

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής ΜΔΕ Επιστήμη και  
Τεχνολογία των Υπολογιστών

# Φεμτοκυψέλες και παρεμβολές

---

Εργασία για το μάθημα Αλγοριθμικά Θέματα  
Δικτύων και Τηλεματικής

**Δηλές Γιώργος Α.Μ 818**

Φεβρουάριος 2012



Τα τελευταία χρόνια, η κινητή τηλεφωνία έχει εμφανίσει ραγδαία αύξηση. Είτε πρόκειται για τηλεφωνικές κλήσεις είτε για ανταλλαγή δεδομένων είτε για πλήθος άλλων υπηρεσιών που προσφέρουν, τα κινητά τηλέφωνα έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ολοένα αυξανόμενη απαίτηση εκ μέρους των χρηστών για αδιάλειπτη, ανεξαρτήτως τοποθεσίας, υψηλής ποιότητας παροχή υπηρεσιών [1].

Η επίτευξη των στόχων αυτών, από την πλευρά των διαχειριστών κινητών δικτύων(MNO), μέσω μακροκυψελοειδούς κάλυψης είναι εξαιρετικά αντιοικονομική [2]. Οι διαχειριστές στρέφονται προς τη δημιουργία πολλαπλών μικρών κυψέλων που θα αυξάνουν το διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης τοπικά, διατηρώντας ταυτόχρονα το κόστος της εγκατάστασης και της συντήρησής τους χαμηλά.

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]. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετές τεχνολογικές προκλήσεις που πρέπει να διευθετηθούν, με βασικότερη την παρουσία παρεμβολών που δημιουργούνται με άλλα δίκτυα.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής παρουσιάζονται τα θέματα αυτά αναλυτικά. Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των φεμτοκυψέλων και των χαρακτηριστικών τους, όπως πλεονεκτήματα, αρχιτεκτονική, αρχές λειτουργίας κλπ. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το πρόβλημα των παρεμβολών που προκύπτει από την εγκατάστασή τους. Τέλος το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της εργασίας καθώς και αναφορά στις τρέχουσες και μελλοντικές ερευνητικές τάσεις στο πεδίο αυτό.

## Περιεχόμενα

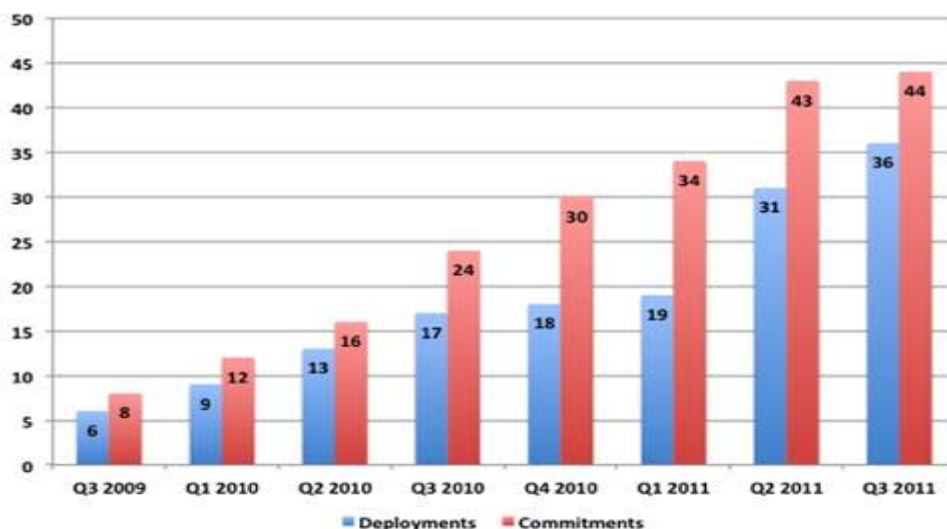
1	Φεμτοκυψέλες .....	1-5
1.1	Πλεονεκτήματα .....	1-5
1.2	Τεχνικά Ζητήματα .....	1-7
1.3	Αρχιτεκτονικές .....	1-8
2	Παρεμβολές.....	2-11
2.1	Κατηγορίες λειτουργίας .....	2-11
2.2	Σενάρια παρεμβολών .....	2-13
3	Συμπεράσματα και προοπτικές.....	3-17
4	Βιβλιογραφία.....	4-18

# 1 Φεμτοκυψέλες

Οι φεμτοκυψέλες (femtocells) ή φέμτο ή HomeNodeB(HNB) είναι χαμηλής ισχύος ασύρματα σημεία πρόσβασης που λειτουργούν σε εξουσιοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων για να συνδέσουν τυπικές κινητές τηλεφωνικές συσκευές[3]. 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 δέκα μέτρων), με δυνατότητα εξυπηρέτησης 3-8 συσκευών για τις οικιακές χρήσεις και έως 16 για τις εταιρικές[4]. 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 (κατοικίες, κτίρια εταιρειών, μετρό, απομονωμένες περιοχές κλπ). Αυτό σημαίνει καλύτερο σήμα και 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 δημοφιλέστερες υπηρεσίες μέσω κινητού, όπως πρόσβαση στο διαδίκτυο, κοινωνική δικτύωση, ροές βίντεο κλπ.

## 1.1 Πλεονεκτήματα

Η αγορά και εξάπλωση των φεμτοκυψέλων αναπτύσσεται ραγδαία. Οχτώ από τις δέκα μεγαλύτερες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας (βάσει εσόδων) τις έχουν συμπεριλάβει στις προσφερόμενες υπηρεσίες τους [4]. Στο παρακάτω γράφημα αναπαρίσταται καθαρά η αυξανόμενη διάδοσή τους.



Εικόνα 1. Διάγραμμα εξάπλωσης χρήσης φεμτοκυψέλων μεταξύ 2009-2011

(Πηγή : Informa Telecoms & Media)

Η προτίμηση αυτή δεν είναι τυχαία. Οι φεμτοκυψέλες παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων που την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή. Κύριο χαρακτηριστικό για την επιβίωση μια τεχνολογίας αποτελεί το κόστος της. Οι φεμτοκυψέλες αποδεικνύονται ιδιαίτερα οικονομική επιλογή. Εναλλακτικές λύσεις για βελτίωση της κάλυψης όπως καταναεμημένα συστήματα κεραιών, μικροκυψέλες και βελτιωμένοι τύποι μακροκυψελών είναι ιδιαίτερα δαπανηρές ενώ επιτυγχάνουν και μικρότερη διεκπεραιωτικότητα (throughput) ανά χρήστη [2][5]. Παράλληλα, οι φεμτοκυψέλες δεν είναι ογκώδεις εγκαταστάσεις με κοστοβόρα συντήρηση υπό την ευθύνη του διαχειριστή, αλλά μικρές συσκευές, πιθανότητα συνδυασμένες με άλλες, όπως DSL δρομολογητές, που είναι υπό την επίβλεψη του χρήστη και με δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης ρυθμίσεων και αναβαθμίσεων.

Σημαντικό χαρακτηριστικό των φεμτοκυψελών είναι η χαμηλή ισχύς τους εξαιτίας της μικρής επιδιωκόμενης εμβέλειάς τους, με αποτέλεσμα να μην προκαλούνται σημαντικά προβλήματα σε άλλα δίκτυα. Παράλληλα, επιτυγχάνεται μεγάλος βαθμός αξιοποίησης του φάσματος συχνοτήτων σε τοπικό επίπεδο, όταν χρησιμοποιούνται ίδιες συχνότητες με αυτές της μακροκυψέλης. Η τελευταία αποσυμφορείται σημαντικά, ως προς την κίνηση και την κατανάλωση ενέργειας, επιτυγχάνοντας παράλληλα αύξηση των επιδόσεων τοπικά. Δηλαδή, η χρήση φεμτοκυψελών αναβαθμίζει συνολικά το δίκτυο ως προς την ισχύ και το φόρτο, παρέχοντας ταυτόχρονα υψηλής ποιότητας υπηρεσίες στους συνδρομητές.

Εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα των φεμτοκυψελών ως προς την ευρεία εφαρμογή και διάδοσή τους είναι και η ομαλότητα που εμφανίζουν στην εφαρμογή τους σε σχέση με την παρούσα κατάσταση. Σε αντίθεση με την παρόμοιου σκοπού τεχνολογία Voice-over-WiFi, όπου απαιτείται συμβατότητα που σπάνια καλύπτεται από τις συσκευές κινητών τηλεφώνων της αγοράς, οι φεμτοκυψέλες μπορούν να λειτουργήσουν άμεσα με την πλειοψηφία των συσκευών που κυκλοφορούν. Πράγματι, οι φεμτοκυψέλες τρίτης γενιάς(3G) είναι συμβατές με κάθε 3G συσκευή, όπως κινητά, tablets, e-books κλπ. Ακόμη, λειτουργούν σε εξουσιοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων δίνοντας τη δυνατότητα στον διαχειριστή να παρέχει υψηλής ποιότητας υπηρεσία. Τέλος, ενώ η χρήση WiFi εξαντλεί γρήγορα την μπαταρία των συσκευών, οι φεμτοκυψέλες την εξοικονομούν [6].

Εδώ αξίζει να αναφερθεί πως εκτός από την αναβάθμιση των ήδη υπάρχοντων υπηρεσιών, οι φεμτοκυψέλες ανοίγουν το δρόμο για νέες, εξελιγμένες υπηρεσίες και εφαρμογές μέσω της κινητής τηλεφωνίας. Ο συνδυασμός του τοπικού χαρακτήρα τους και των υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε εφαρμογές όπως έλεγχος άλλων συσκευών του σπιτιού όπως η τηλεόραση μέσω του κινητού, συγχρονισμός

με τον υπολογιστή με την είσοδο στο σπίτι, αυτόματα SMS όταν αποχωρεί κάποιος από την εταιρεία κ.α. Το αποτέλεσμα αυτών είναι αφενός ο χρήστης να απολαμβάνει καλύτερες και περισσότερες υπηρεσίες, αφετέρου το επιπλέον κόστος της τοποθέτησης φεμτοκυψέλων να επιστρέφεται πολλαπλά στον διαχειριστή με τη μορφή χρεώσεων των υπηρεσιών αυτών.

## **1.2 Τεχνικά Ζητήματα**

Παρά τα πλεονεκτήματα των φεμτοκυψελών που αναφέρθηκαν παραπάνω, η εφαρμογή τους προκαλεί και μια σειρά από ζητήματα που χρήζουν προσοχής και επίλυσης. Το κυριότερο 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 [7]. 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. Το θέμα της παρεμβολής και της αντιμετώπισής της θα περιγραφεί αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

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.

Για τα παραπάνω ζητήματα έχουν προταθεί πολλές λύσεις. Για τη σωστή τοποθέτηση εξομοιωτές μπορεί να λαμβάνουν πληροφορίες από το χρήστη ή από το δίκτυο και να υπολογίζουν τις βέλτιστες ρυθμίσεις της συσκευής. Για παράδειγμα, η εισαγωγή από το χρήστη στοιχείων, όπως αριθμός ορόφου, ενδιάμεσων τοίχων κλπ. θα υπολογίζει την θέση με την μικρότερη παρεμβολή [8]. Πιο δυναμικοί εξομοιωτές μπορούν με βάση τη θέση της εκάστοτε κινητής τηλεφωνικής συσκευής κάθε στιγμή, να αποφασίζουν τη βέλτιστη ρύθμιση ισχύος και τα κατάλληλα κανάλια των σταθμών βάσης φεμτοκυψέλης και μακροκυψέλης [9]. Όσον αφορά την απομακρυσμένη μέριμνα και ενημέρωση των συσκευών, μπορεί να γίνει μέσω ενημέρωσης του λογισμικού τους από το διαδίκτυο με μικρή ή και καθόλου διαμεσολάβηση του χρήστη, ενώ για τη ρύθμιση συχνότητας έχουν προταθεί μέθοδοι όπως GPS timing, NTP(Network Time Protocol) κ.α.

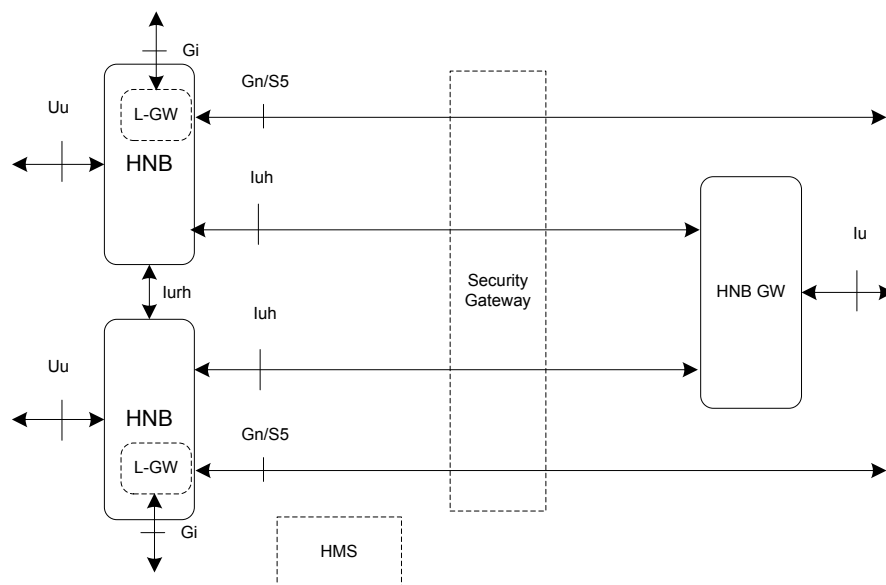
Σημαντική παράμετρος στην ποιότητα υπηρεσίας που παρέχουν οι φεμτοκυψέλες αποτελεί και η αγαστή συνύπαρξη με τον πάροχο της ευρυζωνικής σύνδεσης. Οι

φεμτοκυψέλες θα συνυπάρχουν με άλλες συσκευές που απαιτούν εύρος ζώνης και θα επηρεάζονται αρνητικά από τυχόν προβλήματα στο δίκτυο. Σε τέτοια περίπτωση η κατανόηση των συνδρομητών και ο μη καταλογισμός ευθύνης στον διαχειριστή του κινητού δικτύου κρίνονται σημαντικά.

Τέλος, η χρήση εξουσιοδοτημένου φάσματος καθιστά σημαντικό να γνωρίζει ο διαχειριστής τη θέση κάθε σταθμού βάσης(HNB), για να επιβεβαιώσει την άδεια χρήσης (π.χ. σε άλλη χώρα) αλλά και για να δρομολογήσει κατάλληλα επείγουσες κλήσεις. Οι περισσότερες εταιρείες χρησιμοποιούν GPS αλλά εφόσον οι φεμτοκυψέλες προορίζονται για χρήση σε κλειστούς κυρίως χώρους, η μέθοδος αυτή είναι περιορισμένης δυνατότητας.

### 1.3 Αρχιτεκτονικές

Η γενική αρχιτεκτονική των φεμτοκυψέλων φαίνεται στην Εικόνα 2 παρακάτω.



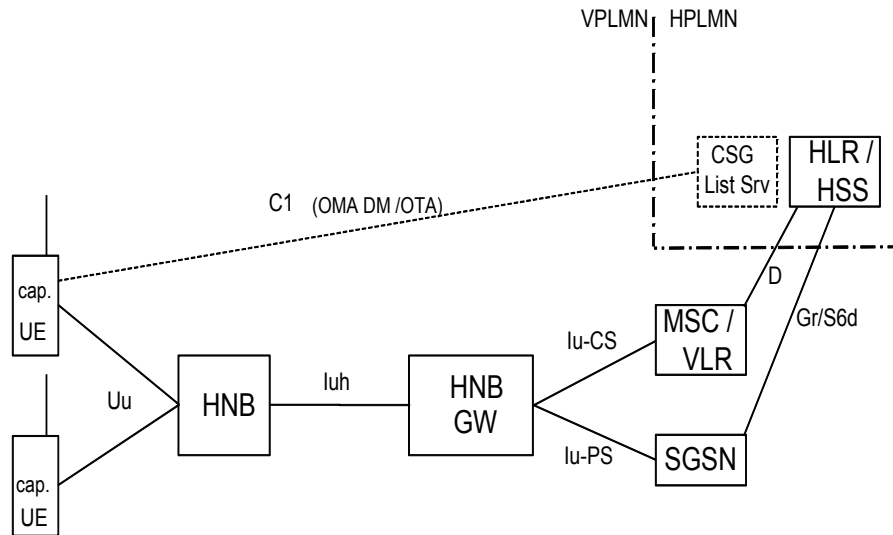
**Εικόνα 2. Λογικό μοντέλο αρχιτεκτονικής δικτύου φεμτοκυψέλων**

(Πηγή : 3rd Generation Partnership Project)

Όπως φαίνεται, οι ξεχωριστοί σταθμοί βάσης HNB συνδέονται με την κοινή πύλη HNB-GW που τους εξυπηρετεί μέσω διασύνδεσης Iuh. Αυτή με τη σειρά της επικοινωνεί με το κεντρικό δίκτυο μέσω Iu διασύνδεσης. Το τελευταίο επιτρέπει στην πύλη να φαίνεται ως RNC(Radio Network Controller) και να ταυτοποιείται μέσω του RNC ID [10]. Η επικοινωνία μεταξύ HNB-GW και HNB διασφαλίζεται από την παρουσία της πύλης ασφαλείας(Security Gateway). Αυτή αποτελεί μια λογική οντότητα που μπορεί να υλοποιηθεί είτε ξεχωριστά είτε να ενσωματωθεί στην HNB-GW. Η Λογική πύλη(L-GW) είναι προαιρετική και, αν υπάρχει, χρησιμοποιείται για την κατάσταση LIPA(Local IP Access). Όπως φαίνεται και από



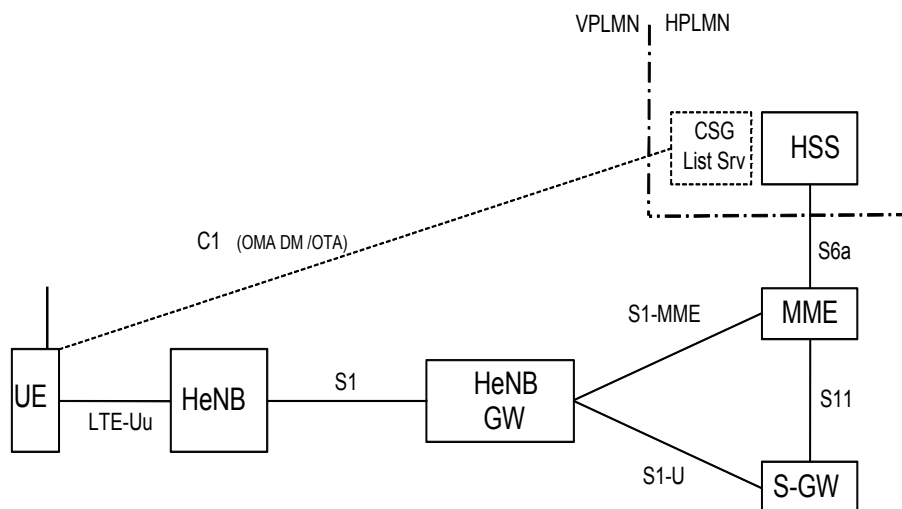
την εικόνα υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των HNB μέσω διασύνδεσης Iuh. Αυτή μπορεί να είναι είτε απευθείας, είτε έμμεση, όπου η πύλη HNB-GW παρέχει την απαραίτητη σηματοδότηση. Οι συσκευές των χρηστών με τη σειρά τους συνδέονται με τους HNB μέσω διασύνδεσης Uu. Μια πιο γενική εικόνα προσφέρει η Εικόνα 3 που φαίνεται παρακάτω. Σημειώνεται πως η σύνδεση C1 (OMA DM/OTA) είναι προαιρετική και χρησιμοποιείται για να ανανεώσει τις λίστες CSG(Close Subscribers Group).



**Εικόνα 3. Αρχιτεκτονική δικτύου φεμτοκυψέλων**

(Πηγή : 3rd Generation Partnership Project)

Η παραπάνω εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την απεικόνιση της αρχιτεκτονικής όταν πρόκειται για HeNB (LTE φεμτοκυψέλες). Η λογική μένει αμετάβλητη και το μόνο που αλλάζει είναι το είδος των διασυνδέσεων, καθώς και η δυνατότητα για κάποιες παραλλαγές[10].



**Εικόνα 4. Αρχιτεκτονική δικτύου LTE φεμτοκυψέλων**

(Πηγή : 3rd Generation Partnership Project)

Οι παραλλαγές αφορούν είτε παράκαμψη της πύλης HNB-GW για τη σύνδεση με την S-GW, είτε την εξολοκλήρου απάλειψή της από το σύστημα. Η πρώτη περίπτωση προτείνεται όταν υπάρχει μικρός αριθμός HeNB, άρα και η συγκέντρωσή τους στην HNB GW έχει μικρότερη σημασία, και η δεύτερη όταν οι HeNB είναι ελάχιστοι και απομονωμένοι οπότε η HeNB-GW χάνει εντελώς την αξία της και απαλείφεται εντελώς.

## 2 Παρεμβολές

### 2.1 Κατηγορίες λειτουργίας

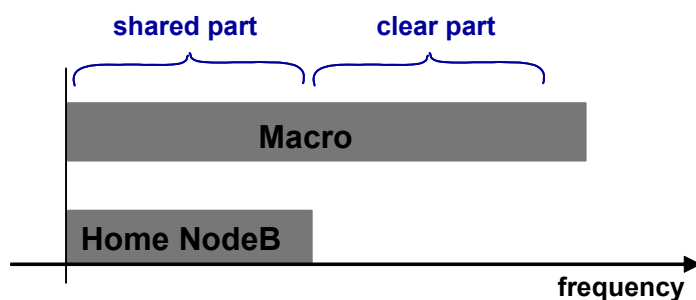
Η εμφάνιση παρεμβολών είναι το μεγαλύτερο ζήτημα που έχει να αντιμετωπίσει η τεχνολογία φεμτοκυψέλων. Οι παρεμβολές μπορεί να αφορούν είτε την αλληλεπίδραση με τις μακροκυψέλες, είτε τις φεμτοκυψέλες μεταξύ τους είτε με άλλα δίκτυα. Σημαντικό ρόλο στην ευαισθησία στις παρεμβολές παίζει και η προσέγγιση που ακολουθείται στην εφαρμογή τους. Συγκεκριμένα, οι φεμτοκυψέλες μπορεί να είναι [11]:

1. ανοιχτής ή κλειστής πρόσβασης. Αυτό σημαίνει ότι είτε μπορεί να συνδεθεί οποιοσδήποτε βρίσκεται εντός εμβέλειας είτε μόνο τα μέλη ενός προκαθορισμένου συνόλου(CSG ή Closed Subscriber Group), όπως τα μέλη μιας οικογένειας. Η πρώτη περίπτωση είναι αρκετά ανθεκτική σε ζητήματα παρεμβολών, αφού ο χρήστης απλά συνδέεται στον σταθμό που προσφέρει το ισχυρότερο σήμα. Πρόβλημα προκύπτει μόνο όταν κινείται με μεγάλη ταχύτητα και δεν προλαβαίνει τις μεταβάσεις στα δίκτυα(τα φέμτο υποστηρίζουν ταχύτητες έως 30km/h) . Αντίθετα στην περίπτωση της κλειστής πρόσβασης, που είναι και η συνηθέστερη, ο συνδρομητής μπορεί να αντιμετωπίσει σημαντικότερα προβλήματα αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση στο σταθμό βάσης της φεμτοκυψέλης και δεν έχει πρόσβαση σε αυτό.
2. Αφιερωμένου ή κοινού καναλιού. Αν θα μοιράζονται ή όχι δηλαδή, κανάλι με κάποιο υπάρχον δίκτυο. Προφανώς η δεύτερη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία, αλλά και την μεγαλύτερη αξιοποίηση του φάσματος συχνοτήτων. Η πρώτη περίπτωση είναι αρκετά ανθεκτική, αν και συνεχίζουν να υπάρχουν μικρές παρεμβολές, ειδικά όταν πρόκειται για όμορα κανάλια. Παρούσες είναι βέβαια και οι παρεμβολές κοινού καναλιού μεταξύ γειτονικών φεμτοκυψέλων.
3. Σταθερής μέγιστης ισχύος εκπομπής ή προσαρμοζόμενης βάσει της κατάστασης των δικτύων. Την σταθερή μέγιστη ισχύ είναι σημαντικό να την ορίσουμε ώστε να «σέβεται» τα άλλα δίκτυα ακόμα και εκεί που το σήμα τους είναι ασθενές(π.χ. στα όρια της εμβέλειας της μακροκυψέλης). Αυτό μειώνει τις παρεμβολές αλλά και τις επιδόσεις του συστήματος αφού οι περιορισμοί εφαρμόζονται χωρίς διακρίσεις. Η δεύτερη μέθοδος αποφασίζει δυναμικά άρα και πιο σωστά, αλλά είναι και περισσότερο περίπλοκη.

Από την επιλογή των παραπάνω χαρακτηριστικών, πέντε είναι οι πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις [11]:

- A. κλειστής πρόσβασης, αφιερωμένου καναλιού, σταθερής ισχύος
- B. κλειστής πρόσβασης, αφιερωμένου καναλιού, προσαρμοζόμενης ισχύος
- Γ. κλειστής πρόσβασης, κοινού καναλιού, προσαρμοζόμενης ισχύος
- Δ. Μερικώς κοινού καναλιού
- E. ανοιχτής πρόσβασης, αφιερωμένου ή κοινού καναλιού

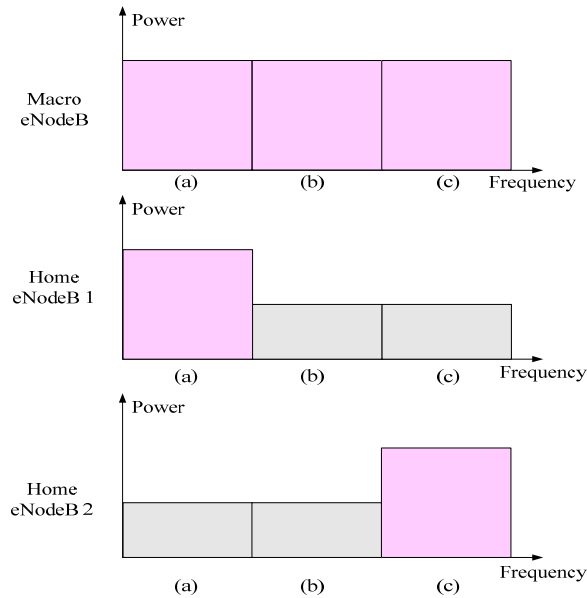
Η μέθοδος μερικώς κοινού καναλιού λειτουργεί περιορίζοντας τις κοινές συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τη φεμτοκυψέλη. Η μακροκυψέλη μπορεί να χρησιμοποιήσει όλες τις συχνότητες του διαθέσιμου φάσματος ενώ ο HNB μόνο ένα μέρος του. Σχηματικά αυτό ξεκαθαρίζει παρακάτω.



**Εικόνα 5. Χρήση φάσματος από μακροκυψέλη(NodeB) και φεμτοκυψέλη(HomeNodeB) στη μέθοδο μερικώς κοινού καναλιού**  
(Πηγή : 3rd Generation Partnership Project)

Σε περίπτωση ανίχνευσης παρεμβολών το δίκτυο μακροκυψέλης απλά μετακινείται σε αποκλειστικές συχνότητες. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ανοιχτής και σε κλειστής πρόσβασης δίκτυα.

Σε ότι αφορά τους HeNB, στις παραπάνω κατηγορίες προστίθεται και η μέθοδος σταθερού ή προσαρμοζόμενου διαμοιρασμού πόρων [12]. Ο διαμοιρασμός μπορεί να αφορά συχνότητα, χρόνο ή χωρικές διαστάσεις. Στην περίπτωση της συχνότητας ανήκουν μηχανισμοί όπως FFR, SFR. Η μέθοδος αναπαρίσταται γραφικά στην Εικόνα 6.



**Εικόνα 6. Χρήση φάσματος από μακροκυστέλη(NodeB) και φεμτοκυστέλες(Home eNodeB) στη μέθοδο σταθερού διαμοιρασμού πόρων(συχνότητας)**  
*(Πηγή : 3rd Generation Partnership Project)*

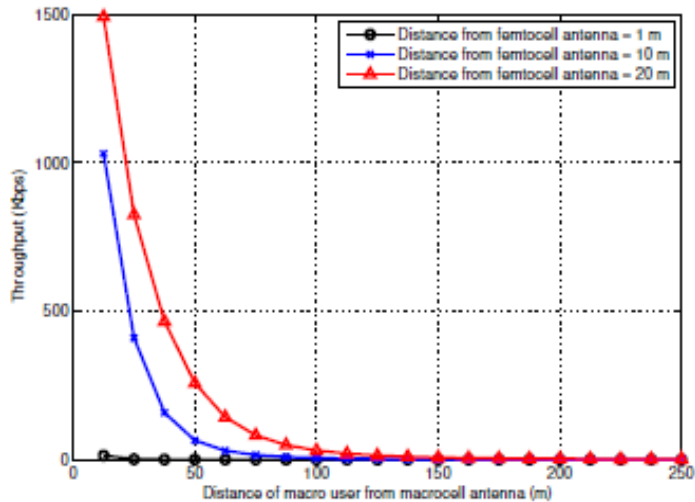
Όπως φαίνεται, η διαφορά από τη μέθοδο μερικώς κοινού καναλιού, είναι πως η πρώτη διαμοιράζει τις συχνότητες τόσο μεταξύ HNB και HeNB, όσο και των HNB μεταξύ τους. Ανάλογα, ο διαμοιρασμός μπορεί να γίνει είτε στη διάσταση του χρόνου(π.χ. μηχανισμός FFS), είτε στη διάσταση του χώρου χρησιμοποιώντας καθοδήγηση των εκπομπών. Οι παραπάνω μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με ρύθμιση της ισχύος για βελτίωση των επιδόσεων [12].

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα πιθανά σενάρια παρεμβολής που μπορεί να εμφανιστούν καθώς και προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

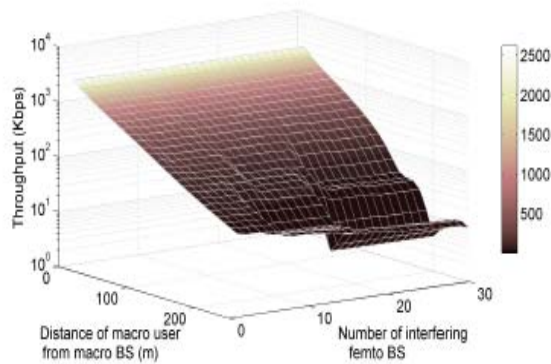
## 2.2 Σενάρια παρεμβολών

Οι παρεμβολές που εμφανίζονται με την παρουσία των φεμτοκυστέλων χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία αφορά τις παρεμβολές που προκαλεί η παρουσία φεμτοκυστέλων ή η σύνδεση συσκευής σε αυτές, στο σήμα της μακροκυστέλης, ειδικά σε περιοχές που βρίσκονται στα όρια της εμβέλειας της τελευταίας και το σήμα είναι ιδιαίτερα ασθενές. Η χειρότερη περίπτωση είναι η περίπτωση κοινού καναλιού και κλειστής πρόσβασης, δημιουργώντας έντονα προβλήματα σε όσους εξυπηρετούνται από τη μακροκυστέλη ενώ βρίσκονται κοντά σε σταθμό βάσης HNB. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά δύο σχετικές περιπτώσεις[13].



(α)



(β)

**Εικόνα 7. Επίδραση στη διεκπεραιωτική ικανότητα της μακροκυψέλης από την παρουσία HNB (α) ως προς την απόσταση από το σταθμό βάσης της για τρεις διαφορετικές αποστάσεις από HNB (β) ως προς την απόσταση από το σταθμό βάσης της και τον αριθμό HNB.**

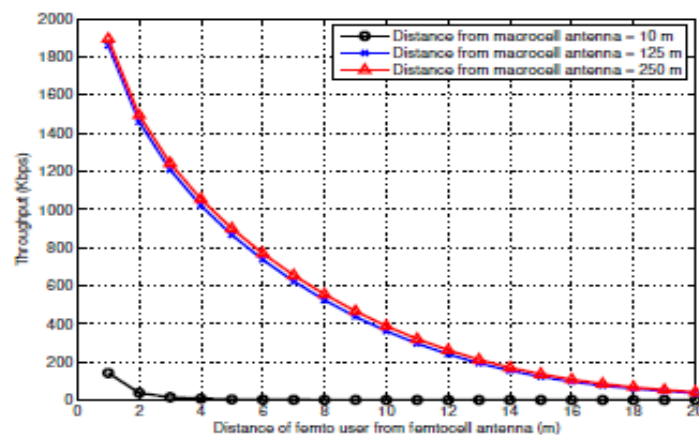
(Πηγή : [13])

Στην Εικόνα 7(α) φαίνεται πως επηρεάζεται η διεκπεραιωτική ικανότητα της μακροκυψέλης σε εσωτερικό χώρο με την παρουσία φεμτοκυψέλης στην ίδια συχνότητα(2 GHz). Στο πείραμα εξομοιώθηκαν οι απώλειες διαδρομής και μετάδοσης (path/ propagation loss), για να υπολογιστεί το SINR(Signal to Interference-plus-Noise Ratio). Οι υπολογισμοί αφορούσαν τρεις διαφορετικές αποστάσεις από το HNB. Η πτώση της διεκπεραιωτικής ικανότητας είναι ξεκάθαρη όσο η εγγύτητα στο HNB και η απόσταση από το σταθμό βάσης της μακροκυψέλης(MBS) μεγαλώνουν, και φτάνει επίπεδα της τάξης του 99%. Αντίστοιχα συμπεράσματα βγαίνουν και από την Εικόνα 7(β) όπου η εξομοίωση αφορά εξωτερικό χώρο [13]. Αξίζει να αναφερθεί πως οι παρεμβολές εμφανίζονται να εξαρτώνται λιγότερο

από τον αριθμό των HNB και περισσότερο με το αν είναι πολύ κοντά σε έναν από αυτούς(απότομες μεταβολές στο γράφημα).

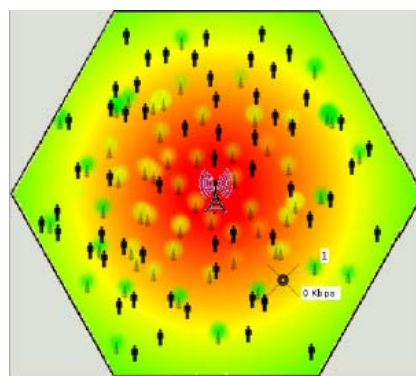
Σε περιπτώσεις που τα προβλήματα που προκύπτουν λόγω παρεμβολών αποδεικνύονται μη αποδεκτά, τότε η μετατροπή σε ανοιχτής πρόσβασης λειτουργία, ο έλεγχος της ισχύος του HNB ανάλογα με τις απαιτήσεις, η ανίχνευση κατάλληλης τοπολογίας και η χρήση άλλων συχνοτήτων είναι οι βασικότεροι τρόποι αντιμετώπισης [11].

Η δεύτερη κατηγορία παρεμβολών αφορά την επίδραση του MBS στην κάλυψη των φεμτοκυψέλων. Λόγω της τοπικής φύσης των τελευταίων είναι αναμενόμενο το πρόβλημα να εμφανίζεται κυρίως σε σημεία πολύ κοντά στο MBS, όπως φαίνεται και από τις Εικόνες 8,9[13][8].



Εικόνα 8. Επίδραση στη διεκπεραιωτική ικανότητα των φεμτοκυψέλων από τη παρουσία MBS ως προς την απόσταση από τους HNB για τρεις διαφορετικές αποστάσεις από MBS

(Πηγή : [13])



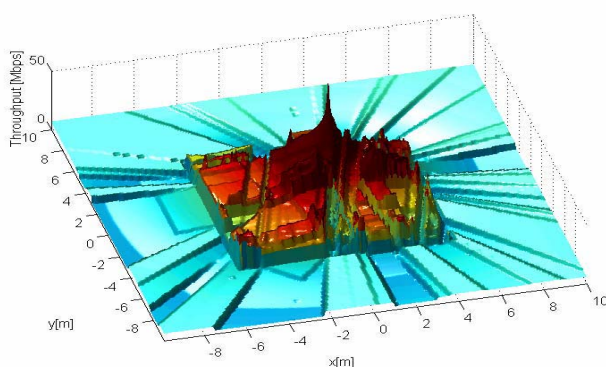
Εικόνα 9

Εικόνα 10. Γραφική απεικόνιση της διεκπεραιωτικής ικανότητας των φεμτοκυψέλων κατά μήκος όλης της μακροκυψέλης

(Πηγή : [8])

Για την εξομοίωση χρησιμοποιήθηκε ίδια μέθοδος με το προηγούμενο παράδειγμα(υπολογισμός απωλειών, SINR), για τρεις διαφορετικές αποστάσεις από το MBS. Η πτώση της διεκπεραιωτικής ικανότητας είναι εμφανής για ιδιαίτερα μικρές αποστάσεις από το MBS (~10 m), και αυξάνεται όσο η απόσταση από το HNB μεγαλώνει, φτάνοντας επίπεδα της τάξης του 97%. Οι τρόποι αντιμετώπισης είναι κοινοί με της προηγούμενης κατηγορίας(ανοιχτή πρόσβαση, άλλη συχνότητα, έλεγχος ισχύος). Ο αντίστροφος χαρακτήρας του ζητήματος πάντως καθιστά αναγκαία την αποδοχή συμβιβαστικών και όχι ολοκληρωτικών λύσεων(ειδικά σε περιπτώσεις κοινού καναλιού, κλειστής πρόσβασης) [11].

Η τρίτη κατηγορία παρεμβολών αφορούν τις παρεμβολές μεταξύ γειτονικών φεμτοκυψέλων. Εκτός από κάποιες περιπτώσεις(όπως η περίπτωση διαμοιρασμού συχνότητας που αναφέρθηκε), οι HNB λειτουργούν στην ίδια συχνότητα, γεγονός που εγκυμονεί προβλήματα. Ο τοπικός χαρακτήρας όμως των φεμτοκυψέλων, και ο μονωτικός ρόλος των εξωτερικών τοίχων, λειτουργούν υπέρ της απομόνωσης μεταξύ γειτονικών HNB, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 11 [5].



**Εικόνα 11. Διεκπεραιωτική ικανότητα φεμτοκυψέλης τοποθετημένη σε εσωτερικό χώρο.**

(Πηγή : [8])

Στην εικόνα γίνεται ξεκάθαρο πως οι εξωτερικοί τοίχοι συμβάλλουν αποφασιστικά στη μείωση της ισχύος έξω από αυτούς, γεγονός που συμβάλλει καθοριστικά στην μείωση παρεμβολών εξωτερικά.

Συνοψίζοντας, μελέτες έχουν δείξει πως οι παρεμβολές στις φεμτοκυψέλες μπορεί να αποτελούν σημαντικό ζήτημα, ειδικά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Το χειρότερο σενάριο συμβαίνει σε λειτουργία κλειστής πρόσβασης και σε ίδιες συχνότητες λειτουργίας φεμτοκυψέλης και μακροκυψέλης, οπότε και προτείνεται η χρήση επιπλέον τεχνικών μείωσης παρεμβολών. Στις περιπτώσεις ανοιχτής πρόσβασης, και σε λειτουργία σε διαφορετικές συχνότητες οι παρεμβολές είναι αμελητέες.



### 3 Συμπεράσματα και προοπτικές

Η τεχνολογία των φεμτοκυψελών αναπτύσσεται και εξαπλώνεται με ταχύτατους ρυθμούς για να ικανοποιήσει την αυξανόμενη ανάγκη για γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης. Στην εφαρμογή της, όμως, εμφανίζονται μια σειρά από ζητήματα που χρήζουν προσοχής, με βασικότερο τη δημιουργία παρεμβολών.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας παρουσιάστηκαν τα βασικά σημεία τεχνολογίας των φεμτοκυψέλων. Περιγράφηκαν η αρχιτεκτονική, τα πλεονεκτήματα και τα χαρακτηριστικά τους, ενώ παρουσιάστηκε εκτενέστερα το θέμα των παρεμβολών με παραδείγματα από την βιβλιογραφία.

Το ερευνητικό ενδιαφέρον στο πεδίο είναι μεγάλο με πληθώρα εργασιών. Εξεύρεση κατάλληλης τοπολογίας και μηχανισμοί FFR(fractional frequency reuse) για μείωση των παρεμβολών, όπως και λειτουργίες για αυτόματη και αυτόνομη ρύθμιση των HNB είναι μερικά παραδείγματα ερευνητικής κινητικότητας. Η τεχνολογία φεμτοκυψέλων θα έχει σίγουρα δυναμική παρουσία και οι εξελίξεις αναμένονται με ενδιαφέρον.

## 4 Βιβλιογραφία

1. *North American ARPU growth outpaces the world: A look at wireless forecast drivers*, Yankee Group, March 2006. Fox, E.
2. H. Claussen, L.T.W. Ho, L.G. Samuel, "Financial Analysis of a Pico cellular Home Network Deployment," to appear in *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC 2007)*, 24–28 June 2007.
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. H. Claussen, "Performance of macro- and co-channel femtocells in a hierarchical cell structure," in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007. PIMRC 2007. IEEE 18th International Symposium sept. 2007*, pp. 1–5.
6. *Wireless in the home & office: the need for both 3G femtocells and Wi-Fi access points*, femto forum, January 2010.
7. *Femto Forum Summary Report: Interference Management in UMTS Femtocells*, February 2010.
8. Antonios Alexiou, Christos Bouras, Vasileios Kokkinos, Konstantinos Kontodimas, Andreas Papazois "Simulation Framework for LTE-A Systems with Femtocell Overlays".
9. 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.
10. 3GPP TS 25.467, "UTRAN architecture for 3G Home NodeB," 3rd Generation Partnership Project, Tech. Rep., 2009.
11. 3GPP TS 25.967, "Home Node B Radio Frequency (RF) Requirements (FDD) (Release 10)," 3rd Generation Partnership Project, Tech. Rep., 2010.
12. 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.
13. *Interference Behavior of Integrated Femto and Macrocell Environments*. Antonios Alexiou, Christos Bouras, Vasileios Kokkinos, Konstantinos Kontodimas, Andreas Papazois.