



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Δίκτυα Φεμτοκυψελών: Επιχειρηματικές Επιλογές και
Διαχείριση Παρεμβολών»**

Συκαράς Δημήτριος
M4090049

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Δίκτυα Φεμτοκυψελών: Επιχειρηματικές Επιλογές και
Διαχείριση Παρεμβολών»**

**Συκαράς Δημήτριος
M4090049**

**Επιβλέπων: Καθηγητής Γεώργιος Κ. Πολύζος
Εξωτερικός Κριτής: Επίκουρος Καθηγητής Γεώργιος
Ξυλωμένος**

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

Ευχαριστίες

Κατ'αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Κ. Πολύζο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την διπλωματική μου εργασία μαζί του σε έναν τομέα πολλά υποσχόμενο για την τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βαγγέλη Δούρο, η διαρκής καθοδήγηση του οποίου ήταν πολύ σημαντική για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract.....	9
1.Εισαγωγή	11
1.1 Γενικά για τις Φεμτοκυψέλες(Femtocells)	11
1.2 Ιστορική Αναδρομή των Femtocells.....	13
1.3 Ειδικά για Femtocell Base Stations	15
1.4 Τυποποίηση Femtocells	17
2. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα (Τεχνικές Προκλήσεις).....	18
2.1 Πλεονεκτήματα	18
2.2 Μειονεκτήματα	19
3.Μελέτη Παρεμβολών Δικτύων Femtocell Base Stations	20
3.1 Θεωρητικά Μοντέλα Υπολογισμών.....	20
3.1.1 Μοντέλα Απώλειας Σήματος	20
3.1.2 Υπολογισμός Data Throughput	22
3.1.3 Παραδοχές.....	23
3.2 Μελέτη Περιπτώσεων Παρεμβολών.....	24
3.2.1 Περίπτωση 1: Παρεμβολές Base Station προς χρήστη Femtocell Mobile Node (FMN)	24
3.2.2 Περίπτωση 2: Παρεμβολές Συσκευής MN προς Femtocell Base Station	28
3.2.3 Περίπτωση 3: Παρεμβολές Femtocell Base Station προς MN	30
3.2.4 Περίπτωση 4: Παρεμβολές Συσκευής FMN προς Base Station	35
3.2.5 Περίπτωση 5: Παρεμβολές Femtocell Base Station προς χρήστη FMN κοντινού Femtocell Base Station	37
3.2.6 Περίπτωση 6: Παρεμβολές Συσκευής FMN προς κοντινό Femtocell Base Station	40

4. Μελέτη Επιχειρηματικών Θεμάτων Femtocell Base Stations	44
4.1 Τρόπος Πωλήσεων από Παρόχους Κινητών Υπηρεσιών	47
4.2 Femtocell Base Stations και Πάροχοι ISP	50
4.3 Πρόταση για την εξέλιξη των Femtocell Base Stations.....	52
4.4 Μελλοντική Εργασία.....	53
Επίλογος.....	54
Τεχνικές Ορολογίες.....	56
Βιβλιογραφία	58

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, έγινε μια μελέτη πάνω στην τεχνολογία των φεμτοκυψελών (femtocells). Τα femtocells είναι μικροί σταθμοί βάσης, χαμηλού κόστους εγκατάστασης και χαμηλής ισχύος που συνδέονται μέσω του ευρυζωνικού δικτύου στην κεντρική υποδομή του παρόχου.

Πρώτα, έγινε μια ιστορική αναδρομή πάνω στην τεχνολογία των femtocells και μια πιο αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας τους και η κατάταξή τους σε σχέση με τα υπόλοιπα small cells. Τα small cells είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος των κυψελών σε μια μητροπολιτική περιοχή, όπου ένα Base Station διαχωρίζεται σε μικρότερες κυψέλες με μειωμένη ισχύ εκπομπής

Στη συνέχεια αναφέρονται τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την υιοθέτησή τους, με πιο σημαντικό την ενίσχυση σήματος για τους εσωτερικούς χώρους που προσφέρουν στους χρήστες τους. Αυτό έχει ως συνέπεια πέρα από τις βελτιωμένες υπηρεσίες φωνής, να μπορούν να προσφερθούν και υπηρεσίες πολυμέσων video και λήψης δεδομένων με υψηλές ταχύτητες. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι και η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται από τις συσκευές του τελικού χρήστη. Όμως, πέρα από τα πλεονεκτήματα, το βασικό μειονέκτημα που χρειάζεται να αντιμετωπιστεί είναι οι παρεμβολές που προκαλούν στο παραδοσιακό δίκτυο macrocells. Τα macrocells είναι σταθμοί βάσης υψηλής ισχύος που έχουν ακτίνα κάλυψης της τάξης των χιλιομέτρων

Μελετήθηκαν έξι σενάρια παρεμβολών που δημιουργούνται με την εφαρμογή των femtocells, κάνοντας υπολογισμούς με βάση ευρέως αποδεκτά τηλεπικοινωνιακά μοντέλα και εξάγοντας δεδομένα για το πώς επηρεάζονται οι υπηρεσίες φωνής και το throughput των κινητών συσκευών που συνδέονται με τα femtocells.

Στο επόμενο μέρος της εργασίας, έγινε μελέτη των femtocells από επιχειρηματικής πλευράς. Αναφέρθηκαν τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν για τις επιχειρήσεις, το επίπεδο των πωλήσεων έως τώρα και πώς αυτό προβλέπεται να εξελιχθεί στο μέλλον και πώς διαχειρίζονται εμπορικά από εταιρείες τηλεπικοινωνιών στην Ευρώπη.

Τέλος, με βάση τα δεδομένα που εξήχθησαν μελετώντας τις παρεμβολές των femtocells, αλλά και τον τρόπο που αυτά προσφέρονται έως τώρα από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους, προτείνεται ένας νέος τρόπος προώθησης των femtocells προς τους συνδρομητές, ώστε να αυξηθεί η διείσδυση των εταιρειών στην αγορά των τηλεπικοινωνιών.

ABSTRACT

In this diploma thesis, a study was conducted on the technology of femtocells. Femtocells are small, low power, low deployment cost base stations that connect to the service provider's network via broadband.

Firstly, femtocells are introduced through a history of their deployment and a more detailed description on their functionality was outlined as well as their relationship to small cells. Small cells is a term used to describe the size of cells in a metropolitan area where a Base Station can be used in smaller cells with reduced output power.

The advantages that femtocells offer to their users are stated, one of which is signal amplification for interior spaces. This can lead to improved voice services, as well as multimedia services and data throughput at a higher speed. An equally important advantage is low power consumption offered to the femtocell users for their mobile devices. However, besides the advantages, one issue that needs to be resolved for the successful deployment of femtocells is the extra interference that they cause to the macrocell network. Macrocell Base Stations are high power base stations that provide coverage for long distances measured in the kilometres.

We have studied six interference scenarios where macrocells and femtocells coexist and share the same portion of the spectrum, using well known telecommunication models. We showed how voice services and data throughput of the femtocell mobile nodes are affected in these scenarios.

In the next part of this thesis, the femtocells were described from the business perspective. The advantages that they offer to the providers were mentioned, as well as the sales levels reached so far and how they are expected to evolve in the future. Finally, we studied how the femtocells are commercially deployed by the telecommunication companies in various countries of Europe.

Finally, by taking into consideration the conclusions from the study of interference of femtocells and the way that they are offered in the market by the telecommunication

companies, a new way of promoting femtocells to the subscribers is introduced, that could help companies increase their market share.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά για τις Φεμτοκυψέλες (Femtocells)

Η τοπολογία και η αρχιτεκτονική των κυψελοειδών δικτύων υφίσταται θεμελιώδεις αλλαγές. Από απλή χρήση φωνής και ανάπτυξης κεντρικών υποδομών για μεγαλύτερη κάλυψη των χρηστών, στη χρήση δεδομένων στις συσκευές και στόχευση στη χωρητικότητα της υπηρεσίας. Οι κύριοι λόγοι για αυτή τη μεταβολή είναι η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για χρήση ασύρματων δεδομένων, η οποία έχει υποστεί ραγδαία αύξηση τα τελευταία πέντε χρόνια και τα νέα χαρακτηριστικά που προστίθενται με τη χρήση νέων προτύπων, όπως το Long Term Evolution (LTE). Η διαρκής ανάπτυξη της τεχνολογίας επιτρέπει την ολοκλήρωση υλικού και λογισμικού σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει ένας σταθμός βάσης με πολύ μικρές διαστάσεις. Για παράδειγμα, το 2010 η παγκόσμια κίνηση μόνο των ασύρματων δεδομένων ξεπέρασε την παγκόσμια κίνηση των ενσύρματων συνδέσεων Διαδικτύου το έτος 2000 [1]. Μέχρι το 2015, σχεδόν 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι αναμένεται να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο αποκλειστικά με τη χρήση ασύρματων συσκευών. Είναι εμφανές, ότι τα παραδοσιακά κυψελοειδή δίκτυα, που έχουν φτάσει στα όριά τους σε πολλές σημαντικές αγορές, δεν μπορούν να συμβαδίσουν με αυτή την αύξηση των δεδομένων με τις δαπανηρές μεθόδους του παρελθόντος, όπως την αύξηση του χρησιμοποιούμενου φάσματος ή με την τοποθέτηση περισσότερων Base Stations. Αυτή η ταχεία αύξηση της χρήσης ασύρματων δεδομένων έχει κάνει πιο ελκυστική την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και κυψελοειδών τοπολογιών που μπορούν να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Μια από τις πιο σημαντικές τάσεις που έχουν προκύψει από τις σημαντικές εξελίξεις στα κυψελοειδή δίκτυα είναι η τεχνολογία των φεμτοκυψελών ή Femtocell Base Stations (FBS) [2]. Τα Femtocell Base Stations είναι μικροί, χαμηλού κόστους εγκατάστασης σταθμοί βάσης και χαμηλής ισχύος που χρησιμοποιούνται κατά βάση από τους καταναλωτές και συνδέονται μέσω του ενσύρματου δικτύου στην κεντρική υποδομή του παρόχου. Έχουν κάποιες ομοιότητες με τα Wi-Fi σημεία πρόσβασης, αλλά χρησιμοποιούν περισσότερα εμπορικά πρότυπα ασύρματης τεχνολογίας και χρησιμοποιούν το αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων. Αρχικά, τα Femtocell Base

Stations προσφέρονταν ως ένα μέσο για την επίτευξη καλύτερης ποιότητας υπηρεσίας φωνής στο σπίτι καθώς πολλοί συνδρομητές διαμαρτύρονταν για χαμηλή ποιότητα σήματος. Αυτή την περίοδο, χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα και ως ένας αποδοτικός τρόπος μείωσης της κίνησης των δεδομένων από το δίκτυο των παραδοσιακών Base Stations. Μέχρι τις αρχές του 2011, περίπου 2,3 εκατομμύρια συσκευές Femtocell Base Stations είχαν ήδη ενεργοποιηθεί παγκοσμίως και αυτός ο αριθμός αναμένεται να φτάσει τις 50 εκατομμύρια συσκευές έως το 2014 [3]. Τα Femtocell Base Stations σε συνδυασμό με το data offload που γίνεται από τις Wi-Fi συσκευές, αναμένεται να καταλαμβάνουν πάνω από το 60% της παγκόσμιας κίνησης δεδομένων έως το 2015 [4].

Στη συνέχεια θα γίνει μια ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας των small cells, και μια τεχνική, αναλυτική περιγραφή της υλοποίησής τους. Η προσθήκη νέας υποδομής ασύρματης τεχνολογίας στο υπάρχον δίκτυο δημιουργεί τεχνικά και επιχειρηματικά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα γίνει μελέτη των παρεμβολών στα δίκτυα των Femtocell Base Stations, αλλά και των επιχειρηματικών εφαρμογών που αυτά μπορούν να προσφέρουν. Θα μελετήσουμε έξι περιπτώσεις παρεμβολών που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία των Femtocell Base Stations, μεταξύ αυτών και των Femtocell Mobile Nodes (FMN) και των Base Stations (BS) και πώς αυτές οι παρεμβολές επηρεάζουν τις υπηρεσίες φωνής και δεδομένων των χρηστών Femtocell Mobile Nodes με τον υπολογισμό των τιμών ισχύος λήψης σήματος και data throughput για κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, θα μελετηθεί πώς αξιοποιείται η τεχνολογία των Femtocell Base Stations στον επιχειρηματικό τομέα. Θα ερευνηθεί πώς πωλούνται και πώς χρεώνονται μετά την εφαρμογή των Femtocell Base Stations οι υπηρεσίες φωνής και δεδομένων ή αν προσφέρονται ειδικά πακέτα για αυτές, Τέλος, θα προτείνουμε έναν τρόπο τον οποίο θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι για την προώθηση των Femtocell Base Stations.

1.2. Ιστορική αναδρομή των Femtocells

A. Αρχική Σύλληψη

Η ιδέα των small cells, υπάρχει εδώ και σχεδόν 3 δεκαετίες [5]. Αρχικά, τα small cells ήταν ένας όρος που χρησιμοποιούνταν για να περιγράψει το μέγεθος των κυψελών σε μια μητροπολιτική περιοχή, όπου ένα Base Station (της τάξης των χιλιομέτρων σε διάμετρο) θα διαχωριζόταν σε μικρότερες κυψέλες με μειωμένη ισχύ εκπομπής (αυτές που σήμερα αναφέρονται ως microcells).

Ταυτόχρονα, εξεταζόταν και η περίπτωση των αναμεταδοτών ή ενισχυτών σαν εναλλακτική των μικρών σταθμών βάσης. Αυτές οι συσκευές είχαν σαν σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας σήματος στις περιοχές χωρίς κάλυψη, μειώνοντας παράλληλα και το κόστος, αφού δεν χρειαζόταν backhauling. Όμως, η επαναχρησιμοποίηση του αδειοδοτημένου φάσματος για το δίκτυο κορμού, περιόριζε την απόδοση και επομένως οι αναμεταδότες δε συντελούσαν στην αύξηση της απόδοσης ενώ δεν ήταν και εύκολη η χρησιμοποίησή τους.

Τη δεκαετία του 1990 [6] εμφανίστηκε η πρώτη μορφή των σημερινών small cells, με ακτίνες κάλυψης από δέκα έως εκατό μέτρα. Αυτοί οι παραδοσιακοί μικροί σταθμοί βάσης χρησιμοποιούνταν για την ενίσχυση της χωρητικότητας και της κάλυψης, όπου οι δυνατότητες των Base Stations δεν αρκούσαν λόγω αδύναμου σήματος ή υπερφόρτωσης. Ήταν μια μικρότερη έκδοση των Base Stations και απαιτούσαν την ανάλογη μελέτη για την εύρεση του κατάλληλου σημείου εγκατάστασης, τη διαχείριση που ήταν αρκετά πολύπλοκη και τις δικτυακές διεπαφές που απαιτούσαν μεγαλύτερη τεχνογνωσία για να υλοποιηθούν. Μια παρόμοια εκδοχή των Femtocell Base Stations ήταν ένα μικρό σχέδιο από την Southwest Bell και την Panasonic για την ανάπτυξη μιας λύσης παρόμοιας με τα Femtocell Base Stations που επαναχρησιμοποιούσε το ίδιο εύρος φάσματος των Base Stations [7] και χρησιμοποιούσε την καλωδίωση κορμού (T1 ή PSTN). Όμως, εκείνη την περίοδο δεν υπήρχε η ανάπτυξη της IP υποδομής κορμού και του επιπέδου ολοκλήρωσης ώστε ένας σταθμός βάσης να έχει μικρές διαστάσεις. Αυτές οι λύσεις ήταν τεχνολογικά προηγμένες αλλά οικονομικά ασύμφορες, επειδή το κόστος υλοποίησης και διαχείρισης

ενός τόσο μεγάλου αριθμού μικρών κυψελών ξεπερνούσε τα πλεονεκτήματα που προσέφεραν.

B. Η Εισαγωγή των Μοντέρνων Femtocell Base Stations

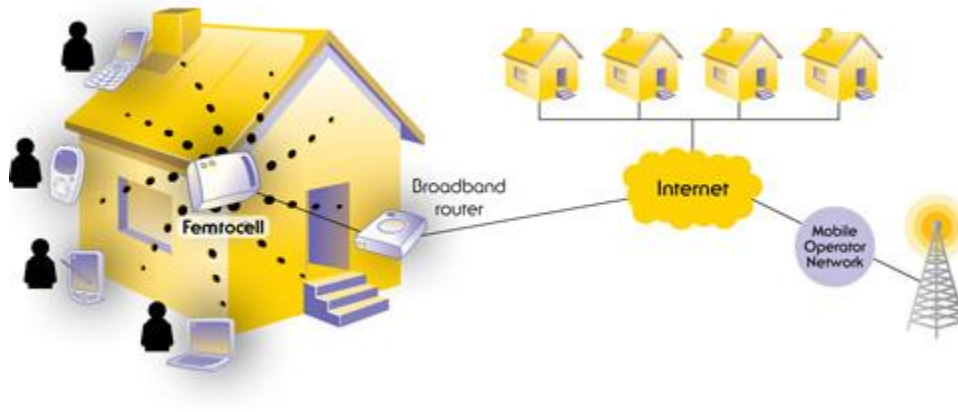
Η επανεξέταση στην υλοποίηση και διαμόρφωση των κυψελοειδών συστημάτων, επικεντρώθηκε στους τομείς λειτουργικότητας και κόστους των συστημάτων μικρών κυψελών [8]. Τα Femtocell Base Stations είναι διαφορετικά από τις παραδοσιακές συσκευές small cells στο ότι είναι περισσότερο αυτόνομα στην λειτουργία και την προσαρμογή τους. Ακόμα, η διεπαφή κορμού δικτύου με το υπόλοιπο κυψελοειδές δίκτυο βασίζεται στο IP και υποστηρίζει καλύτερες επιδόσεις σε σύγκριση με παλαιότερα πρότυπα για τη σύνδεση Base Stations. Έτσι, επιτρέπει στις συσκευές Femtocell Base Stations και στις νέες υποδομές του δικτύου να δρομολογούν και να εξυπηρετούν την κίνηση από και προς όλους τους νέους σταθμούς βάσης.

Σημαντική είναι, όπως έχει προαναφερθεί, και η αυξημένη ζήτηση για ασύρματα δεδομένα στη δομή και την αρχιτεκτονική των δικτυακών υποδομών. Ο πιο βιώσιμος τρόπος για την κάλυψη αυτής της ανάγκης είναι η μείωση του μεγέθους των κυψελών και επομένως η χωρική επαναχρησιμοποίηση του φάσματος. Παράλληλα με την αυξημένη ζήτηση για ασύρματα δεδομένα, νέες τεχνολογικές και κοινωνικές εξελίξεις έχουν καταστήσει τις συσκευές Femtocell Base Stations, που είναι χαμηλού κόστους, ελκυστικές. Οι εξελίξεις αφορούν στην ευρεία διαθεσιμότητά τους και τις ενσύρματες ADSL συνδέσεις που έχουν χαμηλό κόστος. Ακόμα, η ανάπτυξη των προτύπων της τεχνολογίας 4G, προσφέρει μια καλύτερη και πιο εξελιγμένη πλατφόρμα για τη διασύνδεση των μοντέρνων Femtocell Base Stations στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας νέας γενιάς. Σε αυτή την κατεύθυνση βοηθούν και οι ταχύτατες εξελίξεις που αφορούν στην τεχνολογία ανάπτυξης και κατασκευής του ηλεκτρονικού υλικού και λογισμικού για την παραγωγή Femtocell Base Stations μικρών διαστάσεων. Όλα τα παραπάνω καθιστούν την αγορά των Femtocell Base Stations ιδιαίτερα ελκυστική.

Τα Femtocell Base Stations διαθέτουν χαρακτηριστικά αυτόματης διαμόρφωσης παραμέτρων και δίνουν στον τελικό χρήστη τη δυνατότητα να τα χρησιμοποιήσει με

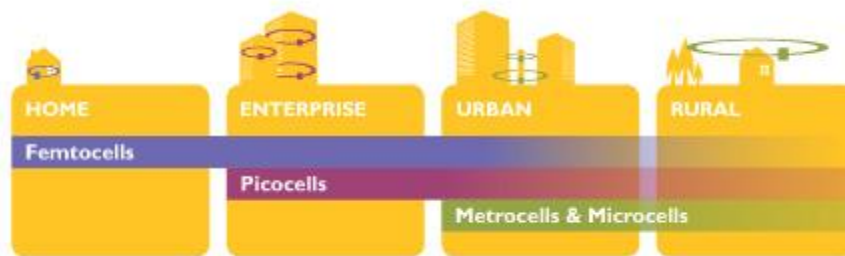
τρόπο εξαιρετικά απλό, χωρίς ανάγκες παραμετροποιήσεων και με άμεση σύνδεση με το υπάρχον δίκτυο Base Stations. Αυτό είναι ένα αποφασιστικό βήμα για τη μαζική χρησιμοποίηση των Femtocell Base Stations.

1.3- Ειδικά για Femtocell Base Stations



Σχήμα 1: Τρόπος Σύνδεσης Femtocell Base Station με τον Internet Service Provider (ISP)[9]

Τα Femtocell Base Stations είναι σταθμοί βάσεως χαμηλής ισχύος που λειτουργούν σε συχνότητες αδειοδοτημένου φάσματος, προσφέροντας αυξημένη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους και με βελτιωμένη απόδοση. Ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των small cells, που περιλαμβάνουν ακόμα τα picocells και τα microcells που προορίζονται για χρήση τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους για αστικό ή επαρχιακό περιβάλλον. Η βασική διαφορά μεταξύ τους έγκειται στην περιοχή κάλυψης. Τα Femtocell Base Stations έχουν προσεγγιστικά ακτίνα κάλυψης της τάξης των δεκάδων μέτρων, τα picocells της τάξης των εκατοντάδων μέτρων, ενώ τα microcells έως 2 χιλιομέτρων.



Σχήμα 2: Σχηματική απεικόνιση κατάταξης small cells [10]

Η ονομασία τους και η ταξινόμησή τους έχει γίνει με βάση τα προθέματα που καθορίζονται από το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) για υποπολλαπλάσια μεγέθη και απεικονίζονται στον επόμενο πίνακα.

Παράγοντας	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
Όνομα	deci	centi	milli	micro	nano	pico	femto	atto	zepto	yocto
Σύμβολο	d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

Τα picocells είναι σταθμοί βάσης που καλύπτουν εύρος περιοχών όπως μεγάλα γραφεία, εμπορικά κέντρα, σταθμούς μέσων μαζικής μεταφοράς καθώς και άλλα. Στα κυψελοειδή δίκτυα, τα picocells χρησιμοποιούνται για την επέκταση της κάλυψης εσωτερικών χώρων όπου το εξωτερικό σήμα δεν έχει καλή λήψη. Ακόμα χρησιμοποιούνται για την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα χρηστών.

Τα microcells είναι κυψέλες που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας με χαμηλής ισχύος σταθμό βάσης. Τα microcells είναι μικρότερης εμβέλειας από τα Base Stations και μεγαλύτερης από τα picocells. Τα microcells χρησιμοποιούν ρύθμιση ισχύος εκπομπής για τον έλεγχο και προσδιορισμό της ακτίνας κάλυψης.

Τα Base Stations είναι σταθμοί βάσης που προσφέρουν ραδιοκάλυψη με τη χρήση μεγάλης ισχύος. Οι κεραίες των Base Stations τοποθετούνται σε ιστούς που στηρίζονται στο έδαφος, σε στέγες ή σε άλλες ήδη υπάρχουσες κατασκευές και σε ύψος που παρέχει την καλύτερη δυνατή οπτική προς τα γειτονικά κτίρια και εγκαταστάσεις. Έχουν τη μεγαλύτερη ακτίνα κάλυψης και η ισχύς εξόδου τους είναι της τάξης των δεκάδων watt.

1.4 Τυποποίηση Femtocell Base Stations

Από τεχνολογικής απόψεως, τα Femtocell Base Stations δε χαρακτηρίζονται μόνο από την περιοχή κάλυψης και τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αλλά και από την ικανότητά τους να αλληλεπιδρούν απρόσκοπτα με την δομή του παραδοσιακού δικτύου σε όλα τα επίπεδα υλοποίησής του, εκτελώντας διεργασίες όπως μεταπομπές, διαχείριση παρεμβολών, χρέωση και αυθεντικοποίηση [11]. Αυτές οι λειτουργίες προϋποθέτουν σημαντική υποστήριξη από τα αντίστοιχα πρότυπα. τα Femtocell Base Stations συνεργάζονται με τα δίκτυα που χρησιμοποιούν 3G-Code Division Multiple Access(CDMA) και τα δίκτυα που χρησιμοποιούν 4G Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA-LTE).

2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ)

2.1 Πλεονεκτήματα

Τα Femtocell Base Stations έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα για τους χρήστες των υπηρεσιών τους που αναφέρονται παρακάτω.

Αύξηση Ποιότητας Υπηρεσιών

Για όσους συνδρομητές αντιμετωπίζουν προβλήματα μειωμένης ή και καθόλου κάλυψης στο σπίτι, τα Femtocell Base Stations μπορούν να βοηθήσουν στην χρήση του κινητού τηλεφώνου στο σπίτι. Ακόμα, πέρα από τις υπηρεσίες φωνής, μπορούν να προσφερθούν υπηρεσίες πολυμέσων video και λήψης δεδομένων με υψηλές ταχύτητες. Όσο αυξάνεται η απόδοση του δικτύου σε εσωτερικούς χώρους, τόσο αυξάνεται και η απόδοση τόσο των φωνητικών υπηρεσιών όσο και των ασύρματων δεδομένων. Από τους παρόχους που προσφέρουν ενοποιημένες υπηρεσίες, οι συνδρομητές μπορούν να έχουν μόνο έναν λογαριασμό συνδρομής για σταθερό τηλέφωνο, ευρυζωνικές υπηρεσίες και κινητό τηλέφωνο. Έτσι οι χρήστες μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πακέτα υπηρεσιών που θα τους προσφέρουν καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών σε οικονομικότερες τιμές, από το να χρησιμοποιούσαν διαφορετικούς παρόχους. Τα Femtocell Base Stations μπορούν να παρέχουν ενοποιημένες υπηρεσίες (φωνή, video και δεδομένα) στο σπίτι και να επιτρέπουν στους χρήστες μια απρόσκοπτη υπηρεσία με εξατομικευμένες υπηρεσίες για κάθε συσκευή ενός χρήστη.

Εξοικονόμηση Ενέργειας

Τα Femtocell Base Stations συντελούν στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας των συσκευών του τελικού χρήστη. Αφού η απόσταση μεταξύ του Femtocell Base Station και της κινητής συσκευής είναι μικρότερη από την απόσταση της κινητής συσκευής και του Base Station, η εκπομπή ισχύος από την κινητή συσκευή του χρήστη για την επικοινωνία με το Base Station θα είναι μειωμένη που σημαίνει μικρότερη κατανάλωση από τη μεριά του. Η αυτονομία της μπαταρίας είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην παροχή δεδομένων υψηλών ταχυτήτων σε κινητές συσκευές. Όσο μειώνεται η ισχύς

εκπομπής των κινητών συσκευών, μειώνονται και οι ανησυχίες για την ασφάλεια των εκπομπών όσον αφορά θέματα υγείας.

2.2 Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την υλοποίηση των Femtocell Base Stations είναι αρκετά σημαντικά και μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη ποιότητα υπηρεσιών τόσο για οικιακή όσο και για επιχειρησιακή χρήση. Όμως η προσθήκη νέων υποδομών στο δίκτυο ασύρματων επικοινωνιών, χωρίς διεξοδική μελέτη εγκατάστασης, μπορεί να προκαλέσει αρκετές τεχνικές, επιχειρησιακές και ρυθμιστικές προκλήσεις. Ειδικότερα τα θέματα που προκύπτουν είναι η μελέτη των παρεμβολών, η επιλογή των κατάλληλων κυψελών στο δίκτυο, η κινητικότητα και μετάβαση μεταξύ Femtocell Base Stations και τα αυτορυθμιζόμενα δίκτυα. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, θα επικεντρωθούμε στην μελέτη των παρεμβολών που παρουσιάζονται στα δίκτυα των Femtocell Base Stations.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ FEMTOCELL BASE STATIONS

Η υλοποίηση των Femtocell Base Stations μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην συνολική απόδοση του δικτύου και οι επιπτώσεις που προκύπτουν πρέπει να μελετηθούν ώστε να επιλυθούν τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργούνται. Ειδικά σε αυτό το σημείο θα μελετηθεί το ζήτημα των παρεμβολών που προκύπτουν από την υλοποίηση των Femtocell Base Stations, χρησιμοποιώντας ευρέως αποδεκτά μοντέλα διάδοσης σήματος και εξάγοντας θεωρητικά αποτελέσματα.

Οι οντότητες που αλληλεπιδρούν ώστε να επηρεάζουν ή να επηρεάζονται από τις παρεμβολές περιλαμβάνουν :

- Femtocell Base Stations, που μπορεί να αλληλεπιδρούν κατά την εκπομπή τους με γειτονικά Mobile Nodes (MN).
- Base Stations, που μπορεί να αλληλεπιδρούν με γειτονικά Femtocell Mobile Nodes (FMN)
- Mobile Nodes και Femtocell Mobile Nodes που μπορεί να προκαλούν παρεμβολές τόσο σε Femtocell Base Stations όσο και σε Base Stations.

Οι περιπτώσεις που θα μελετηθούν αποτελούν εξειδικευμένες περιπτώσεις λειτουργίας των Femtocell Base Stations, που λειτουργούν συμπληρωματικά στην μελέτη της προβλεπόμενης χρησιμοποίησης των Femtocell Base Stations [12], [13].

3.1 Θεωρητικά μοντέλα υπολογισμών και παραδοχές

3.1.1 Μοντέλα απώλειας σήματος

Τα μοντέλα απωλειών σήματος που έχουν χρησιμοποιηθεί στην εργασία είναι ευρέως αποδεκτά και χρησιμοποιούνται στο πεδίο των τηλεπικοινωνιών για μετρήσεις σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Μοντέλο Okumura-Hata

Το μοντέλο Okumura-Hata είναι ένα εμπειρικό μοντέλο που χρησιμοποιείται ευρύτατα από την τηλεπικοινωνιακή κοινότητα. Έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών και είναι το κύριο εργαλείο στον τηλεπικοινωνιακό σχεδιασμό.

Η εξίσωση του μοντέλου Okumura-Hata για αστικές περιοχές είναι η παρακάτω:

$$L=69.55+26.16\log_{10}(f)-13.82\log_{10}(h_B)+\left(44.9-6.55\log_{10}(h_B)\right)\log_{10}(d)-F(h_M)$$

Όπου

$$F(h_M)=\begin{cases} ((1.1\times\log_{10}(f)-0.7)\times h_M-(1.56\times\log_{10}(f)-0.8)) & \text{για μικρές και μεσαίες πόλεις} \\ 3.2\times(\log_{10}(11.75\times h_M))^2-4.97 & \text{για μεγάλες πόλεις} \end{cases}$$

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι

f : συχνότητα σε MHz

h_B : ύψος σταθμού βάσης από το έδαφος σε μέτρα (m)

h_M : ύψος κινητής συσκευής από το έδαφος σε μέτρα (m)

d : απόσταση από σταθμό βάσης σε χιλιόμετρα (km)

Μοντέλο ITU-R P.1238

Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη απώλειας σήματος μεταξύ δύο εσωτερικών σταθμών, κάνοντας υπόθεση για τη συνολική απώλεια από εσωτερικούς τοίχους, έπιπλα και πόρτες με τη χρήση της μεταβλητής N που εξαρτάται από τον τύπο του κτιρίου (κατοικία, γραφείο, εμπορικός χώρος, κτλ.) [14]. Σε αντίθεση με άλλα μοντέλα, αυτή η μέθοδος δεν απαιτεί την γνώση του αριθμού των τοίχων μεταξύ δύο σταθμών βάσης και με αυτό τον τρόπο προσφέρει απλούστερη εφαρμογή.

Η εξίσωση περιγράφεται παρακάτω:

$$L_{TOTAL} = 20\log_{10}(f) + N\log_{10}(d) + L_f(n) - 28 \quad \text{dB}$$

Όπου

N: συντελεστής απόστασης απώλειας ισχύος

f : συχνότητα σε MHz

d : απόσταση σε μέτρα (m) μεταξύ του σταθμού βάσης και κινητής συσκευής (όπου $d > 1\text{m}$)

L_f : συντελεστής διείσδυσης δαπέδου

n : αριθμός επιπέδων μεταξύ σταθμού βάσης και κινητής συσκευής ($n \geq 1$)

Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για το συντελεστή απώλειας ισχύος N είναι:

- Κατοικίες : 28
- Χώρος γραφείου: 33
- Εμπορικός χώρος: 20

Για το συντελεστή διείσδυσης δαπέδου οι τιμές είναι:

- Κατοικίες : ---
- Χώρος γραφείου: 9 (1 επίπεδο), 19 (2 επίπεδα), 24 (3 επίπεδα)
- Εμπορικός χώρος: ---

3.1.2 Υπολογισμός Data Throughput

Για τις περιπτώσεις που θα υπολογιστεί data throughput, αυτό θα γίνει με τις γνωστές εξισώσεις για το HSDPA [15], [16].

Πρώτα υπολογίζεται το Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) με βάση την παρακάτω εξίσωση

$$SINR = SF_{16} \frac{P_{HS-DSCH}}{(1-a)P_{own} + P_{other} + P_{noise}}$$

Όπου

- SF_{16} είναι ο παράγοντας εξάπλωσης
- $P_{HS-DSCH}$ είναι η ισχύς High Speed-Downlink Shared Channel
- P_{own} είναι η παρεμβολή από την ίδια κυψέλη
- a είναι ο παράγοντας ορθογωνιότητας
- P_{other} είναι οι παρεμβολές από άλλες κυψέλες
- P_{noise} είναι η ισχύς θορύβου που λαμβάνεται.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το throughput με βάση την παρακάτω εξίσωση.

$$R_{HS,Mbps} = 3.84 \cdot \begin{cases} 0, & SINR < 10^{-1.4} \\ \log_2 \left(1 + \frac{SINR}{2} \right), & SINR \geq 10^{-1.4} \end{cases}$$

3.1.3 Παραδοχές Υπολογισμών

Για όλες τις περιπτώσεις όπου μελετώνται οι παρεμβολές, θεωρούμε ότι τα Femtocell Base Stations είναι κλειστής πρόσβασης (closed access model). Αυτό σημαίνει ότι η πρόσβαση στα Femtocell Base Stations επιτρέπεται για συγκεκριμένους χρήστες στους οποίους δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης από τον ιδιοκτήτη του Femtocell Base Station που είναι και ο διαχειριστής του. Με αυτό τον τρόπο θεωρούμε πως δεν γίνονται μεταπομπές από Base Stations σε Femtocell Base Stations ή μεταξύ Femtocell Base Stations.

Το πρότυπο που εφαρμόζεται από τα Femtocell Base Stations είναι το Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) και είναι το πρότυπο που εφαρμόζεται για τις επικοινωνίες 3G. Ακόμα, οι χρήστες των Mobile Nodes και Femtocell Mobile Nodes

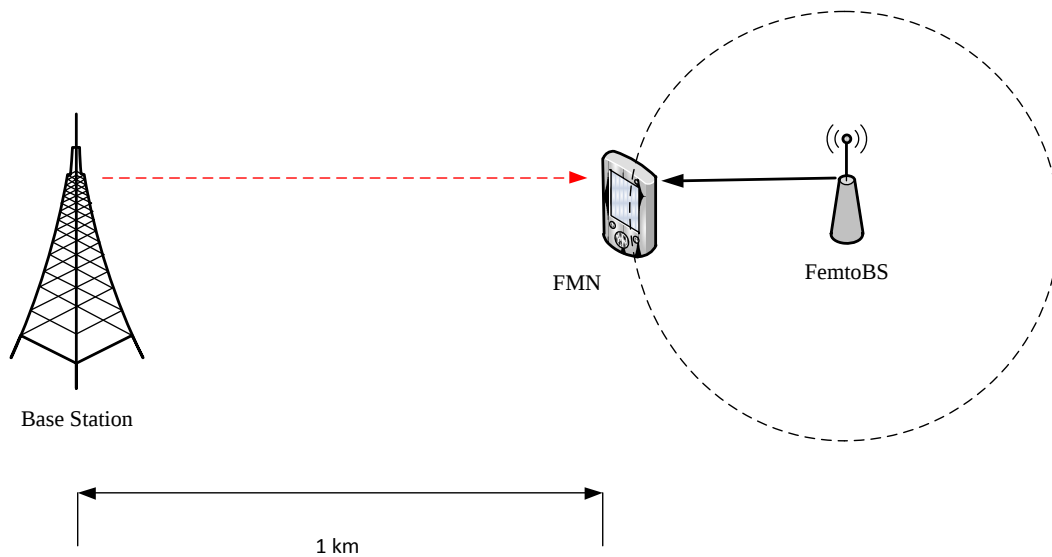
θεωρούμε πως βρίσκονται στο ίδιο κανάλι επικοινωνίας και η μελέτη των παρεμβολών θα γίνει για αυτή την περίπτωση.

Για να μπορέσει ένας χρήστης FMN να αναγνωρίσει ένα Femtocell Base Station και να συνδεθεί με αυτό, γίνεται η υπόθεση ότι ο λόγος E_c/N_o P-CPICH των 18 dB ,που περιγράφει την ενέργεια σήματος προς την πυκνότητα ισχύος, είναι αρκετός για αυτή την περίπτωση. Για να βρεθεί η ακτίνα κάλυψης του FBS, πρέπει να βρεθεί η απόσταση πέραν της οποίας η ισχύς P-CPICH είναι στα 18 dB λιγότερα από την ισχύ του Base Station. Ο λόγος E_c/N_o προκύπτει υποθέτοντας ρυθμό μετάδοσης chiprate $3,84 \times 10^6$ cps και Bit Rate Adaptive Multi-Rate (AMR) κλήσης φωνής στα 12,2 Kbps. Ακόμα, θεωρούμε $E_b/N_o = 7$ db. Άρα $E_c/N_o = E_b/N_o - 10 \cdot \log_{10}(W/R) = -18$ dB. Στα διαγράμματα για την ισχύ σήματος στην περίπτωση της φωνής, έχουν ληφθεί υπόψη οι παράμετροι αυτοί και με βάση αυτούς έχει γίνει και ο σχεδιασμός των κάθετων αξόνων της ισχύος σήματος λήψης.

3.2 Μελέτη Περιπτώσεων Παρεμβολών

3.2.1 Περίπτωση 1: Παρεμβολές Base Station προς χρήστη Femtocell Mobile Node (FMN)

Σε αυτή την περίπτωση η συσκευή FMN βρίσκεται κοντά στο παράθυρο ενός διαμερίσματος σε απόσταση 1 km από το Base Station. Η συσκευή FMN είναι συνδεδεμένη με το Femtocell Base Station (FBS) στο όριο της εμβέλειάς του. Σε αυτό το σενάριο, ο «επιτιθέμενος» είναι το Base Station που προκαλεί παρεμβολές στο FMN. Το σχήμα που περιγράφει την περίπτωση αυτή είναι το Σχήμα 3. Με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται η ύπαρξη παρεμβολής.



Σχήμα 3: Παρεμβολές Base Station προς χρήστη FMN

Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι η μελέτη των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων που μπορούν να προσφερθούν σε μια συσκευή FMN όταν αυτή βρίσκεται στα όρια της κάλυψης του Femtocell Base Station και σε απόσταση 1 km από το Base Station. Πρώτα υπολογίζεται η ισχύς εκπομπής του Base Station και οι παρεμβολές που προκαλεί στη συσκευή FMN. Θεωρώντας επίπεδο χρήσης του Base Station στο 50% (ή 0.5) και μέγιστη ισχύ του Base Station $P_M=43$ dBm, το κέρδος της κεραίας $G_M=17$ dBi και τις απώλειες σύνδεσης $L_M=3$ dB, έχουμε ότι:

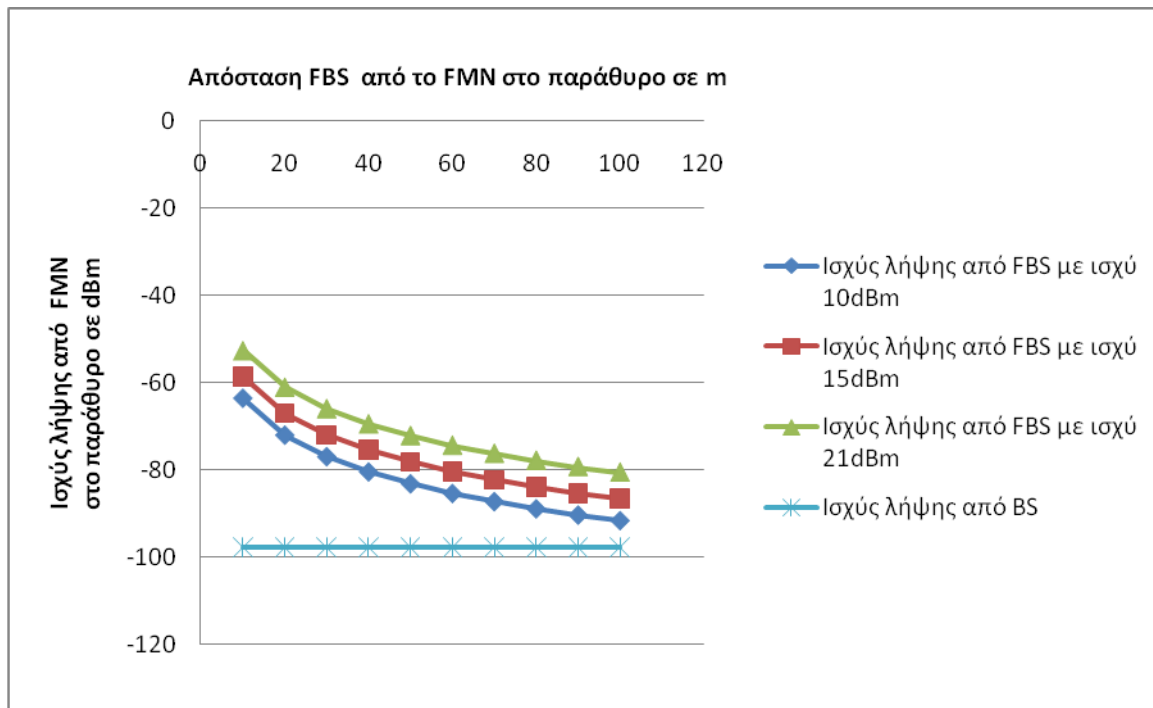
$$EIRP_M = P_M + 10 \times \log(0.5) + G_M - L_M = 43 - 3 + 17 - 3 = 54 \text{ dBm}$$

Θεωρούμε το ύψος του Base Station στα $h_B = 30$ m και το ύψος της συσκευής FMN στο $h_M = 1.5$ m. Σύμφωνα με το μοντέλο Okumura-Hata που έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 3.1 οι απώλειες σήματος είναι $P_L = 125.75$ dB. Ακόμα, θεωρούμε την ισχύ κεραίας συσκευής FMN, $G_{FMN}=0$, απώλειες συσκευής $L_{FMN}=3$ dBi καθώς και απώλειες παραθύρου $L_W=5$ dB. Επομένως, η ισχύς που λαμβάνει η συσκευή FMN είναι:

$$P_{FMN} = EIRP_M - P_L + G_{FMN} - L_{FMN} - L_W = 54 - 125.75 + 0 - 3 - 5 = -79.75 \text{ dBm}$$

Στη συνέχεια, θα υπολογίσουμε την ισχύ που μπορεί να λαμβάνει η συσκευή FMN από το Femtocell Base Station. Θεωρούμε τρεις περιπτώσεις για την ισχύ εκπομπής με $P_F = 10, 15$ και 21 dBm. Ακόμα θεωρούμε το κέρδος κεραίας Femtocell Base Station $G_F = 0$ και τις απώλειες $L_F = 1$ dB. Ο υπολογισμός γίνεται με την εξίσωση $EIRP_F = P_F + G_F - L_F$ για κάθε περίπτωση.

Το Primary-Common Pilot Channel (P-CPICH) θεωρούμε πως εκπέμπεται στο 10% της μέγιστης ισχύος. Άρα η ισχύς P-CPICH $EIRP_F$ είναι ίση με $EIRP_F + 10 \times \log_{10}(0.1)$ και έχει ως αποτέλεσμα για τις 3 περιπτώσεις ισχύος ίσο με $-1, 4$ και 10 dBm αντίστοιχα. Ακόμα, για να μπορέσει μια συσκευή FMN να εντοπίσει και να συνδεθεί με ένα Femtocell Base Station, θεωρούμε ότι μια τιμή P-CPICH E_c/N_0 των -18 dB για την τιμή της παρεμβολής από το Base Station είναι αρκετή. Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 4) παρουσιάζεται η ισχύς λήψης του FMN από το Base Station και το Femtocell Base Station (και για τις τρεις περιπτώσεις ισχύος εκπομπής).



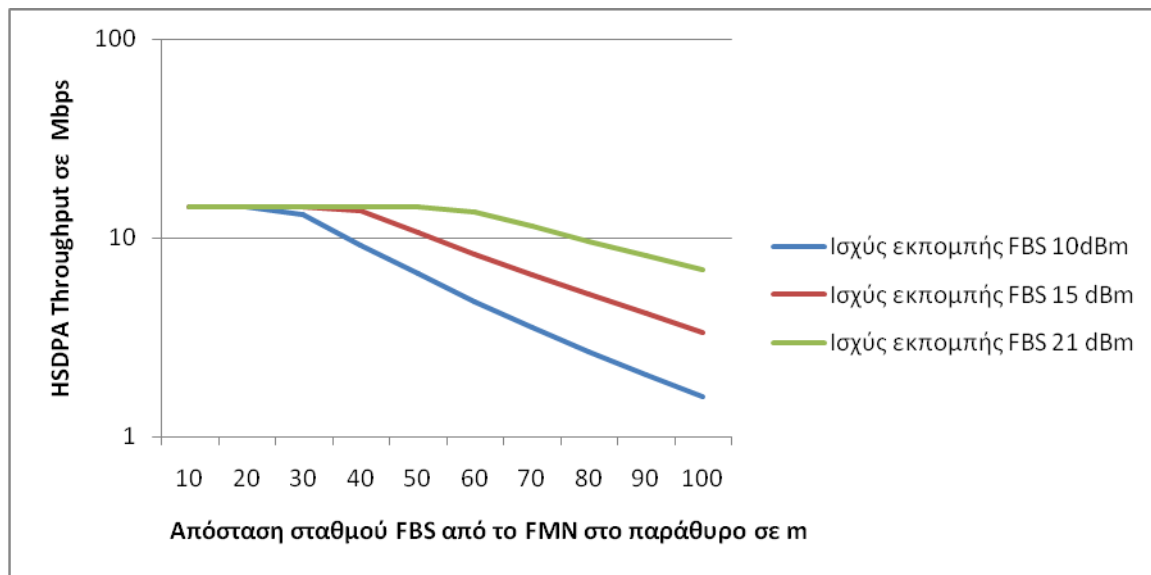
Σχήμα 4: Ισχύς λήψης για τη συσκευή FMN

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η απόσταση κάλυψης μεταξύ FBS και FMN ακόμα και για την τιμή ισχύος των 10 dBm για το Femtocell Base Station είναι κοντά

στα 100 m. Αυτό δεν σημαίνει ότι σε απόσταση 100 m από το Femtocell Base Station μια συσκευή FMN θα μπορέσει να την αναγνωρίσει, αλλά ότι αν είναι ήδη συνδεδεμένη με το Femtocell Base Station, θα μπορέσει να διατηρήσει την σύνδεση.

Στη συνέχεια θα γίνει υπολογισμός του throughput που μπορεί να εξυπηρετήσει το Femtocell Base Station για το συγκεκριμένο σενάριο.

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο επόμενο διάγραμμα στο Σχήμα 5.



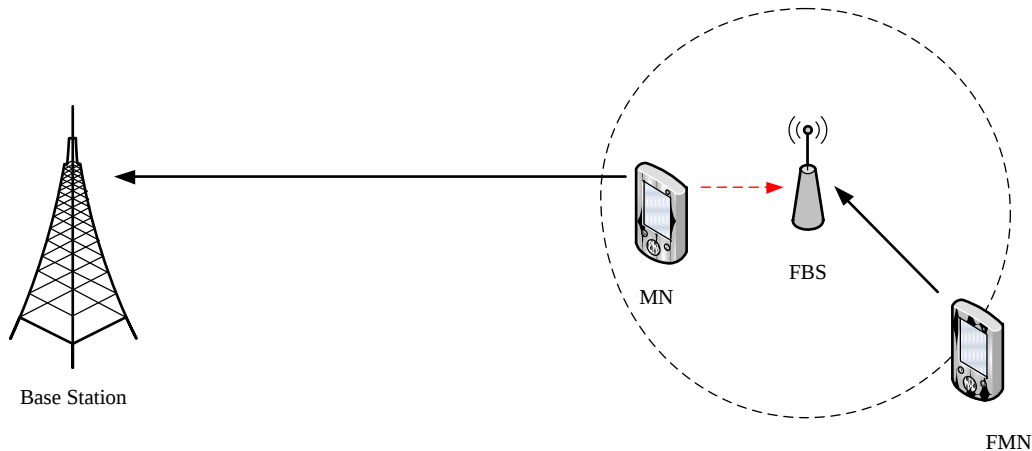
Σχήμα 5: HSDPA Throughput σε Mbps για τη συσκευή FMN

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή για το HSDPA μπορεί να επιτευχθεί μέχρι και 25 m από το Femtocell Base Station ακόμα και με τη μικρότερη ισχύ των 10 dBm.

Σε αυτό το σενάριο εξετάστηκε η περίπτωση της συσκευής FMN να είναι τοποθετημένη στο παράθυρο ενός εσωτερικού χώρου και σε απόσταση 1km από το Base Station. Παρατηρήθηκε ότι η συσκευή Femtocell Base Station μπορεί να παρέχει υπηρεσίες φωνής σε συσκευές FMN που είναι ήδη συνδεδεμένες με αυτήν για έως και 100m απόσταση, ενώ η μέγιστη τιμή δεδομένων όπως προκύπτει από το πρωτόκολλο του HSDPA, που είναι 14,4 Mbps, μπορεί να επιτευχθεί έως και 25 m μακριά ακόμα και για την περίπτωση της μικρότερης ισχύος εκπομπής (10 dBm).

3.2.2 Περίπτωση 2: Παρεμβολές Συσκευής MN προς Femtocell Base Station

Σε αυτή την περίπτωση, το Femtocell Base Station (FBS) βρίσκεται εντός ενός διαμερίσματος. Η κάλυψη από το δίκτυο των Base Stations είναι ασθενής σε όλο το διαμέρισμα. Ένας χρήστης Mobile Node (MN) βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με το Femtocell Base Station. Το Femtocell Base Station είναι κλειστής πρόσβασης και ο χρήστης MN δεν έχει πρόσβαση σε αυτό. Ένας άλλος χρήστης Femtocell Mobile Node (FMN) είναι συνδεδεμένος με το Femtocell Base Station και έχει κλήση σε εξέλιξη σε μεγάλη απόσταση με το FBS. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 6. Το «θύμα» σε αυτή την περίπτωση είναι το Femtocell Base Station και ο «επιτιθέμενος» είναι η συσκευή MN που είναι συνδεδεμένη με το Base Station.



Σχήμα 6: Παρεμβολές Συσκευής MN προς Femtocell Base Station (FBS)

Στη συνέχεια θα μελετηθούν οι περιπτώσεις της λήψης σήματος παρεμβολής που δέχεται το Femtocell Base Station από το MN καθώς και το σήμα που δέχεται από τη συσκευή FMN που είναι συνδεδεμένη με το Femtocell Base Station. Οι παρεμβολές από το MN προς το Femtocell Base Station θα υπολογιστούν για τρεις αποστάσεις (στα 5, στα 10 και στα 15 m, ενώ θεωρούμε την απόσταση μεταξύ FMN και Femtocell Base Station σταθερή και ίση με 15 m.

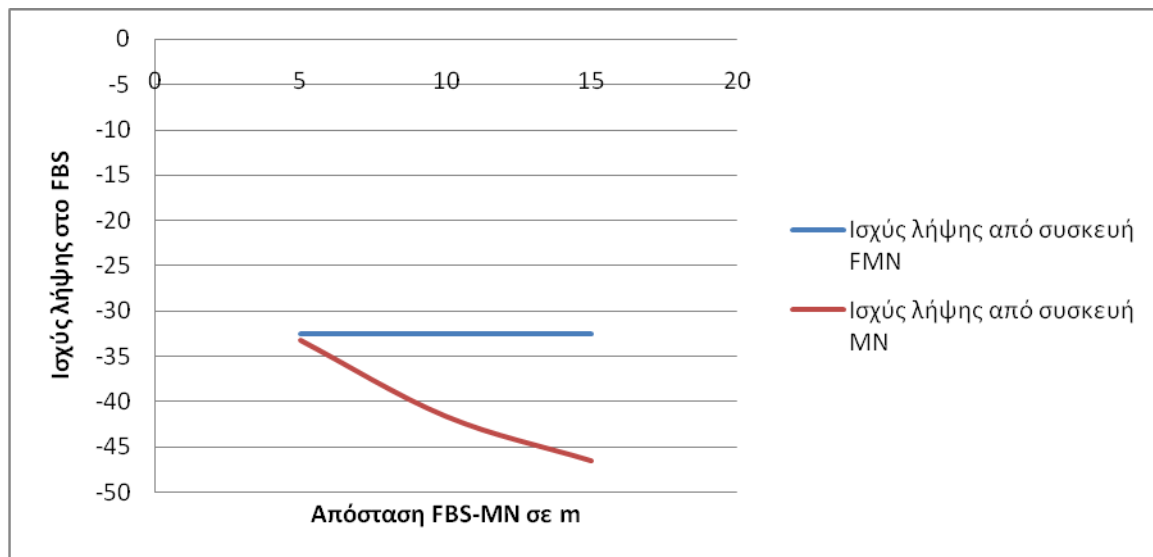
Θεωρούμε ότι η ισχύς εκπομπής της συσκευής MN είναι $P_{MN} = 21$ dBm, το κέρδος κεραίας MN $G_{MN} = 0$ και οι απώλειες σύνδεσης $L_{MN} = 3$ dB. Άρα έχουμε ότι:

$$EIRP_{MN} = P_{MN} + G_{MN} - L_{MN} = 21 + 0 - 3 = 18 \text{ dBm.}$$

Στη συνέχεια, με τη χρήση του ITU-R P.1238 υπολογίζεται η ισχύς σήματος P_L που δέχεται το Femtocell Base Station τόσο από τη συσκευή MN όσο και από τη συσκευή FMN. Για τη συσκευή MN, θεωρώντας $G_F = 0$ και απώλειες σύνδεσης $L_F = 1 \text{ dB}$ η ισχύς P_{MN} υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$P_{MN} = EIRP_{MN} + G_F - L_F - P_L$$

Για το κέρδος της συσκευής FMN ισχύει ότι $PG = 10 \times \log_{10}(W/R)$. Το chip rate W είναι ίσο με 3.84 Mbps και το R είναι ίσο με 12.2 Kbps. Άρα $PG = 10 \times \log_{10}(W/R) = 24.98 \text{ dB}$. Έτσι προκύπτει το διάγραμμα στο Σχήμα 7 που απεικονίζει την ισχύ λήψης από κάθε συσκευή.



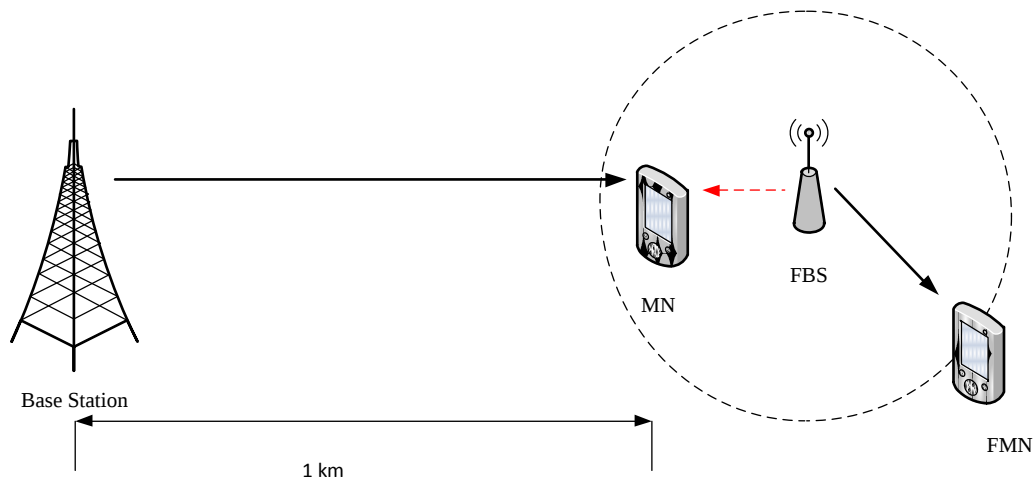
Σχήμα 7: Ισχύς λήψης σήματος στο Femtocell Base Station από FMN και MN

Η συσκευή FMN παραμένει σταθερή στα 15 m από το FBS και αυτό απεικονίζεται και στη σταθερή τιμή που προκύπτει από τους υπολογισμούς και εμφανίζεται στο γράφημα. Για τις τρεις αποστάσεις της συσκευής MN από το Femtocell Base Station παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η απόσταση τόσο μειώνεται και η παρεμβολή. Ακόμα, για αυτές τις αποστάσεις παρατηρούμε ότι ακόμα και στην απόσταση των 5 m του MN από το

Femtocell Base Station, η παρεμβολή του MN είναι μικρότερη από το σήμα του FMN στα 15m.

3.2.3 Περίπτωση 3: Παρεμβολές Femtocell Base Station προς MN

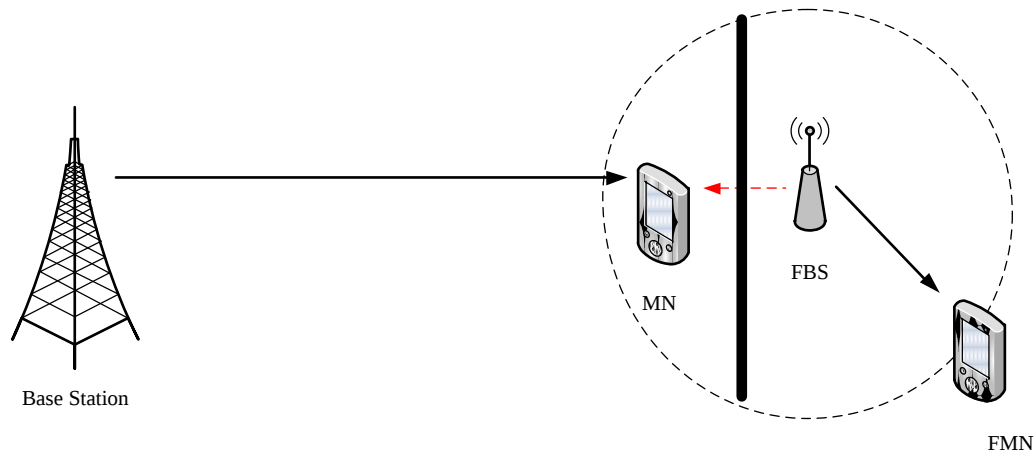
Σε αυτή την περίπτωση, η συσκευή MN είναι συνδεδεμένη σε ένα Base Station. Βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το Femtocell Base Station το οποίο είναι κλειστής πρόσβασης και επομένως το MN δεν έχει πρόσβαση σε αυτό. Το Femtocell Base Station εκπέμπει με τη μέγιστη ισχύ. Το «θύμα» σε αυτή την περίπτωση είναι η συσκευή MN, και ο «επιτιθέμενος» είναι το Femtocell Base Station. Η διάταξη για αυτή την περίπτωση είναι η παρακάτω του Σχήματος 8.



Σχήμα 8: Παρεμβολές Femtocell Base Station προς χρήστη MN

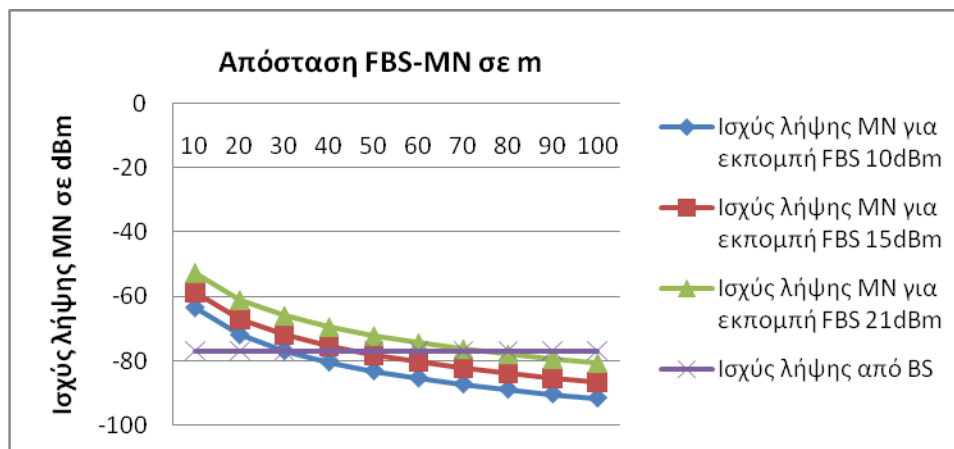
Για τη μελέτη αυτής της περίπτωσης θα θεωρήσουμε δύο διαφορετικές περιπτώσεις για την απόσταση μεταξύ Base Station και MN, να απέχουν 1 km ή 100m. Θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο Okumura-Hata και για τον υπολογισμό της ισχύος λήψης του MN από το Base Station. Θεωρούμε ισχύ κεραίας $P_M=43$ dBm, το κέρδος της κεραίας $G_M=18$ dBi και το ύψος της κεραίας 25m. Ακόμα, θεωρούμε απώλειες παραθύρου $L_w=5$ dB. Για το Femtocell Base Station θεωρούμε τρεις περιπτώσεις για την ισχύ εκπομπής, στα 10 dBm, 15 dBm και 21 dBm. Μελετάμε δύο περιπτώσεις για την τοποθεσία του Femtocell Base Station. Μία όπου είναι στον ίδιο χώρο με το MN και την άλλη να

βρίσκεται σε διαφορετικό δωμάτιο, οπότε παρεμβάλλεται τοίχος μεταξύ FBS και MN, και υπολογίζονται και απώλειες τοίχου ίσες με 10 dB. Το Σχήμα 9 απεικονίζει την τοπολογία που μόλις περιγράψαμε.



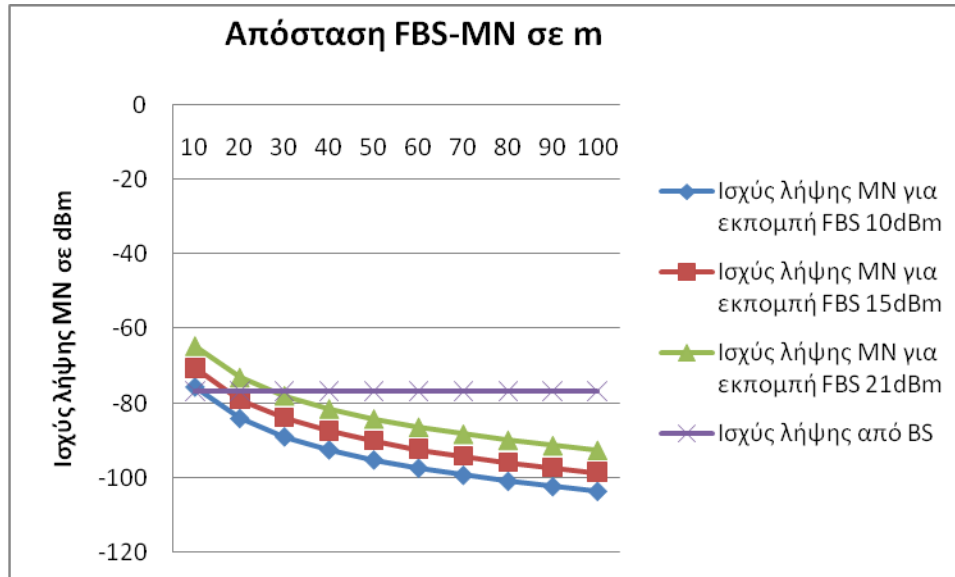
Σχήμα 9: Παρεμβολές Femtocell Base Station προς χρήση MN με FBS-MN σε διαφορετικό δωμάτιο

Και στις δύο περιπτώσεις θεωρούμε ότι το FBS πρώτα βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με το MN και στη συνέχεια τοποθετείται σε πιο απομακρυσμένες θέσεις μετακινούμενο προς τα δεξιά, ενώ το MN μένει σταθερό. Ακόμα η απόσταση BS και MN είναι σταθερή. Το γράφημα όταν η απόσταση του Base Station από το MN είναι σταθερή και ίση με 1 km, για υπηρεσίες φωνής είναι όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 10.

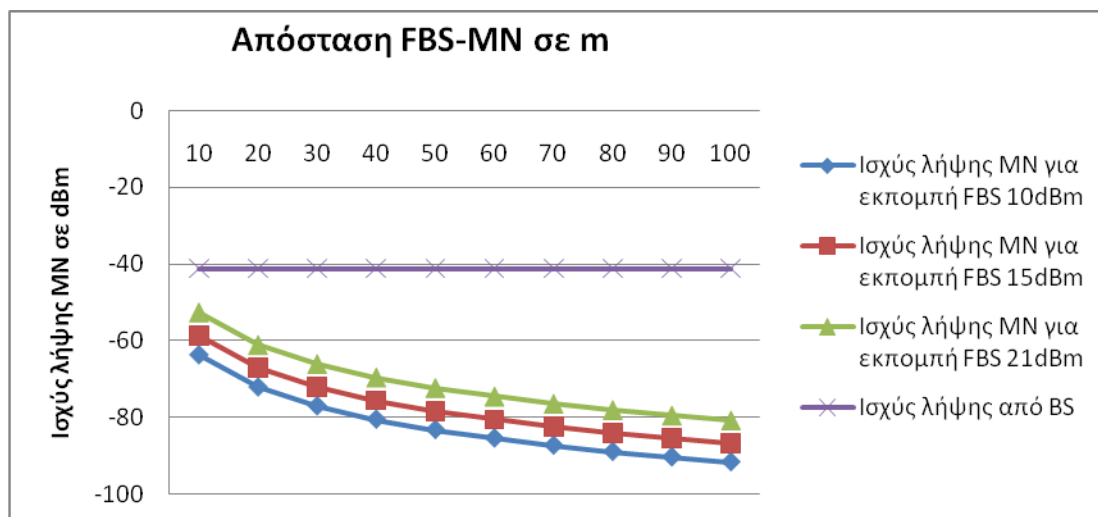


Σχήμα 10: Ισχύς λήψης συσκευής MN από Femtocell Base Station και Base Station για απόσταση BS-MN 1 km

Το γράφημα για υπηρεσίες φωνής, όταν η απόσταση του Base Station από το MN είναι 1 km και το FBS είναι σε διαφορετικό δωμάτιο από το MN και στη συνέχεια απομακρύνεται, είναι τα Σχήματα 11 και 12.



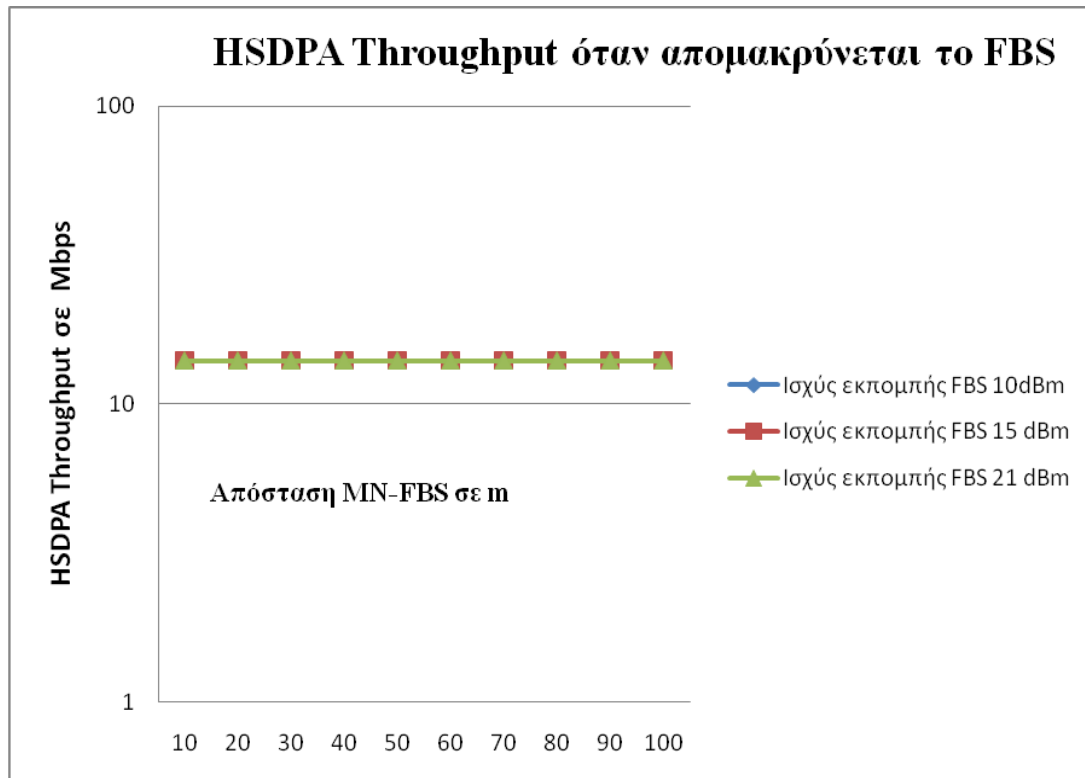
Σχήμα 11: Ισχύς λήψης συσκευής MN από Femtocell Base Station και Base Station για απόσταση BS-MN 1 km, με FBS σε διαφορετικό δωμάτιο



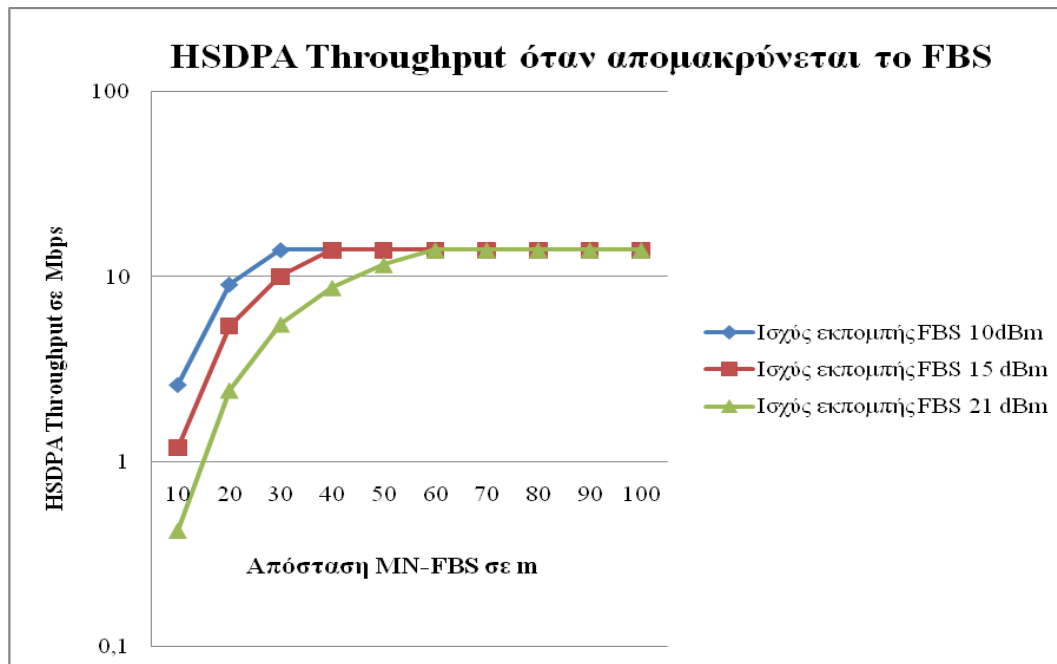
Σχήμα 12: Ισχύς λήψης συσκευής MN από Base Station και Femtocell Base Station για απόσταση BS-MN σταθερή και ίση με 100m

Παρατηρούμε ότι για την απόσταση του 1 km για το Base Station η επίδραση του Femtocell Base Station στη συσκευή MN είναι η μεγαλύτερη. Αυτή μετριάζεται όταν το Femtocell Base Station βρίσκεται σε διαφορετικό δωμάτιο, αφού μεσολαβεί τοίχος ο οποίος σε αυτή την περίπτωση μειώνει τις παρεμβολές. Αντίθετα, στην απόσταση του Base Station στα 100m, η ισχύς που δέχεται η συσκευή MN υπερκαλύπτει την παρεμβολή που δέχεται από το Femtocell Base Station και μπορεί να χρησιμοποιήσει υπηρεσίες φωνής.

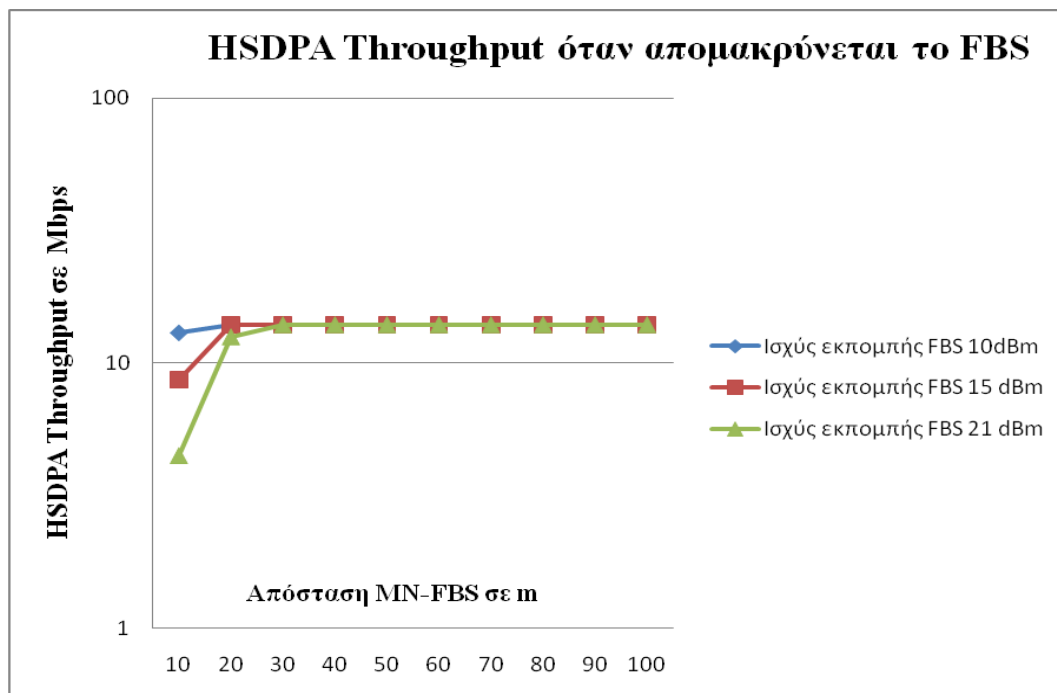
Για τη μελέτη του Data throughput, με βάση τα μοντέλα που έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο 3.1 και τις ίδιες τοποθεσίες και διατάξεις μεταξύ των FBS και MN που μελετήσαμε για τον υπολογισμό φωνής, προκύπτουν τα επόμενα Σχήματα 13, 14 και 15.



Σχήμα 13: HSDPA Throughput για απόσταση Base Station-MN 100m



Σχήμα 14: HSDPA Throughput για απόσταση Base Station-MN 1km

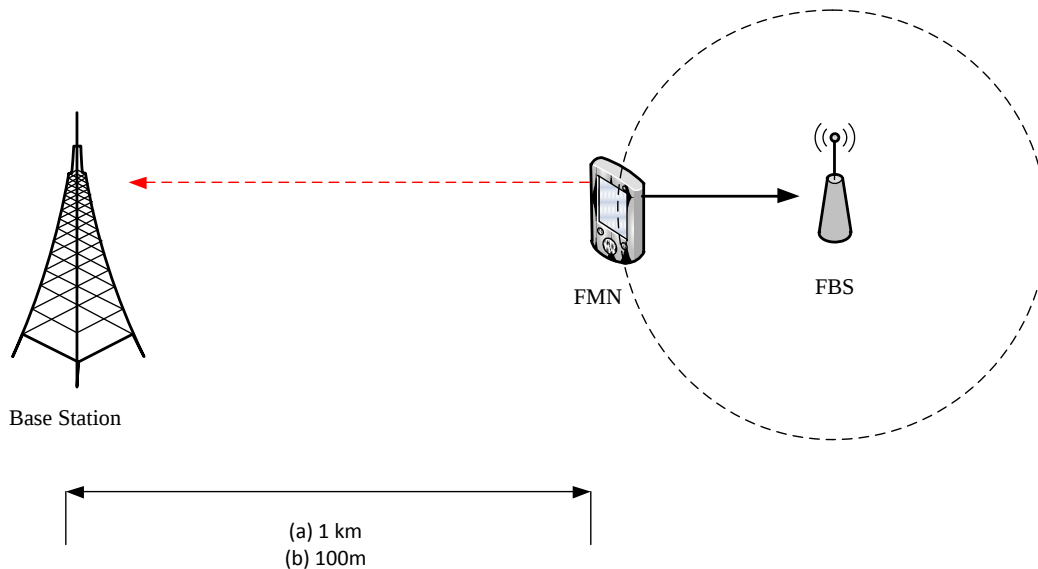


Σχήμα 15: HSDPA Throughput για απόσταση Base Station-MN σταθερή και ίση με 1km, Femtocell Base Station σε διπλανό δωμάτιο

Παρατηρούμε ότι για απόσταση μεταξύ Base Station και MN στο 1 km, το throughput που επιτυγχάνεται μειώνεται όσο το MN βρίσκεται κοντά στο Femtocell Base Station. Η μείωση αυτή είναι πιο έντονη όταν η ισχύς εκπομπής του Femtocell Base Station είναι στα 21 dBm. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς εκπομπής του Femtocell Base Station τόσο μεγαλύτερες είναι οι παρεμβολές που προκαλεί στη συσκευή MN.

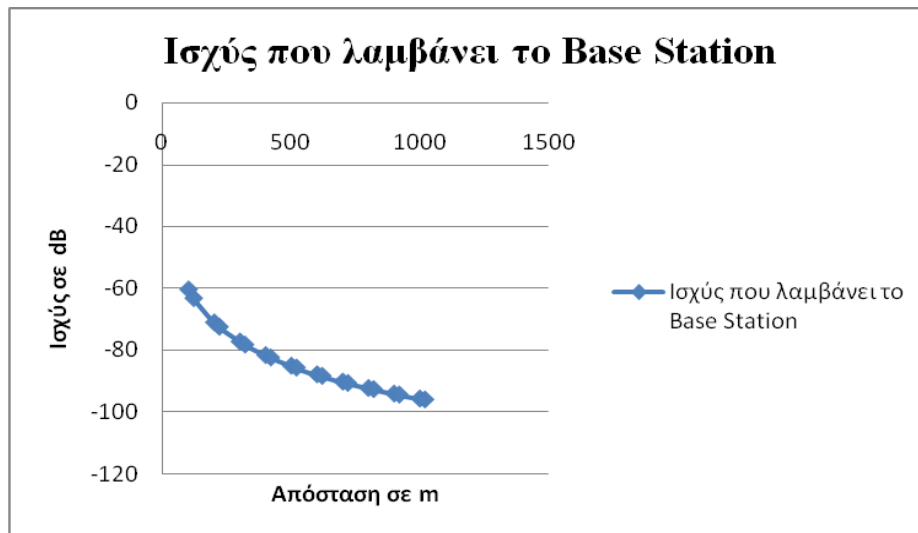
3.2.4 Περίπτωση 4: Παρεμβολές Συσκευής FMN προς Base Station

Σε αυτή την περίπτωση, εξετάζονται οι παρεμβολές συσκευής FMN προς το Base Station. Μια συσκευή FMN είναι συνδεδεμένη με το Femtocell Base Station, είναι όμως και σε οπτική επαφή με ένα Base Station που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση. Θα μελετηθούν οι παρεμβολές της συσκευής FMN στο Base Station για δύο περιπτώσεις, α) όταν η απόσταση Base Station-FMN είναι ίση με 100 m και β) όταν η απόσταση Base Station-FMN είναι ίση με 1 km. Και στις δύο περιπτώσεις η συσκευή FMN, κινείται προς τα δεξιά και απομακρύνεται από το Base Station. Η διάταξη απεικονίζεται στο Σχήμα 16.

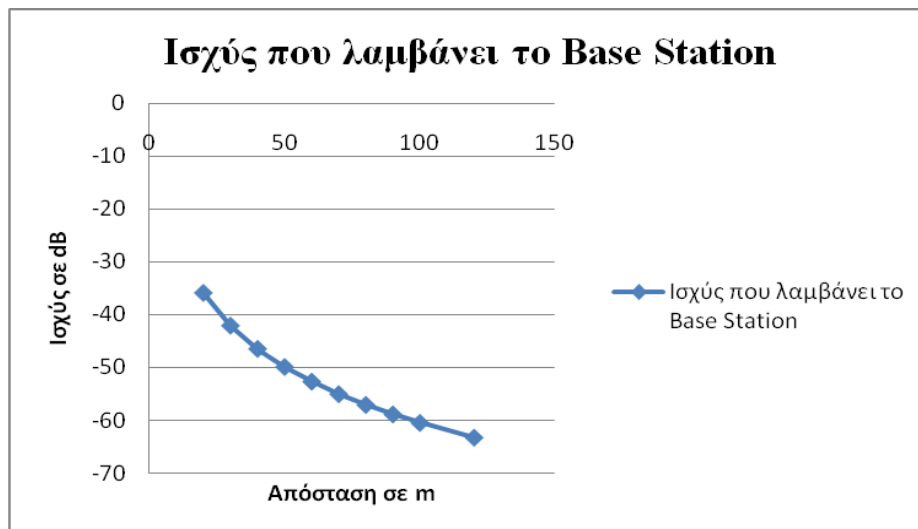


Σχήμα 16: Παρεμβολές Συσκευής FMN προς Base Station

Θεωρούμε ισχύ συσκευής FMN 21 dBm, ακτίνα κάλυψης Femtocell Base Station 10m, ύψος σταθμού βάσης Base Station 30 m, ύψος συσκευής FMN 1,5 m. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο Okumura-Hata με τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν τα Σχήματα 17, 18 για την παρεμβολή της συσκευής FMN στο Base Station.



Σχήμα 17: Ισχύς που λαμβάνει το Base Station από το FMN για απόσταση BS-FMN 1 km

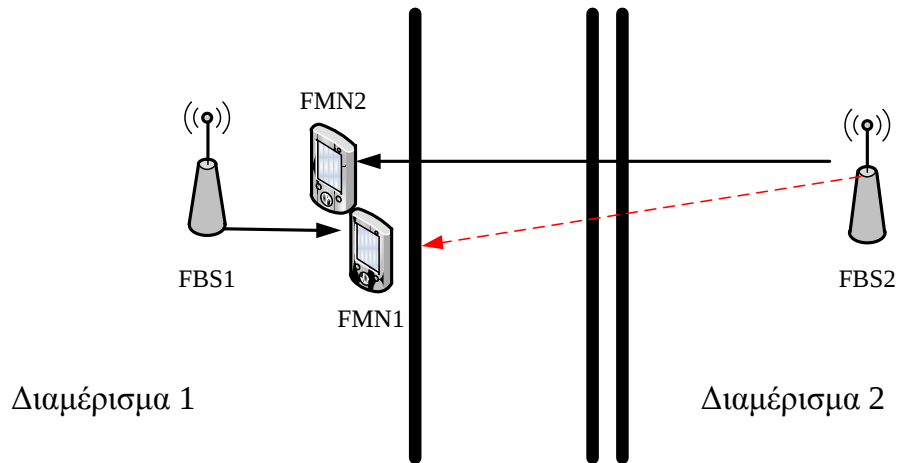


Σχήμα 18: Ισχύς που λαμβάνει το Base Station από το FMN για απόσταση BS-FMN 100 m

Παρατηρούμε ότι όσο η συσκευή FMN απομακρύνεται από το Base Station τόσο μειώνεται και η παρεμβολή που του προκαλεί. Ακόμα προκύπτει ότι η παρεμβολή που προκαλείται από το FMN στο Base Station είναι μεγαλύτερη για την απόσταση των 100 m μεταξύ τους, σε σχέση με την παρεμβολή που προκαλείται όταν η απόσταση μεταξύ FMN και Base Station είναι στο 1 km.

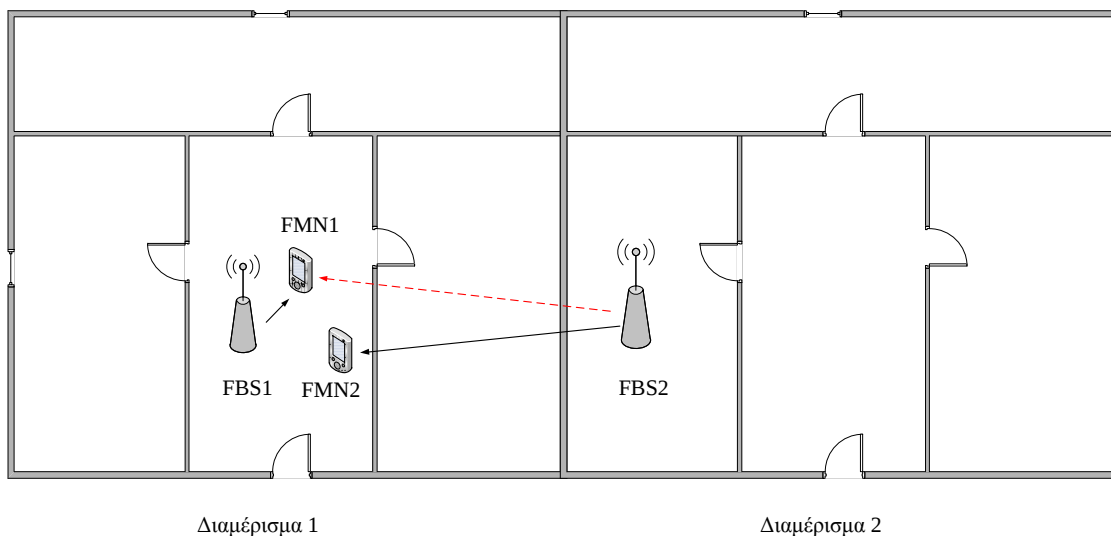
3.2.5 Περίπτωση 5: Παρεμβολές Femtocell Base Station προς χρήστη FMN κοντινού Femtocell Base Station

Σε αυτή την περίπτωση, θεωρούμε δύο συσκευές, το Femtocell Base Station 1(FBS1) και το Femtocell Base Station 2 (FBS2) που βρίσκονται σε δύο διπλανά διαμερίσματα. Η συσκευή FBS1 βρίσκεται στο διαμέρισμα 1 και η συσκευή FBS2 βρίσκεται στο διαμέρισμα 2. Η συσκευή FMN1 είναι συνδεδεμένη με το FBS1 και η συσκευή FMN2 είναι συνδεδεμένη με το FBS2. Οι δύο συσκευές FMN 1 και FMN 2 βρίσκονται στο διαμέρισμα 1. Εξετάζεται η απόδοση της συσκευής FMN1 όταν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με τη συσκευή FMN2 που είναι συνδεδεμένη με το Femtocell Base Station 2 του διπλανού διαμερίσματος. Τα δύο διαμερίσματα χωρίζονται με τοίχο. Σε αυτή την περίπτωση, η συσκευή FMN1 είναι το «θύμα», ενόσω η συσκευή FMN2 έχει ενεργή κλήση και είναι συνδεδεμένη με το FBS2 του διπλανού διαμερίσματος. Στη συνέχεια, απεικονίζεται το διάγραμμα της περίπτωσης αυτής στα Σχήματα 19 και 20. Σε αυτό το παράδειγμα δε λαμβάνονται υπόψη τυχόν παρεμβολές από γειτονικά Base Stations. Θεωρούμε ότι μεταξύ των δύο Femtocell Base Stations παρεμβάλλεται ένας εσωτερικός τοίχος δωματίου με απώλειες 10 dB και μεταξύ των διαμερισμάτων ένας τοίχος με απώλειες 15 dB. Η συσκευή FMN2 βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τη συσκευή FBS1.



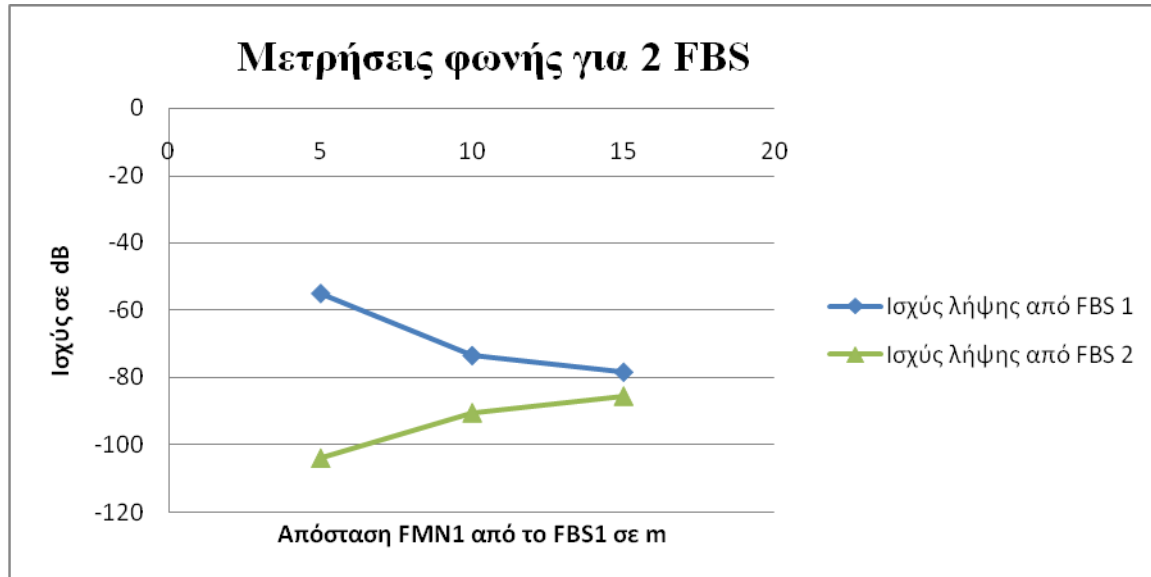
Σχήμα 19: Παρεμβολές Femtocell Base Station προς χρήστη FMN κοντινής Femtocell Base Station

Εφαρμόζοντας το μοντέλο απωλειών ITU-R P.1238 και με βάση τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν τα επόμενα διαγράμματα που περιγράφουν τις υπηρεσίες φωνής και δεδομένων που λαμβάνει η συσκευή FMN1 από το FBS1 όσο απομακρύνεται από αυτήν, δεδομένης της σύνδεσης της συσκευής FMN2 με το FBS2. Η συσκευή FBS2 είναι τοποθετημένη εντός του διαμερίσματος 2 αλλά όσο πιο κοντά γίνεται στο διαμέρισμα 1, για να μελετηθεί η ειδική περίπτωση ύπαρξης ισχυρότερων παρεμβολών.

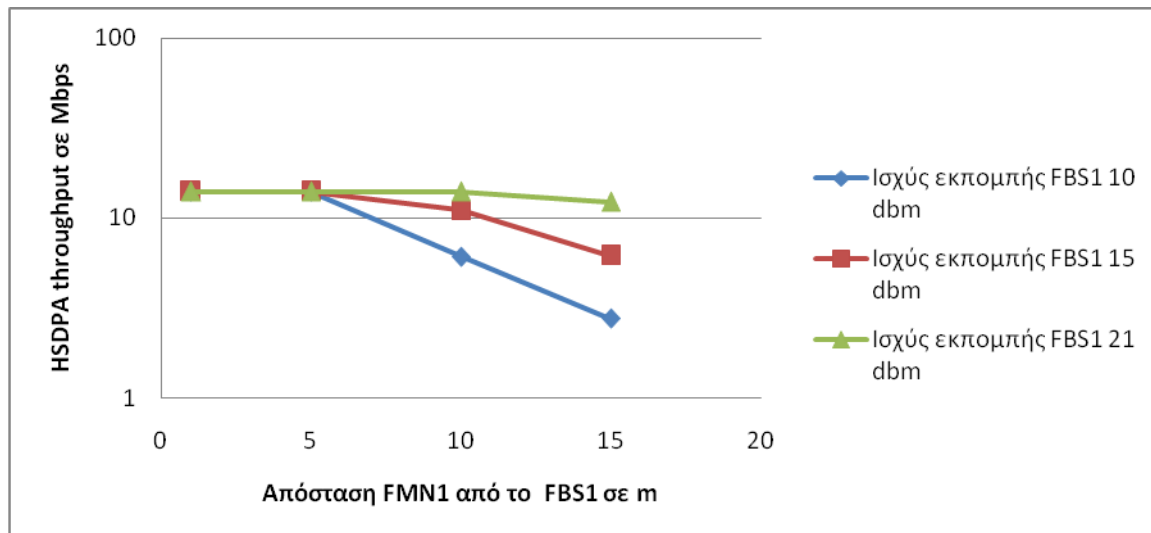


Σχήμα 20: Κάτοψη διαμερισμάτων για Παρεμβολές Femtocell Base Station προς χρήστη FMN κοντινού Femtocell Base Station

Θεωρούμε ότι το FMN1 μετακινείται προς το FBS2 (δηλ. απομακρύνεται από το FBS1) και τα αποτελέσματα για υπηρεσίες φωνής και throughput μελετούν αυτή την περίπτωση.



Σχήμα 21: Ισχύς λήψης για συσκευή FMN1

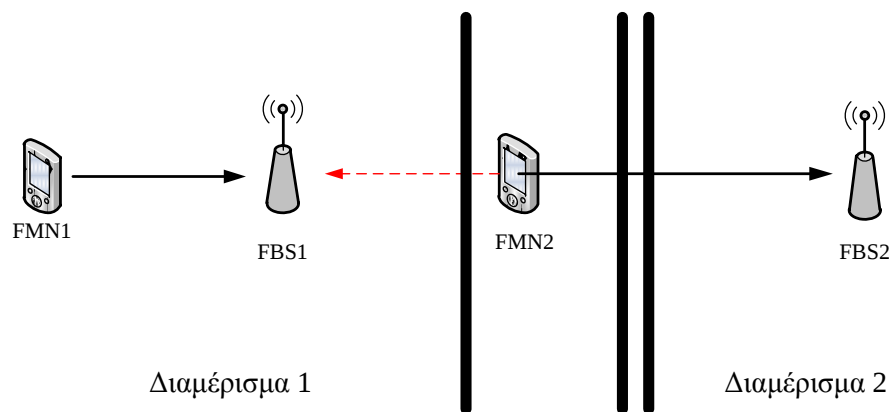


Σχήμα 22: HSDPA Throughput για συσκευή FMN1

Για τις υπηρεσίες φωνής, παρατηρούμε ότι στα όρια του πρώτου διαμερίσματος, ο χρήστης της συσκευής FMN1 μπορεί να χρησιμοποιεί υπηρεσίες κλήσεων, παρά τις παρεμβολές που δέχεται από τη συσκευή FBS2. Το throughput παρατηρούμε ότι μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ FMN1 και FBS1. Παρατηρούμε ότι διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα για την ισχύ εκπομπής του FBS1 στα 21 dBm.

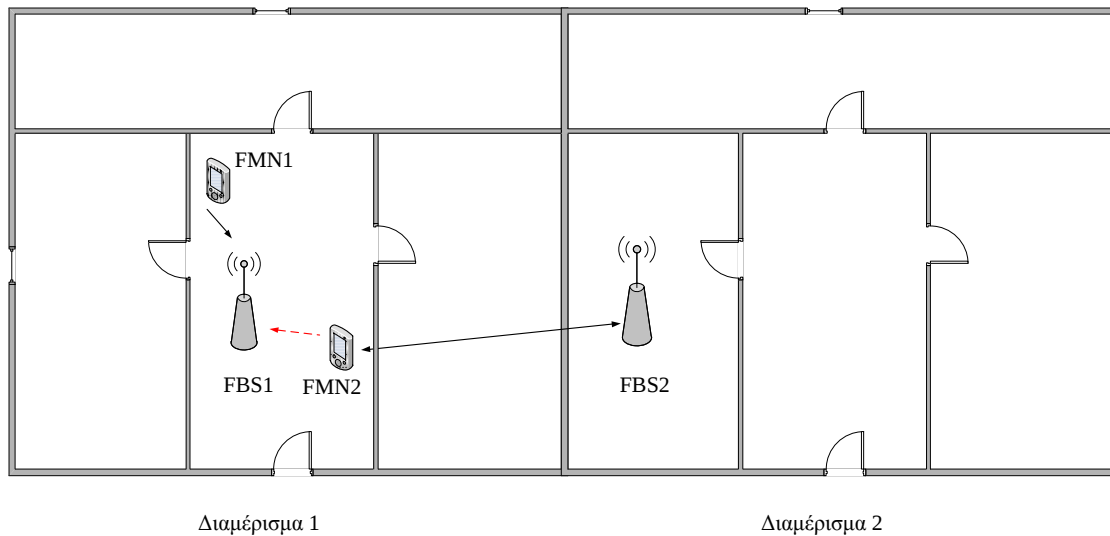
3.2.6 Περίπτωση 6: Παρεμβολές FMN προς κοντινό Femtocell Base Station

Σε αυτή την περίπτωση, θεωρούμε δύο συσκευές FBS1 και FBS2 σε δύο διπλανά διαμερίσματα. Οι συσκευές FMN1 και FMN2 βρίσκονται στο διαμέρισμα 1 και εξετάζονται οι παρεμβολές της συσκευής FMN2 προς το κοντινό Femtocell Base Station 1. Συγκεκριμένα, μια συσκευή FMN2 είναι συνδεδεμένη με FBS2, είναι όμως και σε κοντινή απόσταση με το FBS1. Θα μελετηθεί η παρεμβολή της συσκευής FMN2 προς το FBS1. Η διάταξη απεικονίζεται στα επόμενο Σχήματα 23 και 24.



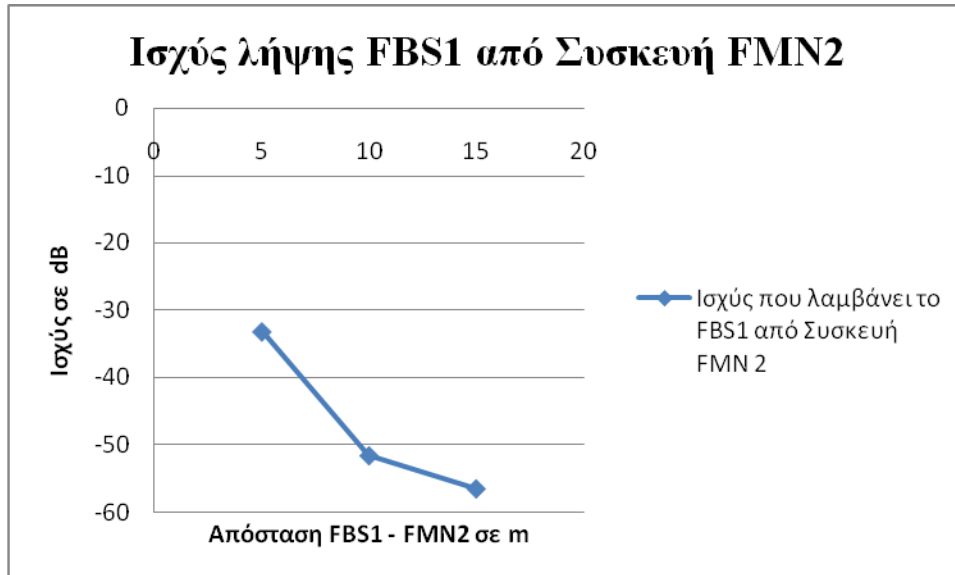
Σχήμα 23: Παρεμβολές Συσκευής FMN2 προς κοντινό Femtocell Base Station 1

Οι υποθέσεις που γίνονται είναι οι ίδιες που έχουν αναφερθεί στο παράδειγμα 5. Δηλαδή ,μεταξύ των δύο Femtocell Base Stations παρεμβάλλεται ένας εσωτερικός τοίχος δωματίου με απώλειες 10 dB και ένας τοίχος διαμερίσματος με απώλειες 15 dB.



Σχήμα 24: Κάτοψη διαμερισμάτων για Παρεμβολές Συσκευής FMN 2 προς κοντινό Femtocell Base Station 1

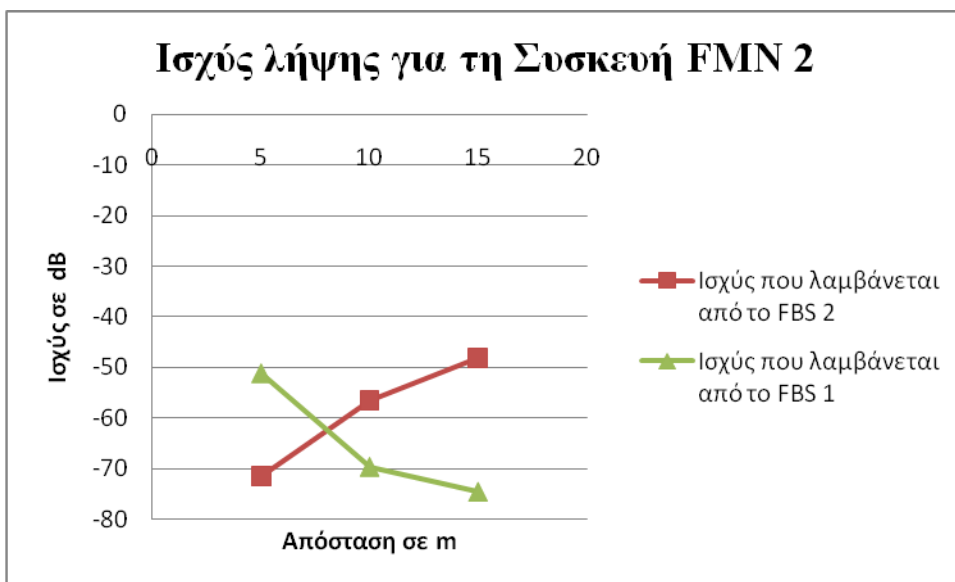
Εξετάζονται οι παρεμβολές που προκαλεί η συσκευή FMN2 στο FBS1. Με βάση το μοντέλο απωλειών ITU-R P.1238, προκύπτει το επόμενο γράφημα στο Σχήμα 25.



Σχήμα 25: Ισχύς λήψης για συσκευή FBS 1

Με βάση το παραπάνω γράφημα του Σχήματος 25, μπορούμε να δούμε ότι όσο η συσκευή FMN2 απομακρύνεται από τη συσκευή FBS1, τόσο μειώνονται και οι παρεμβολές που αυτή προκαλεί. Στη συνέχεια, θα εξεταστεί για αυτές τις αποστάσεις

πώς λειτουργεί η λήψη σήματος της συσκευής FMN2 από το FBS2. Με βάση τις ίδιες υποθέσεις, το αποτέλεσμα είναι το παρακάτω στο Σχήμα 26.



Σχήμα 26: Ισχύς λήψης για συσκευή FMN2

Στην απόσταση των 5 m η συσκευή FMN2 προκαλεί τη μεγαλύτερη παρεμβολή στη συσκευή FBS1. Σε αυτή την απόσταση όμως, η ισχύς που δέχεται αντίστοιχα από το FBS1 είναι μεγαλύτερη από αυτή που δέχεται από το FBS2, και αυτό συνεπάγεται ότι δεν μπορεί να έχει υπηρεσίες φωνής. Εκ των πραγμάτων, για να μπορέσει να τις χρησιμοποιήσει θα πρέπει να μετακινηθεί σε κοντινότερες αποστάσεις προς το FBS2 και να απομακρυνθεί από το FBS1. Έτσι, θα μειωθούν και οι παρεμβολές προς το FBS1.

Συμπεράσματα

Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν αποτελούν ειδικές περιπτώσεις και είναι σενάρια που μπορεί να οδηγήσουν σε ισχυρές παρεμβολές. Ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις όμως, όπως προκύπτει από τη θεωρητική μελέτη που έχει γίνει, παρατηρούμε ότι ο χρήστης θα μπορεί να χρησιμοποιεί αποτελεσματικά υπηρεσίες φωνής από τα Femtocell Base Stations. Για την περίπτωση των δεδομένων, μετά από τον υπολογισμό του Data Throughput, ο χρήστης θα μπορεί να επιτυγχάνει ικανοποιητικές ταχύτητες, που εξαρτώνται όμως από την ισχύ εκπομπής των Femtocell Base Stations αλλά και από την απόσταση μεταξύ του χρήστη Femtocell Mobile Node και του Femtocell Base Station

αλλά και από την ύπαρξη εμποδίων όπως τοίχοι δωματίων που προκαλούν απώλειες ισχύος.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ FEMTOCELL BASE STATIONS

Με την εισαγωγή της τεχνολογίας των Femtocell Base Stations, αρκετοί πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας έχουν εφαρμόσει σε εμπορικό επίπεδο την υλοποίησή τους ώστε να μπορέσουν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα που αυτή προσφέρει, τα οποία είναι τα παρακάτω[11].

Μείωση κόστους υποδομών

Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της κίνησης η οποία προσφέρει data offload στο δίκτυο Base Stations, τόσο λιγότερος αριθμός Base Stations απαιτείται συνολικά. Η μείωση των περιοχών Base Stations θα συντελέσει σε μεγάλη μείωση κόστους υποδομών για τους παρόχους στην ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων τους. Η μείωση της κίνησης που εκτελείται από τα Base Stations οδηγεί και σε μείωση του κόστους backhauling, που οδηγεί σε μείωση λειτουργικού κόστους.

Μείωση σταθμών βάσης

Η μείωση των Base Stations θα απλοποιήσει τη μελέτη τοποθεσίας και τη διαδικασία σχεδιασμού. Παράλληλα, σημαίνει και μικρότερο κόστος ενοικίασης για τη χρήση σταθμών βάσης. Όσο επεκτείνονται τα δίκτυα 3G/4G, η εύρεση χώρου για τους σταθμούς βάσης είναι μια πρόκληση για τους παρόχους, ιδίως για τις αστικές περιοχές.

Οικονομικό σχέδιο ανάπτυξης

Τα Femtocell Base Stations μπορούν να συντελέσουν στην αύξηση της χωρητικότητας δικτύου και της επίτευξης ενός οικονομικού σχεδίου ανάπτυξης με μειωμένα οικονομικά βάρη. Αυτό μπορεί να συμβεί γιατί τα Femtocell Base Stations αποτελούν λύσεις χαμηλού κόστους, σε σύγκριση με την εναλλακτική προσθήκης νέων Base Stations, για την αύξηση της εσωτερικής κάλυψης. Κατά δεύτερο λόγο, οι χρήστες αναλαμβάνουν ένα σημαντικό κόστος από τα έξοδα εγκατάστασης των Femtocell Base Stations, αλλά και η λειτουργία τους καλύπτεται κατά ένα σημαντικό μέρος από αυτούς (με τον πάροχο να αναλαμβάνει την απομακρυσμένη συντήρηση του εξοπλισμού κτλ).

Ποιότητα Υπηρεσιών

Τα Femtocell Base Stations μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα των υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, μπορούν να αυξήσουν την αφοσίωση των πελατών και να μειώσουν το ποσοστό της τάσης φυγής προς εναλλακτικούς παρόχους, κάτι που μπορεί να έχει μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις στην οικονομική θέση του παρόχου. Σύμφωνα με έρευνες [17] η χαμηλή ποιότητα υπηρεσιών είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για τη διακοπή της συνεργασίας ενός συνδρομητή με τον πάροχο.

Αύξηση εσόδων

Τα Femtocell Base Stations μπορούν να βοηθήσουν τους παρόχους να προσαρμόσουν τη χρήση των συνδρομητών και να παρέχουν καλύτερες υπηρεσίες τόσο για δεδομένα όσο και για φωνητικές υπηρεσίες, για παράδειγμα με ειδικά προγράμματα για οικιακή χρήση και πακέτα υπηρεσιών που έχουν ως αποτέλεσμα να αυξηθεί σημαντικά ο Μέσος Όρος Εσόδων ανά χρήστη (ARPU).

Υπηρεσίες νέας γενιάς

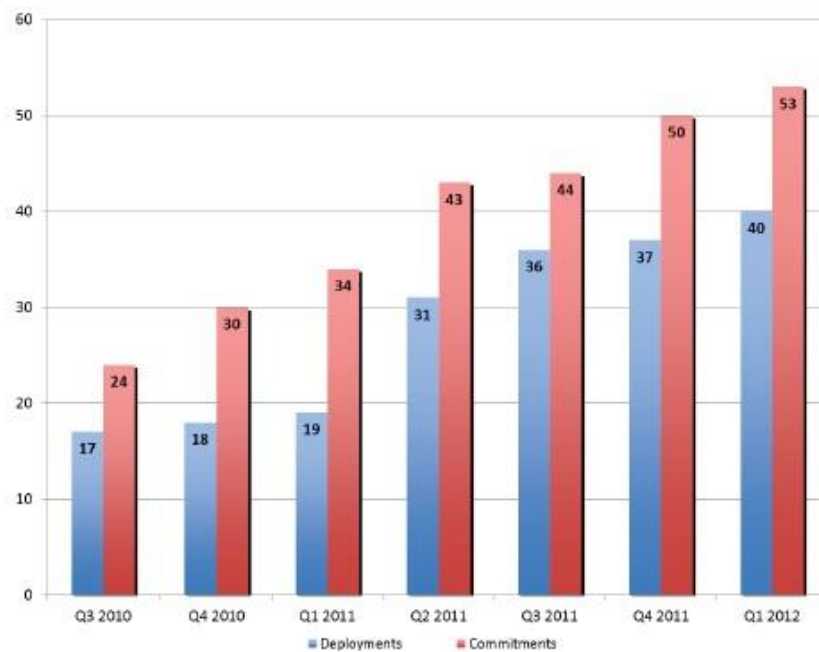
Τα Femtocell Base Stations μπορούν να βοηθήσουν τους παρόχους να προσφέρουν απρόσκοπτες υπηρεσίες στον τελικό χρήστη για περιβάλλοντα εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, είτε στην εργασία είτε στο σπίτι και να αποτελέσουν μια βάση για υπηρεσίες νέας γενιάς που συνδυάζουν φωνητικές κλήσεις, video και υπηρεσίες δεδομένων σε μία κινητή συσκευή. Ακόμα και σε περιοχές που εξυπηρετούνται από Base Stations, τα Femtocell Base Stations μπορούν να προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στους παρόχους, καθώς θα περιορίσουν την ανάγκη για την παροχή υπηρεσιών σε κλειστούς χώρους από τα Base Stations και θα μειώσουν τα επιπλέον κόστη που απαιτούνται για παροχή σήματος εσωτερικά.

Εναλλακτική ανάπτυξη δικτύου

Τα Femtocell Base Stations μπορούν να προσφέρουν σε νέους παρόχους κινητών υπηρεσιών εναλλακτικές προσεγγίσεις για τη δομή του δικτύου. Για παράδειγμα, μπορούν να προσφέρουν λύσεις εσωτερικού χώρου σε ειδικούς χώρους με τη χρήση των Femtocell Base Stations και Picocell Base Stations, να παρέχουν λύσεις Femtocell Base

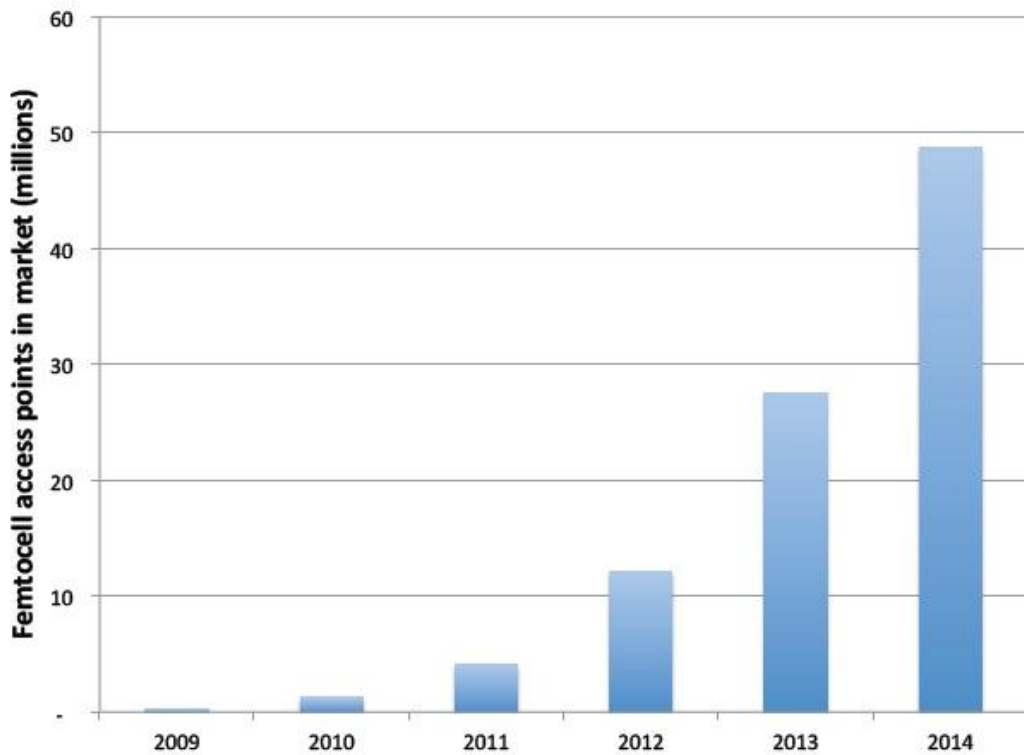
Stations για οικιακούς χρήστες και να αναπτύξουν δίκτυο Base Stations εκεί που υπάρχει πραγματική ανάγκη και να κάνουν συμφωνίες για τη χρήση των Base Stations για λύσεις περιαγωγής με τους υπάρχοντες παρόχους.

Με βάση τις θετικές επιπτώσεις που έχουν τα Femtocell Base Stations και τους τρόπους με τους οποίους μπορούν να ενισχύσουν μια εταιρεία παροχής τηλεπικοινωνιών, έχει παρατηρηθεί ότι οι πωλήσεις Femtocell Base Stations και οι ενεργοποιήσεις συνδρομητών τους των είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικές. Παγκοσμίως συνολικά 40 εταιρείες παρέχουν εφαρμογές Femtocell Base Stations, ενώ υπάρχει δέσμευση για 53 συνολικά να εφαρμόσουν εφαρμογές Femtocell Base Stations στο μέλλον, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 27.



Σχήμα 27: Εταιρείες που υλοποιούν εφαρμογές Femtocell Base Stations [18]

Στο Σχήμα 28 απεικονίζεται ο αριθμός των Femtocell Base Stations που έχουν πωληθεί έως τώρα και η πρόβλεψη για την εξέλιξή τους.



Σχήμα 28: Αριθμός Femtocell Base Stations που έχουν πωληθεί παγκοσμίως[18]

4.1 Τρόπος πωλήσεων από Παρόχους Κινητών Υπηρεσιών

Στο κομμάτι αυτό, έγινε μια προσπάθεια να ερευνηθεί ο τρόπος πώλησης των Femtocell Base Stations από τους παρόχους στην Ελλάδα και σε κύριες ευρωπαϊκές αγορές. Ένα στοιχείο που ενδιαφέρει είναι αν οι πάροχοι προσφέρουν τις υπηρεσίες σε οικιακούς χρήστες ή και σε επιχειρήσεις. Τα στοιχεία αποτυπώνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Εταιρεία	Χώρα	Προσφορά για Ιδιώτες	Προσφορά για Επιχειρήσεις
Vodafone	Ελλάδα	• 90 € για αγορά • Φθηνότερα ή δωρεάν για συνδρομητές κινητής	Δεν έχει πακέτο προσφοράς για επιχειρήσεις
Cosmote	Ελλάδα	• 90 € για αγορά • Φθηνότερα ή δωρεάν για συνδρομητές κινητής	Δεν έχει πακέτο προσφοράς για επιχειρήσεις
Vodafone	Ηνωμένο Βασίλειο	• 62 € για αγορά	Δεν έχει πακέτο προσφοράς για επιχειρήσεις
Vodafone	Ιταλία	• 129 € για αγορά • 49 € για συνδρομητές Vodafone ADSL • Συσκευή έως 4 χρήστες	• 549 € για αγορά • Βελτιωμένη συσκευή • Έως 8 χρήστες και 500m² κάλυψη
Vodafone	Ιρλανδία	• 99 € για αγορά • 49€ για συνδρομητές	Δεν έχει πακέτο προσφοράς για επιχειρήσεις
SFR	Γαλλία	• 49 € για αγορά	Δεν έχει πακέτο προσφοράς για επιχειρήσεις

Παρατηρούμε ότι οι συσκευές Femtocell Base Station που προσφέρονται στους συνδρομητές είναι σε οικονομικές τιμές και όσο εξελίσσεται η τεχνολογία που επιτρέπει μεγαλύτερα επίπεδα ολοκλήρωσης σε υλικό και λογισμικό, αυτή η τιμή μπορεί να μειωθεί περαιτέρω.

Χρέωση Συνδρομητών

Ένα άλλο στοιχείο που παρατηρείται είναι ότι για τους συνδρομητές οι οποίοι είναι πελάτες της εταιρείας είτε στις κινητές υπηρεσίες τηλεφωνίας είτε σε ADSL υπηρεσίες (εφόσον τις προσφέρει ο ίδιος πάροχος), η συσκευή του Femtocell Base Station μπορεί να προσφερθεί σε μικρότερη τιμή (ακόμη και δωρεάν) ανάλογα με το ύψος του συμβολαίου που διατηρεί ο συνδρομητής με τον πάροχο. Αυτό γίνεται γιατί οι πάροχοι θέλουν να αυξήσουν την ποιότητα των υπηρεσιών, ώστε να αυξηθεί η αφοσίωση των πελατών προς την εταιρεία και να μειωθεί το ποσοστό της τάσης φυγής από την εταιρεία. Το ποσοστό της τάσης φυγής συνδρομητών για κάθε εταιρεία είναι μια σημαντική απώλεια εσόδων. Αν καταφέρει να το μειώσει με διάφορους τρόπους (π.χ. με προσφορά δωρεάν συσκευών Femtocell Base Station), τότε μπορεί να έχει μεγάλο κέρδος τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Ακόμα υπάρχει και το κόστος data offload του δικτύου Base Station του παρόχου αφού οι κλήσεις δρομολογούνται από τα Femtocell Base Station.

Υπηρεσίες για Επιχειρήσεις

Ένα τρίτο σημείο που παρατηρείται είναι ότι οι εταιρείες-πάροχοι που απευθύνονται σε επιχειρήσεις για την πώληση των Femtocell Base Station, χρεώνουν παραπάνω την πώληση της συσκευής. Βέβαια, αυτό είναι λογικό διότι οι συσκευές Femtocell Base Station που προσφέρονται στις επιχειρήσεις είναι αυξημένων δυνατοτήτων σε σχέση με αυτές που προσφέρονται στους απλούς συνδρομητές. Συγκεκριμένα, οι συσκευές που προσφέρονται στους απλούς συνδρομητές μπορούν να εξυπηρετήσουν έως 32 χρήστες, αλλά μόνο 4 ταυτόχρονα ενώ η ισχύς εκπομπής τους είναι στα 20mW. Οι συσκευές Femtocell Base Station που προσφέρονται στις επιχειρήσεις μπορούν να εξυπηρετήσουν έως 32 χρήστες, αλλά έως 8 ταυτόχρονα ενώ έχουν ισχύ εκπομπής στα 100mW. Όπως έχουμε δει και από το πρώτο μέρος της εργασίας στη μελέτη των παρεμβολών, οι συσκευές Femtocell Base Station, όταν έχουν μεγαλύτερη ισχύ έχουν καλύτερες υπηρεσίες δεδομένων για τους χρήστες. Έτσι, μπορεί να προσφέρονται και σε διαφορετική τιμή σε σχέση με τις απλές συσκευές Femtocell Base Station. Ακόμα, για τις επιχειρήσεις προσφέρονται υπηρεσίες μελέτης χώρου εγκατάστασης ενώ η εγκατάσταση μπορεί να γίνει από το προσωπικό του παρόχου και όχι από την ίδια την επιχείρηση.

Έτσι, δικαιολογείται η αυξημένη τιμή που χρεώνονται τα Femtocell Base Station στις επιχειρήσεις σε σχέση με αυτή των συνδρομητών.

Χρέωση μετά την Αγορά Femtocell Base Station

Μετά την αγορά των Femtocell Base Stations, ειδικά για την περίπτωση της Ελλάδας, η χρέωση στον συνδρομητή γίνεται με βάση το υπάρχον συμβόλαιό του με την εταιρεία, χωρίς να υπάρχει κάποιο ειδικό πακέτο προσφοράς για υπηρεσίες φωνής ή δεδομένων. Αυτό γίνεται γιατί ο συνδρομητής αποκτώντας καλύτερη κάλυψη για τις υπηρεσίες του, θα μπορεί να χρησιμοποιεί υπηρεσίες φωνής τις οποίες προηγουμένως εξαιτίας της περιορισμένης κάλυψης δεν μπορούσε να λάβει και έτσι θα αυξάνεται και ο συνολικός χρόνος ομιλίας του κάτι που είναι συμφέρον για τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας. Αυτή είναι μια συνήθεια που αποκτά ο συνδρομητής και έχοντας καλύτερη κάλυψη στο σπίτι ή στην εργασία του, συνηθίζει στις υπηρεσίες αυτές και θέλει να τις χρησιμοποιεί και σε άλλους χώρους, αυξάνοντας έτσι τους συνολικούς χρόνους ομιλίας αλλά και την ποσότητα δεδομένων που λαμβάνει.

4.2 Femtocell Base Stations και πάροχοι ISP

Ο έλεγχος της κίνησης από τους παρόχους ISP, είναι ένας τρόπος ώστε σε περιόδους αιχμής να διασφαλίζεται ότι όλοι οι χρήστες θα μπορούν να λαμβάνουν υπηρεσίες Internet χωρίς διακοπές. Αν η ποιότητα των υπηρεσιών δεν είναι ικανοποιητική, μπορεί να επηρεαστεί η χρήση των υπηρεσιών που προσφέρουν τα Femtocell Base Station αφού χρησιμοποιούν το Internet μέσω των ISP για τη σύνδεσή τους με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού [19]. Οι ανάγκες των Femtocell Base Station για ποιότητα υπηρεσιών μπορούν να καλυφθούν απόλυτα, ειδικά τώρα που οι ταχύτητες που προσφέρονται από τους παρόχους ISP για σύνδεση με το Internet είναι πολύ υψηλές. Κάτι τέτοιο όμως πρέπει να διασφαλίζεται και από τους παρόχους κινητών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών για να διασφαλίζεται η ποιότητα υπηρεσιών των πελατών τους. Τα βήματα που πρέπει να κάνει ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος κινητών υπηρεσιών είναι τα παρακάτω.

1. Δοκιμαστικοί Έλεγχοι

Δεδομένων των μεγάλων αποκλίσεων που υπάρχουν σε κάθε υλοποίηση που παρέχει σημεία πρόσβασης Femtocell Base Station στους συνδρομητές, πρέπει να υπάρχει συνεχόμενος αυτοματοποιημένος έλεγχος καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου και για όλες τις ημέρες που να ελέγχει την ποιότητα των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων.

2. Προειδοποίηση Πιθανών Συνδρομητών

Η διαχείριση των προσδοκιών των συνδρομητών είναι σημαντική για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας που θέλουν να αποφεύγουν δυσαρεστημένους πελάτες και ζημιά στην εικόνα της εταιρείας.

3. Ενημέρωση Συνδρομητών

Διασφάλιση ότι οι συνδρομητές κατανοούν ότι η ποιότητα της φωνής μπορεί να επηρεαστεί από την ικανότητα του παρόχου ISP να διαχειριστεί την κίνηση των Femtocell Base Stations. Παροχή εργαλείων στους συνδρομητές ώστε να μπορούν να ελέγχουν εύκολα την ποιότητα των ευρυζωνικών υπηρεσιών τους και να αποφεύγονται έτσι οι κλήσεις προς τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας για υποστήριξη.

4. Άμεση Ενημέρωση για Προβλήματα

Οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας πρέπει να έχουν άμεση και ζωντανή εικόνα όλων των ευρυζωνικών δικτύων που χρησιμοποιούνται για την παροχή υπηρεσιών φωνής. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις ομάδες υποστήριξης, τους μηχανικούς, το τμήμα μάρκετινγκ και από άλλα τμήματα της εταιρείας.

5. Επίτευξη Συμφωνιών Εγγύησης QoS

Όπου είναι πιθανό, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας πρέπει να διαμορφώνουν συμφωνίες με μεγάλους παρόχους ISP, ώστε να διασφαλίσουν ότι η ποιότητα παραμένει σταθερή. Με βάση αυτή τη συμφωνία θα πρέπει να ελέγχεται η ποιότητα υπηρεσιών φωνής και δεδομένων για τους συνδρομητές της κινητής τηλεφωνίας και να ενημερώνεται ο πάροχος κινητής όταν οι υπηρεσίες των ISP παρόχων πέφτουν κάτω από προκαθορισμένα όρια. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα

που διαθέτουν όσες εταιρείες εκτός από υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας προσφέρουν οι ίδιες και ευρυζωνικές υπηρεσίες.

4.3 Πρόταση για την εξέλιξη των Femtocell Base Stations

Η τεχνολογία των Femtocell Base Stations είναι μια τεχνολογία που έχει υιοθετηθεί από πολλούς παρόχους κινητών υπηρεσιών καθώς προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα τόσο για τους συνδρομητές όσο και για τις ίδιες τις εταιρείες, κάτι που αντικατοπτρίζεται και στη συνεχή αύξηση χρησιμοποίησης των Femtocell Base Stations παγκοσμίως. Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί από το πρώτο μέρος της εργασίας για την μελέτη των παρεμβολών, θα επιχειρήσουμε να κάνουμε μια πρόταση που θα μπορούσε να υιοθετηθεί για την προώθηση συσκευών Femtocell Base Stations στους συνδρομητές. Έχουμε παρατηρήσει ότι οι συσκευές Femtocell Base Stations ακόμη και όταν εκπέμπουν με χαμηλή ισχύ μπορούν να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες φωνής χωρίς προβλήματα. Μετά την ενεργοποίηση των Femtocell Base Stations, οι συνδρομητές έχουν τις ίδιες χρεώσεις συμβολαίου που είχαν και προηγουμένως ανάλογα με το συμβόλαιό τους. Για αυτό το λόγο αλλά και για να προσελκύσουν περισσότερους συνδρομητές, οι πάροχοι κινητής θα μπορούσαν να προσφέρουν στους συνδρομητές της εταιρείας τους, προαιρετικά, απεριόριστες κλήσεις προς όλους τους συνδρομητές ανεξαρτήτως παρόχου, όταν αυτές γίνονται μέσω των Femtocell Base Stations με ένα σταθερό μηνιαίο αντίτιμο για την υπηρεσία αυτή. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα όταν σε ένα σπίτι υπάρχουν κινητές συσκευές σε άλλους παρόχους, να μεταφερθούν στον πάροχο που χρησιμοποιεί το Femtocell Base Station για να μπορούν να χρησιμοποιούν τις απεριόριστες κλήσεις προς όλες τις εταιρείες. Έτσι θα προστεθούν νέοι συνδρομητές αυξάνοντας την πελατειακή βάση του παρόχου, αλλά θα αυξηθεί και το ARPU, αφού θα υπάρχει επιπλέον η σταθερή μηνιαία χρέωση του χρήστη για τις απεριόριστες κλήσεις που θα έχει προσφέρει ο πάροχος κινητής τηλεφωνίας.

4.4 Μελλοντική Εργασία

Τα Femtocell Base Stations λαμβάνουν έναν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των κυψελοειδών δικτύων. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα κυψελοειδή δίκτυα, τα Femtocell Base Stations εγκαθίστανται και ελέγχονται από τον τελικό χρήστη σε τυχαίες τοποθεσίες και εξαρτώνται από το δίκτυο τρίτων για την DSL σύνδεση. Τα Femtocell Base Stations μπορούν να ρυθμιστούν να είναι ανοιχτής πρόσβαση (open access model) ή κλειστής πρόσβασης (closed access model). Με την ανοιχτή πρόσβαση επιτρέπεται σε έναν τυχαίο κοντινό χρήστη να χρησιμοποιήσει το Femtocell Base Station, ενώ στην κλειστή πρόσβαση περιορίζεται η χρήση των Femtocell Base Station σε συγκεκριμένους χρήστες που καθορίζονται από τον ιδιοκτήτη του Femtocell Base Station. Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας προτιμούν την εγκατάσταση ανοιχτής πρόσβασης καθώς είναι ένας ανέξοδος τρόπος για την επέκταση του δικτύου τους. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να επιβαρύνει τη σύνδεση του ιδιοκτήτη του Femtocell Base Station που προτιμά Femtocell Base Stations κλειστής πρόσβασης ώστε να μπορεί να διατηρεί για δική του χρήση τη χωρητικότητα της DSL σύνδεσής του.

Ένα πεδίο το οποίο αξίζει να μελετηθεί σε μελλοντικό χρόνο είναι η παροχή οικονομικού κινήτρου από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας προς τους συνδρομητές της που χρησιμοποιούν Femtocell Base Stations ώστε να εφαρμόζουν πολιτική ανοιχτής πρόσβασης. Μια τέτοια εφαρμογή θα πρέπει να είναι συνάρτηση της χωρητικότητας της DSL ενσύρματης σύνδεσης του συνδρομητή και του κόστους αυτής, του οικονομικού προγράμματος που διατηρεί με το δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας και του οικονομικού οφέλους που προκύπτει για την εταιρεία κινητής τηλεφωνίας. Ένα τέτοιο κίνητρο θα μπορούσε να καταστήσει την εγκατάσταση νέων Femtocell Base Stations από τους συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας ακόμα πιο ελκυστική και να εδραιώσει τη θέση μιας εταιρείας κινητής τηλεφωνίας στην αγορά.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σε αυτή την εργασία εστιάσαμε τη μελέτη μας στην τεχνολογία των femtocells και των εφαρμογών τους. τα Femtocell Base Stations είναι σταθμοί βάσεως χαμηλής ισχύος που λειτουργούν σε συχνότητες αδειοδοτημένου φάσματος, προσφέροντας αυξημένη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους και με βελτιωμένη απόδοση. Μπορούν να προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα στους χρήστες τους όπως αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών τόσο για υπηρεσίες φωνής όσο και δεδομένων, ενώ συντελούν στην εξοικονόμηση ενέργειας. Έχουν όμως και μειονεκτήματα με πιο σημαντικό τη δημιουργία επιπλέον παρεμβολών στις συσκευές κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιούν ήδη τις ίδιες συχνότητες. Στην εργασία αυτή επικεντρωθήκαμε στη μελέτη των παρεμβολών στη λειτουργία των Femtocell Base Stations. Επιλέχθηκαν έξι σενάρια συνύπαρξης Base Stations και Femto Base Stations και μελετήθηκε πώς επηρεάζονται οι υπηρεσίες φωνής και δεδομένων για αυτές τις περιπτώσεις. Προέκυψε με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών ότι για όλες τις περιπτώσεις μπορούν να προσφερθούν αποτελεσματικά υπηρεσίες φωνής από τα Femtocell Base Stations προς τους χρήστες Femtocell Mobile Nodes. Στον υπολογισμό του Data Throughput παρατηρήθηκε ότι αν και παρέχονται ικανοποιητικές ταχύτητες λήψης δεδομένων, αυτές οι ταχύτητες εξαρτώνται και επηρεάζονται από την απόσταση του χρήστη Femtocell Mobile Node από το Femtocell Base Station. Για το Data Throughput, έχει σημασία αν το Femtocell Base Station βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση, στο διπλανό δωμάτιο ή στο διπλανό διαμέρισμα.

Στο επόμενο μέρος της εργασίας, επικεντρωθήκαμε στις εμπορικό κομμάτι των Femtocell Base Stations κάνοντας μια έρευνα στον τρόπο πώλησης και προώθησης των Femtocell Base Stations. Εξάχθηκαν ορισμένα συμπεράσματα με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν. Οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας προσφέρουν σε μειωμένη τιμή ή ακόμα και δωρεάν τις συσκευές Femtocell Base Stations προς τους πελάτες οι οποίοι είναι ήδη συνδρομητές τους. Προσφέρουν βελτιωμένες συσκευές προς τις επιχειρήσεις που όπως μελετήθηκε και στο υπολογιστικό μέρος της εργασίας μπορούν να καλύψουν τις αυξημένες απαιτήσεις τους. Ακόμα είδαμε ότι τουλάχιστον για την περίπτωση της Ελλάδας η χρέωση μετά την αγορά των Femtocell Base Stations γίνεται με βάση το υπάρχον συμβόλαιο χωρίς να προσφέρεται κάποιο ειδικό πακέτο χρόνου ομιλίας ή

δεδομένων. Καταλήξαμε με μια πρόταση που θα μπορούσε να βοηθήσει στην περαιτέρω εξέλιξη της εμπορικής αξιοποίησης των Femtocell Base Stations από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας και περιλαμβάνει την προαιρετική προσφορά για όποιον χρήστη το επιθυμεί, απεριόριστου χρόνου ομιλίας από τους χρήστες των Femtocell Base Stations, έναντι μηνιαίας τιμής χρέωσης.

Τεχνικές Ορολογίες

AMR	Adaptive Multi-Rate - Πρότυπο συμπίεσης δεδομένων ήχου για μετάδοση φωνής
ARPU	Average Revenue Per User - Μέσα έσοδα ανά χρήστη
Backhaul	Σύνδεση κορμού δικτύου
BS	Base Station - Σταθμός βάσης μακροκυψέλης
Data Offload	Μετακίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας από εναλλακτική διαδρομή
Downlink	Μετάδοση δεδομένων από το σταθμό βάσης προς κινητή τερματική συσκευή
FBS	Femtocell Base Station - Σταθμός βάσης Φεμτοκυψέλης
Femtocell	Φεμτοκυψέλη
FMN	Femtocell Mobile Node - Κινητή Συσκευή συνδεδεμένη με FBS
HSDPA	High Speed Download Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access - Πρωτόκολλο Επικοινωνιών Ασύρματης Τηλεφωνίας
ISP	Internet Service Provider- Πάροχος Ευρυζωνικών Υπηρεσιών Internet
LTE	Long-Term Evolution - Πρότυπο Ασύρματων Επικοινωνιών που παρέχει υψηλή ταχύτητα δεδομένων κινητών συσκευών
Microcell	Μικροκυψέλη: Σταθμός βάσης με ακτίνα κάλυψης έως 2 χιλιομέτρων
MN	Mobile Node-Κινητή Συσκευή

	συνδεδεμένη με Base Station
P-CPICH	Primary Common Pilot Channel- Χρησιμοποιείται από τις συσκευές MN για την αναγνώριση εκπομπής από σταθμούς βάσης
Picocell	Πικοκυψέλη: Σταθμός βάσης με ακτίνα κάλυψης εκατοντάδων μέτρων
QoS	Quality of Service-Ποιότητα Παροχής Υπηρεσιών
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio: Η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται προς την ισχύ του θορύβου και των παρεμβολών
Small Cells	Μικρές κυψέλες: Γενική κατηγορία που περιλαμβάνει τα femtocells, picocells, microcells
Throughput	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

Βιβλιογραφία

- [1] Cisco Whitepaper, “Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2010-2015,” Feb. 2011.
- [2] J. G. Andrews, H. Claussen, M. Dohler, S. Rangan, M. C. Reed, “Femtocells: Past, Present, and Future,” *IEEE Journal on Selected areas in Communications*, vol. 30, no. 3, Apr. 2012.
- [3] Informa Telecoms & Media, “Femtocell Market Status,” Femtoforum Whitepaper, 2011.
- [4] “Wifi and femtocell integration strategies 2011-2015,” Juniper Research Whitepaper, Mar. 2011.
- [5] A. Stocker, “Small-cell mobile phone systems,” *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.33, no. 4, Nov 1984.
- [6] R. Iyer, J. Parker and P. Sood, “Intelligent networking for digital cellular systems and the wireless world,” *Proc. IEEE Globecom*, Dec. 1990.
- [7] R. Brickhouse and T. Rappaport, “Urban in-building cellular frequency reuse,” *Proc. IEEE Globecom*, Nov.1996.
- [8] L. Ho, “Self-Organising algorithms for fourth generation wireless networks and its analysis using complexity metrics,” Ph.D. dissertation, Queen Mary College, University of London, 2003.
- [9] <http://www.smallcellforum.org/aboutsmallcells-small-cells-consumer-faqs>
- [10] Femtoforum Whitepaper, “Small-Cells-What's the Big Idea,” Feb. 2012.
- [11] J. Zhang, G. de la Roche, “Femtocells: Technologies and Deployment,” Wiley, 2010.
- [12] 3GPP, “TR.25820 Technical Report,” May 2008.

- [13] Femtoforum Whitepaper, “Interference Management in UMTS Femtocells,” Feb. 2010.
- [14] International Telecommunication Union, “P.1238,” Feb. 2012.
- [15] H. Holma and A. Toskala, “HSDPA/HSUPA for UMTS,” Wiley, 2006.
- [16] 3GPP, “R4-080149,” Feb. 2008.
- [17] Parks Associates, “Femto-Forum Six Country Study,” 2010.
- [18] Informa Telecoms and Media, “Femtocell Market Status,” Dec. 2011.
- [19] Eptiro-The Broadband Communications Authority, “Femtocell Deployment Guide: An Operator-focused Strategy for a successful Femtocell Rollout,” 2009.