλο επικοινωνίας χωρίς καμία τροποποίηση του περιβάλλοντος υλικού. Υπάρχουν αρκετές παράμετροι αναδιαμόρφωσης που μπορούν να ενσωματωθούν στο CR. Μερικές από αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Ισχύς μετάδοσης: Βάσει των περιορισμών που υπάρχουν όσον αφορά την ισχύ, επιτυγχάνεται ανάλογη διαμόρφωση της ισχύς μετάδοσης. Σε περιπτώσεις που οι λειτουργίες μεγαλύτερης ισχύος δεν είναι απαραίτητες, το CR μειώνει την ισχύ του πομπού σε χαμηλότερο επίπεδο για να επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να μοιράζονται το φάσμα, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις παρεμβολές.
- Συχνότητα λειτουργίας: Ένα CR μπορεί να αλλάξει τη συχνότητα λειτουργίας ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν. Γίνεται επιλογή της καταλληλότερης συχνότητας και η αλλαγή πραγματοποιείται δυναμικά.
- Τεχνολογίες επικοινωνιών: Το CR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων συστημάτων επικοινωνίας.
- Διαμόρφωση σχεδίου: Το CR πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις του χρήστη και τις συνθήκες καναλιού. Για

παράδειγμα, στις εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στις καθυστερήσεις, ο ρυθμός δεδομένων είναι πιο σημαντικός από τον ρυθμό σφάλματος.

Τύποι cognitive radio

- Full Cognitive Radio (ή Mitola radio): σε αυτό τον τύπο cognitive radio εξετάζεται κάθε πιθανή παράμετρος που μπορεί να παρατηρηθεί από έναν ασύρματο κόμβο ή δίκτυο.
- Spectrum-Sensing Cognitive Radio: στο συγκεκριμένο τύπο cognitive radio εξετάζεται μόνο το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων.
- Licensed-Band Cognitive Radio: σε αυτό τον τύπο cognitive radio επιτρέπεται η χρήση του φάσματος που ανήκει σε εξουσιοδοτημένους χρήστες όπως η ζώνη UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) και η ζώνη ISM (Industrial Scientific and Medical). Η ομάδα του IEEE 802.22 αναπτύσσει το πρότυπο WRAN(Wireless Regional Area Network) το οποίο θα λειτουργεί σε αχρησιμοποίητα τηλεοπτικά κανάλια.
- Unlicensed-Band Cognitive Radio: αυτός ο τύπος cognitive radio μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο μη εξουσιοδοτημένα μέρη του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων. [33],[34]

Λογισμικό του cognitive radio

Το εκτεταμένο σύστημα λογισμικού του cognitive radio χρειάζεται μια βάση για να μπορέσει να εκτελεί όλες τις λειτουργίες του. Μια προκαταρκτική περιγραφή του λογισμικού cognitive radio αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Μονάδες λογισμικού: Προγραμματιζόμενες σειρές πύλης (FPGA), επεξεργαστές ψηφιακού σήματος (DSP), ή οι ενσωματωμένοι επεξεργαστές γενικής χρήσης έχουν φορτωθεί με μονάδες λογισμικού με διάφορους κώδικες και, δεδομένου ότι σε αυτές τις ενότητες λογισμικού, ο καθένας ορίζει τη δική του διεπαφή με άλλες μονάδες λογισμικού, θα ήταν πολύ χρήσιμο να υπάρχει μια κοινή γλώσσα προγραμματισμού που θα περιγράφει τις διεπαφές.
- Ενδιάμεσο λογισμικό (Middleware): Σε αυτό το επίπεδο το ενδιάμεσο λογισμικό θα προσπαθήσει να μειώσει τις λεπτομέρειες συγκεκριμένων συσκευών και μονάδων λογισμικού σε κοινές αφαιρέσεις. Παραδείγματα είναι η ρύθμιση της συχνότητα μετάδοσης του κυκλώματος ραδιοσυχνοτήτων και η ρύθμιση του κλειδιού κρυπτογράφησης μιας ενότητας λογισμικού. Η δημιουργία ενός συστήματος middleware θα απαιτήσει την ανάπτυξη ενός κοινού μοντέλου για ένα ευρύ φάσμα μονάδων υλικού / λογισμικού.
- Λογικό ραδιοφωνικό επίπεδο: ο προγραμματισμός θα εξαρτηθεί από το υλικό και το λογισμικό που θα ενεργούν όπως οι πολλαπλοί ραδιοφωνικοί διαθέσιμοι σύνδεσμοι. Για παράδειγμα, το ραδιόφωνο μπορεί να υποστηρίζει επικοινωνίες και σε διάφορες συχνότητες, χρονικές θυρίδες καθένα από τα οποία μοιάζει με έναν ανεξάρτητο σύνδεσμο. Το λογικό ραδιοφωνικό επίπεδο υλοποιεί αυτήν την αφαίρεση.
- Διαχειριστές συσκευών: Η ρύθμιση παραμέτρων ραδιοσυχνοτήτων φορτώνεται από τον διαχειριστή συσκευών σε στοιχεία υλικού και ρυθμίζει τα λογικά ραδιόφωνα.
- Διαχειριστής διαμόρφωσης (Configuration manager): οι διαμορφώσεις που είναι διαθέσιμες στο φυσικό ραδιόφωνο για γρήγορη φόρτωση στο υλικό καθορίζονται από τον διαχειριστή διαμόρφωσης. Επίσης ο διαχειριστής διαμόρφωσης αλληλεπιδρά με τις βιβλιοθήκες μονάδων για να καθορίσει ποιες μονάδες ραδιοσυχνοτήτων είναι απαραίτητες

για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών.

- Βιβλιοθήκες μονάδων (Module libraries): οι βιβλιοθήκες μονάδων είναι συλλογές ραδιοφωνικών λειτουργιών. Παραδείγματα είναι οι διαμορφώσεις (AM, FM, BPSK, QPSK, κ.λπ.), ο έλεγχος σφαλμάτων, η κρυπτογράφηση και οι προσαρμοζόμενοι αλγόριθμοι. Οι βιβλιοθήκες μονάδων είναι κατασκευασμένες με μια ποικιλία εργαλείων (π.χ. μεταγλωττιστές γενικής χρήσης, γλώσσες σχεδιασμού υλικού και εργαλεία σχεδίασης FPGA). Ο συντονισμός των πολλαπλών πηγών που μπορεί να χρειάζονται για την οικοδόμηση μιας συγκεκριμένης μονάδας είναι ένα δύσκολο έργο.
- Μηχανισμός κανόνων και πολιτικές: Με στόχο τον περιορισμό των λειτουργιών του ραδιοφώνου λόγω ρυθμιστικών, γεωγραφικών ή φυσικών περιορισμών, χρησιμοποιούνται ορισμένες πολιτικές. Οι πολιτικές πρέπει να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα από ένα συγκεκριμένο ραδιόφωνο. Για την ερμηνεία των πολιτικών και για τον προσδιορισμό της επιτρεπόμενης λειτουργίας (διαχειριστές συσκευών, λογικά ραδιόφωνα, ενδιάμεσα λογισμικά και προγράμματα οδήγησης υλικού) χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός κανόνων.
- Έξυπνος ελεγκτής: : Ο έξυπνος ελεγκτής διαχειρίζεται όλους τους πιο πάνω διαθέσιμους πόρους που αναφέρθηκαν. [35]

5.3 Αρχιτεκτονική Cognitive Radio transceiver

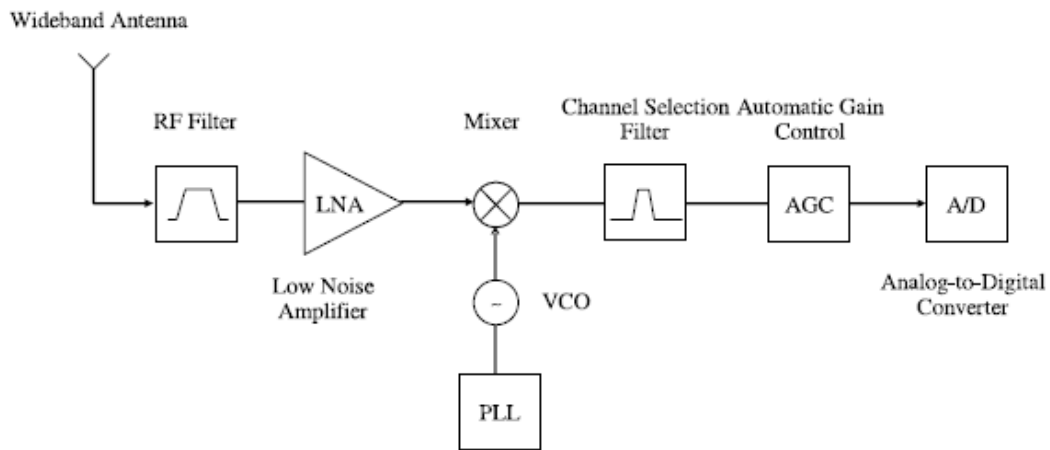
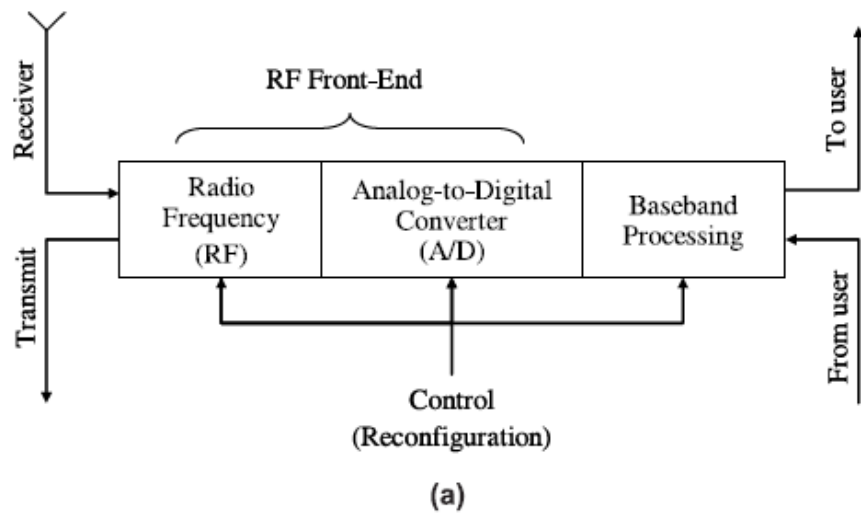
Τα κύρια στοιχεία ενός πομποδέκτη CR είναι η μονάδα επεξεργασίας ραδιοφώνου και η μονάδα επεξεργασίας ζώνης βάσης (baseband). Στο εμπρόσθιο τμήμα RF (front-end RF), το σήμα λήψης ενισχύεται, αναμιγνύεται και μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό. Στη μονάδα επεξεργασίας ζώνης βάσης, το σήμα διαμορφώνεται / αποδιαμορφώνεται και κωδικοποιείται / αποκωδικοποιείται. Η καινοτομία του CR transceiver βρίσκεται στο front-end RF. Το βασικό χαρακτηριστικό του front-end RF είναι η ευρυζωνική ικανότητα ανίχνευσης. Το υλικό των ραδιοσυχνοτήτων για το

γνωστικό ραδιόφωνο πρέπει να είναι σε θέση να συντονίζει οποιοδήποτε μέρος μιας μεγάλης κλίμακας φάσματος συχνοτήτων. Το cognitive radio front-end RF απαρτίζεται από τα εξής μέρη:

- Φίλτρο ραδιοσυχνοτήτων: Το φίλτρο ραδιοσυχνοτήτων επιλέγει την επιθυμητή ζώνη συχνοτήτων, φιλτράροντας με τη ζώνη διέλευσης τα ληφθέντα σήματα.
- Ενισχυτής χαμηλού θορύβου (LNA): ο ενισχυτής χαμηλού θορύβου ενισχύει το επιθυμητό σήμα ενώ παράλληλα ελαχιστοποιεί το στοιχείο θορύβου.
- Μείκτης: Στο μείκτη το λαμβανόμενο σήμα αναμιγνύεται με την τοπικά παραγόμενη συχνότητα RF και μετατρέπεται στη ζώνη βάσης ή στην ενδιάμεση συχνότητα.
- Ταλαντωτής ελέγχου τάσης (VCO): Ο ταλαντωτής ελέγχου τάσης παράγει ένα σήμα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα για μια δεδομένη τάση για να αναμειχθεί με το εισερχόμενο σήμα. Αυτή η διαδικασία μετατρέπει το εισερχόμενο σήμα σε ζώνη βάσης ή σε ενδιάμεση συχνότητα.
- Φίλτρο επιλογής καναλιού: Το φίλτρο επιλογής καναλιών χρησιμοποιείται για την επιλογή του επιθυμητού καναλιού και για την απόρριψη των παρακείμενων καναλιών. Υπάρχουν δύο τύποι φίλτρων επιλογής καναλιών. Ο δέκτης άμεσης μετατροπής χρησιμοποιεί φίλτρο χαμηλής διέλευσης για την επιλογή καναλιού. Από την άλλη πλευρά, ο δέκτης υπερθερυνδένης (superheterodyne) υιοθετεί ένα φίλτρο ζώνης διέλευσης.
- Βρόχος κλειστής φάσης (PLL): Ο βρόχος κλειστής φάσης διασφαλίζει ότι ένα σήμα είναι κλειδωμένο σε μια συγκεκριμένη συχνότητα και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ακριβών συχνοτήτων με λεπτή ανάλυση.
- Αυτόματος έλεγχος κέρδους (ACG): Ο αυτόματος έλεγχος κέρδους

διατηρεί τη στάθμη κέρδους ή την ισχύ εξόδου ενός σταθερού ενισχυτή σε ένα ευρύ φάσμα επιπέδων σημάτων εισόδου. [36]

Στην αρχιτεκτονική αυτή λαμβάνεται ένα σήμα ευρείας ζώνης μέσω του εμπρόσθιου άκρου RF, το οποίο λαμβάνεται από τον μετατροπέα αναλογικού προς ψηφιακό (A / D) υψηλής ταχύτητας και εκτελούνται μετρήσεις για την ανίχνευση του σήματος του αδειοδοτημένου χρήστη. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στην ανάπτυξη του CR front-end RF. Η ευρυζωνική κεραία RF λαμβάνει σήματα από διάφορους πομπούς που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος, εύρος ζώνης και θέσεις. Ως αποτέλεσμα, το RF front-end πρέπει να έχει την ικανότητα να ανιχνεύει ένα ασθενές σήμα σε ένα μεγάλο δυναμικό εύρος. Ωστόσο, αυτή η δυνατότητα απαιτεί μετατροπέα A / D ταχύτητας πολλαπλών GHz με υψηλή ανάλυση, η οποία δεν είναι προς το παρόν εφικτή. Στο σχήμα 5.1 φαίνεται η αρχιτεκτονική του CR transceiver.



Σχήμα 5.1 Αρχιτεκτονική CR transceiver

5.4 Αρχιτεκτονική Cognitive radio δικτύου

5.4.1 Αρχιτεκτονική δικτύου

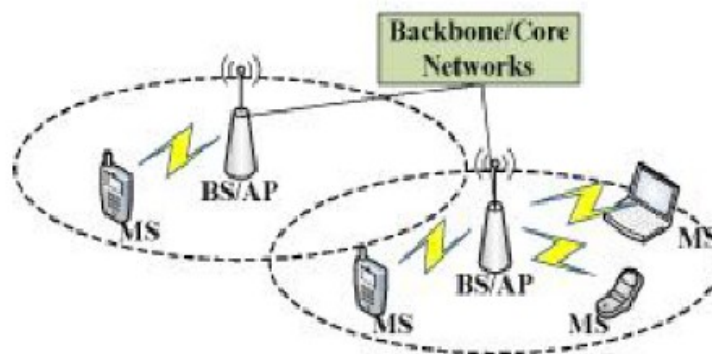
Τα CRN (Cognitive Radio Networks) μπορούν να αναπτυχθούν σε δικτυακές κεντρικές, κατακεντρωμένες, ad-hoc και mesh αρχιτεκτονικές και να εξυπηρετούν τις ανάγκες τόσο των αδειοδοτημένων όσο και των μη αδειοδοτημένων εφαρμογών. Τα βασικά στοιχεία των CRN είναι ο κινητός

σταθμός (MS), ο σταθμός βάσης / το σημείο πρόσβασης (BS / AP) και τα

δίκτυα σκελετού(backbone) / πυρήνα (core). Οι τρεις τύποι αρχιτεκτονικών δικτύου που υπάρχουν είναι οι ακόλουθοι:

- Infrastructure Αρχιτεκτονική:

Στην αρχιτεκτονική Infrastructure ένα κινητός σταθμός μπορεί να έχει πρόσβαση σε ένα σταθμό βάσης μόνο με τον τρόπο one-hop. Τα MSs που βρίσκονται κάτω από την περιοχή μετάδοσης του ίδιου BS / AP επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του BS / AP. Οι επικοινωνίες μεταξύ διαφορετικών κυψελών δρομολογούνται μέσω δικτύων backbone / core. Το BS / AP μπορεί να είναι σε θέση να εκτελέσει ένα ή περισσότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας για να εκπληρώσει διαφορετικές απαιτήσεις από τα MSs. Το CR τερματικό μπορεί επίσης να έχει πρόσβαση σε διαφορετικά είδη συστημάτων επικοινωνίας μέσω των AP και BS. Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η infrastructure αρχιτεκτονική.

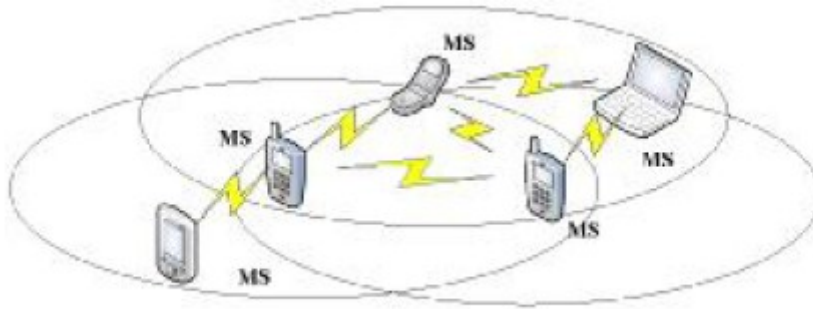


Σχήμα 5.2 Infrastructure αρχιτεκτονική

- Ad-hoc Αρχιτεκτονική:

Δεν υπάρχει υποστήριξη υποδομής στην ad-hoc αρχιτεκτονική. Εάν ένα MS αναγνωρίσει ότι υπάρχουν άλλα MS που βρίσκονται κοντά και μπορούν να συνδεθούν μέσω ορισμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, μπορούν να δημιουργήσουν μια σύνδεση και έτσι να σχηματίσουν ένα ad hoc δίκτυο. Οι

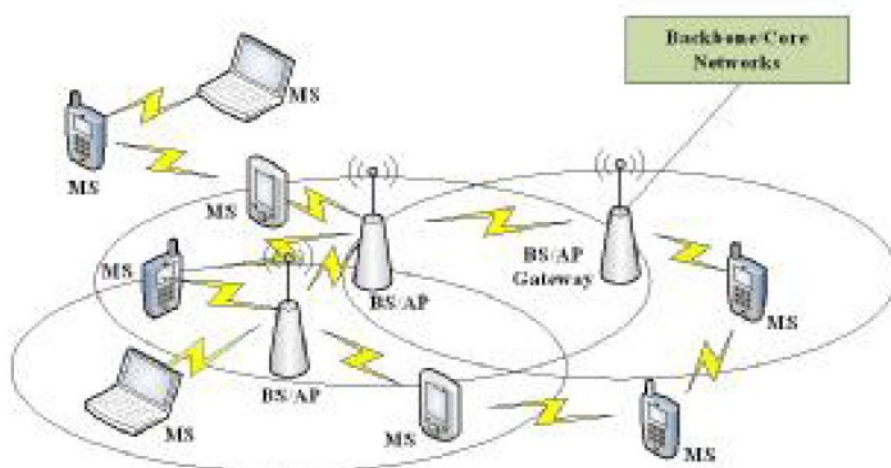
συνδέσεις μεταξύ των κόμβων μπορούν να ρυθμίζονται από διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας. Δύο CR τερματικά μπορούν είτε να επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνίας είτε να χρησιμοποιούν δυναμικά τρύπες φάσματος. Στο σχήμα 5.3 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική ad-hoc.



Σχήμα 5.3 Ad-hoc Αρχιτεκτονική

- Mesh Αρχιτεκτονική

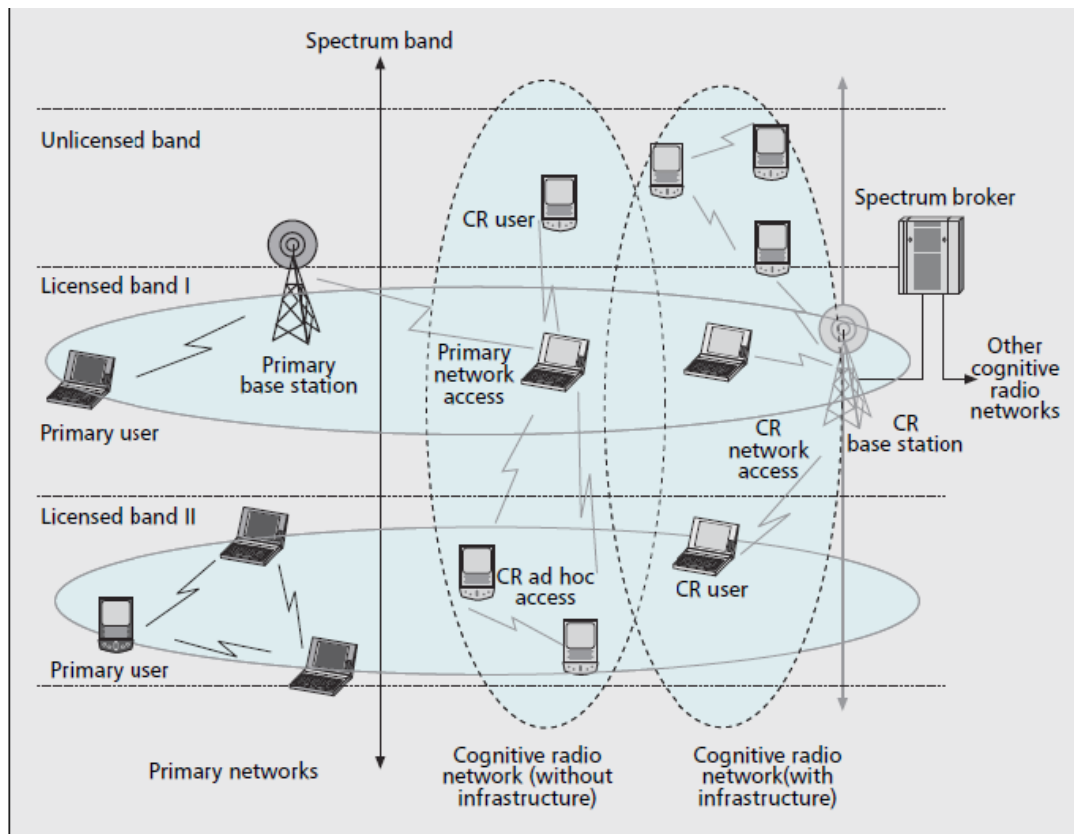
Αυτή η αρχιτεκτονική είναι ένας συνδυασμός της Infrastructure αρχιτεκτονικής και της ad-hoc ενεργοποιώντας τις ασύρματες συνδέσεις μεταξύ BS / AP. Οι BS / AP λειτουργούν ως ασύρματοι δρομολογητές και σχηματίζουν ασύρματα backbones. Τα MSs μπορούν είτε να έχουν άμεση πρόσβαση στα BS / AP είτε να χρησιμοποιούν άλλα MSs ως multi-hop κόμβους αναμετάδοσης. Ορισμένες μονάδες BS / AP μπορούν να συνδεθούν στα ενσύρματα κεντρικά δίκτυα και να λειτουργήσουν ως πύλες. Δεδομένου ότι τα BS / AP μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς να συνδεθούν απαραίτητα με ενσύρματα δίκτυα ή κεντρικά δίκτυα, είναι πιο ευέλικτο και λιγότερο δαπανηρό στο σχεδιασμό των θέσεων των BS / AP. Τα BS / AP που έχουν CR δυνατότητες, μπορούν να χρησιμοποιούν τρύπες φάσματος για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Λόγω των πιθανών διαθέσιμων τρυπών φάσματος, η χωρητικότητα των ασύρματων επικοινωνιακών συνδέσεων μεταξύ CR BS / AP μπορεί να είναι αρκετή για να χρησιμεύσει ως ασύρματο backbone. Στο σχήμα 5.4 παρουσιάζεται μια mesh αρχιτεκτονική.[37], [38], [39]



Σχήμα 5.4 Mesh Αρχιτεκτονική

5.4.2 Πρωτεύον σύστημα και CR σύστημα

Τα συστατικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής δικτύου CR μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες ως το πρωτεύον δίκτυο και το δίκτυο CR. Το πρωτεύον δίκτυο αναφέρεται ως το δίκτυο παλαιού τύπου που έχει αποκλειστικό δικαίωμα σε μια συγκεκριμένη ζώνη φάσματος. Παραδείγματα είναι τα κοινά δίκτυα, τα κυψελοειδή δίκτυα και τα δίκτυα τηλεοπτικών εκπομπών. Αντίθετα, το δίκτυο CR δεν έχει άδεια να λειτουργεί στην επιθυμητή ζώνη αλλά αποκτά πρόσβαση στο φάσμα μόνο όταν εμφανιστούν white spaces. Στο σχήμα 5.5 εμφανίζεται η αρχιτεκτονική ενός CR δικτύου.



Σχήμα 5.5 Αρχιτεκτονική CR δικτύου

Τα δύο υφιστάμενα είδη συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας στα δίκτυα CR είναι το πρωτεύον σύστημα και CR σύστημα, τα οποία ταξινομούνται βάσει των προτεραιοτήτων τους σε ζώνες συχνοτήτων. Το πρωτεύον σύστημα αποτελείται από δύο στοιχεία τον κύριο σταθμό βάσης (Primary base station PR-BS) και το βασικό χρήστη (Primary user PR-MS). Ένα πρωτεύον σύστημα αναφέρεται σε ένα υπάρχον σύστημα το οποίο λειτουργεί σε μία ή περισσότερες ζώνες σταθερής συχνότητας. Το πρωτεύον σύστημα μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, και συγκεκριμένα στο αδειοδοτημένο πρωτεύον σύστημα και στο μη αδειοδοτημένο. Το αδειοδοτημένο πρωτεύον σύστημα έχει την υψηλότερη προτεραιότητα μέσα στο δίκτυο και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μη εξουσιοδοτημένα συστήματα και χρήστες. Πολλαπλά μη αδειοδοτημένα πρωτεύοντα συστήματα μπορούν να λειτουργούν στη ίδια ζώνη συχνοτήτων αφού γίνει έλεγχος για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ τους.

Το σύστημα CR δεν λειτουργεί σε προκαθορισμένη ζώνη συχνοτήτων ούτε έχει άδεια για τη χρήση της. Για τη λειτουργία του αυτό το σύστημα

βασίζεται στις τρύπες φάσματος. Ο κινητός σταθμός CR και ο σταθμός βάσης CR επικοινωνούν μεταξύ τους αφού έχει ανιχνευθεί δυναμικά κενός χώρος (white space).

- Κινητός σταθμός cognitive radio (CR-MS)

Ο CR-MS είναι μια φορητή συσκευή με cognitive radio δυνατότητες. Μπορεί να ρυθμιστεί εκ νέου ώστε να συνδεθεί σε διαφορετικά συστήματα επικοινωνίας. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύσει τρύπες φάσματος και να τις χρησιμοποιήσει δυναμικά για να επικοινωνεί με CR-MS ή CR-BS.

- Σταθμός βάσης cognitive radio (CR-BS)

Ο σταθμός βάσης CR αποτελεί ένα σταθερό μέρος της υποδομής με δυνατότητες CR. Παρέχει single-hop σύνδεση χωρίς άδεια με απεριόριστη πρόσβαση σε χρήστες CR εντός της εμβέλειας μετάδοσης. Μέσω αυτής της σύνδεσης, ένας χρήστης CR μπορεί να έχει πρόσβαση σε άλλα δίκτυα. Ο CR-BS βοηθά επίσης και στον συγχρονισμό των λειτουργιών ανίχνευσης που εκτελούνται από διαφορετικούς χρήστες CR. Οι παρατηρήσεις και οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται από αυτές μεταφέρονται στον κεντρικό σταθμό βάσης CR έτσι ώστε να μπορεί να ληφθεί η απόφαση για τη διαθεσιμότητα του ραδιοφάσματος.

5.4.3 Συνδέσεις cognitive radio

Εφόσον το σύστημα CR μπορεί να παρέχει διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων επικοινωνίας, πρέπει να ενεργοποιηθούν ορισμένες διασυνδέσεις μεταξύ των διαφόρων συστημάτων. Οι συνδέσεις αυτές είναι οι εξής:

- CR-MS -> CR-MS

Ένα CR-MS μπορεί να επικοινωνήσει με ένα άλλο CR-MS στους άμεσα. Μπορούν συνεργατικά να αισθανθούν τις τρύπες φάσματος σε διαφορετικές ζώνες συχνότητας και μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν ως ζώνη λειτουργίας για τη συχνότητά τους. Ένα κοινό κανάλι ελέγχου μπορεί να είναι απαραίτητο για να ανταλλάξουν πληροφορίες για τις οπές του φάσματος.

- CR-MS -> CR-BS

Ένα CR-BS μπορεί να αισθανθεί δυναμικά τη διαθέσιμη ζώνη συχνότητας γύρω του, να συλλέξει τα αποτελέσματα της αντίληψης άλλου MSs και να παρέχει την πρόσβαση one-hop στο CR-MSs κάτω από την περιοχή κάλυψης. Αυτό μπορεί να απαιτήσει συνεργατική τεχνική αντίληψης. Από το συντονισμό των CR-BS, το CR-BS μπορεί είτε να έχει πρόσβαση στο δίκτυο κορμού είτε να επικοινωνεί με άλλα συστήματα επικοινωνιών.

- CR-MS -> PR-BS

Εάν υπάρχει η ανάγκη για ένα CR-MS να συνδεθεί με τη σχέση PR-BS, θα μετατραπεί και θα γίνει ένα μέρος του πρωτεύοντος συστήματος, δηλαδή του PR-MS. Σε αυτήν την περίπτωση, θα γίνει ο βασικός χρήστης σε εκείνη την ζώνη.

- CR-BS -> CR-BS

Όταν επιτρέπονται οι άμεσες ασύρματες συνδέσεις μεταξύ CR-BSs, μπορούν να διαμορφώσουν ένα ασύρματο δίκτυο πλέγματος. Λόγω της ικανότητας του cognitive radio, μπορούν δυναμικά να επιλέξουν τη ζώνη λειτουργίας της συχνότητάς τους και να επικοινωνήσουν ο ένας με τον άλλον. Δεδομένου ότι το CR-BS μπορεί να έχει περισσότερες διεπαφές του αέρα, η ικανότητα των συνδέσεων μεταξύ CR-BSs μπορεί να είναι μεγάλη. Ένα άλλο όφελος για αυτού του είδους σύνδεσης είναι το μειωμένο κόστος σε ισχύ για το CR-BSs. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν είναι εφικτή η εφαρμογή ρύθμισης στο CR-BSs σε κάποιο περιβάλλον με μία φυσική σύνδεση με καλώδιο.

- PR-MS->PR-BS

Είναι η τυπική σύνδεση one-hop μεταξύ των κινητών σταθμών και των σταθμών βάσης. Το PR-BS είναι αρμόδιο για το συντονισμό των επικοινωνιών στην κάλυψή και την παροχή της πρόσβασης στο δίκτυο του δικτύου κορμού στο PR-MS.

- PR-MS->CR-MS

Αυτό το είδος σύνδεσης είναι απαραίτητο προκειμένου να παρασχεθεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων επικοινωνιών. Σε αυτή την περίπτωση, το CR-MS θα διαμορφωθεί κατάλληλα και θα μετατραπεί σε ένα μέρος του πρωτεύοντος συστήματος.

- PR-MS->CR-BS

Αυτό το είδος σύνδεσης είναι απαραίτητο προκειμένου να παρασχεθεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων επικοινωνιών. Εφόσον το CR-BS μπορεί να τρέξει το πρωτόκολλο του πρωτεύοντος συστήματος, θα παρέχει υπηρεσίες στα PR-MS.

- PR-MS->PR-MS

Συμπεριλαμβανομένης αυτής της σύνδεσης, επιτρέπεται η δυνατότητα των ad-hoc συνδέσεων μεταξύ των PR-MS.

5.5 Πλεονεκτήματα και Τεχνικές προκλήσεις του cognitive radio

5.5.1 Τεχνικές προκλήσεις

- Ασφάλεια

Μια βασική πρόκληση στην ανάπτυξη των συστημάτων CR είναι η χρήση τους να παρέχει ασφάλεια σε όλους τους χρήστες. Από την πλευρά του βασικού χρήστη, οι CR χρήστες μπορούν να θεωρηθούν ως κακόβουλες συσκευές που παρακολουθούν το κανάλι. Οι τεχνικές ανίχνευσης φάσματος μοιάζουν με επιθέσεις υποκλοπής. Προκειμένου να διασφαλιστούν τα προσωπικά στοιχεία των χρηστών, οι τεχνικές ανίχνευσης φάσματος πρέπει να σχεδιαστούν προσεκτικά. Δεδομένου ότι κάθε βασικός χρήστης κατέχει το συγκεκριμένο φάσμα, η κυκλοφορία που διέρχεται από αυτό το φάσμα πρέπει να προστατεύεται. Ωστόσο, οι τεχνικές ανίχνευσης φάσματος

απαιτούν τη γνώση της ύπαρξης βασικών χρηστών για αποτελεσματική λειτουργία. Κατά συνέπεια, οι τεχνικές ανίχνευσης φάσματος πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε, να μην να γνωρίζουν την ύπαρξη της τρέχουσας κυκλοφορίας, αλλά να μην μπορούν να καθορίσουν το περιεχόμενο της κυκλοφορίας. Επιπλέον, αυτές οι τεχνικές πρέπει να εφαρμοστούν έτσι ώστε οποιοσδήποτε χρήστης CR που εκτελεί ανίχνευση φάσματος δεν θα θεωρείται κακόβουλος από τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα ασφαλείας στα πρωτεύοντα δίκτυα.

- Κανονισμοί και Νομικά Ζητήματα

Οι κανονισμοί που τίθενται μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη τεχνολογιών τόσο από τεχνική άποψη όσο και από επιχειρηματική. Εφόσον πρόκειται για νέα τεχνολογία, την οποία δεν γνωρίζουν καλά οι χρήστες και οι ρυθμιστικές αρχές, αναμένεται ότι η τεχνολογία CR θα αντιμετωπίσει αρκετά νομικά και ρυθμιστικά προβλήματα καθώς ωριμάζει. Ένας από τους λόγους που πρέπει να ληφθεί μεγάλη προσοχή στην επιλογή των κατάλληλων κανονισμών είναι η ανάγκη εξισορρόπησης των ανταγωνιστικών συμφερόντων των πιθανών χρηστών του ρυθμιζόμενου φάσματος. Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα που προκύπτει είναι η ανάθεση ευθυνών σε περίπτωση που προκύψουν βλάβες. Για παράδειγμα αν υπάρξουν επιβλαβείς παρεμβολές σε προστατευόμενη υπηρεσία, οι ευθύνες πρέπει να κατανέμονται μεταξύ του χρήστη, του κατασκευαστή της συσκευής, του πωλητή λογισμικού και του χειριστή υπηρεσιών. Με τους χρήστες και τους χειριστές να παίρνουν μεγαλύτερο έλεγχο στη λειτουργία της συσκευής, η παραδοσιακή ανάθεση ζημιών στον κατασκευαστή γίνεται λιγότερο ξεκάθαρη. Οι ρυθμιστικές αρχές πρέπει να φροντίσουν ώστε οι κατάλληλοι κανονισμοί και νόμοι να εφαρμόζονται. Διαφορετικά η ανεξέλεγκτη χρήση της τεχνολογίας CR μπορεί να οδηγήσει σε άσχημα αποτελέσματα.

5.5.2 Πλεονεκτήματα του cognitive radio

- Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα του cognitive radio είναι η αποτελεσματική χρήση του φάσματος. Για τη χρήση των ραδιοφωνικών ζωνών σε μια χώρα απαιτείται άδεια από την κυβέρνηση και αυτή είναι μια δαπανηρή διαδικασία. Επιπλέον, οι ζώνες φάσματος δεν μπορούν να αυξηθούν. Αυτοί οι περιορισμοί κάνουν απαραίτητη την αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος. Υπάρχουν ορισμένες αδειοδοτημένες ζώνες φάσματος που δεν χρησιμοποιούνται επαρκώς και άλλες που δεν χρησιμοποιούνται καθόλου. Αυτό είναι το φάσμα που εκμεταλλεύεται το cognitive radio ενώ παράλληλα εξασφαλίζει ότι δεν προκαλούνται παρεμβολές και μείωση της απόδοσης στους αδειοδοτημένους χρήστες.
- Δημιουργείται περισσότερος χώρος για νέες τεχνολογίες στις αχρησιμοποίητες ζώνες φάσματος και το κόστος για τους μη αδειοδοτημένους χρήστες που θα τις αξιοποιήσουν είναι πολύ χαμηλό.
- Καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Ακόμα ένα κριτήριο για το cognitive radio που κερδίζει την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας είναι ότι βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης της ενέργειας.
- Παγκόσμια λειτουργικότητα. Σε κάθε χώρα υπάρχουν ορισμένοι κανόνες για την ρύθμιση του φάσματος. Συγκεκριμένα στην κάθε χώρα παρέχεται διαφορετική ζώνη φάσματος η οποία δεν είναι διαθέσιμη σε κάποια άλλη χώρα. Το cognitive radio έχει την ικανότητα να λειτουργεί σε όλες τις χώρες του κόσμου.
- Το cognitive radio δίνει ένα οικονομικό πλεονέκτημα στους χρήστες που δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να αγοράσουν άδεια φάσματος καθώς μπορούν σε πολύ χαμηλότερο κόστος να ενοικιάσουν το φάσμα που δεν χρησιμοποιείται και αποτελεί μια ωφέλιμη λύση για όλους.

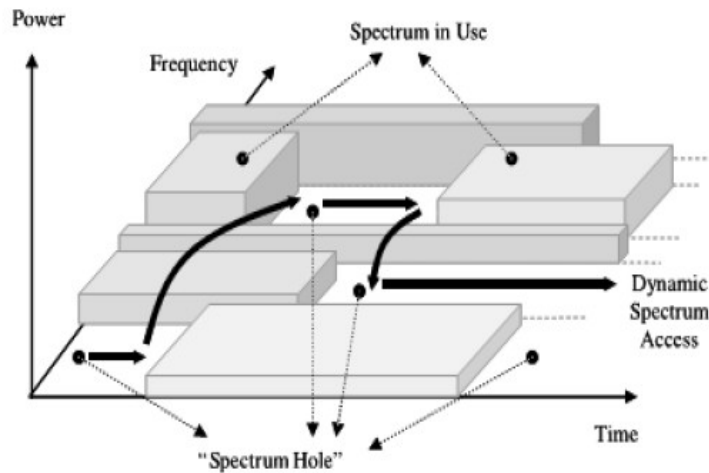
- Το CR μπορεί να επιτρέψει την πολλαπλή επιλογή καναλιών. Οι συσκευές Multi-radio cognitive που μπορούν να επιλέξουν πολλά κανάλια θα αυξήσουν δραματικά την απόδοση των cognitive δικτύων και θα βοηθήσουν στην αποφυγή συμφόρησης του δικτύου. Αυτό είναι ένα θετικό στοιχείο για την επιβίωση αυτών των δικτύων, αφού η πολλαπλή επιλογή καναλιών αποτελεί έναυσμα για μελλοντική έρευνα. [40]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6– ΤΕΧΝΙΚΕΣ COGNITIVE RADIO

6.1 Ανίχνευση φάσματος (Spectrum sensing)

Ένα CR είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να ευαίσθητο στις αλλαγές του περιβάλλοντος του, συνεπώς μια βασική απαίτηση για ένα CR δίκτυο είναι η ικανότητα να ανιχνεύει το φάσμα. Το πρώτο βήμα στην ανίχνευση του φάσματος είναι να καθοριστεί αν υπάρχει κάποιος αρχικός χρήστης σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνότητας. Με την ανίχνευση του φάσματος οι χρήστες του CR μπορούν να προσαρμόζονται ανάλογα με το αν υπάρχει τρύπα φάσματος (spectrum hole) και στην περίπτωση που υπάρχει να την αξιοποιούν χωρίς να επηρεάζουν το βασικό χρήστη. Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται μια τρύπα φάσματος. Η ανίχνευση πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο (real-time) και πραγματοποιείται αναζήτηση για αδύναμα σήματα από βασικούς χρήστες σε μια ευρεία ζώνη φάσματος.

Η ανίχνευση φάσματος χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, και συγκεκριμένα στην ανίχνευση πρωτεύοντος πομπού (primary transmitter detection), στην ανίχνευση πρωτεύοντος δέκτη (primary receiver detection), και στη διαχείριση θερμοκρασίας παρεμβολών. [41]



Σχήμα 6.1 Απεικόνιση τρύπας φάσματος

Primary Transmitter Detection

Η ανίχνευση πομπού βασίζεται στην εύρεση αδύναμου σήματος από έναν πρωτεύοντα πομπό μέσω παρατηρήσεων από άλλους χρήστες. Δηλαδή το CR μοιράζεται με άλλα cognitive radios τα αποτελέσματα της έρευνας φάσματος που έκανε. Γενικά, για ανίχνευση πομπού χρησιμοποιούνται τρία συστήματα, η ανίχνευση αντιστοιχισμένων φίλτρων, η ανίχνευση ενέργειας και η ανίχνευση χαρακτηριστικών.

Στην ανίχνευση αντιστοιχισμένων φίλτρων(matched filter detection) η πληροφορία για το σήμα του βασικού χρήστη είναι γνωστή στο χρήστη CR και το αντιστοιχισμένο φίλτρο είναι ο βέλτιστος ανιχνευτής σε σταθερό θόρυβο Gauss. Ωστόσο, το φίλτρο αυτό απαιτεί εκ των προτέρων γνώση των χαρακτηριστικών του σήματος του βασικού χρήστη. Η ανίχνευση ενέργειας είναι η καλύτερη επιλογή όταν ο δέκτης δεν μπορεί να συγκεντρώσει επαρκείς πληροφορίες σχετικά με το σήμα του βασικού χρήστη. Ωστόσο, η απόδοση του ανιχνευτή ενέργειας είναι ευαίσθητη στην ισχύ θορύβου. Επίσης, οι ανιχνευτές ενέργειας παράγουν συχνά ψευδείς συναγερμούς που ενεργοποιούνται από ακούσια σήματα επειδή δεν μπορούν να διαφοροποιήσουν τους τύπους σημάτων. Στην ανίχνευση χαρακτηριστικών (features detection) τα γενικά διαμορφωμένα σήματα

χαρακτηρίζονται από ενσωματωμένη περιοδικότητα ή κυκλοστατηριακότητα (cyclostationarity). Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να ανιχνευθεί με την ανάλυση μιας συνάρτησης φασματικής συσχέτισης. Το κύριο πλεονέκτημα της ανίχνευσης χαρακτηριστικών είναι η αντοχή του στην ισχύ θορύβου. Ωστόσο, είναι υπολογιστικά πολύπλοκο και απαιτεί σημαντικούς χρόνους παρατήρησης.

Στην ανίχνευση πρωτεύοντος πομπού δεν υπάρχει καμία επικοινωνία μεταξύ του χρήστη CR και του βασικού χρήστη, έτσι η ανίχνευση αυτή βασίζεται στους πρωτεύοντες πομπούς. Σε αυτές τις τεχνικές είναι αδύνατο να αποφευχθούν οι παρεμβολές στους βασικούς χρήστες. Ένα ακόμη πρόβλημα που εμφανίζεται στις ανιχνεύσεις πομπού είναι το πρόβλημα επισκίασης (shadowing). Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται όταν, παρόλο που το τερματικό του χρήστη CR έχει καλή οπτική επαφή με ένα πρωτεύον δέκτη, δεν μπορεί να τον ανιχνεύσει λόγω παρεμβολών.

Για να αντιμετωπιστούν τα πιο πάνω προβλήματα προτάθηκε η συνεργατική ανίχνευση (cooperative detection). Σε αυτή την ανίχνευση μοιράζονται σε όλους τους χρήστες τα αποτελέσματα από τις έρευνες που γίνονται από διάφορα CR. Μέσω αυτής της συνεργασίας η αβεβαιότητα που υπήρχε με μια μόνο ανίχνευση μετριάζεται, επιτρέποντας σε διαφορετικούς χρήστες να αποφασίζουν από κοινού για την κατοχή φάσματος. Η συνεργατική ανίχνευση είναι πιο δύσκολη στην επεξεργασία της, ανιχνεύει όμως το φάσμα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η ακρίβεια αυτή, ωστόσο, έρχεται με το κόστος της πρόσθετης επιβάρυνσης επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, οι τοπικές μετρήσεις θα πρέπει να συλλέγονται σε έναν διαχειριστή ζώνης (π.χ. ένα σημείο πρόσβασης ή απλώς άλλο δευτερεύον χρήστη) για επεξεργασία σε μια απόφαση σχετικά με την κατάσταση πληρότητας της πρωτεύουσας ζώνης.

Primary receiver detection

Παρόλο που η συνεργατική ανίχνευση μειώνει την πιθανότητα να υπάρχουν παρεμβολές, ο πιο αποδοτικός τρόπος ανίχνευσης τρυπών φάσματος είναι να ανιχνεύονται οι βασικοί χρήστες που λαμβάνουν δεδομένα μέσα στην

εμβέλεια του χρήστη CR. Σε αυτή την περίπτωση, η ανίχνευση πρωτευόντων χρηστών εκτελείται με βάση το σήμα που λαμβάνουν οι χρήστες CR.

Interference temperature management

Παραδοσιακά, οι παρεμβολές μπορούν να ελέγχονται στον πομπό μέσω της ακτινοβολούμενης ισχύος και της θέσης των μεμονωμένων πομπών. Ως εκ τούτου, πρόσφατα έχει εισαχθεί από την Federal Communications Commission (FCC) ένα νέο μοντέλο μέτρησης παρεμβολών, που αναφέρεται ως διαχείριση θερμοκρασίας παρεμβολής. Αυτό το μοντέλο περιορίζει την παρεμβολή στον δέκτη μέσω ενός ορίου θερμοκρασίας παρεμβολής το οποίο είναι το ποσό της νέας παρεμβολής που μπορεί να ανεχθεί ο δέκτης. Όσο οι χρήστες CR δεν υπερβαίνουν αυτό το όριο, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη ζώνη φάσματος. Αν και αυτό το μοντέλο είναι το καλύτερο κατάλληλο για το στόχο της ανίχνευσης φάσματος, η δυσκολία αυτού του μοντέλου έγκειται στον ακριβή καθορισμό του ορίου θερμοκρασίας παρεμβολής.

Τεχνικές προκλήσεις στην ανίχνευση φάσματος

Ορισμένες ακόμα προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν αφορούν την ανίχνευση σφάλματος. Μια από αυτές είναι η μέτρηση θερμοκρασίας παρεμβολής. Λόγω της έλλειψης αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πρωτευόντων δικτύων και των δικτύων CR, γενικά, ένας χρήστης CR δεν μπορεί να γνωρίζει τις ακριβείς θέσεις των κύριων δεκτών (βασικοί χρήστες). Έτσι, απαιτούνται νέες τεχνικές για τη μέτρηση ή την εκτίμηση της θερμοκρασίας παρεμβολής στους κοντινούς κύριους δέκτες. Ένα ακόμη ζήτημα που προκύπτει λόγω της ανίχνευσης φάσματος σε δίκτυα πολλαπλών χρηστών αφορά το περιβάλλον πολλαπλών χρηστών, που αποτελείται από πολλούς χρήστες CR και τους βασικούς χρήστες, καθώς η ανίχνευση κενών χώρων στο φάσμα και η εκτίμηση παρεμβολών καθίστανται πιο δύσκολες. Όμως οι λειτουργίες ανίχνευσης φάσματος πρέπει να αναπτύσσονται λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον πολλαπλών χρηστών.

Ακόμη μια πρόκληση είναι το να επιτευχθεί μια αποδοτικότερη ανίχνευση φάσματος. Κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης ο χρήστης δεν είναι ικανός να μεταδίδει πακέτα πληροφοριών, με αποτέλεσμα όταν χρειαστεί να γίνει ανίχνευση του φάσματος, οι χρήστες να πρέπει να σταματήσουν τη μετάδοση και να μειώνεται η αποδοτικότητα του δικτύου. Για το λόγο αυτό, η εξισορρόπηση της απόδοσης φάσματος και η ακρίβεια της ανίχνευσης είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Επιπλέον, επειδή ο χρόνος ανίχνευσης επηρεάζει άμεσα την απόδοση μετάδοσης, απαιτείται να αναπτυχθούν νέοι αλγόριθμοι ανίχνευσης φάσματος έτσι ώστε ο χρόνος ανίχνευσης να ελαχιστοποιείται, προσφέροντας όμως ταυτόχρονα ακρίβεια στην ανίχνευση.

6.2 Απόφαση φάσματος (Spectrum decision)

Για τη σωστή διαχείριση πρέπει να γίνονται δυο βασικές λειτουργίες, η ανάλυση και η απόφαση φάσματος. Στην ανάλυση φάσματος, τα αποτελέσματα της ανίχνευσης του αναλύονται για την εκτίμηση του προτύπου φάσματος. Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR) και τα κενά σημεία (white spaces) που είναι διαθέσιμα, καθορίζεται η ποιότητα του φάσματος. Πολλές φορές οι πληροφορίες που συλλέγονται για την ποιότητα του διαθέσιμου φάσματος είναι λανθασμένες. Η απόφαση φάσματος αποσκοπεί στην καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών και για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις τους χρησιμοποιεί τις καλύτερες διαθέσιμες συχνότητες. Το cognitive radio καθορίζει ποιες είναι οι βέλτιστες ζώνες συχνότητας στο φάσμα για να προσφέρει ποιοτικές υπηρεσίες (QoS). Η απόφαση για το φάσμα είναι στενά συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες των καναλιών των πρωτευόντων χρηστών. Επιπλέον, η απόφαση για το φάσμα επηρεάζεται από τις δραστηριότητες άλλων χρηστών CR στο δίκτυο. Η απόφαση φάσματος αποτελείται συνήθως από δύο βήματα: πρώτα, κάθε ζώνη φάσματος χαρακτηρίζεται, όχι μόνο από τις τοπικές παρατηρήσεις των χρηστών CR αλλά και από τις στατιστικές πληροφορίες των πρωτευόντων δικτύων. Στη συνέχεια, βάσει αυτού του χαρακτηρισμού, μπορεί να επιλεγεί η πιο κατάλληλη ζώνη φάσματος. Επειδή οι διαθέσιμες τρύπες φάσματος

παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία ποικίλλουν με την πάροδο του χρόνου, κάθε κενός χώρος (white space) θα πρέπει να χαρακτηρίζεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο το χρονικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον ραδιοσυχνοτήτων όσο και τις παραμέτρους του φάσματος, όπως η συχνότητα λειτουργίας και το εύρος ζώνης. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό να οριστούν παράμετροι που να αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη ζώνη φάσματος. Ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους είναι οι εξής:

- Απώλεια διαδρομής: Η απώλεια διαδρομής σχετίζεται στενά με την απόσταση και τη συχνότητα. Καθώς αυξάνεται η συχνότητα λειτουργίας, αυξάνεται η απώλεια της διαδρομής, με αποτέλεσμα τη μείωση της εμβέλειας μετάδοσης. Εάν αυξάνεται η ισχύς μετάδοσης για να αντισταθμιστεί η αυξημένη απώλεια διαδρομής, οι παρεμβολές σε άλλους χρήστες ενδέχεται να αυξηθούν.
- Λάθη ασύρματης σύνδεσης: Ανάλογα με το σχήμα διαμόρφωσης και το επίπεδο παρεμβολής της ζώνης φάσματος, αλλάζει ο ρυθμός σφάλματος του καναλιού.
- Παρεμβολές: Από το σύνολο των παρεμβολών που έχει ο πρωτεύων χρήστης, είναι δυνατό να υπολογιστεί η επιτρεπόμενη ισχύς και βάσει αυτού του υπολογισμού γίνεται μια εκτίμηση για τη χωρητικότητα του καναλιού (SNR).
- Καθυστέρηση στο επίπεδο σύνδεσης: Για να αντιμετωπιστεί ξεχωριστά η απώλεια διαδρομής, το σφάλμα ασύρματης σύνδεσης και οι παρεμβολές, απαιτούνται διαφορετικοί τύποι πρωτοκόλλων στρώματος συνδέσεων σε διαφορετικές ζώνες φάσματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές καθυστερήσεις στο επίπεδο της σύνδεσης.

Είναι επιθυμητό να βρεθούν ζώνες φάσματος που συνδυάζουν όλες τις παραμέτρους όπως περιγράφηκαν πιο πάνω για να υπάρχει μια ακριβής απόφαση φάσματος. Ωστόσο, δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα μια πλήρης ανάλυση και μοντελοποίηση του φάσματος στα δίκτυα CR.[42]

Τεχνικές προκλήσεις στην απόφαση φάσματος

Αν και η διαδικασία της απόφασης φάσματος αναπτύσσεται συνεχώς υπάρχουν κάποια βασικά ζητήματα τα οποία δεν έχουν επιλυθεί ακόμα. Η εκτίμηση της χωρητικότητας φάσματος χρησιμοποιώντας τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) δεν αρκεί για να χαρακτηρίσει τη ζώνη φάσματος στα δίκτυα CR. Επίσης, οι εφαρμογές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις QoS. Έτσι, ο σχεδιασμός μοντέλων λήψης αποφάσεων φάσματος, προσαρμοσμένων στις εφαρμογές και το φάσμα, εξακολουθεί να είναι ένα ανοικτό ζήτημα. Ένα ακόμη πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι στα ετερογενή δίκτυα ορισμένες ζώνες φάσματος χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς και κάποιες άλλες παραμένουν αχρησιμοποίητες. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο ένα δίκτυο CR θα μπορεί να υποστηρίξει τις λειτουργίες λήψης αποφάσεων φάσματος τόσο στις αδειοδοτούμενες όσο και στις μη αδειοδοτημένες ζώνες.

6.3 Κινητικότητα φάσματος (Spectrum mobility)

Όταν ένας αδειοδοτημένος χρήστης προσπαθεί να αποκτήσει πρόσβαση σε κάποιο κανάλι που χρησιμοποιείται από έναν μη αδειοδοτημένο χρήστη τότε ο μη εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να αλλάξει το αδρανές φάσμα σε μια ενεργή ζώνη φάσματος. Αυτή η αλλαγή στη λειτουργική ζώνη συχνότητας ονομάζεται handover φάσματος. Το handover φάσματος πρέπει να προσπαθήσει να διασφαλίσει ότι ο μη αδειοδοτημένος χρήστης μπορεί να συνεχίσει τη μετάδοση δεδομένων στη νέα ζώνη φάσματος. Κάθε φορά που ένας χρήστης CR αλλάζει τη συχνότητα λειτουργίας του, τα πρωτόκολλα δικτύου ενδέχεται να απαιτούν τροποποιήσεις στις παραμέτρους λειτουργίας. Ο σκοπός της κινητικότητας του ραδιοφάσματος στα δίκτυα CR είναι να διασφαλίσει την ομαλή και γρήγορη μετάβαση (handover) και να αποφύγει την υποβάθμιση των υπηρεσιών του χρήστη.

Υπάρχουν 4 διαφορετικές στρατηγικές που ακολουθεί το handover στην κινητικότητα φάσματος. Πρώτη στρατηγική ονομάζεται non-handoff και

σε αυτή ο δευτερεύον χρήστης μένει στο αρχικό κανάλι σε κατάσταση αδράνειας και περιμένει πότε θα είναι ξανά το κανάλι ελεύθερο. Μόλις ο πρωτεύον χρήστης φύγει από το κανάλι τότε ο χρήστης CR συνεχίζει την μετάδοση των δεδομένων του κανονικά. Η μέθοδος αυτή δεν είναι ιδανική για τον χρήστη CR εφόσον υπάρχουν καθυστερήσεις.

Η δεύτερη στρατηγική ονομάζεται pure reactive handoff ο δευτερεύον χρήστης εφαρμόζει προσέγγιση αντιδραστικής ανίχνευσης φάσματος και προσέγγιση ενεργητικής αντίδρασης. Δηλαδή όταν εμφανιστεί η ανάγκη για μεταβίβαση τότε ξεκινάει η ανίχνευση του φάσματος για να βρεθεί το κανάλι στο οποίο θα μετακινηθεί ο δευτερεύον χρήστης. Παρόλο που η συγκεκριμένη στρατηγική έχει μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα της ανίχνευσης του φάσματος, καθώς ψάχνει μόνο στα κανάλια που την αφορούν μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η on-demand ανίχνευση του φάσματος δημιουργεί κάποιες καθυστερήσεις.

Η τρίτη στρατηγική είναι η pure proactive handoff. Στην συγκεκριμένη στρατηγική ο χρήστης CR εκτελεί ανίχνευση φάσματος και λαμβάνει μέτρα για handoff πριν εμφανιστεί η ανάγκη για αυτό. Με αυτό τον τρόπο ο δευτερεύον χρήστης έχει εφεδρικό κανάλι έτοιμο ενώ ταυτόχρονα γίνονται και προβλέψεις βάσει ενός κυκλοφοριακού μοντέλου για το αν αναμένεται να υπάρχει ανάγκη για handoff. Οι καθυστερήσεις σε αυτή τη στρατηγική είναι μηδαμινές ωστόσο τα αποτελέσματα της ανίχνευσης δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια και το εφεδρικό κανάλι μπορεί να χρησιμοποιείται από άλλο χρήστη την ώρα της μεταβίβασης.

Τέλος, τέταρτη στρατηγική είναι η υβριδική στρατηγική handoff που λειτουργεί κάνοντας ενεργητική (proactive) ανίχνευση φάσματος και αντιδραστική μεταβίβαση. Έτσι ο χρήστης CR έχει έτοιμο το εφεδρικό του κανάλι σε περίπτωση που προκύψει handoff. Η υβριδική στρατηγική είναι μια καλή επιλογή καθώς αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ των δύο άλλων επιλογών. [43]

Τεχνικές προκλήσεις στη κινητικότητα φάσματος

Ένα από τα προβλήματα που εμφανίζονται είναι στην κινητικότητα του φάσματος στο χρονικό πεδίο. Τα δίκτυα CR προσαρμόζονται στο ασύρματο φάσμα βάσει των διαθέσιμων ζωνών συχνοτήτων. Επειδή αυτά τα διαθέσιμα κανάλια αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, η παροχή ποιοτικών υπηρεσιών σε αυτό το περιβάλλον είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Ένα ακόμη εμπόδιο που πρέπει να ξεπεραστεί όσο αφορά την κινητικότητα του φάσματος είναι η ανάγκη για συνεχή κατανομή του φάσματος. Αυτό συμβαίνει επειδή οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται και αυτό αλλάζει συνεχώς τις διαθέσιμες ζώνες συχνοτήτων.

6.4 Κοινή χρήση φάσματος (Spectrum sharing)

Στα cognitive radio ο σκοπός είναι το να διατηρηθεί μια ισορροπία ανάμεσα στην αποτελεσματική μετάδοση πληροφοριών και στο να δύναται να μοιραστεί το διαθέσιμο φάσμα σε όλους τους cognitive και non-cognitive χρήστες. Αυτός ο σκοπός επιτυγχάνεται με κανόνες που καθορίζουν τη συμπεριφορά του cognitive radio στο περιβάλλον του δικτύου. Αυτοί οι κανόνες εξασφαλίζουν ότι θα γίνει συντονισμός και δεν θα υπάρχει σύγκρουση πολλαπλών χρηστών στα επικαλυπτόμενα τμήματα του φάσματος σε περιπτώσεις όπου πολλοί χρήστες προσπαθούν να αποκτήσουν πρόσβαση σε αυτά. Τα χαρακτηριστικά των CR, όπως η συνύπαρξη των χρηστών CR με τους αδειοδοτημένους χρήστες και το ευρύ διαθέσιμο φάσμα, προκαλούν ουσιαστικά διαφορετικές προκλήσεις για την κοινή χρήση ραδιοφάσματος στα δίκτυα CR. Οι υφιστάμενες εργασίες για την κοινή χρήση ραδιοφάσματος στοχεύουν στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις πτυχές και πιο συγκεκριμένα, στην αρχιτεκτονική, στη συμπεριφορά κατανομής φάσματος, στην τεχνική πρόσβασης φάσματος και στο πεδίο εφαρμογής.

Η πρώτη κατηγοριοποίηση για την κοινή χρήση φάσματος γίνεται

βάσει της αρχιτεκτονικής του συστήματος και είναι το κατακεντρωμένο (distributed) κοινής χρήσης φάσμα και το συγκεντρωμένο (centralized).

Στο συγκεντρωμένο κοινής χρήσης φάσμα οι διαδικασίες κατανομής και πρόσβασης φάσματος ελέγχονται από μια κεντρική οντότητα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια διαδικασία κατακεντρωμένης ανίχνευσης έτσι ώστε οι μετρήσεις της κατανομής φάσματος να προωθούνται στην κεντρική οντότητα και να κατασκευάζεται ένας χάρτης κατανομής φάσματος. Ακόμη, η κεντρική οντότητα μπορεί να μισθώσει φάσμα στους χρήστες σε μια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Εκτός από τον ανταγωνισμό για το φάσμα, ο ανταγωνισμός για τους χρήστες μπορεί επίσης να εξεταστεί μέσω ενός κεντρικού διακομιστή πολιτικής για το ραδιοφάσμα .

Στο κατακεντρωμένο κοινή χρήσης φάσμα η κατανομή και η πρόσβαση του φάσματος βασίζονται σε τοπικές (ή και παγκόσμιες) πολιτικές που εκτελούνται από κάθε κόμβο διανεμητικά. Επίσης κατακεντρωμένες λύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταξύ διαφορετικών δικτύων έτσι ώστε ένας σταθμός βάσης να ανταγωνίζεται με τους παρεμβαλλόμενους σταθμούς βάσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις QoS των χρηστών του και να κατανέμουν ένα τμήμα του φάσματος.

Η δεύτερη κατηγοριοποίηση που γίνεται καθορίζει τον τρόπο πρόσβασης στο φάσμα και αν αυτή θα είναι συνεργατική (cooperative) ή μη συνεργατική (non-cooperative). Οι συνεργατικές λύσεις εκμεταλλεύονται τις μετρήσεις παρεμβολής κάθε κόμβου έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της επικοινωνίας ενός κόμβου σε άλλους κόμβους. Οι μη-συνεργατικές χρησιμοποιούν μόνο ένα κόμβο.

Η τρίτη κατηγοριοποίηση γίνεται βάσει της τεχνολογίας πρόσβασης και είναι η κοινή χρήση στο υπόστρωμα του φάσματος(underlay) και την επίστρωση(overlay). Τέλος, οι τεχνικές κοινής χρήσης φάσματος επικεντρώνονται γενικά σε δύο τύπους λύσεων: κοινή χρήση φάσματος εντός δικτύου CR (κοινή χρήση φάσματος intra-network) και μεταξύ πολλαπλών συνυπαρχόντων δικτύων CR (κοινή χρήση φάσματος inter-network).

Τεχνικές προκλήσεις στη κοινή χρήση φάσματος

Υπάρχουν αρκετά ζητήματα που μπορούν να ερευνηθούν περαιτέρω στην κοινή χρήση φάσματος. Ένα από αυτά είναι το κοινό κανάλι ελέγχου (CCC- Common Control Channel), το οποίο έχει την ικανότητα να διευκολύνει πολλές από τις λειτουργίες κοινής χρήσης φάσματος. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ότι όταν ο βασικός χρήστης επιλέγει ένα κανάλι, το κανάλι αυτό πρέπει να εκκενωθεί καθιστώντας την εφαρμογή ενός σταθερού CCC ανέφικτη. Επιπλέον, στα δίκτυα CR ένα κανάλι κοινό για όλους τους χρήστες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία και ποικίλλει με την πάροδο του χρόνου.

Για να γίνονται πιο εύκολα υπολογισμοί για τις παρεμβολές θεωρείται δεδομένο ότι ο χρήστης CR γνωρίζει τη γεωγραφική θέση και τη μετάδοση δύναμης του πρωτεύοντα χρήστη. Ωστόσο κάτι τέτοιο δεν ισχύει πάντα στα δίκτυα CR. Μια ακόμη τεχνική πρόκληση προκύπτει λόγω της αλληλεξάρτησης μεταξύ της περιοχής ραδιοσυχνοτήτων και της συχνότητας λειτουργίας. Οι γείτονες ενός κόμβου μπορεί να αλλάξουν καθώς αλλάζει η συχνότητα λειτουργίας και επιθυμητό θα ήταν να υπάρχει δυναμική εμβέλεια ραδιοσυχνοτήτων.

6.5 Τεχνικές cognitive radio στα small cells

Στα ετερογενή δίκτυα οι macro σταθμοί βάσης (MBS- Macro Base Station) που έχουν ψηλή ισχύ μετάδοσης και κάλυψη ευρείας εμβέλειας συνυπάρχουν με τους small cell σταθμούς βάσης (SBS- Small cell Base Station) που χαρακτηρίζονται από χαμηλή ισχύ μετάδοσης και μικρή εμβέλεια κάλυψης. Οι παρεμβολές μεταξύ των επιπέδων (Inter-tier) αποτελούν ένα ανασταλτικό παράγοντα στην απόδοση των ετερογενών δικτύων και μια λύση που προτάθηκε είναι η εισαγωγή της τεχνολογίας cognitive radio στα SBSs.

Ένας σταθμός βάσης με cognitive ικανότητες μπορεί να ελέγχει το περιβάλλον του, να ανιχνεύει πιθανές πηγές παρεμβολών και να τις αποφεύγει. Αυτό επιτυγχάνεται με την ευκαιριακή (opportunistic) πρόσβαση

σε κανάλια ορθογωνικής διατομής (orthogonal) . Έτσι ανάλογα με την τεχνική CR που θα χρησιμοποιηθεί ο SBS αποφασίζει σε ποιες περιπτώσεις μια παρεμβολή είναι επιβλαβής και ανάλογα την αποφεύγει αν χρειαστεί.

Υπάρχουν δύο τύποι cognitive SBS το semi-cognitive (SC) και το full-cognitive (FC). Στο semi cognitive ο SBS θεωρεί μόνο τους κοντινούς macro σταθμούς βάσης σαν πηγές παρεμβολών που πρέπει να αποφεύγει. Σε αντίθεση η full cognitive προσέγγιση θεωρεί τα MBSs και τα SBSs πηγές παρεμβολών. Το όριο ανίχνευσης ενός cognitive SBS είναι η παράμετρος που καθορίζει αν οι γειτονικοί σταθμοί βάσης θα είναι πηγές παρεμβολών. Το όριο ανίχνευσης φάσματος ενός γνωστικού SBS ορίζει την περιοχή ανίχνευσης φάσματος (SSR- Spectrum Sensing Range) γύρω από το SBS. Ένα γνωστικό SBS δεν θα επαναχρησιμοποιήσει κανένα κανάλι που χρησιμοποιείται στο SSR του, επομένως, δεν υπάρχει πηγή παρεμβολής στο SSR. Το όριο ανίχνευσης φάσματος είναι μια κρίσιμη παράμετρος σχεδιασμού που πρέπει να συντονιστεί προσεκτικά για να επιτευχθεί η επιθυμητή ανταλλαγή μεταξύ της συνολικής παρεμβολής (και συνεπώς της πιθανότητας διακοπής) και της αποδοτικότητας επαναχρησιμοποίησης χωρικών συχνοτήτων. Όσο χαμηλότερο είναι το όριο ανίχνευσης φάσματος, τόσο μεγαλύτερο είναι το SSR και τόσο χαμηλότερη είναι η συνολική παρεμβολή. Ωστόσο, το ίδιο κανάλι συχνότητας επαναχρησιμοποιείται μετά από μεγαλύτερα χωρικά διαστήματα, με αποτέλεσμα την ανεπαρκή απόδοση επαναχρησιμοποίησης χωρικών συχνοτήτων.

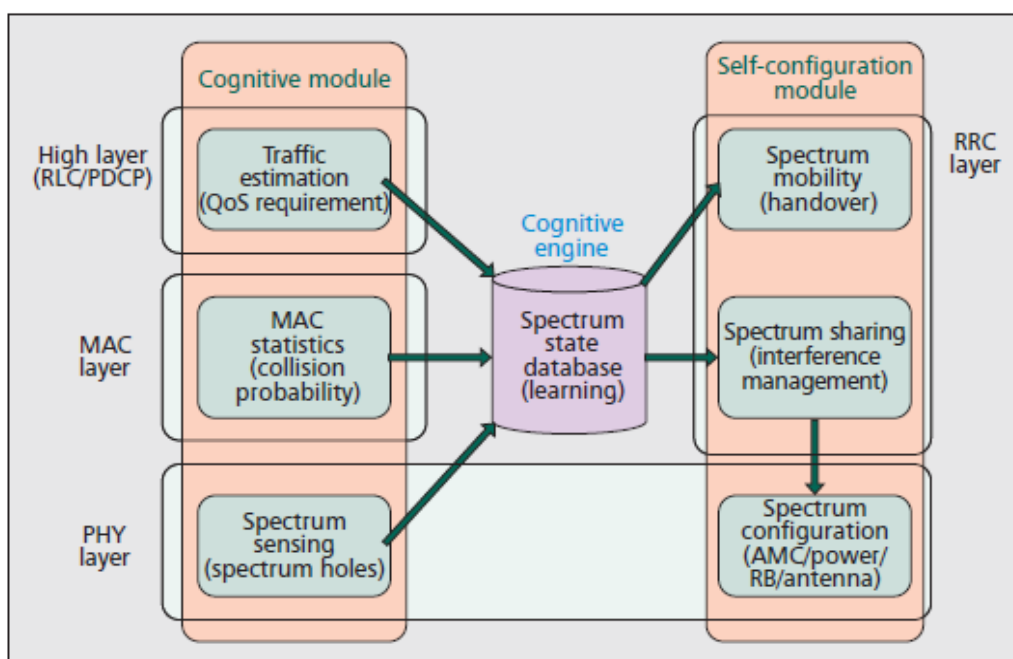
Η τεχνική που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της τεχνολογίας cognitive radio στις SBSs είναι η ανίχνευση φάσματος, που τους δίνει την ικανότητα να καθορίζουν τις κύριες πηγές παρεμβολών. Η ικανότητα αυτή επιδρά σημαντικά στην συνολική απόδοση του HetNet με cognitive small cells. [44]

6.5.1 Μείωση παρεμβολών σε cognitive femtocells

Η τεχνολογία cognitive radio έχει πολλές προοπτικές να φέρει μεγάλες αλλαγές και νέες τεχνικές στα femtocells. Προκειμένου να ανταποκριθεί στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των κινητών δικτύων, το cognitive radio ενσωματώνεται στα femtocells για την εξάλειψη των παρεμβολών. Η γνωστική ικανότητα και η ικανότητα αυτοδιαμόρφωσης είναι τα κύρια

χαρακτηριστικά των cognitive femtocells. Η ικανότητα αυτοδιαμόρφωσης βοηθά τα CFPA (Cognitive Femtocell Access Point) να συνυπάρχουν σε δίκτυα δύο επιπέδων χωρίς να επηρεάζουν τα υφιστάμενα κυψελοειδή δίκτυα.

Στο σχήμα 6.2 παρουσιάζεται η τεχνολογία cognitive radio στα femtocells. Όπως φαίνεται και στο σχήμα τα δομικά στοιχεία για τον cognitive μηχανισμό είναι η cognitive μονάδα και η μονάδα αυτοδιαμόρφωσης. Η ενότητα cognitive ανιχνεύει το περιβάλλον και συλλέγει πληροφορίες για όλα τα επίπεδα, όπως οι τρύπες φάσματος, πιθανότητα σύγκρουσης και οι απαιτήσεις ποιότητας (QoS). Στη συνέχεια ο μηχανισμός φάσματος αναλύει τα χαρακτηριστικά φάσματος και εκτιμά τους διαθέσιμους πόρους. Η μονάδα αυτοδιαμόρφωσης συλλέγει τις cognitive πληροφορίες σε μια βάση δεδομένων κατάστασης φάσματος και τις χρησιμοποιεί για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων όλων των στρωμάτων σε δυναμικό περιβάλλον.



Σχήμα 6.2 Τεχνολογία CR στα femtocells

Η μονάδα αυτοδιαμόρφωσης χρησιμοποιεί την τεχνική κινητικότητας φάσματος, την κοινή χρήση φάσματος και την ικανότητα διαμόρφωσης φάσματος. Η τεχνική της κινητικότητας φάσματος επιτρέπει το ομαλό handover στα femtocells, γεγονός που ελαχιστοποιεί την υποβάθμιση της απόδοσής τους όταν δεν είναι διαθέσιμα τα κανάλια macro ή οι συνθήκες του

τρέχοντος καναλιού γίνονται χειρότερες. Η τεχνική της κοινής χρήσης φάσματος αποφεύγει συγκρούσεις μεταξύ καναλιών πολλαπλών femtocells. Η μονάδα διαμόρφωσης φάσματος διασφαλίζει ότι τα femtocells λειτουργούν στα καλύτερα διαθέσιμα κανάλια.

Στο cognitive μοντέλο παρουσιάζονται τρεις τεχνικές μείωσης των παρεμβολών: η τεχνική ευκαιριακής αποφυγής παρεμβολών, η τεχνική ακύρωσης παρεμβολών και η ευθυγράμμιση παρεμβολών.

- Ευκαιριακή αποφυγή παρεμβολών (Opportunistic interference avoidance) : Δεδομένου ότι τα femtocells επικαλύπτονται μέσα στα δίκτυα macrocell, η ευκαιριακή φασματική πρόσβαση μπορεί να αξιοποιηθεί για το ιεραρχικό σύστημα επικάλυψης για να αποφευχθεί η παρεμβολή μεταξύ των βαθμίδων. Μετά την ανίχνευση των ενεργειών macrocell που αποκτούν διαθέσιμους φασματικούς πόρους, τα CFAP εκμεταλλεύονται τρύπες φάσματος ή λευκούς χώρους για να αποφύγουν διαταραχές στις επικοινωνίες των macrocells. Η ευκαιριακή πρόσβαση βελτιώνει τη συνολική φασματική απόδοση από τη σκοπιά της χρονικής, φασματικής και χωρικής επαναχρησιμοποίησης των RB μεταξύ macrocell και femtocells.
- Ακύρωση παρεμβολών (Interference cancellation): Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη για ισχυρές παρεμβολές που αποδιαμορφώνονται ή αποκωδικοποιούνται, μαζί με την εκτίμηση του καναλιού, για να ακυρωθεί η λαμβανόμενη παρεμβολή από τα επιθυμητά σήματα. Η ακύρωση παρεμβολών απαιτεί τη γνώση μηνυμάτων macrocell και codeblocks. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές κωδικοποίησης Dirty Paper Coding (DPC) ή sphere coding για να ακυρωθούν τα σήματα παρεμβολών από το επιθυμητό σήμα.
- Ευθυγράμμιση παρεμβολών (Interference Alignment): Σε αυτή την τεχνική, όλες οι παρεμβολές περιορίζονται στο μισό περίπου του χώρου σήματος σε κάθε δέκτη, αφήνοντας το άλλο μισό ελεύθερο από παρεμβολές για το επιθυμητό σήμα. Η προϋπόθεση που επιτρέπει την τέλεια ευθυγράμμιση παρεμβολών είναι ότι τα cognitive femtocells έχουν γνώση των πληροφοριών παγκόσμιας κατάστασης των καναλιών.

Οι τεχνικές αυτές διαφέρουν ανάλογα με τις πληροφορίες που θα υπάρχουν από την ανίχνευση φάσματος. Η ευκαιριακή αποφυγή παρεμβολών χρειάζεται τα femtocells να χρησιμοποιούν τις τρύπες φάσματος έτσι ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Σε αντίθεση η ακύρωση παρεμβολών αξιοποιεί τις ισχυρές παρεμβολές με εξελιγμένες στρατηγικές κωδικοποίησης για να διευκολύνει την επικοινωνία. Η ευθυγράμμιση παρεμβολών ορθογωνίζει όλα τα σήματα παρεμβολών και το επιθυμητό σήμα για να αποφεύγονται οι παρεμβολές. [45]

6.5.2 Ενεργειακή απόδοση σε cognitive small cell δίκτυα

Η ταχεία αύξηση του ενεργειακού κόστους και τα ολοένα και πιο αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα έχουν οδηγήσει την ερευνητική κοινότητα να αρχίσει να ψάχνει λύσεις για να προσφέρει ενεργειακή απόδοση στις τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών. Η τεχνολογία cognitive radio που αρχικά προτάθηκε για την βελτίωση της χωρητικότητας φάσματος μπορεί να έχει σημαντικό ρόλο και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα δίκτυα.

Τα ετερογενή δίκτυα ενώ προσφέρουν λύσεις για τη χωρητικότητα στο δίκτυο, έχουν ψηλή συνολική κατανάλωση ενέργειας που αυξάνεται σημαντικά με την εγκατάσταση πρόσθετων σταθμών βάσης. Οι τεχνικές της κατάστασης αναστολής (sleep mode) είναι μια πολλά υποσχόμενη στρατηγική για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Η λειτουργία sleep mode είναι πιο αποτελεσματική όταν το μέγεθος της κυψέλης είναι μικρό και δεν έχει μεγάλη κυκλοφορία. Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές για τη λειτουργία sleep mode. Αρκετές σχετίζονται με το μηχανισμό αφύπνισης που μπορεί να το διαχειρίζεται το SAP (Small cells Access Point), το κεντρικό δίκτυο ή ο εξοπλισμός του χρήστη. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας του HetNet ελαχιστοποιείται με βάση τις τεχνικές sleep mode για femtocells που λειτουργούν στο δίκτυο.

Είναι επιθυμητό να ερευνηθούν στρατηγικές καταναμημένου sleep mode οι οποίες δεν κάνουν πιο πολύπλοκο τον εξοπλισμό του χρήστη και δεν απαιτούν σηματοδότηση από το χρήστη. Για να είναι εφικτή η προσέγγιση καταναμημένων αποφάσεων το SAP χρειάζεται να έχει cognitive ικανότητες για να ανιχνεύει πότε ένα small cell είναι ενεργό. Με αυτό τον τρόπο τα cognitive small cells καθιστούν εφικτή την ανάπτυξη ενεργειακά

και φασματικά αποδοτικών ετερογενή δικτύων. [46],[47]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πρόσφατη ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επιδεινώσει περαιτέρω το πρόβλημα του περιορισμένου φάσματος. Όσο τα πρότυπα των κινητών συσκευών εξελίσσονται οι μέγιστες ταχύτητες δεδομένων αυξάνονται σταθερά απαιτώντας όλο και περισσότερο εύρος ζώνης φάσματος. Ωστόσο παρατηρώντας προσεκτικά τη χρήση του ασύρματου φάσματος βγαίνει το συμπέρασμα ότι πολλές αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων βλέπουν μόνο περιστασιακή χρήση ή μένουν εντελώς κενές, ενώ παραπλήσιες ζώνες συχνοτήτων αντιμετωπίζουν προβλήματα χωρητικότητας.

Οι τρέχουσες έρευνες που γίνονται για την τεχνολογία cognitive radio στοχεύουν στη βελτιωμένη χρήση του φάσματος, επιτρέποντας στους χρήστες να μεταφέρονται από τις συνωστισμένες ζώνες σε γειτονικές κενές ζώνες. Σε ένα ιδανικό σενάριο ένα cognitive radio είναι σε θέση να αντιληφθεί την τοπική χρήση του ραδιοφάσματος και να προσαρμόσει αναλόγως τις δικές του παραμέτρους .

Έχοντας τρεις βασικές δυνατότητες όπως η ικανότητα γνωστικής λειτουργίας, η δυνατότητα αναδιαμόρφωσης και η ικανότητα μάθησης, το CR έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει μια πρωτοποριακή δύναμη στο πλαίσιο της διαχείρισης του φάσματος. Το CR παρέχει πρόσθετη ευελιξία και βελτιωμένη αποτελεσματικότητα στη συνολική χρήση του φάσματος. Μπορεί να εκμεταλλευτεί τις τρύπες φάσματος ή τους λευκούς χώρους των αδειοδοτημένων ζωνών φάσματος, με την προϋπόθεση ότι δεν προκαλεί επιβλαβείς παρεμβολές σε πρωτεύοντες χρήστες, προκειμένου να βελτιωθεί σημαντικά η αποτελεσματικότητα της χρήσης του ραδιοφάσματος. Το CR προσφέρει επίσης τη δυνατότητα ευέλικτης δυναμικής διαχείρισης του φάσματος σε ετερογενή δίκτυα ραδιοεπικοινωνίας.

Στα μελλοντικά ετερογενή δίκτυα οι cognitive ικανότητες θα είναι απαραίτητες όχι μόνο για να είναι ενεργειακά αποδοτική η λειτουργία των small cells μέσα στο δίκτυο αλλά και για να λυθούν προβλήματα

συνύπαρξης(coexistence) σε δίκτυο πολλαπλών επιπέδων (multi-tier). Η χρήση του cognitive radio στην τεχνολογία των femtocells παρουσιάζει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και αναμένεται στα επόμενα χρόνια να φέρει μεγάλες αλλαγές στα κινητά δίκτυα.

Συνοψίζοντας, αν και η θεωρητική έρευνα για το CR ανθίζει, με πολλά ενδιαφέροντα αποτελέσματα, η υλοποίηση του υλικού και η ανάπτυξη των συστημάτων CR εξελίσσονται με βραδύτερο ρυθμό, λόγω της πολυπλοκότητας που ενέχει ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Κάποιες μελλοντικές έρευνες που μπορούν να γίνουν για τη βελτιστοποίηση και ανάπτυξη της τεχνολογίας cognitive radio στα σύγχρονα δίκτυα είναι:

- Η προσαρμοσμένη στρατηγική μεταβίβασης φάσματος: Τα τρέχοντα έργα επικεντρώνονται κυρίως στη στρατηγική μεταβίβασης ενός φάσματος. Καθώς κάθε στρατηγική μεταδόσεως φάσματος ταιριάζει καλύτερα σε διαφορετικά δίκτυα πρωτεύοντος χρήστη, απαιτείται ένας νέος προσαρμοστικός αλγόριθμος μεταβίβασης φάσματος με στρατηγικές μεταδόσεως πολλαπλών φάσεων. Στην ιδανική περίπτωση, ο δευτερεύον χρήστης (χρήστης CR) θα πρέπει να γνωρίζει το σχέδιο κυκλοφορίας του πρωτεύοντα χρήστη και να εφαρμόζει την πιο κατάλληλη στρατηγική μεταβίβασης. Όταν αλλάζει το μοντέλο κίνησης πρωτεύοντος χρήστη, ο χρήστης CR θα παρατηρήσει την αλλαγή και θα προσαρμόσει ανάλογα τη στρατηγική της μεταβίβασης. Επομένως, η μελλοντική στρατηγική μεταβίβασης φάσματος (handover) θα πρέπει να εξετάσει τον παράγοντα εκμάθησης φάσματος στη διαδικασία σχεδιασμού.
- Ενεργειακή απόδοση - Στα Cognitive Radio Ad-Hoc δίκτυα, η ενεργειακή απόδοση είναι ένας σημαντικός παράγοντας λόγω των περιορισμένων πόρων των κόμβων CR. Από την άλλη πλευρά, οι μέθοδοι κινητικότητας του ραδιοφάσματος βασίζονται συνήθως στην επικαιροποίηση της συχνής ενημέρωσης φάσματος και στην ανίχνευση του φάσματος που έχουν σημαντική ισχύ. Συνεπώς, η ενεργειακά αποδοτική κινητικότητα του φάσματος εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση.
- Η συντήρηση συνδέσεων βρίσκεται στο επίκεντρο της κινητικότητας

του φάσματος. Τα σχετιζόμενα θέματα σχεδίασης κατανέμονται σε φυσικά επίπεδα, επίπεδα MAC και δίκτυο. Επομένως, απαιτείται προσέγγιση cross-layer μεταξύ των τριών στρωμάτων για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος. Τα περισσότερα ερευνητικά έργα προτείνουν λύσεις πολλαπλών επιπέδων, είτε μεταξύ φυσικών όσο και MAC στρώσεων ή μεταξύ MAC και στρώσεων δικτύου. Παρόλο που οι προτεινόμενες λύσεις γνωρίζουν τη μετάδοση του ραδιοφάσματος, είναι αναποτελεσματικές σε κάποιο βαθμό επειδή παραβλέπονται ορισμένα σημαντικά θέματα μεταβίβασης φάσματος. Γι'αυτό, είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί ένα πρωτόκολλο συντήρησης cross-layer συνδέσεων, το οποίο θα αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα ζητήματα κινητικότητας φάσματος σε φυσικό επίπεδα, MAC επίπεδο και επίπεδο δικτύου, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση.

- Η εκτίμηση της χρήσης φάσματος σε πολλαπλές διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου, της συχνότητας, του χώρου, της γωνίας και του κώδικα. Ένας ανοικτός τομέας για έρευνα είναι ο προσδιορισμός ευκαιριών σε όλες αυτές τις διαστάσεις και στη συνέχεια ανάπτυξη αλγορίθμων που θα προβλέπουν τη μελλοντική κατάσταση του φάσματος χρησιμοποιώντας παλαιότερες πληροφορίες.
- Ένας σημαντικός χώρος για περαιτέρω έρευνα είναι η αλληλεπίδραση της ανίχνευσης του φάσματος και των λειτουργιών υψηλότερου στρώματος για την ενίσχυση της αντίληψης QoS του τελικού χρήστη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Toh, Chai K. *Ad hoc mobile wireless networks: protocols and systems*. Pearson Education, 2001.
- [2] Vora, Lopa J. "Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G." (2015).
- [3] *GSM Global system for Mobile Communications". 4G Americas. Archived from the original on 8 February 2014. Retrieved 2014-03-22.*
- [4]<https://web.archive.org/web/20140208025506/http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=243>
- [5] Wandre, Siddarth. "EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution." (2000).
- [6] Adnan, Mahmood, Shadi MS Hilles, and Wael MS Yafooz. "An Evolution to Next Generation Heterogeneous Cellular Networks." *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)* 17.4 (2017): 251.
- [7] <http://www.telecomabc.com/i/imt-2000.html>
- [8] https://www.pitt.edu/~dtipper/2720/2720_Slides12.pdf
- [9] Andrews, Jeffrey G., Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed. "Fundamentals of WIMAX." (2007).
- [10] Ghosh, Amitava, et al. "LTE-advanced: next-generation wireless broadband technology." *IEEE wireless communications* 17.3 (2010).
- [11] Parkvall, Stefan, et al. "LTE-advanced-evolving LTE towards IMT-advanced." *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*. IEEE, 2008.
- [12] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term->

evolution/3gpp-4g-imt-lte-advanced-tutorial.php

[13] Sharma, Pankaj. "Evolution of mobile wireless communication networks-1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network." *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* 2.8 (2013): 47-53.

[14] <https://el.wikipedia.org/wiki/LTE>

[15] Sesia, Stefania, Matthew Baker, and Issam Toufik. *LTE-the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons, 2011.

[16] Holma, Harri, and Antti Toskala, eds. *WCDMA for umts: hspa evolution and lte*. John Wiley & Sons, 2007.

[17] <http://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/DI304/Παρουσιάσεις/Εαρινό%202013/Lecture-02.pdf>

[18]<https://web.archive.org/web/20140208025450/http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=249>

[19] Ghosh, Arunabha, et al. *Fundamentals of LTE*. Pearson Education, 2010.

[20] https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_ofdm_technology.htm

[21] Dahlman, Erik, Stefan Parkvall, and Johan Skold. *4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband*. Academic press, 2013.

[22] Scheduling supported in LTE Sc-FDMA Uplink από το βιβλίο *The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practise* edited by Stefania Sesia Issam Toufik Matthew Baker

[23] Zyren, Jim, and Wes McCoy. "Overview of the 3GPP long term evolution physical layer." *Freescale Semiconductor, Inc., white paper* (2007).

[24]<http://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/mimo.html>

- [25] Beming, Per, et al. "LTE-SAE architecture and performance." *Ericsson Review* 3 (2007): 98-104.
- [26] Lescuyer, Pierre, and Thierry Lucidarme. Evolved packet system (EPS): the LTE and SAE evolution of 3G UMTS. John Wiley & Sons, 2008
- [27] Damnjanovic, Aleksandar, et al. "A survey on 3GPP heterogeneous networks." *IEEE Wireless communications* 18.3 (2011).
- [28] Andrews, Jeffrey G., et al. "Femtocells: Past, present, and future." *IEEE Journal on Selected Areas in communications* 30.3 (2012): 497-508.
- [29] <https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5567.pdf>
- [30] Quek, Tony QS, et al., eds. *Small cell networks: Deployment, PHY techniques, and resource management*. Cambridge University Press, 2013.
(Backhauling)
- [31] Lopez-Perez, David, et al. "Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks." *IEEE Wireless communications* 18.3 (2011).
- [32] Ghosh, Goutam, Prasun Das, and Subhajit Chatterjee. "Cognitive radio and dynamic spectrum access-A study." *International Journal of Next-Generation Networks* 6.1 (2014): 43.
- [33] <https://www.irjet.net/archives/V3/i4/IRJET-V3I4453.pdf>
- [34] Akyildiz, Ian F., et al. "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey." *Computer networks* 50.13 (2006): 2127-2159.
- [35] Ntuli, Elesha, et al. "A Review of Dynamic Spectrum Networks Using Cognitive Radio." *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. Vol. 2. 2014.

- [36] Biswas, Rajib. "Basics of Cognitive Radio Networks: An Appraisal." *Introduction to Cognitive Radio Networks and Applications*. Chapman and Hall/CRC, 2016. 41-46.
- [37] Chen, K-C., et al. "Cognitive radio network architecture: part I--general structure." *Proceedings of the 2nd international conference on Ubiquitous information management and communication*. ACM, 2008.
- [38] Akyildiz, Ian F., et al. "A survey on spectrum management in cognitive radio networks." *IEEE Communications magazine* 46.4 (2008).
- [39] Xiao, Yang, and Fei Hu, eds. *Cognitive radio networks*. CRC press, 2008.
- [40] Nguyen, Van Tam, Frederic Villain, and Yann Le Guillou. "Cognitive radio RF: overview and challenges." *VLSI Design 2012* (2012): 1.
- [41] Ghasemi, Amir, and Elvino S. Sousa. "Spectrum sensing in cognitive radio networks: requirements, challenges and design trade-offs." *IEEE Communications magazine* 46.4 (2008).
- [42] Masonta, Moshe Timothy, Mjumo Mzyece, and Ntsibane Ntlatlapa. "Spectrum decision in cognitive radio networks: A survey." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 15.3 (2013): 1088-1107.
- [43] Christian, Ivan, et al. "Spectrum mobility in cognitive radio networks." *IEEE Communications Magazine* 50.6 (2012).
- [44] ElSawy, Hesham, and Ekram Hossain. "On cognitive small cells in two-tier heterogeneous networks." *Modeling & Optimization in Mobile, Ad Hoc & Wireless Networks (WiOpt), 2013 11th International Symposium on*. IEEE, 2013.
- [45] Huang, Li, Guangxi Zhu, and Xiaojiang Du. "Cognitive femtocell networks: an opportunistic spectrum access for future indoor wireless coverage." *IEEE wireless communications* 20.2 (2013): 44-51.

[46] Wildemeersch, Matthias, et al. "Cognitive small cell networks: Energy efficiency and trade-offs." *IEEE Transactions on Communications* 61.9 (2013): 4016-4029.

[47] Xie, Renchao, et al. "Energy-efficient resource allocation for heterogeneous cognitive radio networks with femtocells." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 11.11 (2012): 3910-3920.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
ABC	Always Best Connect
ACG	Automatic Gain Control
AMPS	Advanced Mobile Phone Systems)
AMR	Adaptive Multi-Rate transcoding speech
CA	Carrier Aggregation
CDMA200	Code Division Multiple Access
CoMP	Coordinated Multipoint
CS	Circuit Switched
CSG	Closed Subscriber Group
CT2	Cordless Telephone
DECT	Digital European Cordless Telephone
DFT	Discrete Fourier Transform
DSM	Dynamic Spectrum Management
DSP	Digital Signal Processors
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	Evolved- UMTS Terrestrial Radio Access Network
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency division multiple access
FPGA	Field Programmable Gate Arrays
GPRS	General Packet Radio Service
CR	Cognitive Radio
CSG	Closed Subscriber Group
GSM	Global System for Mobile Communications
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISI	Inter-Symbol Interference
ISM	Industrial Scientific and Medical
ITU	International Telecommunication Union

LAN	Local Area Network
LNA	Low Noise Amplifier
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging Service
MSC	Mobile Switching Centers
MU-MIMO	Multi-User MIMO
NLOS	Non-Line-Of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PACS	Personal Access Communications Systems
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PCRF	Policy Control and Charging Rules Function
PDN	Packet Data Network
P-GW	PDN Gateway
PLL	Phased locked Loop
PS	Packet Switched
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
S-GW	Serving Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
SIMO	Single Input Multiple Output
SIR	Signal to Interference Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
TACS	Total Access Communication System
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VCO	Voltage Control Oscillator
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WRAN	Wireless Regional Area Network

