



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**" Σύγκριση της κλειστής και υβριδικής λειτουργίας
των *small cells* σε *post-LTE* συστήματα "**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΥ Γ. ΕΥΓΕΝΙΑΣ

A.M.: 4376

Υπεύθυνος Καθηγητής: Χρήστος Ι. Μπούρας
Επιβλέπων: Βασίλειος Κόκκινος

ΠΑΤΡΑ, Μάρτιος 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Καταρχήν 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 ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, για την καθοδήγησή του καθώς, επίσης, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά τη φοίτησή μου στο τμήμα

Επίσης, ευχαριστώ τον μεταδιδάκτορα κ. Βασίλειο Κόκκινο για τη συνεχή παρουσία, την αμέριστη συμβολή και υποστήριξη του.

Τέλος, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για τη διαρκή τους υποστήριξη, οικονομική και ψυχολογική, που επέτρεψε τη διεκπεραίωση των σπουδών μου. Τους ευχαριστώ που είναι δίπλα μου σε κάθε βήμα και που διαμορφώνουν γύρω μου ένα άνετο περιβάλλον, μέσα στο οποίο μπορώ να εργαστώ και να επεκτείνω τις γνώσεις μου.

Ευγενία Γ. Παπαγεωργακοπούλου

Πάτρα, Μάρτιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη παροχής υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και υψηλής ποιότητας υπηρεσίας στο εσωτερικό κτηρίων, σε συνδυασμό με την ακριβή (λόγω υψηλού κόστους) και περιορισμένων ρυθμοποδόσεων λύση εξυπηρέτησης που παρέχεται από τη μακροκυψέλη στους χρήστες ενός κυψελωτού συστήματος, καθιστούν την απαίτηση για νέες εναλλακτικές λύσεις όλο και πιο επιτακτική. Προς αυτή την κατεύθυνση και με στόχο την ενίσχυση του σήματος σε εσωτερικούς χώρους, έχει προταθεί η λύση των λεγόμενων σημείων πρόσβασης φεμτοκυψελών ή των οικιακών σταθμών βάσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται σε δύο λειτουργίες των small cells, την κλειστή και την υβριδική λειτουργία. Θα γίνει μία λεπτομερή ανάλυση αυτών των δύο και θα τεθούν υπό σύγκριση.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα στοιχεία των Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας. Έπειτα, αναφέρονται τα διάφορα είδη κυψελών (cells) που υπάρχουν και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις Φεμτοκυψέλες (Femtocells) που αποτελούν τη χαμηλότερη βαθμίδα των small cells ως προς την εμβέλεια και ισχύ.

Στη συνέχεια, δίνεται αναλυτική περιγραφή των δικτύων Φεμτοκυψελών, τόσο της δομής και της λειτουργίας τους όσο και της προσαρμογής τους στην τεχνολογία LTE.

Επιπλέον, αναλύεται η κλειστή καθώς και η υβριδική λειτουργία των femtocells. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά τους, οι περιπτώσεις χρήσης τους και στο τέλος γίνεται μία σύγκριση αυτών των δύο λειτουργιών.

Η σύγκριση των προσβάσεων έδειξε ότι η υβριδική λειτουργία πρόσβασης είναι η καλύτερη λύση, διότι συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της κλειστής και ανοιχτής πρόσβασης ενώ παράλληλα, διατηρεί το μερίδιο σε μη συνδρομητικούς χρήστες μικρό με αποτέλεσμα η επίδραση στην απόδοση των συνδρομητών να είναι μικρή και εύκολα αποζημιώσιμη οικονομικά αν χρειαστεί. Ως εκ τούτου, οι ιδιοκτήτες είναι λιγότερο επιφυλακτικοί απέναντι στην υιοθέτηση αυτού του τύπου πρόσβασης.

ABSTRACT

The increasing demand for high data rates and high quality service inside buildings, along with the expensive, due to high costs and limited throughput service, solution which is provided by the macrocell to the users of a cellular system, is making the demand for new alternatives more and more urgent. To this end and in order to enhance the signal to indoors, the solution of so-called femtocells access points or home base stations is proposed.

This thesis focuses on two functions of small cells, the Closed and the Hybrid mode. It will be done a detailed analysis of these two and they will be put under comparison.

Initially, reference is made to the important elements of the Mobile Networks. After, the various types of cells are presented, giving particular emphasis on Femtocells, which consist the lowest rank of small cells as far as range and power are concerned.

Then, a detailed description of the Femtocells networks is given, regarding their structure, their function and their adaptation to LTE technology, as well.

Furthermore, an analysis follows regarding the closed and the hybrid mode of femtocells. More particularly, there is a detailed presentation of their characteristics, the cases of their use and, at the end, a comparison of these two functions takes place.

The comparison of the accesses showed that the hybrid access mode is the best solution because it combines the advantages of closed and open access while maintains small share as far as the non-subscriber users are concerned and so the effect on performance of the subscribers is small and, if needed, it could be easily reimbursable. Therefore, the owners are less skeptical towards the adoption of this type of access.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή	13
1. 1 Εισαγωγή	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας	17
2.1 Εισαγωγή στα Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας	18
2.2 Είδη Κυψελών	21
2.2.1 Microcell	22
2.2.2 Macrocell.....	23
2.2.3 Picocell	24
2.2.4 Femtocell.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Φεμτοκυψέλες (Femtocells).....	27
3.1 Ιστορική ανασκόπηση	28
3.2 Γενικά για τις φεμτοκυψέλες.....	29
3.3 Παρεμβολές και πολιτικές φάσματος στις φεμτοκυψέλες	32
3.4 Λειτουργικότητα	34
3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φεμτοκυψελών	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- Οι φεμτοκυψέλες στα δίκτυα Long Term Evolution (LTE)	41
4.1 Εισαγωγή	42
4.2 Βασικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό του LTE	44
4.3 Αρχιτεκτονική του LTE	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- Οι Λειτουργίες Πρόσβασης Φεμτοκυψελών.....	51
5.1 Εισαγωγή	52
5.2 Σύγκριση των λειτουργιών πρόσβασης των φεμτοκυψελών.....	57
5.3 Σύγκριση τρόπων λειτουργίας από τη βιβλιογραφία.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- Συμπεράσματα	61
6.1 Συμπεράσματα έρευνας	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7- Μελλοντικές έρευνες.....	65
7.1 Μελλοντικές έρευνες	66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	71
ΑΚΡΩΝΥΜΑ	72

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ. 2.1. Πρόβλεψη του αριθμού των συνδρομητών μέχρι το 2020.	21
Εικ. 2.2. Παράδειγμα χρήσης μακροκυψελών και μικροκυψελών μέσα σε μία τυπική αστική περιοχή.....	23
Εικ. 2.3. Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Μακροκυψέλης.	24
Εικ. 2.4. Τα διάφορα πιθανά επίπεδα ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών.	25
Εικ. 2.5. Λειτουργία Φεμτοκυψελών.....	26
Εικ. 3.1. Χρήση των φεμτοκυψελών από οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις.....	28
Εικ. 3.2. Μια συσκευή φεμτοκυψέλης της Vodafone.	29
Εικ. 3.3. Περιοχή κάλυψης μακροκυψέλης όπου έχουν εγκατασταθεί φεμτοκυψέλες με στόχο τη βελτίωση της κάλυψης του δικτύου.	31
Εικ. 3.4. Οικιακή χρήση των φεμτοκυψελών.....	32
Εικ. 3.5. Οι 3 πολιτικές ανάθεσης φάσματος: η 1η στήλη αντιστοιχεί σε περίπτωση αφιερωμένου φάσματος, η 2η στήλη σε περίπτωση μερικώς μοιρασμένου φάσματος και η 3η στήλη σε περίπτωση κοινού φάσματος.....	34
Εικ. 3.6. Αρχιτεκτονική Φεμτοκυψέλης.....	35
Εικ. 3.7. Παρουσίαση των πολιτικών πρόσβασης: α) κλειστού τύπου, β) ανοιχτού τύπου, γ) υβριδικού τύπου.....	36
Εικ. 3.8. Διάγραμμα εξάπλωσης φεμτοκυψελών μεταξύ 2009 - 2011.	36
Εικ. 4.1. Χρονολογική εξέλιξη κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως το LTE.	42
Εικ. 4.2. Αρχιτεκτονική του LTE.....	46
Εικ. 4.3. Δίκτυο E-UTRAN.	46
Εικ. 4.4. Η διεπαφή S1 στο E-UTRAN.....	47
Εικ. 4.5. Δίκτυο EPC.	48
Εικ. 4.6. Η αρχιτεκτονική ενός LTE δικτύου που περιλαμβάνει ένα δίκτυο φεμτοκυψελών.	49
Εικ. 4.7. Μοντέλο συστήματος LTE με μακροκυψέλες και φεμτοκυψέλες.....	50
Εικ. 5.1. Χρήση των Φεμτοκυψελών από οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις.	52
Εικ. 5.2. Οι μέθοδοι πρόσβασης των φεμτοκυψελών.	53

Εικ. 5.3. Τα σενάρια Α και Β αποτελούν δύο περιπτώσεις νεκρών ζωνών
του δικτύου. 54

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Εξέλιξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών.	19
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά του συστήματος LTE.	43
Πίνακας 4.2: Βασικές απαιτήσεις του LTE.	45
Πίνακας 5.1: Σύγκριση Κλειστής και Ανοιχτής Λειτουργίας Πρόσβασης Φεμτοκυβελών.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή

1. 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία ανάπτυξη των πολυμέσων, είτε πρόκειται για τηλεφωνικές κλήσεις είτε για βιντεοκλήσεις είτε για ανταλλαγή δεδομένων είτε για πλήθος άλλων υπηρεσιών που προσφέρουν, κάνει όλο και πιο επιτακτική την ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ολοένα αυξανόμενη απαίτηση εκ μέρους των χρηστών για αδιάλειπτη, ανεξαρτήτως τοποθεσίας, υψηλής ποιότητας παροχή υπηρεσιών [1].

Η ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στα κυψελωτά συστήματα οδήγησε τους παρόχους στην αναζήτηση και εφαρμογή καινούριων τεχνολογιών. Ο ασφαλέστερος τρόπος για να αυξηθεί η συνολική χωρητικότητα (bps) ενός ασύρματου συστήματος επικοινωνιών είναι φέρνοντας πομπό και δέκτη όσο το δυνατόν πιο κοντά μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος σκέψης οδήγησε σε εφαρμογές, όπως οι μικροκυψέλες, οι κατανεμημένες κεραίες, οι αναμεταδότες και άλλα. Η πιο πρόσφατη λιγότερη ακριβή και πιο αποδοτική ως προς την αύξηση της συνολικής χωρητικότητας του δικτύου εφαρμογή που ικανοποιεί αυτόν τον τρόπο σκέψης είναι οι ‘φεμτοκυψέλες’ (femtocells) ή όπως αλλιώς καλούνται ‘οικιακοί σταθμοί βάσης’. [2]

Οι φεμτοκυψέλες είναι μικρής εμβέλειας, οικονομικοί, χαμηλής κατανάλωσης σταθμοί βάσης που εγκαθίστανται από τους χρήστες [3]. Μπορούν να τοποθετηθούν σε σπίτια, μετρό, κτίρια εταιρειών προσφέροντας εξαιρετικό σήμα σε εσωτερικούς χώρους και σε απομακρυσμένες περιοχές όπου το σήμα είναι ασθενές. Τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που προσφέρουν έχουν καταστήσει τις φεμτοκυψέλες εξαιρετικά δημοφιλή επιλογή για παροχή υψηλής ποιότητας σήματος [4].

Σκοπός της διπλωματικής είναι αρχικά να αναλύσει τη λειτουργία των φεμτοκυψελών (femtocells) σε LTE δίκτυα κινητών επικοινωνιών και έπειτα να μελετήσει καθώς και να συγκρίνει δύο τρόπους ελέγχου πρόσβασης των φεμτοκυψελών· την πρόσβαση Κλειστού τύπου (Closed access) και την πρόσβαση Υβριδικού τύπου (Hybrid access).

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται η δομή των σύγχρονων κινητών δικτύων επικοινωνίας, καθώς και πώς αυτά υλοποιούνται στις μέρες μας, ώστε να υπάρχει μία βασική αναφορά σε θεμελιώδεις έννοιες, όπως οι κυψέλες, οι σταθμοί βάσης κλπ. Επιπρόσθετα, αναφέρονται τα είδη των κυψελών που υπάρχουν, δηλαδή οι Μακροκυψέλες (Macrocells), οι Μικροκυψέλες (Microcells), οι Πικοκυψέλες (Picocells) και οι Φεμτοκυψέλες (Femtocells).

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η τεχνολογία των Φεμτοκυψελών. Αρχικά, γίνεται μία ιστορική ανασκόπηση για τις φεμτοκυψέλες. Επίσης, αναλύεται η αρχιτεκτονική τους και στη συνέχεια αναπτύσσονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους με σκοπό να κατανοηθούν περαιτέρω, καθώς αποτελούν θεμελιώδεις λίθους στη νέα τεχνολογική πραγματικότητα. Έπειτα, αναφέρονται οι λειτουργίες πρόσβασης αναφορικά με τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

Στο κεφάλαιο 4 αναπτύχθηκε η τεχνολογία δικτύων ασύρματης πρόσβασης 3GPP Long Terminal Evolution (LTE). Αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά της, η αρχιτεκτονική της καθώς και η λειτουργία των φεμτοκυψελών στη τεχνολογία αυτή.

Στο Κεφάλαιο 5 αναφέρονται οι δύο λειτουργίες πρόσβασης, με τις οποίες ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται η Κλειστή (Closed) και η Υβριδική (Hybrid) λειτουργία πρόσβασης και στη συνέχεια, γίνεται μια σύγκριση αυτών των δύο, ενώ παραθέτονται και τα αποτελέσματα ερευνών που έχουν γίνει με αυτές τις μεθόδους πρόσβασης.

Έπειτα, στο Κεφάλαιο 6 σημειώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη που έγινε.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 προτείνονται κάποιες μελλοντικές έρευνες που μπορούν να γίνουν βασιζόμενες στην παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας

2.1 Εισαγωγή στα Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας

Το σύστημα κινητών επικοινωνιών έχει διέλθει από τρεις εξελικτικές γενεές. Η πρώτη γενιά χαρακτηριζόταν από μετάδοση φωνής αναλογικής διαμόρφωσης συχνότητας. Η δεύτερη γενιά εφαρμόζει μετάδοση ψηφιακής φωνής. Αυτή η γενιά χρησιμοποιεί κανάλια αφιερωμένα στη μετάδοση δεδομένων ελέγχου του δικτύου μεταξύ των κινητών τερματικών (mobile terminals) και των σταθμών βάσης (base stations).

Τα συστήματα τρίτης γενιάς επιτρέπουν στο κινητό τερματικό να φέρει διάφορους τύπους πληροφοριών. Αυτά τα συστήματα έχουν τη δυνατότητα εξυπηρέτησης τόσο πυκνοκατοικημένων αστικών περιοχών, όσο και περισσότερο αραιοκατοικημένων αγροτικών περιοχών. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μικροκυψέλες σε αστικές περιοχές με διάμετρο περίπου 100 m, ενώ τα συστήματα πρώτης και δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούσαν τυποποιημένες κυψέλες με διάμετρο μερικών χιλιομέτρων. Αυτό το μικρότερο μέγεθος κυψελών οδήγησε στα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Αποδοτικότερη χρήση του φάσματος για την ικανοποίηση της αύξησης της ζήτησης. Κατέστη δυνατή η επαναχρησιμοποίηση των ίδιων ραδιοσυχνοτήτων σε έναν μεγάλο αριθμό κυψελών, υπό την προϋπόθεση αυτές οι κυψέλες να διατηρούν μεταξύ τους επαρκή απόσταση για την εμπόδιση των παρεμβολών.
- Απαιτούνται χαμηλότερα επίπεδα ισχύος από τους σταθμούς βάσης, αλλά και από τα κινητά τερματικά, το οποίο μεταφράζεται σε μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας και ασφαλέστερη λειτουργία [5].

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων της εξελισσόμενης τέταρτης γενιάς (4G) είναι η χρήση ετερογενών ασύρματων δικτύων, στα οποία ο κινητός χρήστης έχει τη δυνατότητα σύνδεσης σε διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης (π.χ. WiMAX, LTE και WiFi). Στο πλαίσιο της ετερογενούς αυτής ασύρματης πρόσβασης, προκειμένου να ικανοποιηθεί η απαίτηση ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service, QoS), καθώς και η απαίτηση κερδών του παρόχου υπηρεσιών (service provider), είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός μηχανισμού ταυτόχρονης επιλογής κυψέλης (cell selection), διαχείρισης ραδιοπόρων (radio resource management), ελέγχου συμφόρησης (congestion control), ελέγχου αποδοχής υπηρεσίας (admission control), κ.λπ.

Η εποχή στην οποία ζούμε έχει χαρακτηριστεί, δικαίως, ως η εποχή της πληροφόρησης. Καθημερινά καλούμαστε να διαχειριστούμε όλο και περισσότερες πληροφορίες. Ένας τομέας τεράστιας και πάρα πολύ γρήγορης ανάπτυξης είναι τα δίκτυα μέσω των οποίων μεταβιβάζονται οι πληροφορίες αυτές. Στις μέρες μας τα ασύρματα δίκτυα έχουν εξελιχθεί πάρα πολύ και έχουμε περάσει πλέον στην εποχή των δικτύων 4G. Έχουμε αφήσει αρκετά πίσω τα δίκτυα 3G και πλέον όλο και περισσότερα πράγματα έχουν να κάνουν με τα δίκτυα 4ης γενιάς. Προσφέρονται πολύ περισσότερες δυνατότητες όπως υπηρεσίες πολυμέσων που θα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους όπως η τηλεδιάσκεψη, το ασύρματο Internet, οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης (300 Mbps), η παγκόσμια κινητικότητα και η φορητότητα υπηρεσιών σε χαμηλό κόστος. Πλέον, όλη η τεχνολογία

θα στηρίζεται σε μεταγωγή πακέτων και όχι σε μεταγωγή κυκλωμάτων όπως στα 3G, και όλα τα στοιχεία του δικτύου θα είναι ψηφιακά.

Ακολουθεί ο Πίνακας 2.1, όπου δείχνει την εξέλιξη των κινητών δικτύων επικοινωνιών από την πρώτη γενιά(1G) μέχρι την πέμπτη(5G).

Generation→ Features↓	1G	2G	3G	4G	5G
Deployment	1970 – 1980	1990 - 2001	2001-2010	2011	2015-20 onwards
Data Rates	2kbps	14.4-64kbps	2Mbps	200 Mbps to 1 Gbps	1 Gbps and higher
Technology	Analog Cellular Technology	Digital Cellular Technology: Digital narrow band circuit data Packet data	Digital Broadband Packet data: CDMA 2000 EVDO UMTS EDGE	Digital Broadband Packet data: WiMax LTE Wi-Fi	www Unified IP seamless combination of broadband LAN PAN MAN WLAN
Service	Analog voice service No data service	Digital voice with higher clarity SMS, MMS Higher capacity packetized data	Enhanced audio video streaming video conferencing support Web browsing at higher speeds IPTV support	Enhanced audio, video streaming IP telephony HD mobile TV	Dynamic Information access, Wearable devices with AI Capabilities
Multiplexing Switching	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Core Network	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet
Standards	MTS AMTS IMTS	2G:GSM 2.5:GPRS 2.75:EDGE	IMT-2000 3.5G:HSDPA 3.75G:HSUPA	Single unified standard LTE, WiMAX	Single unified standard
WEB Standard		www	www(IPv4)	www (IPv4)	www (IPv6)
Handoff	Horizontal only	Horizontal only	Horizontal & Vertical	Horizontal & Vertical	Horizontal & Vertical
Shortfalls	Low capacity, Unreliable handoff, Poor voice links, Less secure	Digital signals were reliant on location & proximity, required strong digital signals to help mobile phones	Need to accommodate higher network capacity	Being deployed	Yet to be implemented

Πίνακας 2.1. Εξέλιξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών.

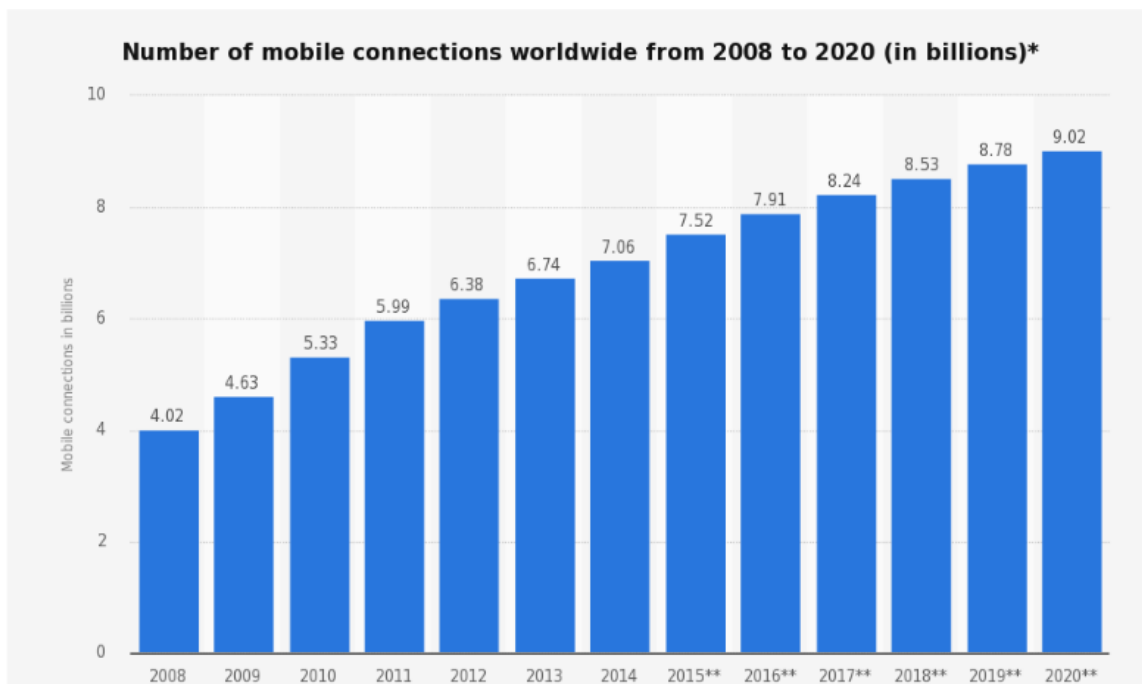
Η ραγδαία αύξηση του αριθμού των συνδρομητών των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας κάνει επιτακτική την ανάγκη για αύξηση της χωρητικότητάς τους. Ταυτόχρονα δημιουργείται επιπλέον το πρόβλημα της διατήρησης και βελτίωσης της παρεχόμενης ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών.

Το περιορισμένο εύρος ζώνης στο φάσμα των συχνοτήτων που εξακολουθεί να έχει στη διάθεση του ο εκάστοτε πάροχος κινητών επικοινωνιών, οδήγησε τους σχεδιαστές στο να ανατρέξουν στον κλασσικό πλέον κανόνα σχεδίασης συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος. Ο κανόνας αυτός επιβάλλει την περαιτέρω μείωση του μεγέθους των κυψελών, ώστε να αυξηθεί η συχνότητα επαναχρησιμοποίησης των διαθέσιμων πόρων και κατά επέκταση να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος.

Η μείωση του μεγέθους των κυψελών, για την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος οδήγησε ταυτόχρονα και στην μείωση των συνόρων της εκάστοτε κυψέλης. Τα νέα προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν, και οφείλονταν κυρίως στην ύπαρξη γρήγορων χρηστών, ήταν τα ακόλουθα:

- i. Λόγω της μεγάλης ταχύτητάς τους, οι γρήγοροι χρήστες, αναγκάζονται να διασχίσουν τα όρια πολλών κυψελών κατά την διάρκεια της κλήσης τους και συνεπώς προκαλούν ένα μεγάλο αριθμό διαπομπών. Όμως για την εκτέλεση μιας διαπομπής χρειάζεται να γίνουν αρκετές ενέργειες από το σύστημα, οι οποίες απαιτούν την ύπαρξη κατάλληλης σηματοδοσίας. Με δεδομένο ότι ένα μέρος αυτής γίνεται μέσω του εναέριου μέσου, από ένα πολύ μικρό αριθμό διαύλων που διαθέτει η εκάστοτε κυψέλη για το σκοπό αυτό, είναι φανερό ότι η αύξηση του φορτίου σηματοδοσίας αποτελεί τροχοπέδη στην λειτουργία του συστήματος. Επιπροσθέτως, λόγω αυτής της αύξησης του αριθμού των διαπομπών αυξάνεται σημαντικά η τιμή της πιθανότητας διακοπής κλήσεων που το χαρακτηρίζει.
- ii. Η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος είναι αναγκαία κυρίως στα αστικά κέντρα και σε άλλες περιοχές (π.χ. γήπεδα, αεροδρόμια, θέατρα), που χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα χρηστών. Σε ένα αστικό περιβάλλον η ύπαρξη υψηλών κτιρίων και πολλών δρόμων εντείνει το πρόβλημα της γωνίας δρόμου. Αναλυτικότερα, καθώς το κινητό τερματικό στρίβει στη γωνία ενός οικοδομικού τετραγώνου το σήμα που λαμβάνει από τον σταθμό βάσης εξασθενεί ραγδαία, με αποτέλεσμα να υπάρχει ελάχιστος διαθέσιμος χρόνος στο σύστημα για την πραγματοποίηση διαπομπής. Αν συνυπολογίσουμε την ύπαρξη γρήγορων χρηστών και την μεγάλη συχνότητα τέτοιων φαινομένων λόγω του μικρού μεγέθους των κυψελών, το οποίο είναι αποτέλεσμα της αύξησης της συχνότητας επαναχρησιμοποίησης, αντιλαμβάνεται κανείς τη δεδομένη επιπλέον αύξηση της πιθανότητας διακοπής κλήσης.
- iii. Ένα επιπλέον πρόβλημα ήταν η πλήρης ραδιοκάλυψη μιας περιοχής εξυπηρέτησης και η απουσία κενών χώρων στο μωσαϊκό των κυψελών. Το πρόβλημα τώρα γίνεται ακόμα πιο έντονο, λόγω της μικρής ισχύος των σταθμών βάσης των μικρών κυψελών που δυσχεραίνει το πρόβλημα της ύπαρξης περιοχών χωρίς κατάλληλο σήμα.

Τα σύγχρονα δίκτυα κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούν κυψελωτή δομή. Αυτό σημαίνει ότι η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος χωρίζεται σε επί μέρους τμήματα (κυψέλες) καθένα από τα οποία εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης. Δυο σταθμοί βάσης που βρίσκονται σε ικανή απόσταση μεταξύ τους (τα όρια καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος) μπορούν να χρησιμοποιούν τους ίδιους ραδιοδιαύλους χωρίς να παρεμβάλλουν ο ένας στον άλλο. Με τον τρόπο αυτό λύνεται το πρόβλημα του περιορισμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων που, στα κλασικά συστήματα ραδιοεπικοινωνίας ενός πομπού μεγάλης εμβέλειας, περιορίζει τον αριθμό των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν. Αυξάνοντας το πλήθος των κυψελών του συστήματος και μειώνοντας το μέγεθός τους (καθώς και την ισχύ των σταθμών βάσης προς αποφυγή παρεμβολών) είναι δυνατόν με δεδομένο εύρος φάσματος να εξυπηρετηθούν περισσότεροι χρήστες. Ήδη στα αστικά περιβάλλοντα εγκαθίστανται μικροκυψελικά συστήματα με σκοπό να καλύψουν την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση (Εικόνα 2.1). Η χρήση τους αναμένεται να αυξηθεί με την εξάπλωση των δικτύων 4ης γενιάς.



Εικόνα 2.1. Πρόβλεψη του αριθμού των συνδρομητών μέχρι το 2020.

Χωρίζοντας λοιπόν τις κυψέλες σε ομάδες ανάλογα με το μέγεθός τους, κάθε ομάδα κυψελών που έχουν το ίδιο μέγεθος ανήκει στο ίδιο επίπεδο της ιεραρχίας και η ύπαρξή τους εξυπηρετεί τους ίδιους στόχους. Συνολικά υπάρχουν τέσσερα ιεραρχικά επίπεδα των οποίων οι κυψέλες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και παρουσιάζονται στην συνέχεια.

2.2 Είδη Κυψελών

Στις μέρες μας, οι χρήστες κινητών και δικτυακών συσκευών είναι πολλοί και κατέχουν πολλές και διαφορετικές συσκευές, διότι δε νοείται η έλλειψη σύνδεσης στο διαδίκτυο. Αυτές οι συσκευές, για να λειτουργήσουν και να συνδεθούν στο διαδίκτυο απαιτούν τη δέσμευση πόρων, εύρους ζώνης, χωρητικότητας, υψηλή ταχύτητα μεταγωγής δεδομένων κλπ. από το δίκτυο.

Υπάρχουν πολλές πιθανές λύσεις συνδεσιμότητας, ανάλογα με το γεωγραφικό χώρο, που μπορούν να καλύψουν. Κάθε μία από τις λύσεις σχετίζεται με το μέγεθος του χώρου, που μπορεί να καλύψει. Σε εξωτερικούς χώρους καλύπτεται το δίκτυο με επιμέρους Μακροκυψέλες (Macrocells). Σε δύσβατες περιοχές, ψηλά βουνά, βραχώδη εδάφη, θάλασσες, ωκεανούς κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό και επιδιώκεται η κάλυψη να γίνεται δορυφορικά με οτιδήποτε μειονεκτήματα για την ταχύτητα και το κόστος της επικοινωνίας ενδέχεται να εμφανίζονται. Σε κέντρα πυκνοκατοικημένων περιοχών τοποθετούνται Μικροκυψέλες (Microcells) για να συμβάλουν στην αποσυμφόρηση του δικτύου των μακροκυψελών [6][7]. Επίσης, σε μέρη όπως γήπεδα, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα,

βιβλιοθήκες, που συγκεντρώνεται πλήθος κόσμου χρειάζονται Πικοκυψέλες (Picocells). Σε σπίτια, γραφεία, και σε άλλους μικρούς εσωτερικούς χώρους είναι σημαντικό να μπορεί να εξασφαλιστεί ότι θα ικανοποιούνται αδιάλειπτα, οι απαιτήσεις των χρηστών και θα εξυπηρετούνται οι ανάγκες των παρεχόμενων υπηρεσιών, για το σκοπό αυτό τοποθετούνται Φεμτοκυψέλες (Femtocells).

Έτσι, είναι σημαντικό να υπάρχουν λύσεις, σύμφωνα με τις οποίες, να αναδιανέμεται το εύρος ζώνης, ώστε να πραγματοποιείται, η βέλτιστη διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση του, βελτιστοποιώντας τις παρεχόμενες υπηρεσίες, υπακούοντας στους βασικούς κανόνες για την παροχή Quality of Service (QoS), δηλαδή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω συσκευών, που έχουν τέτοιες δυνατότητες και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές εφαρμογές, όπως είναι και οι προαναφερθείσες. Συνεπώς, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής του δικτύου, που επιδιώκεται να υλοποιηθεί είναι δυνατό να επιλέξει κανείς έναν από τους ανωτέρω τύπους κυψελών. Αυτές παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με αποτέλεσμα κάθε μία από τις λύσεις να φαίνεται ελκυστική για συγκεκριμένο τύπο εφαρμοζόμενου δικτύου, αλλά και για συγκεκριμένο μέγεθος χώρου. Στη συνέχεια αναφέρονται και αναλύονται ξεχωριστά οι τύποι των κυψελών.

2.2.1 Microcell

Οι Μικροκυψέλες (Microcells) χρησιμοποιούνται για την ραδιοκάλυψη εξωτερικών περιοχών που εμφανίζουν υψηλή τηλεπικοινωνιακή κίνηση, όπως οι αστικές περιοχές [8]. Η χρήση τους οδηγεί στην αύξηση της χωρητικότητας των κυψελωτών συστημάτων, αυξάνοντας όμως παράλληλα την πολυπλοκότητα της διαχείρισης των ασύρματων πόρων του συστήματος.

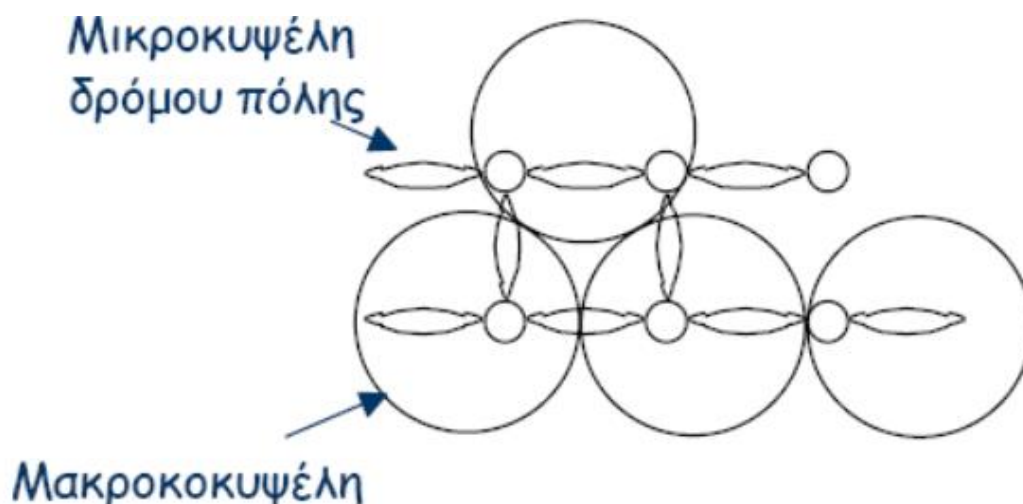
Μια μικροκυψέλη, ανάλογα με τη θέση της μέσα σε ένα αστικό περιβάλλον (π.χ. η κεραία της μικροκύψελης μπορεί να βρίσκεται στην κορυφή ενός στύλου φωτισμού ή στην ταράτσα ενός ουρανοξύστη), μπορεί να προορίζεται για την κάλυψη συγκεκριμένων περιοχών όπως δρόμους, διασταυρώσεις δρόμων ή πολυώροφα κτίρια.

Οι Μικροκυψέλες συνήθως αναπτύσσονται προσωρινά σε μια συγκεκριμένη θέση σε περιπτώσεις στις οποίες η επιπρόσθετη χωρητικότητα είναι αναγκαία εκ των προτέρων, αφού εκτάκτως συγκεντρώνεται εκεί πλήθος κόσμου. Μερικά παραδείγματα περιπτώσεων και χώρων όπου δύναται να χρησιμοποιηθούν οι μικροκυψέλες είναι ένα γήπεδο τη μέρα του αγώνα το οποίο συγκεντρώνει χιλιάδες κόσμο, ένα συνέδριο, μία οποιαδήποτε συναυλία, ένας σταθμός σε ώρες αιχμής όπου υπάρχουν χιλιάδες άτομα, ένα συνέδριο τη μέρα του συνεδρίου, ένα νοσοκομείο τη μέρα της εφημερίας καθώς και άλλα μέρη όπου υπάρχει συνωστισμός. Στην Εικόνα 2.2 δίνεται ένα παράδειγμα χρήσης μικροκυψέλης.

Στην τυπική περίπτωση ο σταθμός βάσης μιας μικροκυψέλης εκπέμπει χαμηλή ισχύ, μικρότερη των 20mW και η κεραία του είναι τοποθετημένη σε στύλο φωτισμού, σε ύψος περίπου 5m από το έδαφος. Όμως και το κινητό τερματικό εκπέμπει σε χαμηλή ισχύ,

γεγονός που συντελεί στη μεγαλύτερη διάρκεια της μπαταρίας του. Επειδή οι κεραιές των σταθμών βάσης βρίσκονται σε μικρότερο ύψος σε σχέση με τα τριγύρω κτίρια, τα ραδιοκύματα διαδίδονται κυρίως κατά μήκος των δρόμων. Το μέγεθός τους είναι μεταξύ 100 - 200 m προς κάθε κατεύθυνση του δρόμου, εξυπηρετώντας έτσι λίγα οικοδομικά τετράγωνα. Περιβάλλοντα διάδοσης όπως το παραπάνω παρουσιάζουν μικρή διασπορά καθυστέρησης γεγονός που καθιστά δυνατή την μετάδοση υψηλών ρυθμών δεδομένων σε αυτά.

Στις μικροκυψέλες εμφανίζεται έντονα το φαινόμενο της γωνίας δρόμου. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται από την απότομη πτώση της στάθμης του σήματος, της τάξης των 20-30 dB για διανυόμενη απόσταση 10-20 meters, και εμφανίζεται όταν το κινητό τερματικό στρίβει στη γωνία του δρόμου και χάνει την οπτική του επαφή με τον σταθμό βάσης. Το παραπάνω φαινόμενο έχει μεγάλο αντίκτυπο στην διαδικασία των διαπομπών.



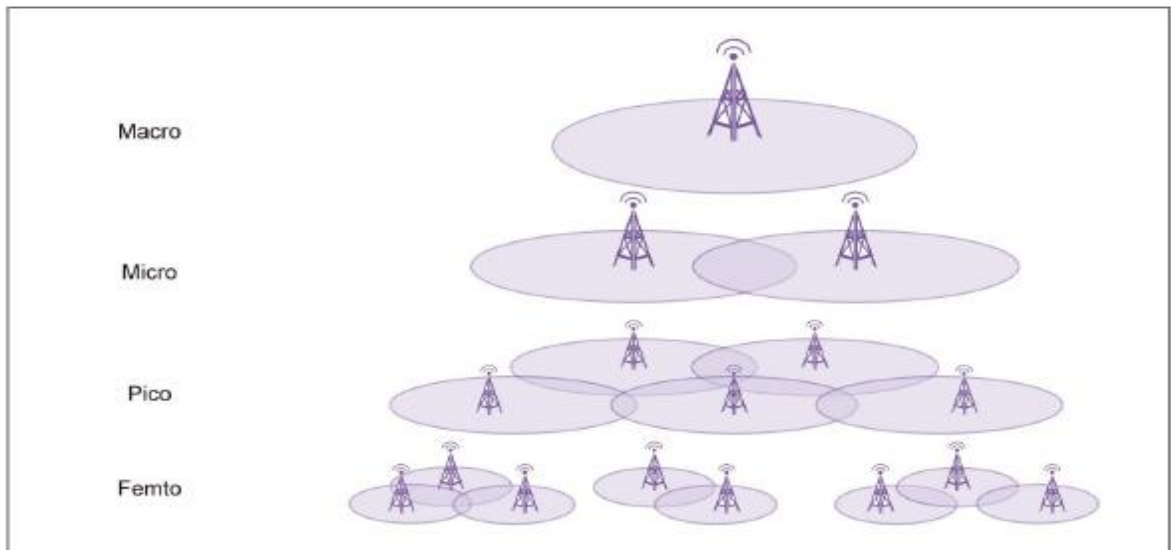
Εικόνα 2.2. Παράδειγμα χρήσης μακροκυψελών και μικροκυψελών μέσα σε μία τυπική αστική περιοχή.

2.2.2 Macrocell

Οι Μακροκυψέλες (Macrocells) είναι κυψέλες με ακτίνα από 1 έως 10km και χρησιμοποιούνται για την ραδιοκάλυψη ευρύτερων γεωγραφικών περιοχών με μέση ή χαμηλή πυκνότητα χρηστών (π.χ. αγροτικές περιοχές) [9]. Η ποιότητα του σήματος της ζεύξης ανόδου και της ζεύξης καθόδου είναι περίπου η ίδια. Οι μακροκυψέλες γενικά έχουν ήπια χαρακτηριστικά όσον αφορά τις απώλειες διαδρομής. Στην τυπική περίπτωση, ο σταθμός βάσης μιας μακροκυψέλης εκπέμπει υψηλή ισχύ με κεραιά τοποθετημένη σε ύψος αρκετών μέτρων, ώστε να καλύπτει μεγάλες περιοχές. Οι μακροκυψέλες αποτελούσαν το βασικό δομικό στοιχείο των δικτύων δεύτερης γενιάς, όπως το GSM. Στα συστήματα 3ης και 4ης γενιάς είναι εξίσου σημαντικές και μάλιστα έχουν πολλαπλούς ρόλους.

Σε ιεραρχικά μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων, η δομή που συναντάται συνήθως αποτελείται από δύο επίπεδα, το μικροκυψελικό ως το κατώτερο επίπεδο και το μακροκυψελικό ως το ανώτερο. Με απλά λόγια συναντάμε μικροκυψέλες και υπερκείμενες σε αυτές μακροκυψέλες. Για τον παραπάνω λόγο συχνά οι μακροκυψέλες αναφέρονται με τον όρο κυψέλη-ομπρέλα (umbrella cell). Ο ρόλος της μακροκυψέλης στην λειτουργία τέτοιων μοντέλων είναι σπουδαίος και δεν εξαρτάται μόνο από το εκάστοτε μοντέλο εξυπηρέτησης που χρησιμοποιούμε αλλά, όπως θα φανεί και στην συνέχεια, αλλάζει ανάλογα και με το μέγεθος του φορτίου που καλείται το σύστημα να εξυπηρετήσει. Οι πιο σημαντικοί ρόλοι που μπορεί να πάρει μια μακροκυψέλη είναι οι εξής:

1. Να καλύψει τα κενά (όσον αφορά την ραδιοκάλυψη) που υπάρχουν μεταξύ των μικροκυψελών (Εικόνα 2.3).
2. Να απορροφήσει μέρος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
3. Να ικανοποιήσει διαπομπές, που προέρχονται από την μη διαθεσιμότητα πόρων της αντίστοιχης μικροκυψέλης.
4. Να δεσμεύσει διαπομπές χρηστών που κινούνται γρήγορα, με σκοπό την μείωση του αριθμού των διαπομπών ανά κλήση. Με απλά λόγια ο γρήγοροι χρήστες εντάσσονται στο μακροκυψελικό επίπεδο και ολοκληρώνουν την κλήση τους σε αυτό ώστε να μην επιβαρύνεται το σύστημα από τις διαπομπές που θα έκαναν αυτοί εάν εξυπηρετούνταν από το μικροκυψελικό επίπεδο.



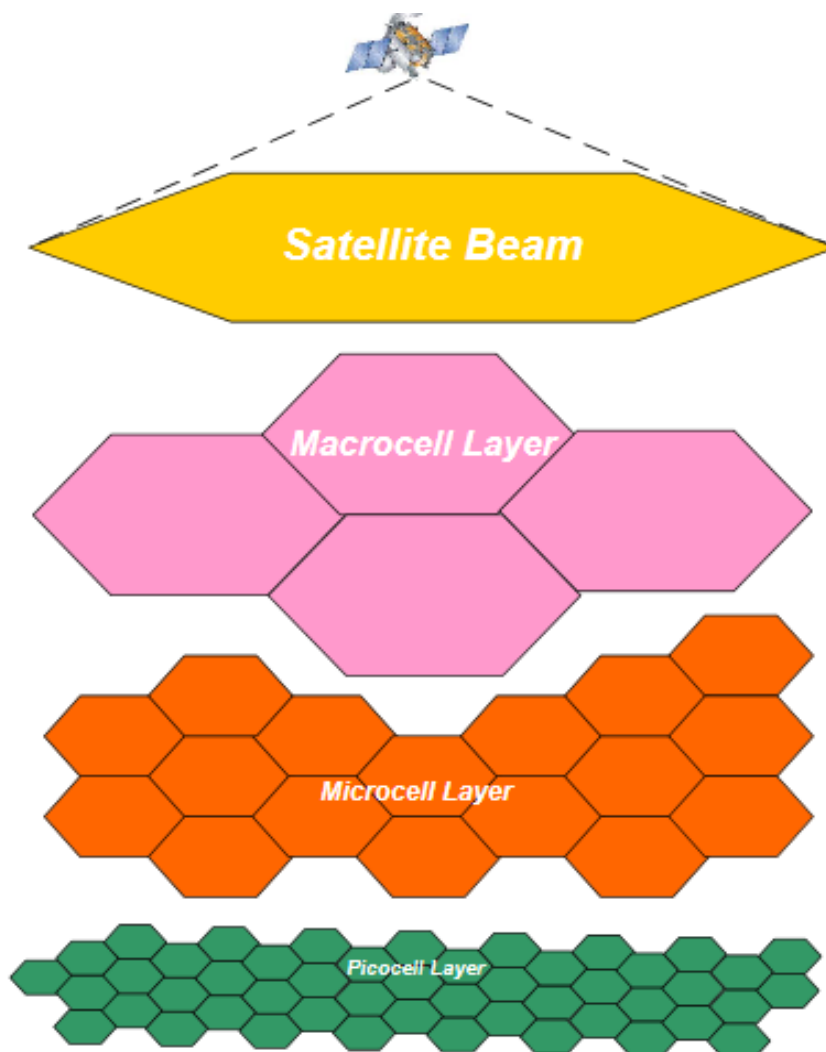
Εικόνα 2.3. Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Μακροκυψέλης.

2.2.3 Picocell

Οι Πικοκυψέλες (Picocells) είναι στοιχειώδεις κυψέλες και προορίζονται για την ασύρματη κάλυψη εσωτερικών χώρων (Indoor Wireless Communications) [10]. Το μέγεθός τους περιορίζεται σε μερικά μέτρα, συνήθως από 10m έως 20m. Οι κεραιές των σταθμών βάσης τους βρίσκονται εντός κτιρίων, σε σημεία κοντά στο ταβάνι του εκάστοτε ορόφου, και η ισχύς τους είναι της τάξης των milliwatts.

Η ανάπτυξη ασύρματων συστημάτων εσωτερικών χώρων έχει γνωρίσει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία χρόνια, κυρίως σε κτίρια που φιλοξενούν εμπορικές και επαγγελματικές δραστηριότητες (π.χ. κτίρια γραφείων, κτίρια δημοσίων υπηρεσιών, εμπορικά κέντρα) λόγω της ευελιξίας που προσφέρει, κυρίως λόγω της απουσίας καλωδίωσης, αλλά και λόγω της δυνατότητας συνδυασμού υπηρεσιών φωνής και υψηλού ρυθμού μετάδοσης υπηρεσιών δεδομένων. Πρέπει να επισημαίνουμε ότι σε αντίθεση με τα κυβελωτά δίκτυα εξωτερικών χώρων, η δομή και ο χώρος που καλύπτουν οι πικοκυψέλες σε ένα IWC σύστημα εξαρτώνται άμεσα από το κτίριο, από την δομή των εσωτερικών των χώρων ακόμα και από την κίνηση των ανθρώπων εντός αυτών. Για τους παραπάνω λόγους, φαινόμενα, όπως η απότομη και μεταβαλλόμενη εξασθένηση του σήματος είναι ιδιαίτερος έντονα. Επιβάλλεται λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος, ώστε η ποιότητα υπηρεσίας που προσφέρεται να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

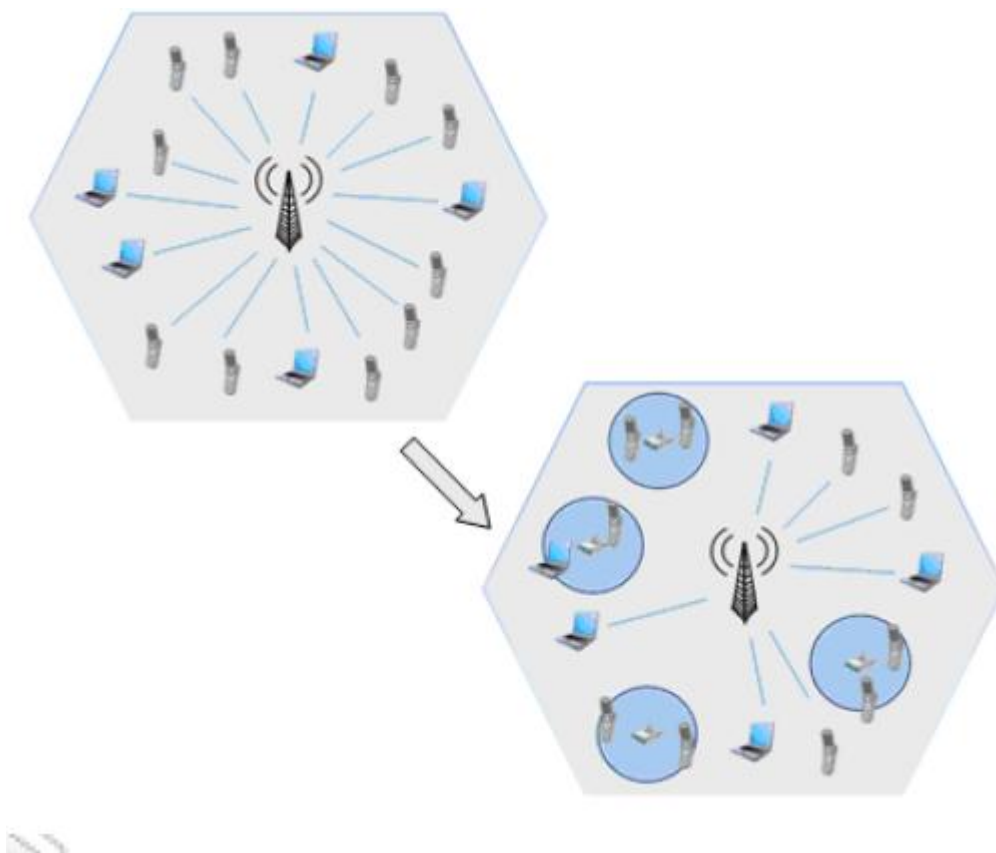
Στην Εικόνα 2.4 απεικονίζονται τα διάφορα πιθανά επίπεδα ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών.



Εικόνα 2.4. Τα διάφορα πιθανά επίπεδα ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών.

2.2.4 Femtocell

Οι Φεμτοκυψέλες (Femtocells) είναι χαμηλής ισχύος ασύρματα σημεία πρόσβασης που λειτουργούν σε εξουσιοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων για να συνδέσουν τυπικές κινητές τηλεφωνικές συσκευές [11]. Η σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο του διαχειριστή επιτυγχάνεται μέσω της ευρυζωνικής σύνδεσης του χρήστη (DSL). Ουσιαστικά αποτελούν σταθμούς βάσης μικρής εμβέλειας, της τάξης των 10m, με δυνατότητα εξυπηρέτησης από 3 έως 8 συσκευές για τις οικιακές χρήσεις και έως 16 για τις εταιρικές [12]. Στην Εικόνα 2.5 φαίνεται η λειτουργία των φεμτοκυψελών. Εγκαθίστανται από τον ίδιο το χρήστη για ίδια εξυπηρέτηση, βελτιώνοντας σημαντικά την κάλυψη του δικτύου τοπικά, σε σημεία που διαφορετικά η κάλυψη θα ήταν ασθενής, π.χ. σε κατοικίες, σε κτίρια εταιρειών, σε μετρό, σε απομονωμένες περιοχές, κ.α. Αυτό σημαίνει ότι παρέχεται καλύτερο σήμα και μεγαλύτερη ποιότητα φωνής, όπως και καλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Ακόμα και στην περίπτωση που υπάρχει ήδη ικανοποιητικό σήμα φωνής, οι φεμτοκυψέλες βελτιώνουν αισθητά τις ολοένα και πιο δημοφιλείς υπηρεσίες μέσω κινητού, όπως η πρόσβαση στο διαδίκτυο, η κοινωνική δικτύωση, η ροές βίντεο κλπ.



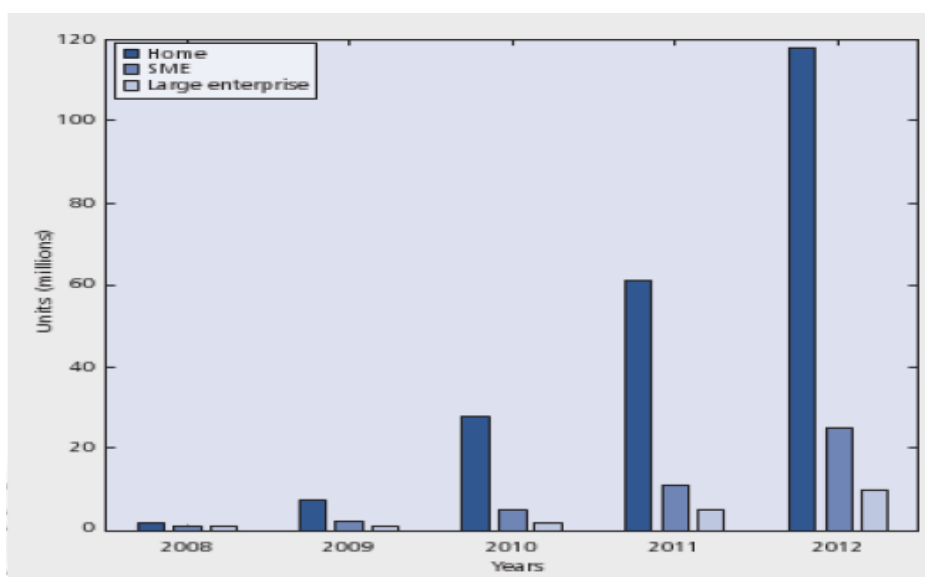
Εικόνα 2.5. Λειτουργία Φεμτοκυψελών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Φεμτοκυψέλες (Femtocells)

3.1 Ιστορική ανασκόπηση

Η πρώτη ιδέα για την υλοποίηση ενός δικτύου φεμτοκυψέλης ξεκίνησε το 2002 από ένα τμήμα μηχανικών της Motorola, που ερευνούσαν την ανάπτυξη νέων εφαρμογών και μεθόδων για χρήση στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες [13]. Μερικά χρόνια αργότερα, το 2004 η ιδέα των φεμτοκυψελών άρχισε να κερδίζει έδαφος και στις πρώτες εταιρείες στην Αγγλία, τις Ubiquisys και 3WayNetworks όπου ανατέθηκε η οριοθέτηση και η εύρεση φάσματος λειτουργίας των φεμτοκυψελών. Το 2006, υιοθετήθηκε ο όρος «φεμτοκυψέλη(femtocell)». Η νέα αυτή τεχνολογία προκάλεσε το ενδιαφέρον αρκετών εταιρειών και το 2007 δημιουργείται ο πρώτος οργανισμός προτυποποίησης για τις φεμτοκυψέλες, ο Femto Forum [14]. Σκοπός του ήταν να προωθήσει τη δημιουργία και την εξέλιξη των φεμτοκυψελών σε ευρεία κλίμακα. Ο Femto Forum την περίοδο αυτή έπαιξε το ρόλο του συντονιστή ανάμεσα στις εταιρείες τηλεπικοινωνιών ώστε να βεβαιώσει ότι η ανάπτυξη και η εξέλιξη των φεμτοκυψελών θα βασίζεται σε κάποια κοινά αποδεκτά και διεθνή πρότυπα λειτουργίας. Όταν οι προτυποποιήσεις HNodeB (HNB) και HeNodeB (HeNB) εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην έκδοση 8 του LTE, ορίζοντας έτσι την υλοποίηση των φεμτοκυψελών σε περιβάλλον LTE, αποδείκνυε ότι είχε γίνει μια ευρέως αποδεκτή τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης [15].

Τον Ιούλιο του 2009, η Vodafone κυκλοφόρησε το πρώτο δίκτυο Φεμτοκυψέλης στην Ευρώπη. Η πρόσβαση στην πύλη της Vodafone, που παρέχεται από την Alcatel-Lucent. Αυτή η προσπάθεια μετονομάστηκε ως SureSignal τον Ιανουάριο του 2010, μετά την οποία, η Vodafone ξεκίνησε την παροχή υπηρεσιών στην Ισπανία, την Ελλάδα, τη Νέα Ζηλανδία, την Ιταλία, την Ιρλανδία, την Ουγγαρία και τις Κάτω Χώρες. Τέλος, άλλες επιχειρήσεις στην Ευρώπη έχουν ακολουθήσει αυτή την πορεία από τότε. [16] (Εικόνα 3.1)



Εικόνα 3.1. Χρήση των φεμτοκυψελών από οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις.

Η παρουσία των φεμτοκυψελών στην Ελλάδα ξεκίνησε από την εταιρία κινητής τηλεφωνίας Vodafone (Εικόνα 3.2) το καλοκαίρι του 2010 [16], όπου μέσω της κατασκευάστριας εταιρίας της συσκευή φεμτοκυψέλης, Huawei, υποσχόταν στους συνδρομητές της τέλεια κάλυψη σήματος. Η φεμτοκυψέλη μπορούσε να εξυπηρετήσει από 2 έως 4 ενεργές συσκευές και παρείχε κάλυψη για εσωτερικούς χώρους έως 150 m² χωρίς απώλεια σήματος. Την Vodafone ακολούθησε η Cosmote [17], η οποία μερικούς μήνες αργότερα κυκλοφόρησε τη δική της φεμτοκυψέλη.



Εικόνα 3.2. Μια συσκευή φεμτοκυψέλης της Vodafone.

3.2 Γενικά για τις φεμτοκυψέλες

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, εκτιμάται ότι στα κεψελοειδή δίκτυα τα 2/3 των κλήσεων και το 90% των υπηρεσιών δεδομένων συμβαίνουν σε εσωτερικούς χώρους [13]. Ως εκ τούτου, καθίσταται απαραίτητο από τους παρόχους κινητής να παρέχουν καλή κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων, όχι μόνο για υπηρεσίες φωνής, αλλά και βίντεο και άλλες υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων. Ο τρόπος με τον οποίο οι διάφοροι πάροχοι διαχειρίζονταν το συγκεκριμένο πρόβλημα ήταν με τη χρήση Wi-Fi και Distributed Antenna Systems (DAS) [18]. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν οι μακροκυψέλες (Macrocells) για την παροχή κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους. Η καλή κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους και η υψηλή ποιότητα των υπηρεσιών θα δημιουργήσουν

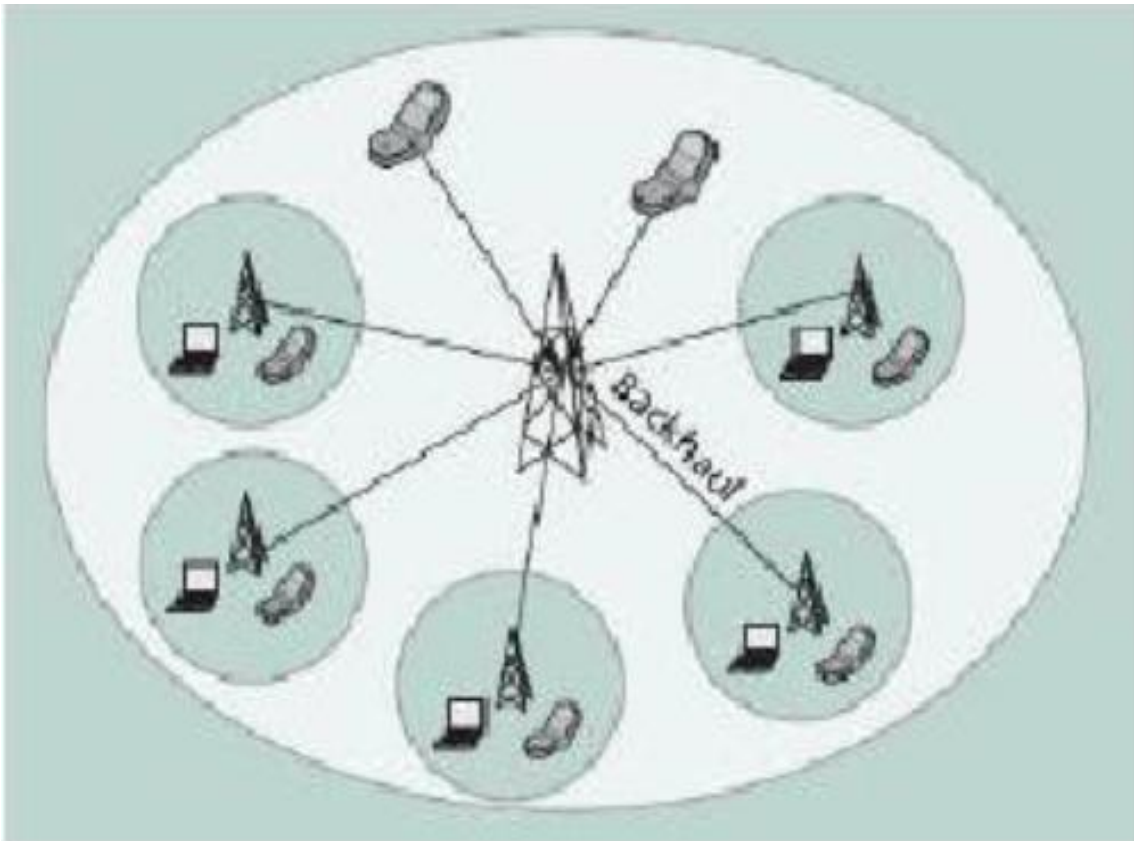
περισσότερα έσοδα για τις επιχειρήσεις, την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των συνδρομητών και τη μείωση των αποσυνδέσεων.

Η προσέγγιση των μακροκυψελών όμως, έχει κάποια μειονεκτήματα, τα οποία παραθέτονται στη συνέχεια:

- Το πιο σημαντικό μειονέκτημα των μακροκυψελών είναι το υψηλό κόστος τους.
- Η διείσδυση σε κτίρια σημάτων που λειτουργούν στα 2 GHz ή παραπάνω (όπως συμβαίνει συχνά σε δίκτυα 3G και 4G), είναι αρκετά δύσκολη.
- Ένα δίκτυο υψηλής χωρητικότητας χρειάζεται πολλούς εξωτερικούς σταθμούς βάσης, η απόκτηση των οποίων όμως έχει γίνει ιδιαίτερα δύσκολη σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.
- Η απόδοση του δικτύου σε εσωτερικούς χώρους δεν μπορεί να διασφαλιστεί, ιδιαίτερα, στην πλευρά που δεν έχουν οπτική επαφή με τους σταθμούς βάσης. Για να επιτευχθούν υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων, απαιτείται υψηλότερη διαμόρφωση και κωδικοποίηση. Αυτό με τη σειρά του απαιτεί καλύτερες συνθήκες καναλιού, που μπορεί να επιτευχθούν μόνο σε συνθήκες που είναι κοντά σε σταθμούς βάσης.
- Οι παρεμβολές και η υψηλή απαιτούμενη κατανάλωση από τους σταθμούς βάσης για τους εσωτερικούς χρήστες καθιστούν λιγότερο ελκυστικό να κατασκευαστεί ένα δίκτυο υψηλής χωρητικότητας με μια τέτοια προσέγγιση. Ενώ, όσο αυξάνεται η πυκνότητα, οι απαιτήσεις για σωστό σχεδιασμό του δικτύου προκειμένου να αποφευχθούν τα παραπάνω προβλήματα γίνονται εξαιρετικά πολύπλοκες.

Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, μία λύση είναι οι πικοκυψέλες (picocells) για μεγάλα κτίρια γραφείων και μεγάλες εταιρείες. Προσφέρονται και εγκαθίστανται από τους παρόχους προσφέροντας καλύτερη κάλυψη, αποφόρτιση κίνησης από τη μακροκυψέλη, ενίσχυση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και καλύτερες υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας δεδομένων. Παρόλα αυτά όμως, εξακολουθεί και αυτή η λύση να έχει υψηλό κόστος για να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις μικρότερης κλίμακας, όπως μικρά γραφεία και οικιακούς χρήστες.

Μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση λοιπόν, αποτελεί η χρήση σημείων πρόσβασης φεμτοκυψελών. Εκτός του γεγονότος ότι οι φεμτοκυψέλες εγκαθίστανται από τους ίδιους τους χρήστες με εύκολο τρόπο, σε αντίθεση με τις πικοκυψέλες, εκπέμπουν χαμηλή ισχύ και έχουν μικρής ακτίνας κάλυψη, επιτρέπουν στον πάροχο του δικτύου να βελτιώσει σημαντικά την κάλυψη του σε εσωτερικούς χώρους, ειδικά όπου η πρόσβαση είναι περιορισμένη ή ανύπαρκτη (κατοικίες, μετρό, εταιρείες, κτλ). Επιπλέον, με το να εξυπηρετούνται οι χρήστες εντός των κτιρίων από τις φεμτοκυψέλες, μειώνεται ο αριθμός των χρηστών της μακροκυψέλης με αποτέλεσμα η μακροκυψέλη να διαμοιράζει τους πόρους της σε λιγότερους χρήστες, βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την ποιότητα εξυπηρέτησής τους (Εικόνα 3.3). Άρα όχι μόνο οι φεμτοκυψέλες συντελούν στην βελτίωση της κάλυψης του δικτύου σε εσωτερικούς χώρους αλλά και στην αύξηση της συνολικής απόδοσής του.

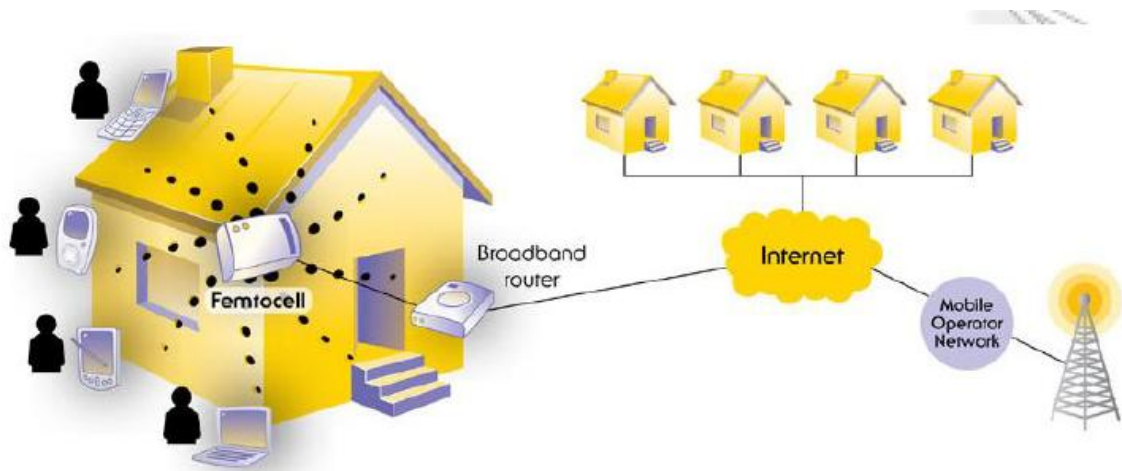


Εικόνα 3.3. Περιοχή κάλυψης μακροκυψέλης όπου έχουν εγκατασταθεί φεμτοκυψέλες με στόχο τη βελτίωση της κάλυψης του δικτύου.

Οι φεμτοκυψέλες ή οικιακοί σταθμοί βάσης (home base stations) είναι μικρά τηλεπικοινωνιακά κυψελωτά δίκτυα τα οποία εγκαθίστανται σε ιδιωτικούς κυρίως χώρους, όπως σπίτια μικρές επιχειρήσεις, εξυπηρετώντας ένα πλήθος ασύρματων συσκευών επιτυγχάνοντας καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας σε υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Ο πομπός αποτελείται από έναν χαμηλής ισχύος σταθμό βάσης, ο οποίος εκπέμπει σε ένα αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων και συνδέεται στα εξωτερικά δίκτυα και το internet μέσω μιας DSL γραμμής ή ενός καλωδίου ευρείς σύνδεσης.[19]

Απαραίτητα στοιχεία για τη λειτουργία και την υποστήριξη μιας φεμτοκυψέλης όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.4, είναι [20] :

- i. ο σταθμός βάσης
- ii. η συσκευή του κινητού τηλεφώνου που να υποστηρίζει τεχνολογία 3G, 4G
- iii. ο πάροχος υπηρεσιών διαδικτύου (ISP)
- iv. η πύλη
- v. το κυψελοειδές δίκτυο



Εικόνα 3.4. Οικιακή χρήση των φεμτοκυψελών.

Οι φεμτοκυψέλες είναι συμβατές με τα κινητά τηλέφωνα, τους προσωπικούς υπολογιστές και γενικά με κάθε 3G, 4G συσκευή. Εξαιτίας της μικρής απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη, οι φεμτοκυψέλες εκπέμπουν σε χαμηλή ισχύ πράγμα που οδηγεί σε μικρές παρεμβολές στους χρήστες, παράταση του χρόνου ζωής της μπαταρίας των ασυρμάτων χρηστών/συσκευών, μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή (SINR) και συνεπώς καλύτερη λήψη (five-bar coverage) για τους χρήστες της φεμτοκυψέλης. Έτσι, λόγω της μειωμένης παρεμβολής μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι χρήστες σε μία δεδομένη έκταση που χρησιμοποιούν την ίδια περιοχή φάσματος, δηλαδή να αυξάνεται η χωρική φασματική απόδοση ή αλλιώς ο αριθμός των ενεργών χρηστών ανά Hertz και ανά μονάδα επιφάνειας [21].

3.3 Παρεμβολές και πολιτικές φάσματος στις φεμτοκυψέλες

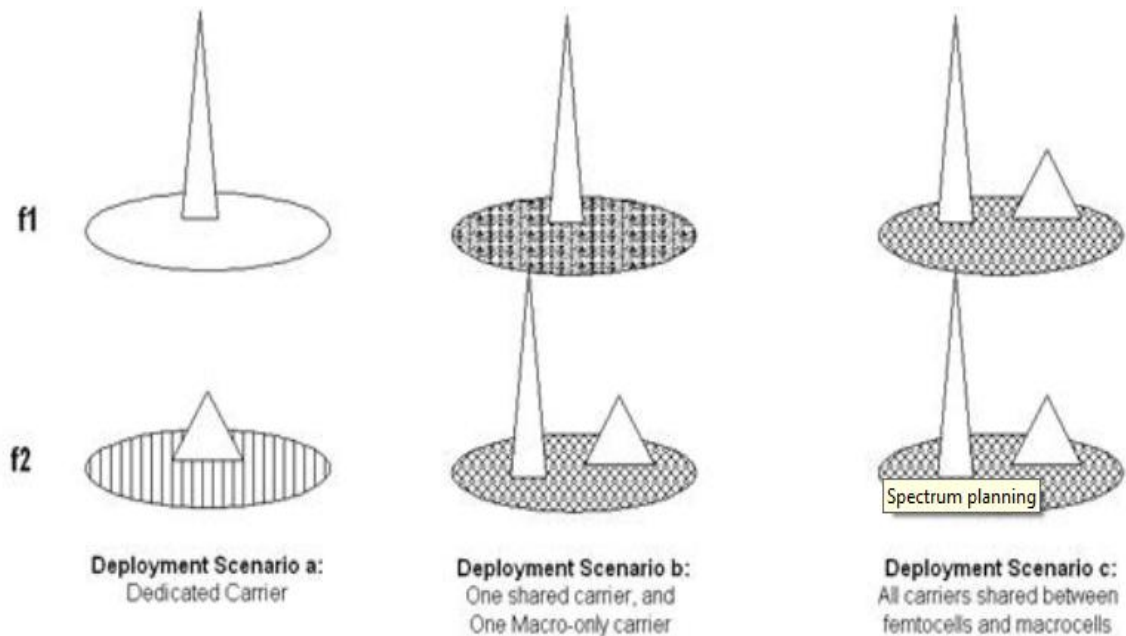
Προσθέτοντας φεμτοκυψέλες σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών προκύπτει ένα σημαντικό ζήτημα όσον αφορά ποιο μέρος του φάσματος θα πάρουν οι χρήστες τους σε σχέση με τους χρήστες της μακροκυψέλης. Εδώ τίθεται το θέμα της κατανομής του φάσματος του δικτύου (spectrum allocation) που παίζει μεγάλο ρόλο στην απόδοση του δικτύου αφού μη προσεκτικό μοίρασμα του φάσματος μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες παρεμβολές στις φεμτοκυψέλες [22]. Σε ένα δίκτυο δύο επιπέδων (tier-2) υπάρχουν δύο γενικών ειδών παρεμβολές:

- **Διαφορετικών επιπέδων παρεμβολή (Cross-Tier interference):** προκαλείται από ένα φεμτο-χρήστη που παρεμβάλει σε ένα μακρο-χρήστη (διαφορετικού επιπέδου χρήστη δηλαδή) καθώς και το αντίστροφο.
- **Ιδίου επιπέδου παρεμβολή (Co-Tier interference):** λαμβάνει χώρα μεταξύ χρηστών του ιδίου επιπέδου, πχ μεταξύ γειτονικών φεμτοκυψελών.

Λαμβάνοντας λοιπόν, υπόψη τα παραπάνω, έχουν προταθεί τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις (πολιτικές ανάθεσης φάσματος) σχετικά με το θέμα της κατανομής φάσματος σε μακροκυψέλη και φεμτοκυψέλες [23]:

1. **Αφιερωμένο φάσμα (Dedicated Spectrum)** : Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται μία ζώνη φάσματος από το επίπεδο της μακροκυψέλης και μία άλλη διαφορετική από το επίπεδο των φεμτοκυψελών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται εντελώς η παρεμβολή διαφορετικών επιπέδων (Cross-Tier interference), αφού τα δύο επίπεδα λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες. Ωστόσο, συντελεί στη χαμηλή χρησιμοποίηση φάσματος (spectral efficiency), αφού οι κυψέλες ενός επιπέδου μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο σε ένα υποσύνολο των συνολικών διαθέσιμων συχνοτήτων.
2. **Μοιρασμένο (κοινό) φάσμα (Shared Spectrum)**: Σε αυτή τη περίπτωση επιτυγχάνεται η μέγιστη αξιοποίηση φάσματος αφού όλες οι κυψέλες διαμοιράζονται το ίδιο εύρος ζώνης συχνοτήτων, δηλαδή οι φεμτοκυψέλες εκπέμπουν στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων που εκπέμπει και η μακροκυψέλη και έτσι και τα δύο επίπεδα έχουν πρόσβαση επί του συνόλου των διαθέσιμων πόρων του δικτύου. Ωστόσο σε μια τέτοια υλοποίηση, η παρεμβολή διαφορετικών επιπέδων που λαμβάνει χώρα θα μπορούσε να υποβαθμίσει τη συνολική απόδοση του συστήματος αν δεν αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά. Τέλος, υπάρχουν δύο υπο-πολιτικές ανάθεσης των καναλιών όταν οι φεμτοκυψέλες χρησιμοποιούν κοινό φάσμα με την μακροκυψέλη και είναι:
 - **Ορθογώνια ανάθεση (Orthogonal assignment)** : Το κανάλι που χρησιμοποιεί ένας μακρο-χρήστης είναι ορθογώνιο με ένα που χρησιμοποιεί ένας φεμτο-χρήστης (OFDMA) και συνεπώς παρότι μοιράζονται το ίδιο φάσμα δεν παρεμβάλλει καθόλου ο ένας στον άλλο.
 - **Κοινή ανάθεση όλων των καναλιών (Co-channel assignment)** : Οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε κανάλι συχνοτήτων και ο διαχωρισμός των σημάτων των χρηστών που καταλαμβάνουν κοινό κανάλι γίνεται με διαίρεση κώδικα (απλό CDMA).
3. **Μερικώς μοιρασμένο φάσμα (Partially Shared Spectrum)**: Σε αυτή τη περίπτωση, που αποτελεί μια μέση λύση, το επίπεδο της μακροκυψέλης έχει πρόσβαση σε όλες τις ζώνες φάσματος, ενώ οι φεμτοκυψέλες λειτουργούν μόνο σε ένα υποσύνολο αυτών. Θεωρείται η καλύτερη πολιτική ανάθεσης φάσματος και αυτό διότι:
 - α) Επιτυγχάνεται καλύτερη χρησιμοποίηση φάσματος (spectral efficiency) από τη περίπτωση του κοινού φάσματος (2).
 - β) Είναι εφικτή η μείωση της παρεμβολής διαφορετικών επιπέδων σε σύγκριση με τη προσέγγιση του μοιρασμένου φάσματος, αφού οι χρήστες της μακροκυψέλης που παράγουν ή υποφέρουν από υψηλή παρεμβολή διαφορετικών επιπέδων (cross-tier interference), μπορούν να χρησιμοποιήσουν το αποκλειστικά αφιερωμένο στη μακροκυψέλη φάσμα.

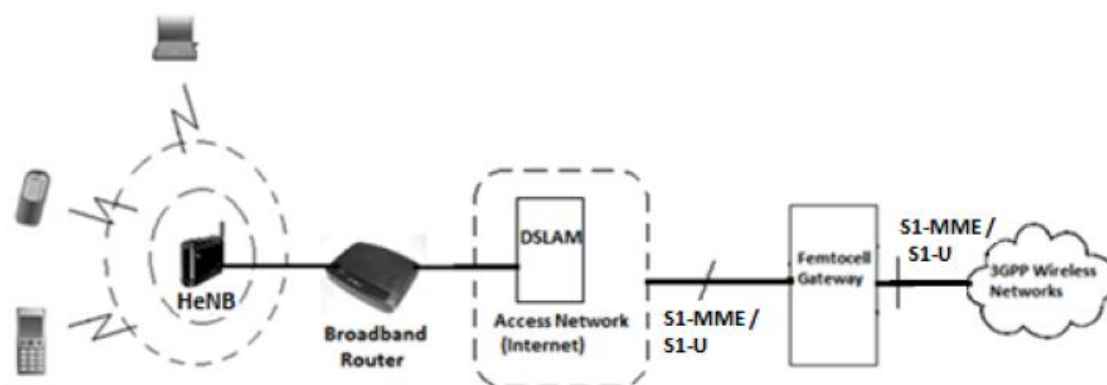
Στην Εικόνα 3.5 απεικονίζονται οι τρεις πολιτικές ανάθεσης φάσματος.



Εικόνα 3.5. Οι 3 πολιτικές ανάθεσης φάσματος: η 1η στήλη αντιστοιχεί σε περίπτωση αφιερωμένου φάσματος, η 2η στήλη σε περίπτωση μερικώς μοιρασμένου φάσματος και η 3η στήλη σε περίπτωση κοινού φάσματος.

3.4 Λειτουργικότητα

Η διαφορά ενός δικτύου φεμτοκυψέλης με τα υπόλοιπα κυψελωτά δίκτυα βασίζεται στο ότι η εγκατάσταση και η χρήση του πρέπει να μπορεί να γίνει από κάθε συνδρομητή χωριστά, μέσα στο σπίτι ή την επιχείρησή του, χωρίς να απαιτείται η δημιουργία κάποιου ογκώδους δικτύου κορμού, αλλά και να ελαχιστοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο το κόστος. Ένα δίκτυο φεμτοκυψέλης αποτελείται από ένα χαμηλής ισχύος σταθμό βάσης, ο οποίος εκπέμπει σε μία αδειοδοτημένη μπάντα συχνοτήτων, ένα broadband modem-router, το οποίο συνδέεται μέσω μιας DSL γραμμής στο τοπικό DSLAM και μια φεμτοκυψελική πύλη (Femtocell Gateway) που επιτρέπει την πρόσβαση σε άλλα δίκτυα και στο internet. Στην εικόνα 3.6 φαίνεται η αρχιτεκτονική μιας φεμτοκυψέλης.



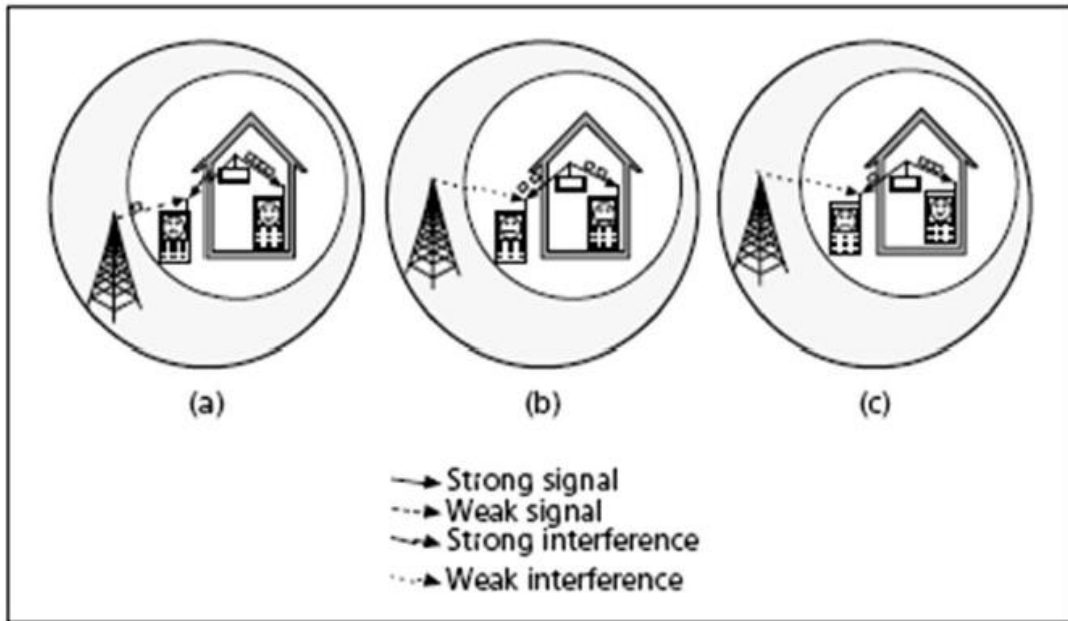
Εικόνα 3.6. Αρχιτεκτονική Φεμτοκυψέλης.

Για να εξασφαλιστεί η ελάχιστη δυνατή παρέμβαση στις μακροκυψέλες και στις γειτονικές φεμτοκυψέλες, μία φεμτοκυψέλη πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίσει αυτόματα τις παραμέτρους λειτουργίας της. Η αυτόματη ρύθμιση των φεμτοκυψελών είναι το κλειδί για την επιτυχή ανάπτυξη της τεχνολογίας. Πριν την εγκατάσταση των φεμτοκυψελών, οι πάροχοι πρέπει να ελέγξουν τα σενάρια ανάπτυξης φεμτοκυψέλης μέσα από δοκιμές και προσομοιώσεις.

Οι φεμτοκυψέλες μπορούν να ταξινομηθούν και με βάση την τεχνολογία για την οποία έχουν σχεδιαστεί: UMTS femtocell, GSM femtocell, WiMAX femtocell, LTE/LTE-Advanced femtocell και ούτω καθεξής. Κάθε τύπος απαιτεί διαφορετική υλοποίηση προκειμένου να ενσωματωθεί στο αντίστοιχο δίκτυο.

Τέλος, οι φεμτοκυψέλες ταξινομούνται βάσει της λειτουργίας πρόσβασης που υιοθετούν. Υπάρχουν τρεις πιθανές μέθοδοι πρόσβασης (Εικόνα 3.7). Οι φεμτοκυψέλες κλειστής πρόσβασης, ανοιχτής πρόσβασης και υβριδικής πρόσβασης.

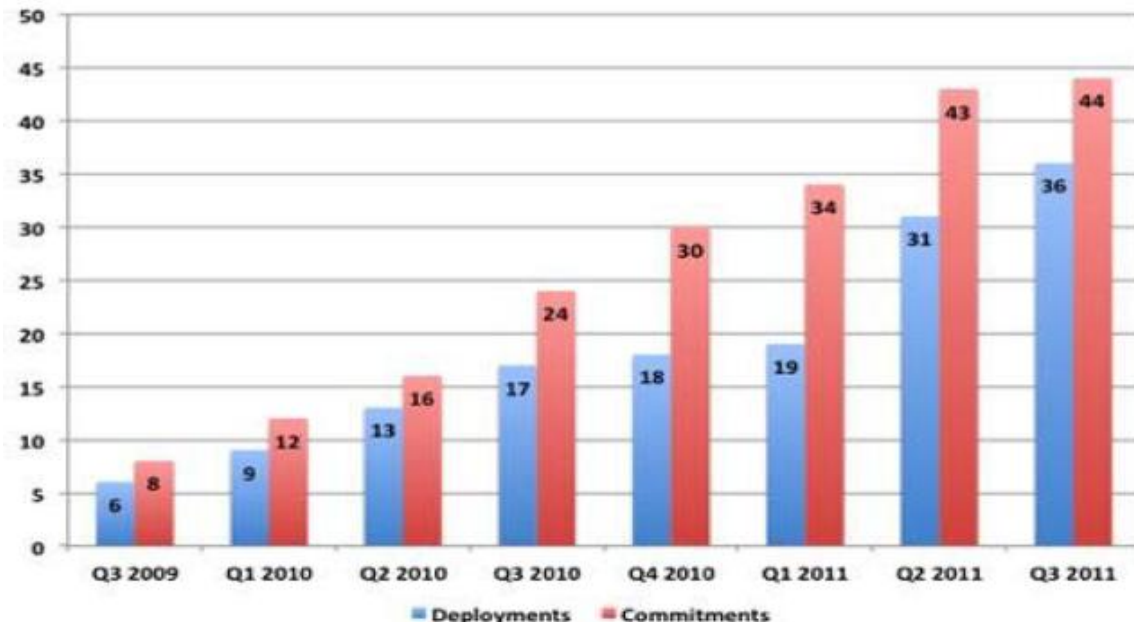
- **Φεμτοκυψέλη κλειστής πρόσβασης (Closed Access Femtocell):** Μόνο ένα υποσύνολο χρηστών, καθορισμένο από το διαχειριστή της φεμτοκυψέλης, μπορεί να συνδεθεί στη φεμτοκυψέλη. Το μοντέλο αυτό αναφέρεται και ως closed subscriber group (CSG) από το Third Generation Partnership Project (3GPP) [24].
- **Φεμτοκυψέλη ανοιχτής πρόσβασης (Open Access Femtocell):** Όλοι οι πελάτες του φορέα έχουν δικαίωμα να κάνουν χρήση οποιασδήποτε φεμτοκυψέλης.
- **Φεμτοκυψέλη υβριδικής πρόσβασης (Hybrid Access Femtocell):** Ένα μέρος των πόρων της διατίθεται για πρόσβαση κλειστού τύπου, δηλαδή στους εγγεγραμμένους χρήστες σε αυτή, και το υπόλοιπο μέρος των πόρων για πρόσβαση ανοιχτού τύπου, δηλαδή σε μη εγγεγραμμένους χρήστες που βρίσκονται στην εμβέλεια της.



Εικόνα 3.7. Παρουσίαση των πολιτικών πρόσβασης: α) κλειστού τύπου, β) ανοιχτού τύπου, γ) υβριδικού τύπου.

3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φεμτοκυψελών

Οι φεμτοκυψέλες παρουσίασαν αλματώδη ανάπτυξη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.8, και αναμένεται ακόμα μεγαλύτερη τα επόμενα χρόνια [13].



Εικόνα 3.8. Διάγραμμα εξάπλωσης φεμτοκυψελών μεταξύ 2009 - 2011.

Η κυριαρχία τους στην αγορά σε σχέση με άλλες προσεγγίσεις εξαρτάται από πλήθος παραγόντων. Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- Αρχικά θα πρέπει να τονίσουμε την απλή εγκατάσταση του εξοπλισμού. Η εγκατάσταση μπορεί να επιτευχθεί από το μέσο χρήστη.
- Παρέχουν κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους όπου οι μακροκυψέλες δεν μπορούν.
- Όσο πιο μακριά βρίσκεται η κυψέλη στο χρήστη τόσο μεγαλύτερη ισχύς θα πρέπει να καταναλωθεί, ώστε ο χρήστης να μπορέσει να μεταδώσει δεδομένα. Η φεμτοκυψέλη βρίσκεται κοντά στην χρήστη, που σημαίνει ότι η μπαταρία καταναλώνει λιγότερο ρεύμα, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερους χρόνους αναμονής και ομιλίας. Ταυτόχρονα η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση του χρήστη είναι σαφώς μικρότερη [25].
- Οι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων είναι αυξημένοι, αφού ο χρήστης βρίσκεται πολύ κοντά στη κυψελίδα [26].
- Η ασφάλεια που παρέχεται μέσω της φεμτοκυψέλης μέσω του δικτύου ISP προϋποθέτει ο χρήστης να πιστοποιήσει την αυθεντικότητά του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί IPsec [27][28] που εξασφαλίζει την ασφάλεια των επαγγελματικών και προσωπικών δεδομένων.
- Νέες εφαρμογές. Η σύγκλιση κινητών τηλεφώνων και ενδοοικιακών συσκευών, όπως οι συσκευές σταθερής τηλεφωνίας, οι υπολογιστές κλπ θα οδηγήσει σε μία ποικιλία νέων εφαρμογών τόσο για οικίες όσο και για μικρά γραφεία.
- Για τους παρόχους τα κέρδη είναι περισσότερα από την αύξηση των χρηστών, καθώς νέοι χρήστες θα προστεθούν στο δημόσιο δίκτυο της εταιρίας κινητής τηλεφωνίας.
- Η μετακίνηση χρηστών που συνδέονται στο δημόσιο μακροκυψελοειδές δίκτυο της εταιρία κινητής τηλεφωνίας προς το ιδιωτικό φεμτοκυψελοειδές δίκτυο απελευθερώνει πόρους έτσι ώστε κι άλλοι χρήστες να μπορούν να συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο της εκάστοτε εταιρίας. Αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών, ενώ παράλληλα διατηρούνται οι παλαιοί συνδρομητές.
- Καλύτερη ενδοοικιακή κάλυψη. Η τοποθέτηση της φεμτοκυψέλης εντός της οικίας ή του επαγγελματικού χώρου επεκτείνει την περιοχή που καλύπτει ο πάροχος. Έτσι τα επιπλέον 10-15 dB που χρειάζονται για να διαπεραστούν οι τοίχοι των κτηρίων και τα πατώματα δε θα απαιτούνται πλέον. Σε ιδανικές συνθήκες ο πάροχος θα μπορούσε να αφιερώσει αυτά τα dB στην αύξηση του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων [29].

Συνολικά, μπορούμε να πούμε πως σε σύγκριση με τα picocells και άλλες εσωτερικές τεχνολογίες, οι φεμτοκυψέλες είναι μια λύση χαμηλού κόστους για την αύξηση της κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους και τη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Εξυπηρετούν τον ιδιοκτήτη παρέχοντας μια απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη σε

εσωτερικούς χώρους, στην εργασία, εν κινήσει ή στο σπίτι, και προσφέρει τη βάση για συγκλίνουσες υπηρεσίες επόμενης γενιάς που συνδυάζουν φωνή, βίντεο και δεδομένα σε μία συσκευή.

Μπορεί τα οφέλη από την χρήση των φεμτοκυψελών να είναι πολυάριθμα τόσο για τους χρήστες, όσο και για τους παρόχους, υπάρχουν ωστόσο και μειονεκτήματα των φεμτοκυψελών, τα οποία καταγράφονται παρακάτω:

- Το κυριότερο μειονέκτημα των φεμτοκυψελών είναι η παρεμβολή που δημιουργούν σε δίκτυα που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες. Υπολογισμοί και δοκιμές έχουν δείξει πως συνολικά οι φεμτοκυψέλες μειώνουν τη συνολική παρεμβολή στο δίκτυο μέσω της μείωσης του φόρτου κίνησής του [30]. Όμως, όπως προαναφέρθηκε, η μέγιστη αξιοποίηση του φάσματος συχνοτήτων επιτυγχάνεται όταν οι φεμτοκυψέλες και οι μακροκυψέλες λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Άρα, τοπικά ενδέχεται να υπάρχουν σημαντικές παρεμβολές μεταξύ των δύο, καθώς και μεταξύ γειτονικών φεμτοκυψελών μεταξύ τους.
- ο χρήστης λαμβάνει έναν ξεχωριστό λογαριασμό για την ευρυζωνική σύνδεση, από την καλωδιακή ή τηλεφωνική εταιρεία εκτός από τον λογαριασμό για τις κυψελοειδείς υπηρεσίες. Ο λογαριασμός για τις κυψελοειδείς υπηρεσίες θα συμπεριλαμβάνει τώρα κόστη χρήσης της φεμτοκυψέλης. Οι πάροχοι υπηρεσιών θα πρέπει να αποφασίσουν αν θα χρεώνουν με βάση την προέλευση των κλήσεων ή αν θα δεχτούν μια άλλη λύση όπως η πάγια μηνιαία χρέωση. Η πιθανή συσσώρευση λογαριασμών που περιγράφηκε παραπάνω πιθανόν να αποθαρρύνει την υιοθέτηση της τεχνολογίας φεμτοκυψελών από τους χρήστες.
- Όταν εγκαθίστανται πολλές φεμτοκυψέλες, ο εξοπλισμός του χρήστη που συνδέεται με τη μακροκυψέλη δεν θα είναι μόνο σε θέση να κάνει μετρήσεις στις μακροκυψέλες αλλά και στις πολλές φεμτοκυψέλες που συναντά [31]. Έτσι ο εξοπλισμός του χρήστη στη συγκεκριμένη περιοχή φεμτοκυψέλης θα αναφέρει πολλές μετρήσεις προς το δημόσιο δίκτυο, μερικές μόνο από τις οποίες θα είναι χρήσιμες σε πολλές περιπτώσεις. Ο εξοπλισμός του χρήστη θα κάνει πολλές μετρήσεις σε γειτονικές κυψέλες, το οποίο θα γεμίσει τον πυρήνα του δικτύου με αναφορές για αυτές τις μετρήσεις.
- Ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα είναι η τοποθέτηση και διαχείριση των φεμτοκυψελών. Εφόσον αυτές είναι στην ευθύνη του χρήστη, που πιθανόν να μην έχει κάποιο σχετικό γνωστικό υπόβαθρο, γίνεται σαφές πως αφενός οι βασικές λειτουργίες και ρυθμίσεις πρέπει να είναι αυτόματες ή φιλικές προς το χρήστη, αφετέρου λειτουργίες όπως ενημέρωση για αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου, ρύθμιση συχνότητας κλπ. να μπορούν να γίνονται απομακρυσμένα.

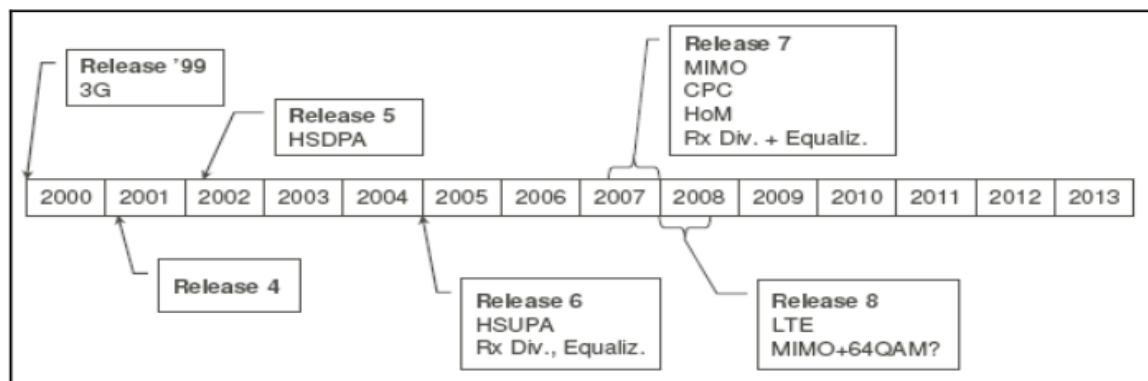
- Τέλος, είναι δυνατό να προκύπτουν ζητήματα υγείας από τις φεμτοκυψέλες, διότι σημειώνονται κίνδυνοι για την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών, λόγω της ραδιοεκπομπής. Εφόσον, μια φεμτοκυψέλη είναι ένας κυψελωτός σταθμός βάσης είναι δυνατόν να εγείρονται ανησυχίες για τα επίπεδα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, που μεταδίδει. Όμως, τα επίπεδα ισχύος, που εκπέμπονται από τις φεμτοκυψέλες είναι μικρά, σχετικά σε κοντινά επίπεδα, με τα αντίστοιχα σημεία πρόσβασης των 802.11 πρωτοκόλλων, που υπάρχουν σε πολλά σπίτια. Ως αποτέλεσμα, δεν είναι επιβεβαιωμένη η αντίληψη, γενικά, ότι υφίσταται ανησυχία λόγω κινδύνων για τη δημόσια υγεία, εφόσον, είναι σχετικά όμοιες με τις μέχρι τώρα υιοθετούμενες λύσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- Οι φεμτοκυψέλες στα δίκτυα Long
Term Evolution (LTE)

4.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία Long Term Evolution (LTE) δημιουργήθηκε από την 3GPP και προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Η τεχνολογία βασίζεται σε προϋπάρχοντα δίκτυα, όπως GSM/EDGE και UMTS /HSPA με μεγαλύτερες ταχύτητες σε καθοδική ζεύξη (downlink) και ανοδική ζεύξη (uplink), καλύτερες τεχνικές διαμόρφωσης, αυξημένη χωρητικότητα και εύρος ζώνης καθώς και πληθώρα άλλων υπηρεσιών για εκείνη την εποχή που εμφανίστηκε. Το LTE έχει θεωρητικό ρυθμό bit έως 300 Mbit/s στο downlink και 75 Mbit/s στο uplink, (εάν χρησιμοποιείται ένα κανάλι 20 MHz, με τη παράλληλη χρήση συστοιχιών από κεραιές). Επίσης, υποστηρίζει τόσο frequency division duplexing (FDD) όσο και time division duplexing (TDD). Με το FDD για κάθε κατεύθυνση uplink ή downlink χρησιμοποιείται διαφορετική συχνότητα και προτιμάται σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, οπότε και πιο ισχυρή ισχύ μετάδοσης. Με το TDD χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα σε κάθε δίαυλο αλλά γειτονικές χρονοσχισμές (timeslot). Το TDD είναι κατάλληλο όταν υπάρχει περισσότερο εύρος ζώνης και πυκνή δομή επαναχρησιμοποίησης, ενώ στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγεται ότι επιτρέπει την πλήρη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρου ζώνης και του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Η φυσική ραδιο-διεπαφή ονομάζεται Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA) [32]. Τα πρώτα LTE USB dongles δεν υποστηρίζουν οποιοδήποτε άλλο interface ραδιοσυχνοτήτων. Το LTE εμφανίστηκε αρχικά στις Σκανδιναβικές χώρες το 2009, αλλά μέχρι τα τέλη του 2013 υιοθετήθηκε από χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Ουγγαρία, η Νότια Κορέα και το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ πλέον έχει αναπτυχθεί στις περισσότερες χώρες του πλανήτη [33].

Στην Εικόνα 4.1 αναγράφεται η χρονολογική εξέλιξη των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως το LTE.



Εικόνα 4.1. Χρονολογική εξέλιξη κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως το LTE.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του LTE είναι το υψηλό throughput, οι μικρές καθυστερήσεις, το plug and play, η υποστήριξη τόσο FDD όσο και TDD στη ίδια πλατφόρμα, η βελτιωμένη ικανοποίηση του χρήστη αλλά και η σχετικά απλή αρχιτεκτονική που μειώνει το κόστος λειτουργίας. Η LTE υποστηρίζει ακόμα ομαλή μετάβαση σε κυψελοειδείς πύργους με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου, όπως οι GSM,

UMTS και CDMA2000. Το επόμενο βήμα εξέλιξης της LTE είναι η LTE-Advanced που πραγματοποιείται για την έκδοση 10 της 3GPP [34].

Ο σχεδιασμός του LTE όσον αφορά το φυσικό επίπεδο (PHY), επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την απαίτηση για υψηλό ρυθμό μετάδοσης (100 Mbps DL/50 Mbps UL),καλύτερη φασματική απόδοση και πολλαπλές ζώνες καναλιών (1,25-20 MHz). Για την εκπλήρωση αυτών των απαιτήσεων, επιλέχθηκε η ορθογώνια πολυπλεξία συχνότητας (OFDM) ως βάση για το στρώμα PHY. Η OFDM είναι μια τεχνολογία που χρονολογείται από τη δεκαετία του 1960, αλλά με τις εξελίξεις στο χώρο της ηλεκτρονικής και της επεξεργασίας σήματος ωρίμασε πολλά χρόνια αργότερα και χρησιμοποιείται πλέον ευρέως σε άλλα συστήματα πρόσβασης, όπως 802.11 (WiFi) και 802.16 (WiMAX), καθώς και σε συστήματα εκπομπής (Digital Audio / Τηλεοπτική Μετάδοση - DAB / DVB).

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί καταγράφονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος LTE.

Εύρος Ζώνης		1.25-20MHz
Πολυπλεξία		FDD, TDD, ημι-αμφίδρομη FDD
Κινητικότητα		350km/h
Πολλαπλή Πρόσβαση	Καθοδική ζεύξη	OFDMA
	Ανοδική ζεύξη	SC-FDMA
MIMO	Καθοδική ζεύξη	2x2, 4x2, 4x4
	Ανοδική ζεύξη	1x2, 1x4
Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων στα 20MHz		173 και 326Mb/s για 2x2 και 4x4 MIMO αντίστοιχα
		86Mb/s με 1x2 διαμόρφωση κεραίας
Διαμόρφωση		QPSK, 16-QAM και 64-QAM
Κωδικοποίηση Καναλιού		Turbo code
Άλλες Τεχνικές		Χρονοπρογραμματισμός ως προς το κανάλι, προσαρμογή ζεύξης, έλεγχος ισχύος, ICIC και υβριδική ARQ

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά του συστήματος LTE.

4.2 Βασικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό του LTE

Το LTE σχεδιάστηκε ακολουθώντας κάποιες αρχές ώστε να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στην αυξανόμενη ζήτηση. Μια από τις βασικές αρχές όπου τέθηκε αρχικά είναι η απόδοση στο ίδιο επίπεδο με ενσύρματη ευριζωνική σύνδεση. Ένας στόχος του LTE ήταν να δημιουργήσει ένα διαδικτυακό περιβάλλον για τα κινητά. Τα δύο χαρακτηριστικά που ικανοποιούν τους χρήστες όσο αναφορά τα δίκτυα είναι οι υψηλές ταχύτητες και ο χαμηλός χρόνος απόκρισης. Για να προωθήσει η 3GPP τις υψηλές ταχύτητες και την υψηλή διακίνηση πληροφοριών-δεδομένων έθεσε σαν μέγιστο ρυθμό μεταφοράς των δεδομένων τα 100Mbps για καθοδική ζεύξη και τα 50 Mbps για ανοδική ζεύξη. Οι ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν όμως έχουν να κάνουν και με την απόσταση από τον σταθμό βάσης (κόμβος), συνεπώς βασικός στόχος για το σχεδιασμό του LTE ήταν να επιτευχθεί ένας μέσος όρος downlink τέσσερις φορές παραπάνω από τις ταχύτητες του HSPA και τρεις φορές μεγαλύτερη ταχύτητα στην ανοδική ζεύξη [35]. Για να επιτευχθούν αυτοί οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων έπρεπε να βελτιωθεί η φασματική απόδοση τέσσερις φορές παραπάνω από ότι ήταν εκείνη την εποχή. Επιπλέον έπρεπε να βελτιωθεί και η μετάδοση δεδομένων στα κελιά. Το άλλο βασικό χαρακτηριστικό είναι να μείνει σε χαμηλό επίπεδο η καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων διότι σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπως μετάδοση ήχου όπως γίνεται στο VOIP σε διαδικτυακά παιχνίδια και άλλες εφαρμογές είναι σημαντικό να μην υπάρχει καθόλου καθυστέρηση. Μια καλή μέτρηση της καθυστέρησης που μπορεί να έχουμε είναι 10ms και παρακάτω όπου και αυτό είναι αποδεκτό από τον σχεδιασμό του LTE.

Μια άλλη βασική απαίτηση των προδιαγραφών ήταν και η ευέλικτη χρήση του φάσματος συχνοτήτων(ραδιοφάσματος). Η μπάνα συχνοτήτων μαζί με το ευρύ φάσμα που ανήκει σε φορείς εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων ποικίλει σημαντικά. Όμως το LTE είχε σχεδιαστεί ώστε να είναι παγκόσμιο πρότυπο και όχι όπως συνέβαινε στις προηγούμενες τεχνολογίες των 3G και 2G. Για να καταφέρει να επιτύχει τον στόχο του το LTE και να είναι ελκυστικό απέναντι στις επιχειρήσεις και τους φορείς εκμετάλλευσης ασύρματων δικτύων η 3GPP αποφάσισε να έχει ευελιξία φάσματος σε υψηλό βαθμό. Οι φορείς μπορούν να αναπτύξουν το LTE στα 900MHz ,1800 MHz ,700 MHz και 2.6 GHz. Επιπλέον το LTE υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό ευριζωνικών καναλιών των :1.4 MHz ,3 MHz ,5 MHz,10 MHz,15 MHz,20 MHz.

Το τελευταίο από τα βασικά χαρακτηριστικά για το σχεδιασμό του LTE είναι η μείωση του κόστους του Megabyte. Είναι πολύ σημαντικό διότι όλες οι υπηρεσίες που παρέχονται στο χρήστη σαν επανάσταση από τα δίκτυα 4ης γενιάς κάνουν χρήση του διαδικτύου και κατεπέκταση αυτές τις υπηρεσίες που παρέχονται στον καταναλωτή της πληρώνει μέσω των Megabytes. Για αυτό το λόγο για να μπορέσει να καταλήξει στο κόστος του megabyte δημιούργησε έναν αριθμό κριτηρίων όπου από εκεί προκύπτει η τελική του τιμή. Μερικά από αυτά τα κριτήρια είναι η υψηλή χωρητικότητα, η υψηλή φασματική απόδοση διεπαφής αέρος, δυνατότητα ανάπτυξης του υπάρχοντος φάσματος και η επαναχρησιμοποίηση των κελιών και του εξοπλισμού μεταφοράς με προγενέστερα συστήματα ώστε να είναι πιο αποδοτικό. Συνύπαρξη με άλλα συστήματα που δεν είναι 3GPP ώστε να επιτευχθεί ένα παγκόσμιο πρότυπο ώστε να έχει και ανάλογα κέρδη.

Επίσης η IP αρχιτεκτονική όπου θα το βοηθήσει για μεγαλύτερη ανάπτυξη. Υποστήριξη των δικτύων χαμηλού κόστους τύπου Backhaul. Σταθμοί βάσης χαμηλής ισχύος και απαιτήσεις χώρου με σκοπό κάποια στιγμή να τοποθετηθούν νέοι σταθμοί βάσης.[36][37]

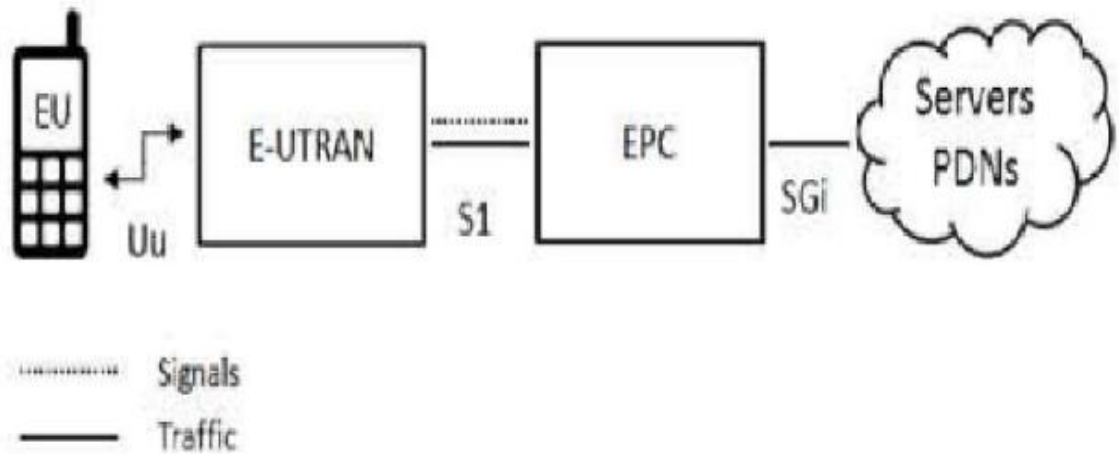
Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται οι απαιτήσεις για το σχεδιασμό του LTE.

Metric	Requirement
Peak data rate	DL: 100Mbps UL: 50Mbps (for 20MHz spectrum)
Mobility support	Up to 500kmph but optimized for low speeds from 0 to 15kmph
Control plane latency (Transition time to active state)	< 100ms (for idle to active)
User plane latency	< 5ms
Control plane capacity	> 200 users per cell (for 5MHz spectrum)
Coverage (Cell sizes)	5 – 100km with slight degradation after 30km
Spectrum flexibility	1.25, 2.5, 5, 10, 15, and 20MHz

Πίνακας 4.2: Βασικές απαιτήσεις του LTE.

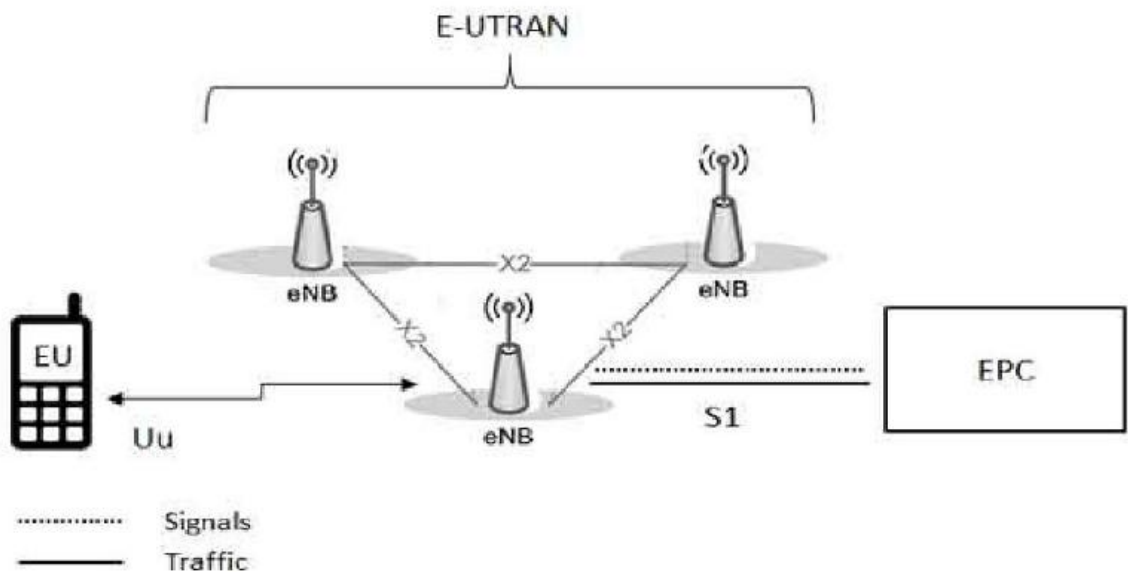
4.3 Αρχιτεκτονική του LTE

Η αρχιτεκτονική του δικτύου LTE αποτελείται από τρία βασικά συστατικά όπου αυτά είναι ο εξοπλισμός του χρήστη (UE) , το e-UTRAN και το κύριο δίκτυο όπως αυτά φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα 4.2.[38][39]



Εικόνα 4.2. Αρχιτεκτονική του LTE.

Αρχικά η συσκευή UE θα μπορούσε να είναι είτε ένα smartphone είτε ένα tablet ή laptop ή γενικότερα μια τερματική συσκευή. Η τερματική συσκευή λοιπόν συνδέεται μέσω μιας διεπαφής Uu με το E-UTRAN (Εικόνα 4.3).



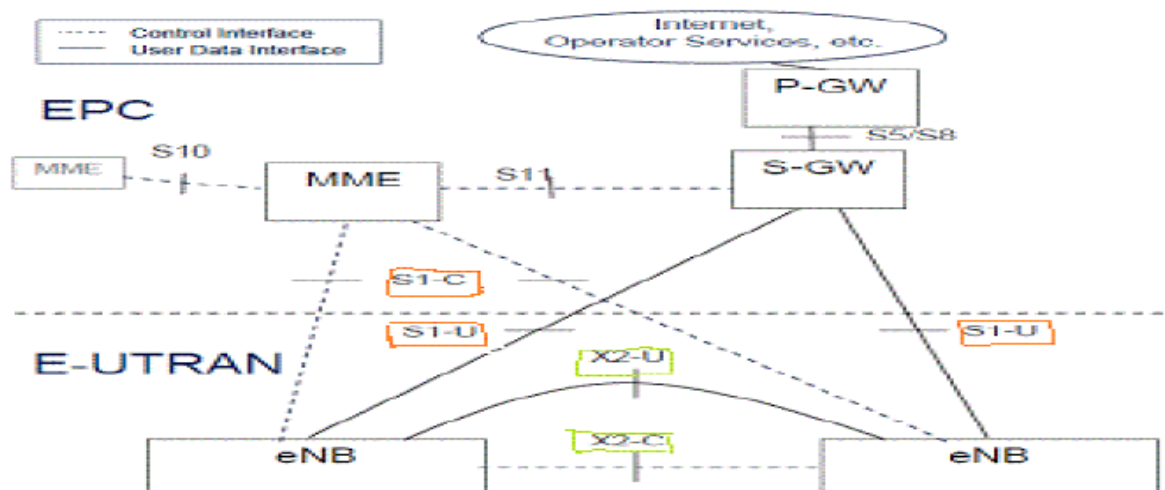
Εικόνα 4.3. Δίκτυο E-UTRAN.

Το ασύρματο δίκτυο E-UTRAN περιλαμβάνει τους εξελεγμένους σταθμούς βάσης eNBs, οι οποίοι ελέγχουν τα κινητά τηλέφωνα των χρηστών σε μία ή περισσότερες κυψέλες. Ελέγχει τις ραδιοεπικοινωνίες μεταξύ του εξοπλισμού του χρήστη UE σε μία κυψέλη και του δικτύου κορμού EPC (evolved packet core).

Κάθε σταθμός βάσης eNB στέλνει και λαμβάνει σήματα από κάθε συσκευή κινητού τηλεφώνου, η οποία όμως μπορεί να συνδέεται με έναν μόνο σταθμό βάσης σε δεδομένη χρονική στιγμή μέσα σε μία κυψέλη, όχι περισσότερους από έναν.

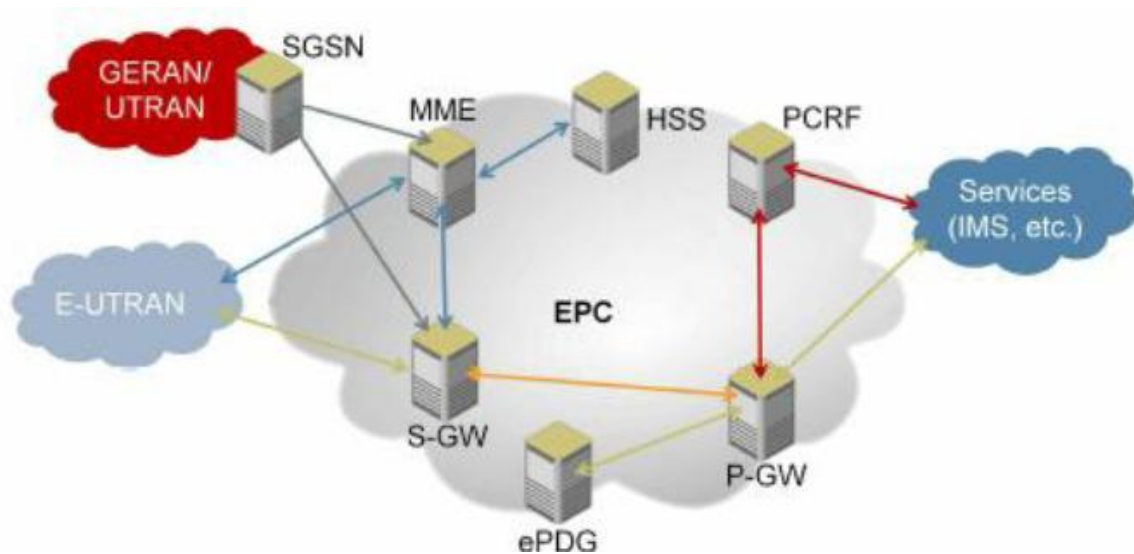
Επίσης, κάθε σταθμός βάσης eNB επιτελεί ορισμένες βασικές λειτουργίες, πάντα σχετικές με τη μετάδοση και λήξη σημάτων μέσω της κατάλληλης εναέριας διεπαφής κάθε φορά (Εικόνα 4.4):

- Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση του σήματος .
- Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση του σήματος στο ασύρματο κανάλι επικοινωνίας.
- Έλεγχο λειτουργίας του χαμηλού επιπέδου όλων των κινητών τηλεφώνων τα οποία βρίσκονται στη περιοχή ευθύνης του, όπως με την αποστολή μηνυμάτων παράδοσης.
- Έλεγχο πόρων του καναλιού-κομιστή, δηλαδή δυναμική κατανομή, τροποποίηση και αποδέσμευση πόρων στους εξοπλισμούς χρηστών UEs τόσο στην καθοδική ζεύξη όσο και στην ανοδική ζεύξη για την μετάδοση σημάτων μεταξύ eNB και UEs.
- Έλεγχο των καναλιών κομιστών.
- Διαχείριση της κινητικότητας των UEs, δηλαδή αποφάσεις μεταπομπής.
- Συμπίεση κεφαλίδων των IP πακέτων, η οποία διασφαλίζει την αποδοτική χρήση της κατάλληλης εναέριας διεπαφής κάθε φορά.
- Συνδεσιμότητα στο δίκτυο-κορμό EPC μέσω της διεπαφής S1-C (ή S1-MME), όταν πρόκειται για σύνδεση του eNB με την κεντρική μονάδα ελέγχου MME, ή μέσω της διεπαφής S1-U όταν πρόκειται για σύνδεση του eNB με την πύλη S-GW.



Εικόνα 4.4. Η διεπαφή S1 στο E-UTRAN.

Το Evolved Packet Core (EPC) αποτελείται από τρεις βασικές λογικές οντότητες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.5: την MME, την SGW και την PGW.



Εικόνα 4.5. Δίκτυο EPC.

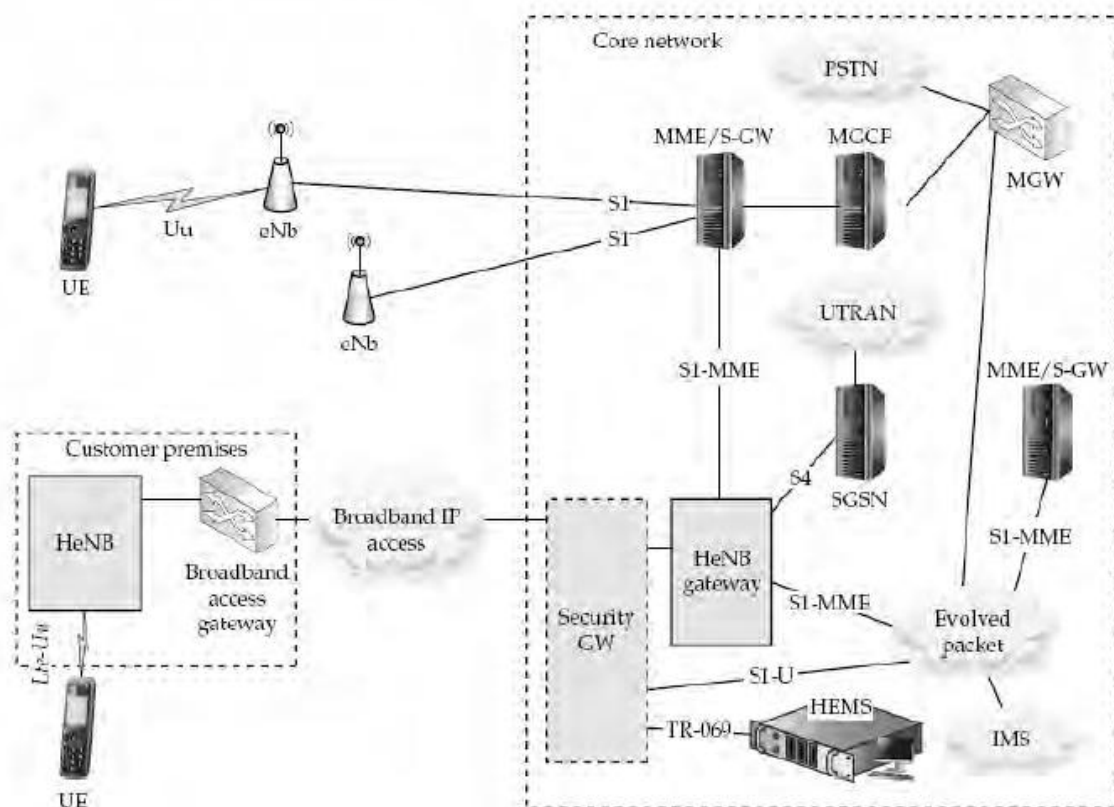
Η οντότητα MME (Mobility Management Entity) είναι ο βασικός κόμβος που ελέγχει τη πρόσβαση των χρηστών στο LTE δίκτυο και τη λειτουργία του. Παρακολουθεί τα UE που είναι σε κατάσταση αδράνειας, αλλά και τη διαδικασία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του bearer. Μέσω αλληλεπίδρασης με τον Home Subscriber Server (HSS) έχει τη δυνατότητα να ελέγχει την ταυτότητα των χρηστών ενώ με τις διαδικασίες Non Access Stratum (NAS), οι οποίες υποστηρίζουν το σήμα και την κίνηση ανάμεσα στο CN και τον εξοπλισμό του χρήστη και τερματίζουν στο MME μπορεί και να προσφέρει προσωρινές ταυτότητες στα τερματικά των χρηστών. Επιπλέον, ελέγχει τη πρόσβαση των χρηστών στις υπηρεσίες των παρόχων, αν είναι εξουσιοδοτημένοι ή όχι ενώ μπορεί να επιβάλει περιορισμούς roaming στους χρήστες.

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

εξυπηρετεί μόνο μία γεωγραφική περιοχή με περιορισμένο αριθμό eNodeBs και την οποία μπορεί να ελέγχει περιορισμένος αριθμός MMEs.

Η PDN Gateway (PGW) προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης των UEs με εξωτερικά δίκτυα πακέτων, δρώντας έτσι ως σημείο αναφοράς εισόδου-εξόδου της κυκλοφορίας των UEs. Ένα UE έχει τη δυνατότητα να είναι συνδεδεμένο με περισσότερα από ένα PGW, ώστε να έχει πρόσβαση σε περισσότερα Packet Data Networks (PDNs). Η PGW διανέμει IP διευθύνσεις στους UEs, οι οποίοι τις χρησιμοποιούν για να επικοινωνούν με άλλους IP hosts σε εξωτερικά δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο. Τέλος, βασικό στοιχείο της PGW είναι ότι αποτελεί σημείο αναφοράς για τη μετακίνηση των UEs ανάμεσα σε 3GPP και μη 3GPP τεχνολογίες.

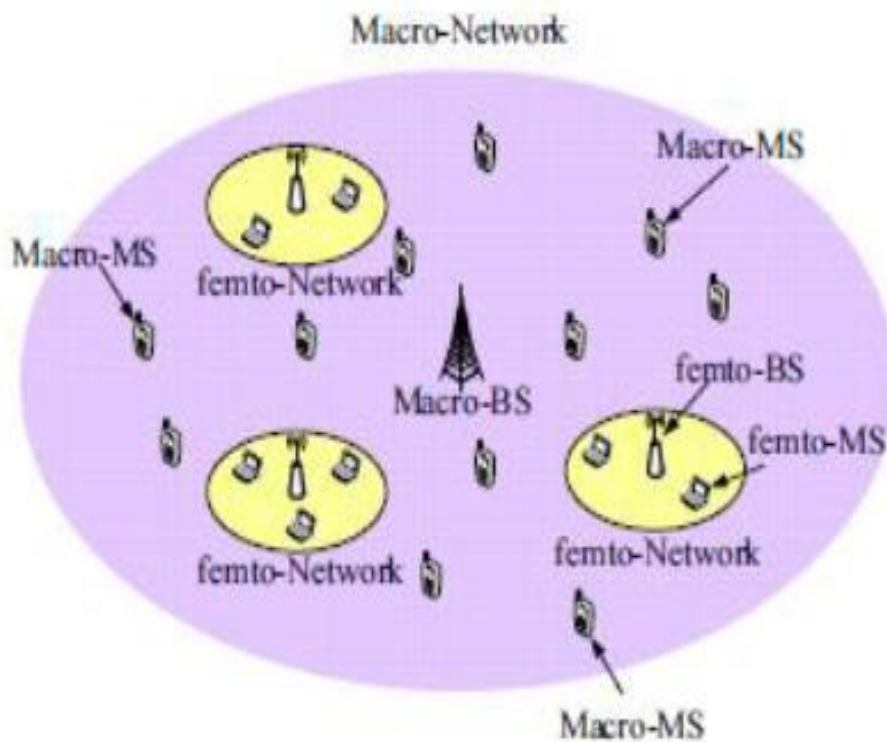
Στην Εικόνα 4.6 που ακολουθεί παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός LTE δικτύου που περιλαμβάνει ένα δίκτυο φεμτοκυψελών.



Εικόνα 4.6. Η αρχιτεκτονική ενός LTE δικτύου που περιλαμβάνει ένα δίκτυο φεμτοκυψελών.

Το UE επικοινωνεί ασύρματα με ένα HeNodeB (φεμτοκυψέλη). Το HeNB αποτελεί μια μικρογραφία του eNodeB παρέχοντας κάλυψη LTE στο σπίτι του πελάτη. Τα HeNB διασυνδέονται με το δίκτυο του παρόχου κινητής μέσω του ευρυζωνικού δικτύου διαμέσου μιας πύλης ευρυζωνικής πρόσβασης, όπως και σε όλους τους τύπους φεμτοκυψελών. Το δίκτυο κορμού του παρόχου της κινητής τηλεφωνίας αποκτά πρόσβαση στο HeNB που είναι συνδεδεμένο στην συσκευή ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω μιας πύλης ασφαλείας. Η πύλη ασφαλείας χρησιμοποιείται για την προστασία του δικτύου κορμού από επιθέσεις. Από την αξιόπιστη πλευρά της πύλης ασφαλείας βρίσκεται η πύλη

HeNB GW. Η HeNB GW είναι υπεύθυνη για τη συγκέντρωση της κυκλοφορίας από ένα μεγάλο αριθμό HeNBs και τη διασύνδεσή τους με το κεντρικό δίκτυο EPC. Η διεπαφή S1-MME μεταφέρει δεδομένα χρησιμοποιώντας την LTE S1- MME διεπαφή. Το HeNB διασυνδέεται με το EPC χρησιμοποιώντας την διεπαφή LTE S1-U διαμέσου της πύλης ασφαλείας. Οι λειτουργίες που υποστηρίζονται από το HeNB πρέπει να είναι οι ίδιες με εκείνες που υποστηρίζονται από eNodeB (με κάποιες πιθανές εξαιρέσεις) και οι διαδικασίες που τρέχουν μεταξύ HeNB και του EPC θα πρέπει να είναι οι ίδιες με εκείνες μεταξύ eNodeB και του EPC.



Εικόνα 4.7. Μοντέλο συστήματος LTE με μακροκυψέλες και φεμτοκυψέλες.

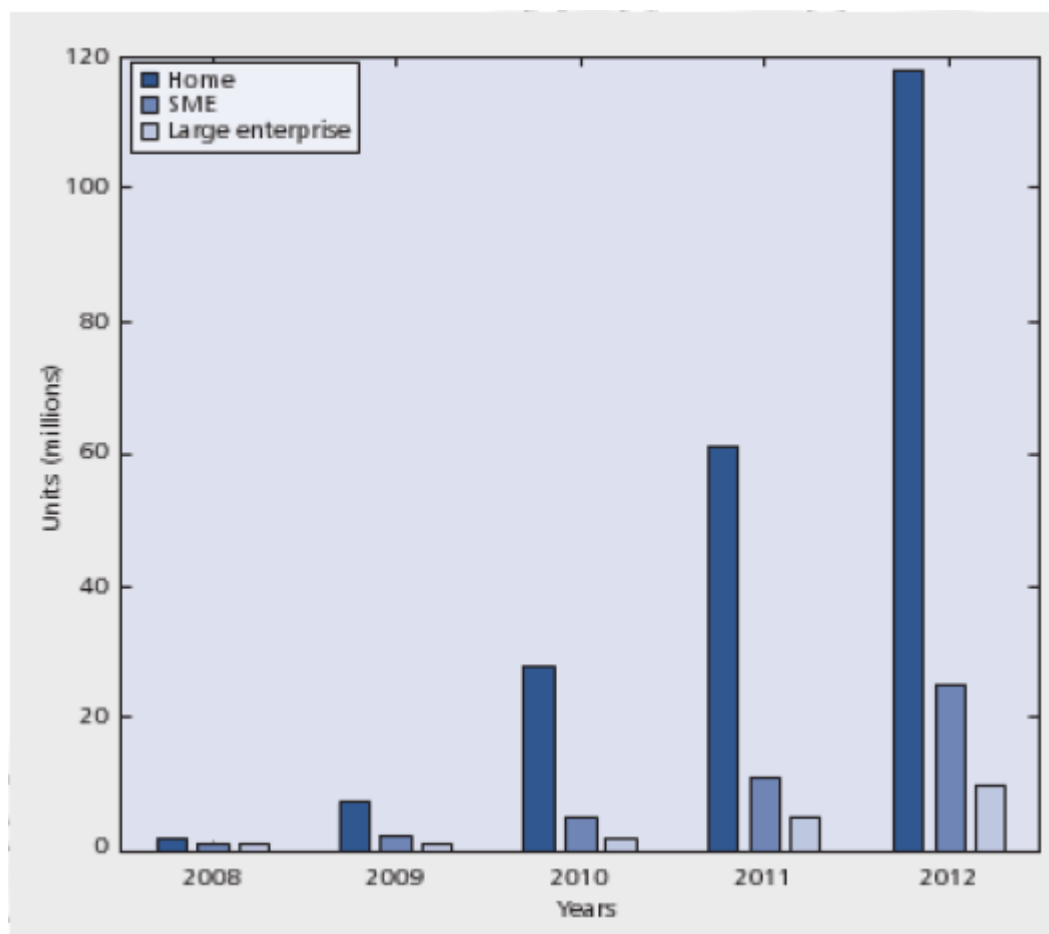
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- Οι Λειτουργίες Πρόσβασης
Φεμτοκυψελών

5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, οι μέθοδοι πρόσβασης στις φεμτοκυψέλες είναι τρεις: κλειστή λειτουργία πρόσβασης, ανοιχτή λειτουργία πρόσβασης και υβριδική λειτουργία πρόσβασης.

Όταν η μέθοδος πρόσβασης εμποδίζει τη χρήση της φεμτοκυψέλης για ένα υποσύνολο των χρηστών εντός της περιοχής κάλυψης ένα νέο σύνολο παρεμβαλλόμενων σημάτων ορίζεται εμμέσως σε αυτή τη περιοχή. Επομένως, με χρήση των κλειστού τύπου φεμτοκυψελών γίνεται πιο σύνθετο το πρόβλημα του περιορισμού των παρεμβολών. Αντιθέτως, η ανάπτυξη του ανοιχτού τύπου φεμτοκυψελών θα έλυne αυτό το πρόβλημα, αλλά θα δημιουργούσε ανησυχίες στον πελάτη ως προς την ασφάλεια και την ανταλλαγή δεδομένων. Επιπλέον όταν οι χρήστες κινούνται σε περιοχές με μεγάλο αριθμό ανοιχτού τύπου φεμτοκυψελών, αυξάνεται ο αριθμός των μεταβιβάσεων και έτσι και το σήμα του δικτύου. Τέλος οι υβριδικές μέθοδοι πρόσβασης αποτελούν μία μέση κατάσταση ανάμεσα στις κλειστές και ανοιχτές προσεγγίσεις. Ωστόσο, ο αριθμός των κοινών πόρων πρέπει να ρυθμίζεται προσεχτικά ώστε να μην επηρεάζεται η ποιότητα των υπηρεσιών των φεμτοκυψελών.

Στην Εικόνα 5.1 φαίνεται ένα διάγραμμα με την αύξηση της χρήσης φεμτοκυψελών από οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις.

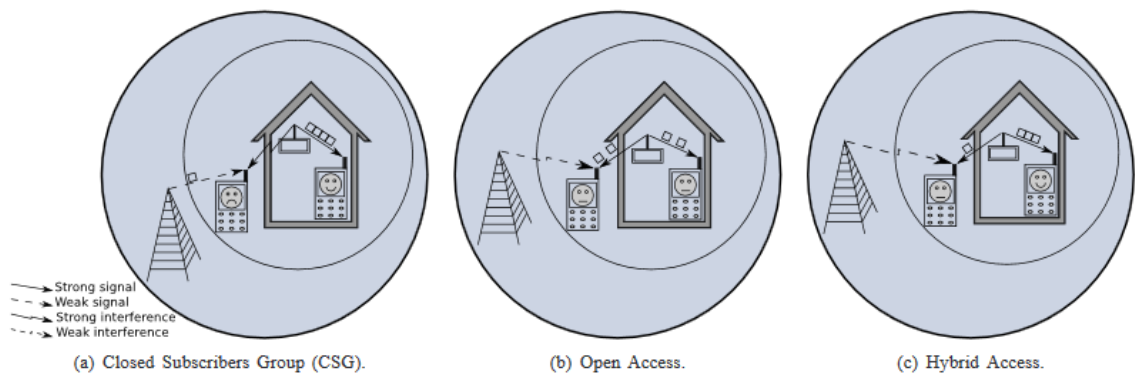


Εικόνα 5.1. Χρήση των Φεμτοκυψελών από οικιακούς χρήστες και επιχειρήσεις.

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι λειτουργίες πρόσβασης (Εικόνα 5.2) που εφαρμόζονται ήδη για τις φεμτοκυψέλες με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

Πριν από αυτό όμως, κρίνεται απαραίτητο για την καλύτερη περιγραφή των διαδικασιών ελέγχου πρόσβασης σε φεμτοκυψέλες, να γίνει διαχωρισμός των χρηστών ανάλογα με τα δικαιώματα της φεμτοκυψέλης όπου είναι συνδεδεμένοι. Οπότε ο διαχωρισμός γίνεται ως εξής [18]:

- ο συνδρομητής μιας φεμτοκυψέλης είναι ένας εγγεγραμμένος σε αυτή χρήστης. Οι συνδρομητές είναι νόμιμοι χρήστες της φεμτοκυψέλης και είναι συνήθως κινητά τερματικά που ανήκουν στον ιδιοκτήτη της φεμτοκυψέλης.
- ένας μη συνδρομητής είναι ένας μη εγγεγραμμένος στη φεμτοκυψέλη χρήστης.



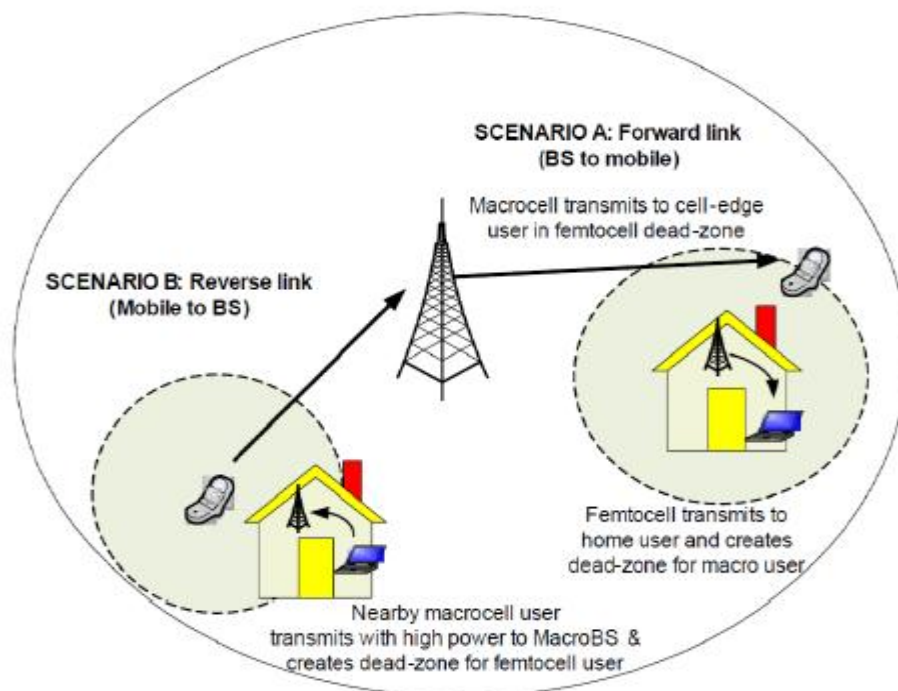
Εικόνα 5.2. Οι μέθοδοι πρόσβασης των φεμτοκυψελών.

Στη συνέχεια αναλύεται η κάθε μία λειτουργία πρόσβασης ξεχωριστά.

1. Κλειστή λειτουργία πρόσβασης

Η κλειστή λειτουργία πρόσβασης φεμτοκυψέλης (closed access femtocell) εμφανίστηκε πρώτη φορά σε σπίτια όπου η κάλυψη από τις μακροκυψέλες ήταν αδύναμη, αλλά είχε αναπτυχθεί επαρκώς η ευρυζωνική σύνδεση. Στη λειτουργία αυτή έχουν δικαίωμα σύνδεσης στις φεμτοκυψέλες μόνο οι συνδρομητές αυτής και κανένας άλλος. Η λειτουργία αυτή έχει ονομαστεί από την 3GPP Closed Subscriber Group (CSG). Καθώς τα femtocells αποτελούν συνήθως ιδιωτική περιουσία και η κίνησή τους περνά από τη σύνδεση της οικίας του χρήστη, αυτός ο τύπος πρόσβασης είναι και ο κυρίαρχος για χρήση εντός κατοικιών. Εφόσον οι συνδρομητές δε διαμοιράζονται τους πόρους, απολαμβάνουν πάντοτε τη βέλτιστη κάλυψη και ρυθμό μετάδοσης που τους προσφέρει η φεμτοκυψέλη και δεν επιβαρύνεται η σύνδεσή τους από την εξυπηρέτηση κίνησης αγνώστων. Η κλειστή πρόσβαση είναι κυρίως επιθυμητή σε κατοικίες ή μικρές επιχειρήσεις καθώς τους δίνεται

πλήρης έλεγχος επί της ιδιοκτησίας τους, διότι οι χρήστες θεωρούν άδικο να έχουν όλοι οι χρήστες που περνούν κοντά στο κτίριο του πελάτη το δικαίωμα να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες των φεμτοκυψελών, ενώ μόνο ο ιδιοκτήτης της φεμτοκυψέλης να επιβαρύνεται οικονομικά [13]. Προφανώς η λίστα των συνδρομητών μιας φεμτοκυψέλης καθορίζεται από τον κάτοχό της και μόνο, πράγμα που συμβάλει στην ασφάλεια και την ιδιωτικότητα των χρηστών της. Το πρόβλημα που δημιουργείται σε αυτή τη πολιτική πρόσβασης είναι οι μη συνδρομητές οι οποίοι πλησιάζουν ή ακόμα και εισέρχονται στην ακτίνα μιας φεμτοκυψέλης. Εφόσον δεν ανήκουν στο CSG της, συνεχίζουν να εκπέμπουν στον αρχικό σταθμό τους, δημιουργώντας πολλές φορές υπερβολικά υψηλή παρεμβολή στους χρήστες της φεμτοκυψέλης (στη ζεύξη ανόδου). Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 5.3 απεικονίζονται δύο περιπτώσεις χρηστών (ζεύξη ανόδου και ζεύξη καθόδου αντίστοιχα) στους οποίους οι παρεμβολές είναι αρκετά ισχυρές με αποτέλεσμα να καθιστούν αδύνατη την κάλυψη τους από το δίκτυο (οι περιοχές αυτές στις οποίες δεν έχουμε κάλυψη ονομάζονται νεκρές ζώνες – dead zones). Και στις δύο περιπτώσεις ένας μη συνδρομητής (χρήστης της μακροκυψέλης) βρίσκεται στην περιοχή εμβέλειας μιας φεμτοκυψέλης. Στο σενάριο για την ζεύξη ανόδου (Up Link- UL) έχουμε έναν μακρο-χρήστη ο οποίος εκπέμπει με πολύ υψηλή ισχύ προς τον σταθμό της μακροκυψέλης με αποτέλεσμα να δημιουργεί μεγάλες παρεμβολές σε γειτονικούς συνδρομητές της φεμτοκυψέλης και κατ' επέκταση να μην είναι δυνατή η κάλυψη τους από το δίκτυο, ενώ στο αντίστοιχο σενάριο για την ζεύξη καθόδου (Down Link-DL) ο σταθμός της φεμτοκυψέλης εκπέμπει με μεγαλύτερη ισχύ απ' όση αυτή που φτάνει στον μακρο-χρήστη από τον σταθμό βάσης του με αποτέλεσμα να του δημιουργεί αρκετά μεγάλες παρεμβολές. [40][41][43]



Εικόνα 5.3. Τα σενάρια A και B αποτελούν δύο περιπτώσεις νεκρών ζωνών του δικτύου.

Επιπλέον, με την κλειστή λειτουργία πρόσβασης δεν υπάρχει σημαντική αποσυμφόρηση του φορτίου της μακροκυψέλης. Αυτό έχει ως συνέπεια την οδήγηση σε χαμηλότερο συνολικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων δικτύου σε σχέση με τις άλλες λειτουργίες πρόσβασης. Όμως, με την κλειστή λειτουργία δεν τίθενται θέματα ασφάλειας για τους χρήστες.

2. Ανοιχτή λειτουργία πρόσβασης

Στην ανοιχτή λειτουργία πρόσβασης δίνεται η δυνατότητα χρήσης των πόρων της φεμτοκυψέλης σε όλους τους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι σε μία μακροκυψέλη και εισέρχονται στην περιοχή κάλυψής τους. Σε αυτή τη περίπτωση επιλέγεται εκείνο το δίκτυο με τη πιο δυνατή ισχύ (μακροκυψέλη ή φεμτοκυψέλη), οπότε αποφεύγονται οι παρεμβολές και αυξάνεται η αποδοτικότητα του δικτύου. Η ανοιχτή πρόσβαση των φεμτοκυψελών μπορεί να αναπτυχθεί σε τυχαίες θέσεις μέσα στο σπίτι, όπως και η κλειστή πρόσβαση αν και πάλι μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα λόγω των παρεμβολών με γειτονικές φεμτοκυψέλες. Σε αυτό θα βοηθούσε η αυτοοργάνωση. Αντίθετα, όταν οι αναπτύξεις γίνονται από κάποιον διαχειριστή, υπάρχει η δυνατότητα να περιοριστούν οι παρεμβολές κατά το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του δικτύου με έλεγχο της τοποθεσίας, της ισχύος και των συχνοτήτων που ανατίθενται σε κάθε φεμτοκυψέλη.

Τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης αυτής λοιπόν, είναι οι μειωμένες παρεμβολές αφού ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί σε μια κοντινή πηγή σήματος, ενώ σε αντίθετη περίπτωση ο σταθμός αυτός θα ήταν λόγος σημαντικών παρεμβολών. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει ακόμα στον χρήστη την δυνατότητα να συνδεθεί στη φεμτοκυψέλη με το καλύτερο σήμα, βελτιώνοντας τη συνολική κάλυψη και χωρητικότητα της μακροκυψέλης δικτύου.

Η ανοιχτή λειτουργία πρόσβασης όμως παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι η μείωση της απόδοσης για τον ιδιοκτήτη της φεμτοκυψέλης καθώς μοιράζεται τους πόρους της και με άλλους χρήστες και για το λόγο αυτό εκφράζουν διστακτικότητα στην υιοθέτηση της προσέγγισης αυτής. Επιπλέον, αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των μεταβιβάσεων μεταξύ των κελιών, καθώς ένας χρήστης μπορεί να μετακινείται από μία φεμτοκυψέλη σε μία άλλη ή τη μακροκυψέλη.

Μια ακόμα πρόκληση της ανοιχτής πρόσβασης είναι οι διαδικασίες μεταπομπής. Σε σενάρια χρηστών μεγάλης κινητικότητας, δημιουργούνται πολλές περιπτώσεις όπου χρήστες μεταβαίνουν γρήγορα την περιοχή εμβέλειας της φεμτοκυψέλης την οποία άμεσα εγκαταλείπουν. Ως εκ τούτου, μεγάλος αριθμός αποτυχημένων μεταπομπών δημιουργούνται επιβαρύνοντας το δίκτυο με μάταιη δέσμευση πόρων και αυξημένη σηματοδοσία.

Οι ιδιοκτήτες λοιπόν, των φεμτοκυψελών δεν είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για την ανοιχτή πρόσβαση το ίδιο ποσό με την κλειστή πρόσβαση. Αυτό βέβαια που πρέπει να

σημειωθεί είναι ότι στην ανοιχτή πρόσβαση μειώνεται το φορτίο του μακροκυψελωτού δικτύου κάτι που εξυπηρετεί τους φορείς, καθώς μπορούν να υποστηρίξουν νέους πελάτες. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης που πραγματοποιούνται από διερχόμενους χρήστες, καθώς σε αυτή τη περίπτωση επιτρέπεται σε όλους να συνδεθούν στη φεμτοκυψέλη.

Τα παραπάνω μας οδηγούν στο συμπέρασμα πως η ανοιχτή πρόσβαση είναι μη ελκυστική λύση για χρήστες κατοικιών, αντίθετα μπορούν να ωφεληθούν μεγαλύτερης κλίμακας οντότητες, όπως παρόχους για βελτίωση κάλυψης και χωρητικότητας του δικτύου τους ή μεγάλες εταιρίες όπου επιθυμούν το ίδιο σε μεγάλης έκτασης κτίρια με κινητικούς υπαλλήλους να εξυπηρετούνται από μεγάλο αριθμό φεμτοκυψελών.[43][44]

3. Υβριδική λειτουργία πρόσβασης

Για να απαλυνθούν τα μειονεκτήματα της κλειστής και ανοιχτής πρόσβασης που περιγράφηκαν παραπάνω, δημιουργήθηκε η υβριδική λειτουργία πρόσβασης (Hybrid access femtocells). Η πρόσβαση αυτή προσπαθεί να επιτύχει ένα συμβιβασμό ανάμεσα στην απόδοση των συνδρομητών και στο επίπεδο πρόσβασης που δίνεται σε μη συνδρομητές. Για αυτό το λόγο χρειάζεται να γίνει σωστός συντονισμός στην κατανομή των φεμτοκυψελών ανάμεσα στους συνδρομητές και στους μη συνδρομητές. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό είναι διαθέτοντας ένα περιορισμένο ποσοστό των πόρων σε όλους τους χρήστες είτε είναι συνδρομητές είτε δεν είναι, ενώ τους υπόλοιπους να μπορούν να τους εκμεταλλευτούν μόνο οι συνδρομητές.

Με τη πρόσβαση αυτή δίνεται στους μη συνδρομητές μια ελάχιστη εγγύηση σύνδεσης μέσω της εξυπηρέτησης της φεμτοκυψέλης, απαλλάσσοντας τη μακροκυψέλη από φορτίο κίνησης και τη φεμτοκυψέλη από uplink παρεμβολές. Παράλληλα, διατηρώντας το μερίδιο σε μη συνδρομητές μικρό, η επίδραση στην απόδοση των συνδρομητών είναι μικρή και εύκολα αποζημιώσιμη οικονομικά αν χρειαστεί. Ως εκ τούτου, οι ιδιοκτήτες είναι λιγότερο επιφυλακτικοί απέναντι στην υιοθέτηση αυτού του τύπου πρόσβασης.

Σημαντικό επίσης, πλεονέκτημα της υβριδικής πρόσβασης είναι πως η περιορισμένη πρόσβαση λειτουργεί ιδανικά ως μέσο για την κλήση έκτακτης ανάγκης χωρίς περεταίρω ρυθμίσεις. Αντίθετα, στην κλειστή πρόσβαση η λειτουργία αυτή πρέπει να διευθετηθεί ξεχωριστά. Οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης επιβάλλονται δια νόμου και πρέπει να παρέχονται είτε αυτός που καλεί είναι συνδρομητής σε ένα σταθμό είτε όχι.

Η επιλογή του κατωφλίου για το διαχωρισμό των πόρων της φεμτοκυψέλης μεταξύ συνδρομητών και μη, είναι περίπλοκη διαδικασία αφού η αναζήτηση της χρυσής τομής μεταξύ των αντίθετων κινήτρων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την απόσταση των χρηστών, τον αριθμό μη συνδρομητών που συνδέονται ταυτόχρονα, των QoS απαιτήσεων των συνδρομητικών χρηστών, τους μηχανισμούς pricing για κατανομή φάσματος κλπ. Αντίστοιχα, και η επιλογή για τη σειρά αποδοχής των μη συνδρομητών και του χρονοπρογραμματισμού τους είναι στα πλαίσια των παραμέτρων που πρέπει να

καθοριστούν στα πλαίσια της υβριδικής λειτουργίας. Παράλληλα, το σύστημα παρουσιάζει μειωμένη φασματική απόδοση αν είναι στατικό, δηλαδή αν το κατώφλι διαχωρισμού πόρων μένει πάντα το ίδιο. Αυτό εξασφαλίζει πάντα σε μη συνδρομητές μια ελάχιστη σύνδεση αλλά μεταφράζεται και σε μη χρησιμοποιούμενο φάσμα σε ενδεχόμενο απουσίας τέτοιων χρηστών από την εμβέλεια της φεμτοκυψέλης. Αντίθετα η δυναμική προσέγγιση είτε σε μικρή κλίμακα με συνεχή προσαρμογή, είτε σε μεγάλη χρονική κλίμακα όπως για παράδειγμα η μεγαλύτερη κατανομή σε μη συνδρομητές τις εργάσιμες ώρες, σε φεμτοκυψέλες κατοικιών προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα με μόνο μειονέκτημα την επιβάρυνση σε υπολογισμούς και σηματοδοσία.[42][45]

5.2 Σύγκριση των λειτουργιών πρόσβασης των φεμτοκυψελών

Αρχικά, γίνεται μία σύνοψη των όσων αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα για τις λειτουργίες κλειστής και ανοιχτής πρόσβασης, κάνοντας μία σύγκριση αυτών των δύο.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν για την κλειστή λειτουργία πρόσβασης είναι ότι υπάρχουν μεγαλύτερες παρεμβολές, χαμηλότερο throughput και εξυπηρέτηση μόνο συνδρομητών αποκλείοντας την πρόσβαση σε μη συνδρομητές.

Για την ανοιχτή λειτουργία πρόσβασης προκύπτει ότι επιτρέπονται περισσότερες μετακινήσεις από ένα δίκτυο σε ένα άλλο (φεμτοκυψέλη- φεμτοκυψέλη ή φεμτοκυψέλη- μακροκυψέλη), υπάρχει υψηλότερο throughput και καλύτερη εξυπηρέτηση όλων των χρηστών είτε είναι συνδρομητές είτε όχι. Καταλήγοντας, η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέγεται κυρίως από μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις, αλλά υπάρχουν ακόμα αρκετά τεχνικά θέματα τα οποία χρειάζεται να διερευνηθούν, όπως το σήμα του δικτύου και θέματα ασφάλειας.

Συγκρίνοντας λοιπόν, αυτές τις δύο λειτουργίες παρατηρήθηκε, μέσα από μία σειρά προσομοιώσεων σε επίπεδο συστήματος [40][42], ότι η συνολική απόδοση του δικτύου με τη χρήση της ανοιχτής λειτουργίας πρόσβασης ξεπερνά αυτή της κλειστής λειτουργίας. Όσον αφορά τις διακοπές στη σύνδεση των χρηστών με το δίκτυο φαίνεται να συμβαίνουν και στις δύο λειτουργίες, αλλά με μεγαλύτερη ένταση στην κλειστή λειτουργία λόγω των παρεμβολών που υπάρχουν. Για τις υπηρεσίες Voice over IP (VoIP) η διακοπή μπορεί να έχει διάρκεια μέχρι και 200ms. Ομοίως, και στην ανοιχτή λειτουργία πρόσβασης είναι πιθανό να προκληθούν διακοπές λόγω σφάλματος στη μεταβίβαση. Η μεταβίβαση γίνεται κάθε φορά που παρατηρείται μεγαλύτερη ισχύ σε κάποια γειτονική φεμτοκυψέλη από ότι σε εκείνη που εξυπηρετεί ένα τερματικό και η πιθανότητα διακοπής κλήσης είναι 2% [41].

Είναι σημαντικό επίσης, να αναφερθεί ότι αν και τα πλεονεκτήματα της ανοιχτής λειτουργίας πρόσβασης είναι περισσότερα, οι χρήστες δείχνουν μεγαλύτερη προτίμηση στην κλειστή λειτουργία, διότι είναι πιο εύκολος ο καθορισμός του υπεύθυνου για το κόστος και τη συντήρηση της φεμτοκυψέλης, καθώς και για θέματα ασφαλείας.

Στον παρακάτω Πίνακα 5.1 παραθέεται μία σύγκριση ανάμεσα στην κλειστή και ανοιχτή πρόσβαση [15]:

Κλειστή Πρόσβαση (Closed Access)	Ανοιχτή Πρόσβαση (Open Access)
Υψηλότερες παρεμβολές	Περισσότερες διαπομπές
Χαμηλότερη ρυθμαπόδοση συστήματος	Υψηλότερη ρυθμαπόδοση συστήματος
Εξυπηρέτηση μόνο των εσωτερικών χρηστών (indoor users)	Αύξηση χωρητικότητας εξωτερικών χρηστών (increased outdoor capacity)
Home Market	SMEs (Small to Medium - sized Enterprises /offices), hotspots
Ευκολότερη τιμολόγηση	Τίθενται θέματα ασφαλείας

Πίνακας 5.1: Σύγκριση Κλειστής και Ανοιχτής Λειτουργίας Πρόσβασης Φεμτοκυψελών.

Από τη σύγκριση, λοιπόν, που έγινε συμπεραίνεται ότι το ιδανικό είναι να υπάρχει μία λειτουργία πρόσβασης που να συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο αυτών προσβάσεων, κλειστής και ανοιχτής, ένα είδος υβριδικής λειτουργίας.

Η υβριδική λειτουργία πρόσβασης αποτελεί την καλύτερη επιλογή των παρόχων, διότι:

- Εξασφαλίζεται κάθε στιγμή η εξυπηρέτηση των εγγεγραμμένων χρηστών.
- Μειώνεται ο αριθμός των χρηστών που υποφέρουν από απώλεια σύνδεσης.
- Μειώνεται το φορτίο στην φεμτοκυψέλη (και στο backhaul της) καθώς δεν επιτρέπει απεριόριστο αριθμό ατόμων να συνδεθούν στο σταθμό της (αντίθετα με την πολιτική ανοικτού τύπου).
- Συντελείται αποσυμφόρηση του φορτίου της μακροκυψέλης αφού οι χρήστες που προκαλούν ισχυρή παρεμβολή κάνουν διαπομπή στον σταθμό της φεμτοκυψέλης.

5.3 Σύγκριση τρόπων λειτουργίας από τη βιβλιογραφία

Στη συνέχεια αναλύονται έρευνες από τη βιβλιογραφία με θέμα τις λειτουργίες πρόσβασης των φεμτοκυψελών και καταγράφονται τα συμπεράσματα αυτών.

Οι φεμτοκυψέλες, όπως ήδη αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, παίζουν όλο και σημαντικότερο ρόλο στην κάλυψη και την ικανότητα των κυψελοειδών δικτύων. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα κυψελοειδή συστήματα, οι φεμτοκυψέλες αναπτύσσονται και ελέγχονται από τον τελικό χρήστη, εντοπίζονται τυχαία και βασίζονται σε τρίτου μέρους backhaul (π.χ. DSL ή καλωδιακό μόντεμ). Τα δίκτυα των φεμτοκυψελών μπορούν να είναι είτε ανοικτής ή κλειστής πρόσβασης. Η ανοικτή πρόσβαση επιτρέπει σε έναν αυθαίρετο κυτταρικό χρήστη κοντά να χρησιμοποιεί τη φεμτοκυψέλη, ενώ η κλειστή πρόσβαση περιορίζει τη χρήση της φεμτοκυψέλης σε χρήστες που έχουν εγκριθεί ρητά από τον ιδιοκτήτη.

Φαινομενικά, ο διαχειριστής του δικτύου (ο πάροχος) θα προτιμήσει την ανάπτυξη ανοικτής πρόσβασης, καθώς αυτή παρέχει έναν φθηνό τρόπο επέκτασης των δυνατοτήτων του δικτύου, ενώ ο ιδιοκτήτης της φεμτοκυψέλης θα προτιμήσει την κλειστή πρόσβαση, προκειμένου να διατηρηθεί η χωρητικότητα της φεμτοκυψέλης και το backhaul στον εαυτό του.

Στο [46] αποδεικνύεται ότι η πραγματικότητα είναι πιο περίπλοκη και για τα δύο είδη προσβάσεων, και ότι η καλύτερη προσέγγιση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το αν το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης είναι ορθογώνιο (TDMA ή OFDMA, ανά υποζώνη) ή μη ορθογώνιο (CDMA). Σε ένα δίκτυο TDMA / OFDMA, η κλειστή πρόσβαση τυπικά προτιμάται σε υψηλές πυκνότητες χρηστών, ενώ στο CDMA, η ανοικτή πρόσβαση μπορεί να προσφέρει κέρδη άνω του 200% για τον οικιακό χρήστη, μειώνοντας το πρόβλημα του κοντά-μακριά που αντιμετωπίζει η φεμτοκυψέλη. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δείχνουν ότι τα ενδιαφέροντα του ιδιοκτήτη της φεμτοκυψέλης και του διαχειριστή του δικτύου είναι πιο συμβατά από ό,τι γενικά πιστεύει ο περισσότερος κόσμος και ότι οι CDMA φεμτοκυψέλες θα πρέπει να αναγνωρίζονται για ανοικτή πρόσβαση ενώ οι φεμτοκυψέλες OFDMA ή TDMA θα πρέπει να προσαρμόζονται στην κυτταρική πυκνότητα χρήστη.

Στο [45] αναφέρεται ότι η χρήση του μοντέλου υβριδικής πρόσβασης στις φεμτοκυψέλες εξυπηρετεί μη-εγγεγραμμένους χρήστες επιτρέποντάς τους πρόσβαση σε ένα μέρος του φάσματος. Γενικά, σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μια κατανομημένη διαδικασία που ακολουθεί το μοντέλο της υβριδικής πρόσβασης και το αποτέλεσμα είναι σε γενικές γραμμές θετικό. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την πρόσβαση και των δύο τύπων χρηστών στο φάσμα, μειώνοντας παράλληλα την επίδραση στο υπόλοιπο δίκτυο. Επίσης, στο [47], επιβεβαιώνεται ότι το μοντέλο της υβριδικής λειτουργίας μπορεί να προσφέρει μια ισορροπημένη λύση, χωρίς να επηρεάζει συνολικά τη συνολική απόδοση λειτουργίας του δικτύου.

Στο [48] περιγράφονται οι λειτουργίες πρόσβασης των φεμτοκυψελών και γίνεται μία ανάλυση των μοντέλων CDMA και OFDMA με υβριδική λειτουργία πρόσβασης. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η υβριδική πρόσβαση σε δίκτυα μακροκυψέλης και φεμτοκυψέλης δύο επιπέδων θεωρείται ως ο πλέον ιδανικός μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης για την ενίσχυση της συνολικής απόδοσης του δικτύου.

Επίσης στο [49] διερευνάται η ανοικτή έναντι της κλειστής πρόσβασης στην ανερχόμενη ζεύξη των δικτύων φεμτοκυψελών, για τη περίπτωση των πρωτοκόλλων ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης όπως TDMA ή OFDMA. Η ανοικτή πρόσβαση μειώνει τις παρεμβολές κοντά στο σταθμό βάσης και προσφέρει έναν φθηνό τρόπο επέκτασης της χωρητικότητας του δικτύου του φορέα εκμετάλλευσης. Επιπλέον, με ένα ανώτατο όριο για το ποσό των πόρων που διατίθενται στους κυτταρικούς χρήστες, η ανοικτή πρόσβαση εξασφαλίζει ότι ο ιδιοκτήτης της φεμτοκυψέλης εξακολουθεί να μονοπωλεί ένα μεγάλο μέρος της χωρητικότητας της και του backhaul. Φαινομενικά η ανοικτή πρόσβαση είναι η κατάλληλη προσέγγιση και για τα δύο μέρη. Η έρευνα όμως δείχνει μαθηματικά και μέσω προσομοιώσεων ότι η πραγματικότητα είναι πιο περίπλοκη

και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κυτταρική πυκνότητα των χρηστών: για παράδειγμα, η κλειστή πρόσβαση είναι συνήθως προτιμότερη σε υψηλές πυκνότητες χρηστών σε ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας υποδηλώνουν ότι οι φεμτοκυψέλες OFDMA ή TDMA θα πρέπει να προσαρμόσουν τον μηχανισμό πρόσβασής τους στη μέση κυτταρική πυκνότητα των χρηστών, η οποία αλλάζει αργά.

Οι φεμτοκυψέλες αναλαμβάνουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο για τη βελτίωση της κάλυψης και της χωρητικότητας των κυψελοειδών δικτύων. Όπως ήδη αναφέρθηκε από τις τρεις λειτουργίες πρόσβασης που υπάρχουν, η υβριδική είναι ένας συνδυασμός των άλλων δύο οπότε θεωρείται ως η πλέον αποδοτική τόσο για τους παρόχους όσο και για τους πελάτες. Σε λειτουργία υβριδικής πρόσβασης, μια φεμτοκυψέλη δίνει προτεραιότητα σε διαφορετικούς τύπους χρηστών και οι χρήστες προτιμούν πάντα να επιλέγουν τη φεμτοκυψέλη με την καλύτερη ποιότητα σήματος για καλύτερη εξυπηρέτηση και εξοικονόμηση ενέργειας, δημιουργώντας μια μοναδική αμοιβαία προτίμηση. Στο [50] διαμορφώνεται ένα πρόβλημα αμοιβαίας εισαγωγής επιλογών για τις υβριδικές φεμτοκυψέλες και τους χρήστες, με στόχο την εξεύρεση σταθερής αντιστοιχίας, όπου τόσο η προτίμηση των φεμτοκυψελών όσο και των χρηστών ικανοποιούνται υπό περιορισμό χωρητικότητας backhaul. Προτείνεται ένας ευρετικός αλγόριθμος, ο οποίος μπορεί πάντα να βρίσκει μια αντιστοιχία διαφορετικών επιπέδων σταθερότητας.

Ο μηχανισμός υβριδικής λειτουργίας για πολλαπλά κανάλια επιτρέπει ορθογώνια σχήματα πρόσβασης στο φάσμα. Στο [42] χρησιμοποιώντας στοχαστική γεωμετρία ως τεχνικό εργαλείο μοντελοποιείται η κατανομή των φεμτοκυψελών ως Poisson ή Neyman-Scott διαδικασία, εξάγονται οι κατανομές τα σήματα παρεμβολών και ο θόρυβος καθώς και ο μέσος ρυθμός για τους 2 τύπους χρηστών. Σε αυτή την έρευνα πέρα από το γεγονός ότι παρατηρείται μια σύγκρουση μεταξύ των ενδιαφερόντων των 2 τύπων χρηστών, ο ευρύ πεδίο ρύθμισης είναι σχεδόν το ίδιο.

Ενώ οι φεμτοκυψέλες παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα για σχετικούς χρήστες (associated), η προκύπτουσα παρεμβολή στο μακροκυψελικό επίπεδο παραμένει ως ένα σοβαρό πρόβλημα. Όπως αναφέρει και το [47], το μεγάλο πλεονέκτημα της υβριδικής έναντι των άλλων 2 προσβάσεων είναι ότι επιτρέπει και στους 2 τύπους χρηστών να έχουν πρόσβαση στη φεμτοκυψέλη. Σε αυτή την ερευνητική εργασία προτείνεται ένα σχήμα που θέτει το κατάλληλο όριο τιμής (threshold) για να ενδυναμώσει την απόδοση του downlink για το δίκτυο στο σύνολο του. Η τιμή του ορίου καθορίζεται αριθμητικά βάσει της SINR τιμής. Το προτεινόμενο σχήμα παρέχει υψηλή χρηστική απόδοση και χαμηλή παρεμβολή στο υποκείμενο μακροκυψελικό επίπεδο. Με άλλα λόγια η συνολική απόδοση του δικτύου αυξάνεται κι επίσης αποδεικνύεται ότι η βασική αρχή της ανάπτυξης HeNB ικανοποιείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- Συμπεράσματα

6.1 Συμπεράσματα έρευνας

Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τεχνολογία της φεμτοκυψέλης εξυπηρετεί σε μεγάλο βαθμό τις τηλεπικοινωνίες, προσδίδοντας αξιοπιστία στην επικοινωνία. Η φεμτοκυψέλες παρέχουν αυξημένη ταχύτητα μετάδοσης μεγάλου όγκου δεδομένων (για παράδειγμα δεδομένα φωνής, δεδομένα εικόνας, κτλ), καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών και ταυτόχρονα επιτυγχάνουν αποσυμφόρηση του δικτύου της μακροκυψέλης. Λόγω της εύκολης εγκατάστασης, ακόμα και από μη εξειδικευμένους χρήστες, η τεχνολογία της φεμτοκυψέλης καθίσταται προσιτή στο ευρύ κοινό.

Η σύγκλιση που επιτυγχάνεται μεταξύ της σύνδεσης των κινητών τηλεφώνων και υπολογιστών, θα μπορούσε να οδηγήσει σε νέες εφαρμογές [51], που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν ηλεκτρονικές συσκευές μεταδίδοντας πληροφορίες, όπως για παράδειγμα σε νοσοκομεία ή άλλες υπηρεσίες. Επιπλέον θα μπορούσαν μελλοντικά οι επιχειρήσεις, μέσα από συγκεκριμένες εφαρμογές να χρησιμοποιούν μόνο τη φεμτοκυψέλη, παρακάμπτοντας τη δημόσια μακροκυψέλη της εταιρίας κινητής τηλεφωνίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι τρεις λειτουργίες πρόσβασης στις φεμτοκυψέλες: οι κλειστή, ανοιχτή και υβριδική. Αναλύθηκαν τα χαρακτηριστικά της κάθε μίας και στο τέλος πραγματοποιήθηκε μία σύγκριση αυτών. Στη συνέχεια παραθέτονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

Τα πλεονεκτήματα της ανοιχτής πρόσβασης που προκύπτουν από το κεφάλαιο 5 είναι οι μειωμένες παρεμβολές αφού ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί σε μια κοντινή πηγή σήματος, ενώ σε αντίθετη περίπτωση ο σταθμός αυτός θα ήταν λόγος σημαντικών παρεμβολών. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει ακόμα στον χρήστη την δυνατότητα να συνδεθεί στη φεμτοκυψέλη με το καλύτερο σήμα, βελτιώνοντας τη συνολική κάλυψη και χωρητικότητα του μακροκυψελικού δικτύου.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τη μελέτη που έγινε για την ανοιχτή πρόσβαση είναι ότι για τους χρήστες κατοικιών είναι μία μη ελκυστική λύση, ενώ αντίθετα μπορεί να ωφελήσει μεγαλύτερης κλίμακας οντότητες, όπως παρόχους για βελτίωση κάλυψης και χωρητικότητας του δικτύου τους ή μεγάλες εταιρίες όπου επιθυμούν το ίδιο σε μεγάλης έκτασης κτίρια με κινητικούς υπαλλήλους να εξυπηρετούνται από μεγάλο αριθμό φεμτοκυψελών.

Καθώς οι φεμτοκυψέλες αποτελούν συνήθως ιδιωτική περιουσία και η κίνησή τους περνά από τη σύνδεση της οικίας του χρήστη, η κλειστή λειτουργία πρόσβασης είναι αυτή που προτιμάται για χρήση εντός κατοικιών. Εφόσον οι συνδρομητές δε διαμοιράζονται τους πόρους, απολαμβάνουν πάντοτε τη βέλτιστη κάλυψη και ρυθμό μετάδοσης που τους προσφέρει η φεμτοκυψέλη και δεν επιβαρύνεται η σύνδεσή τους από την εξυπηρέτηση κίνησης αγνώστων. Το τελευταίο συμβάλει στην αίσθηση ιδιωτικότητας του χρήστη. Τα παραπάνω φυσικά αξιοποιούνται χρηματικά από τους παρόχους, αφού προφανώς οι κλειστής πρόσβασης φεμτοκυψέλες θα πωλούνται σε μεγαλύτερη τιμή, ενώ δεν δημιουργείται και υποχρέωση οικονομικής αποζημίωσης. Όπως προκύπτει λοιπόν, η κλειστή πρόσβαση είναι κυρίως επιθυμητή σε κατοικίες ή μικρές επιχειρήσεις καθώς τους

δίνεται πλήρης έλεγχος επί της ιδιοκτησίας τους. Πράγματι, έρευνες έχουν δείξει πως οι χρήστες θεωρούν άδικο να έχουν όλοι οι χρήστες που περνούν κοντά στο κτίριο του πελάτη το δικαίωμα να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες των φεμτοκυψελών, ενώ μόνο ο ιδιοκτήτης της φεμτοκυψέλης να επιβαρύνεται οικονομικά [52].

Το βασικότερο μειονέκτημα του μοντέλου κλειστής πρόσβασης στις φεμτοκυψέλες είναι η χαμηλότερη απόδοση του δικτύου εξαιτίας της παρεμβολής διασταυρούμενων επιπέδων. Ενώ το βασικότερο μειονέκτημα του μοντέλου ανοιχτής πρόσβασης είναι η χαμηλότερη απόδοση του δικτύου εξαιτίας της ύπαρξης χαμηλότερων πελατών. Μειονέκτημα και των δύο αποτελεί ο μεγάλος αριθμός παραδόσεων.

Στην υβριδική πρόσβαση επιδιώκεται ένας εκατέρωθεν συμβιβασμός ώστε να απαλυνθούν τα μειονεκτήματα της ανοιχτής και κλειστής πρόσβασης που περιγράφηκαν παραπάνω. Η προσέγγιση προσπαθεί να σεβαστεί τον ιδιοκτήτη της φεμτοκυψέλης που έχει πληρώσει και για αυτή, αλλά και για την ευρυζωνική σύνδεση με το Διαδίκτυο την οποία χρησιμοποιεί η φεμτοκυψέλη.

Σε αντίθεση με την κλειστή και την ανοιχτή πρόσβαση, όπου ο τρόπος πρόσβασης είναι σαφώς καθορισμένος, η υβριδική πρόσβαση προσφέρει ένα πλήρες φάσμα αλγορίθμων που μπορούν να οριστούν για να ελέγξουν ποιος έχει πρόσβαση στη φεμτοκυψέλη και πώς έχει ρυθμιστεί η σύνδεση. Μια τέτοια προσέγγιση υιοθετεί τα πλεονεκτήματα και των δυο (κλειστή και ανοιχτή πρόσβαση) με αποτέλεσμα η χρήση των φεμτοκυψελών να είναι καλύτερη και για τους συνδρομητές αλλά και για τους μη συνδρομητές. Παρόλα αυτά, εξακολουθεί να απαιτείται έρευνα για να βρεθούν προσεγγίσεις υβριδικής πρόσβασης που να είναι καλά προσαρμοσμένες στα διάφορα σενάρια ανάπτυξης.

Καταλήγοντας, λοιπόν, το συμπέρασμα που προκύπτει από την έρευνα είναι ότι η υβριδική λειτουργία πρόσβασης των φεμτοκυψελών είναι προτιμότερη από την κλειστή και ανοιχτή πρόσβαση. Αποτελεί την καλύτερη επιλογή των χρηστών, διότι εξασφαλίζεται κάθε στιγμή η εξυπηρέτηση των εγγεγραμμένων χρηστών, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο αριθμός των χρηστών που υποφέρουν από απώλεια σύνδεσης. Επίσης, είναι η καλύτερη επιλογή και για τους παρόχους, αφού μειώνεται το φορτίο στη φεμτοκυψέλη καθώς δεν επιτρέπει απεριόριστο αριθμό ατόμων να συνδεθούν στους σταθμούς της, ενώ παράλληλα συντελείται αποσυμφόρηση του φορτίου της μακροκυψέλης, εφόσον οι χρήστες που προκαλούν ισχυρή παρεμβολή κάνουν διαπομπή στο σταθμό της φεμτοκυψέλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7- Μελλοντικές έρευνες

7.1 Μελλοντικές έρευνες

Οι κατευθύνσεις στις οποίες κάποιος απαιτείται να πραγματοποιήσει περαιτέρω έρευνα, βασιζόμενος στην παρούσα εργασία, είναι οι ακόλουθες:

- Είναι σημαντική η μελέτη ζεύξης καθόδου και ανόδου με τις τρεις προσβάσεις των φεμτοκυψελών, υιοθετώντας κατάλληλες συναρτήσεις χρησιμότητας (utility functions) και η παρατήρηση των αποτελεσμάτων για τις 2 αυτές οι περιπτώσεις.
- Η κινητικότητα χρηστών η οποία καθορίζει πως ένας αλγόριθμος ελέγχου ισχύος σε δίκτυο δύο επιπέδων μπορεί να πραγματοποιηθεί, δεδομένου ότι οι χρήστες του δικτύου αλλάζουν συνέχεια θέση ή ακόμα και σταθμό εκπομπής (από κάποιο FAP στον MBS και αντίστροφα). Επίσης, η κινητικότητα χρηστών συνδέεται άμεσα με τα θέματα διαπομπών.
- Τα είδη πρόσβασης στις φεμτοκυψέλες εμφανίζουν πλεονεκτήματα για κάποιες περιπτώσεις και παράλληλα μειονεκτήματα για κάποιες άλλες. Αυτό σημαίνει ότι θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η περαιτέρω μελέτη των περιπτώσεων για τις οποίες είναι κατάλληλη η κάθε πρόσβαση και η εύρεση της ιδανικής, ίσως άλλου τύπου, πρόσβασης, η οποία θα αποτελεί την πιο ισορροπημένη λύση όσον αφορά στην παρεμβολή και απόδοση του συστήματος.
- Η συμπεριφορά της απόδοσης εξαρτάται επίσης από την επιλογή του τύπου πολιτικής ανάθεσης φάσματος στις φεμτοκυψέλες (πολιτική διαμοιρασμού καναλιών). Θα μπορούσε λοιπόν, να γίνει αλλαγή της πολιτικής ανάθεσης φάσματος και να προκύψουν καινούρια αποτελέσματα.
- Είναι σημαντική η μελέτη ενός συστήματος όταν ο αριθμός των φεμτο-χρηστών αυξάνεται και όταν επίσης υπάρχει διαφορετική αναλογία ως προς την ζήτηση υπηρεσιών. Σε συνδυασμό μάλιστα με μια πολιτική πρόσβασης υβριδικού τύπου, θα μπορούσε να εξεταστεί ο αριθμός των παραπάνω χρηστών που μπορεί να υποστηρίξει μια φεμτοκυψέλη, δεδομένου ότι αυτοί λαμβάνουν ικανοποιητικό QoS.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] North American ARPU growth outpaces the world: A look at wireless forecast drivers, Yankee Group, March 2006. Fox, E.
- [2] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, "Femtocell Networks: A Survey", IEEE Communications Magazine, September 2008
- [3] 3GPP TR 36.922 V9.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis (Release 9)," 3rd Generation Partnership Project, Tech. Rep., 2010.
- [4] "Femtocell Market Status-Infoma" Issue.9, December 2011.
- [5] E. Farag, M. Saleh, N. Elnady and M. Elmasry, "Structure and Network Control of Hierarchical Mobile Network Architecture," in *IEEE Fourteenth Annual International Phoenix Conference on Computers and Communications*, 1995.
- [6] "Microcell/Macrocell Selection Scheme Based on a New Velocity Estimation in Multitier Cellular System", Young Uk Chung, Dong Jun Lee and Dong Ho Cho, IEEE Trans Veh. Technol., vol. 51, pp. 893-903, Sep. 2002.
- [7] "A microcell/macrocell cellular architecture for low- and high-mobility wireless users", C. L. I, L. J. Greenstein, and R. Gitlin, IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 11, pp. 885–891, 1993.
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Microcell>
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Macrocell>
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/Picocell>
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>
- [12] "Femtocell Market Status-Infoma" Issue.9, December 2011.
- [13] S. Carlaw, "IPR and The Potential Effect on Femtocell Markets," *FemtoCells Europe*, London, UK, June 2008.
- [14] 'Femtoforum,' <http://www.femtoforum.org>.
- [15] 3GPP TR 36.922 V9.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis (Release 9)," 3rd Generation Partnership Project, Tech. Rep., 2010.
- [16] <http://www.thinksmallcell.com/FAQs/femtocell-history.html>

- [17] M. Simsek, T. Akbudak, B. Zhao, and A. Czylik, “An lte-femtocell dynamic system level simulator,” in *Smart Antennas (WSA), 2010 International ITG Workshop on*, feb. 2010, pp. 66–71.
- [18] G.Roche, A. Valcarce, D. Lopez - Perez, J. Zhang, "Access Control Mechanisms for Femtocells", University of Bedfordshire
- [19] J. Zhang et al., *Femtocells: Technologies and Deployment*, Wiley, 2010.
- [20] R.Y. Kim, Jin Sam Kwak, and K. Etemad, “WiMAX femtocell: requirements, challenges, and solutions,” *IEEE Communications Magazine*, vol.47, no.9, pp.84-91, September 2009.
- [21] V.Chandrasekhar, J. G. Andrews, “Femtocell Networks: A Survey”, *IEEE Communications Magazine*, September 2008.
- [22] Abdulrahman Alkandari, Mohammad A. Ahmad, “Interference Management in Femtocells”, *Journal of Advanced Computer Science and Technology Research*, March 2012.
- [23] Αγάπη Ι. Μεσοδιακάκη, “Service-oriented utility-based uplink power control in two-tier femtocells networks”, June 2011.
- [24] 3GPP TS 22.220 v. 9.0.0, Mar 2009
- [25] A. Saleh, A. Rustako, and R. Roman, “Distributed Antennas for Indoor Radio Communications,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 35, no. 12, Dec. 1987, pp. 1245–51.
- [26] Analysys, “Picocells and Femtocells: Will Indoor Base- Stations Transform the Telecoms Industry?” [http:// research.analysys.com](http://research.analysys.com)
- [27] V. Chandrasekhar and J. Andrews, “Uplink Capacity and Interference Avoidance in Two-Tier Femtocell Networks,” to appear, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, <http://arxiv.org/abs/cs.NI/0702132>
- [28] <http://en.wikipedia.org/wiki/IPsec>
- [29] K. L. Yeung and S. Nanda, “Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems,” *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 45, no. 4, Nov 2006, pp. 601–12.
- [30] Picochip, “The Case For Home Base Stations,” White Paper, Apr. 2007.
- [31] L. T. W. Ho and H. Claussen, “Effects of User-Deployed, Co-Channel Femtocells on the Call Drop Probability in a Residential Scenario,” *18th Annual IEEE Int’l. Symp. Personal, Indoor and Mobile Commun.*, Sept. 2007, pp. 1–5.
- [32] Femto Forum Summary Report: Interference Management in UMTS Femtocells, February 2010.

- [33] LTE - an introduction, Ericsson. 2009.
- [34] <http://www.adslgr.com/forum/showthread.php?t=553833>
- [35] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, and P. Beming, 3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband, Elsevier, 2007
- [36] “Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview”, Motorola. 03-07-2010
- [37] Bouras, Christos, et al. "A simulation framework for LTE-A systems with femtocell overlays." *Proceedings of the 7th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks*. ACM, 2012.
- [38] LTE – An End-to-End Description of Network Architecture and Elements. 3GPP LTE Encyclopedia. 2009.
- [39] 1.3.2 Key requirements of LTE από το βιβλίο Fundamentals of LTE του Arunabha Ghosh, Jun Zhang Jeffrey G.Andrews,Rias Muhamed.
- [40] Valcarce et al., "Applying FDTD to the Coverage Prediction of WiMAX Femtocells", EURASIP J. Wireless Commun. Net., Feb. 2009
- [41] Lopez-Perez, David, et al. "Access methods to WiMAX femtocells: A downlink system-level case study." *Communication Systems, 2008. ICCS 2008. 11th IEEE Singapore International Conference on*. IEEE, 2008.
- [42] Y. Zhong and W. Zhang, “Multi-channel hybrid access femtocells: A stochastic geometric analysis,” *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 61, no. 7, pp. 3016–3026, 2013.
- [43] Tarasak, Poramate, Tony QS Quek, and Francois Chin. "Closed access OFDMA femtocells under timing misalignment." *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE*. IEEE, 2010.
- [44] Jo, Han-Shin, Ping Xia, and Jeffrey G. Andrews. "Open, closed, and shared access femtocells in the downlink." *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2012.1 (2012): 363.
- [45] Bouras, Christos, et al. "Femtocells coordination in future hybrid access deployments." *Wireless Communications Systems (ISWCS), 2014 11th International Symposium on*. IEEE, 2014.
- [46] Xia, Ping, Vikram Chandrasekhar, and Jeffrey G. Andrews. "Open vs. closed access femtocells in the uplink." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 9.12 (2010): 3798-3809.
- [47] K.-T. Cho and B. H. Ryu, “Partitioning resource priority regions for hybrid access mode femtocells,” 2012 IEEE 23rd International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2012, pp. 625–630.

- [48] Chen, Yanjiao, et al. "A reverse auction framework for access permission transaction to promote hybrid access in femtocell network." INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE. IEEE, 2012.
- [49] Xia, Ping, Vikram Chandrasekhar, and Jeffrey G. Andrews. "Femtocell access control in the TDMA/OFDMA uplink." Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE. IEEE, 2010.
- [50] Cui, Lin, and Weijia Jia. "A novel mutual-preference-based admission control mechanism for hybrid femtocells system." IEEE Transactions on Vehicular Technology 62.9 (2013): 4555-4564.
- [51] Amirijoo, Mehdi, et al. "Neighbor cell relation list and physical cell identity self-organization in LTE." *Communications Workshops, 2008. ICC Workshops' 08. IEEE International Conference on*. IEEE, 2008.
- [52] S. Carlaw, 'Ipr and the potential effect on femtocell markets,' in *FemtoCells Europe*. ABIresearch, 2008.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΑΚΡΩΝΥΜΑ

Ακρόνυμο	<i>Επεξήγηση</i>
1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CSG	Closed Subscriber Group
DSL	Digital Subscriber Line
DL	Down Link
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRA	Evolved UTRA
E-UTRAN	Evolved UTRAN
FAP	Femtocell Access Point
FDD	Frequency Division Duplex
GSM	Global System for Mobile Communications
HeNB	Home eNodeB
HNB	Home NodeB
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
IPsec	Internet Protocol Security
LTE	Long Term Evolution
Mbps	Mega bits per second
MME	Mobility Management Entity
NAS	Non Access Stratum
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDN	Packet Data Network
PGW	PDN Gateway
PHY	Physical
QoS	Quality of Service
SGW	Serving Gateway
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio

TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRA	UTRA Network
UL	Up Link
VoIP	Voice over IP
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

