



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη και υπολογιστική προσομοίωση τεχνικών
συντονισμένης διαμόρφωσης για ασύρματα δίκτυα 3^{ης} γενιάς σε
περιβάλλοντα με ανομοιόμορφη κατανομή κίνησης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πετρόπουλος Γεώργιος

Επιβλέπουσα : Δήμητρα Κακλαμάνη
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη και υπολογιστική προσομοίωση τεχνικών
συντονισμένης διαμόρφωσης για ασύρματα δίκτυα 3^{ης} γενιάς
σε περιβάλλοντα με ανομοιομορφη κατανομή κίνησης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πετρόπουλος Γεώργιος

Επιβλέπουσα : Δήμητρα Κακλαμάνη
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Δήμητρα Κακλαμάνη
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιάκωβος Βενιέρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....
Γεώργιος Κ. Πετρόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Κ. Πετρόπουλος, 2008

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου

Πετρόπουλος Γεώργιος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη και προσομοίωση ενός δικτύου 3^{ης} γενιάς WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) για διάφορα είδη υπηρεσιών. Οι σταθμοί βάσης του δικτύου διαθέτουν είτε 3-sector κεραίες, είτε έξυπνες κεραίες 2 ειδών, μεταγωγής λοβών (switched beam), όπου κάθε κεραία έχει περιορισμένο αριθμό σταθερών και προκαθορισμένων λοβών ακτινοβολίας, και προσαρμοστικού αλγορίθμου (adaptive array), όπου το σύστημα δημιουργεί λοβούς σε διευθύνσεις υψηλής κίνησης, ανάλογα και με την κατάσταση του δικτύου. Η χρήση έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών αυξάνει την χωρητικότητα του συστήματος σε σχέση με την χρήση συμβατικών 3-sector κεραιών, ενώ διαπιστώνεται ότι οι κεραίες προσαρμοστικού αλγορίθμου αυξάνουν το κέρδος χωρητικότητας μιας κυψέλης. Επίσης, οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, απέδειξαν ότι σε δίκτυο έξυπνων κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου μπορεί να αυξηθεί η χωρητικότητα ανά λοβό για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών, μέσα σε συγκεκριμένες περιοχές στο σύστημα.

Συγκεκριμένα, στα 2 πρώτα κεφάλαια της εργασίας γίνεται μια σύντομη αναφορά των κυρίων χαρακτηριστικών του συστήματος WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), καθώς και της θεωρίας των συστημάτων έξυπνων κεραιών. Στα επόμενα 2 κεφάλαια γίνεται παρουσίαση και περιγραφή των συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Συστήματα τρίτης γενιάς, WCDMA, Κεραίες Μεταγωγής Λοβών, Κεραίες Προσαρμοστικού Αλγορίθμου, Χωρητικότητα, Ανομοιόμορφη κατανομή

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on studying and simulation of a Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) 3G network for several types of services. The base stations of the system employ either 3-sector antennas or smart antennas of 2 types, switching beam arrays, where in each antenna a specific number of stable and fixed lobes is created and adaptive arrays, where beams are created towards directions of increased traffic, depending on network's requirements. The use of smart antennas of switching beam arrays increases system's capacity comparing to 3-sector antenna, as well as smart antennas of adaptive arrays maximizes the cell capacity gain. Moreover, simulations showed that the network with smart antennas of adaptive arrays can achieve higher throughput per beam for non-uniform environments with hotspots.

In the first 2 chapters of this diploma thesis, a small presentation of the main characteristics of a Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) system is performed, as well as the main theory of smart antennas is described. In the last chapters, a brief analysis and description of the functions used in simulation is performed, as well as simulations' results are presented.

KEY WORDS

Third Generation Systems, WCDMA, Switching Beam Array, Adaptive Array, Capacity, Non-uniform Traffic

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ WCDMA

- 1.1 Γενικά για το WCDMA
- 1.2 Εξάπλωση-ανάκτηση φάσματος
- 1.3 Πολυδιαδρομικά κανάλια και δέκτης RAKE
- 1.4 Έλεγχος ισχύος
 - 1.4.1 Έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου (Open Loop Power Control)
 - 1.4.2 Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου (Closed Loop Power Control)
- 1.5 Διαπομπή
 - 1.5.1 Ηπιότερη διαπομπή (Softer Handover)
 - 1.5.2 Ήπια διαπομπή (Soft Handover)
 - 1.5.3 Inter-frequency Hard Handover
 - 1.5.4 Inter-system Hard Handover
- 1.6 Ισολογισμός ισχύος
 - 1.6.1 Περιθώριο παρεμβολών (Interference Margin)
 - 1.6.2 Περιθώριο γρήγορων διαλείψεων (Fast Fading Margin)
 - 1.6.3 Κέρδος από μεταπομπές τύπου soft (Soft Handover Gain)
- 1.7 Δείκτης φορτίου (Load Factor)
 - 1.7.1 Δείκτης φορτίου άνω ζεύξης (UL Load Factor)
 - 1.7.2 Δείκτης φορτίου κάτω ζεύξης (DL Load Factor)
- 1.8 Ήπια χωρητικότητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΞΥΠΝΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

- 2.1 Εισαγωγή
- 2.2 Βασική θεωρία συστημάτων έξυπνων κεραιών
- 2.3 Είδη έξυπνων κεραιών
 - 2.3.1 Έξυπνες κεραίες μεταγωγής λοβών
 - 2.3.2 Έξυπνες κεραίες προσαρμοστικού αλγορίθμου
- 2.4 Διαφορετικές τεχνικές έξυπνων κεραιών
- 2.5 Πλεονεκτήματα χρήσης συστημάτων έξυπνων κεραιών
 - 2.5.1 Επέκταση της ραδιοκάλυψης
 - 2.5.2 Αύξηση της χωρητικότητας
 - 2.5.3 Βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας
- 2.6 Μειονεκτήματα χρήσης συστημάτων έξυπνων κεραιών
 - 2.6.1 Πολυπλοκότητα πομποδέκτη
 - 2.6.2 Διαχείριση εξοπλισμού (resource management)
 - 2.6.3 Φυσικό μέγεθος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΩΔΙΚΑ

- 3.1 Σκοπός προσομοίωσης
- 3.2 Υπολογισμός ακτίνας κάλυψης και μέγιστων απωλειών διάδοσης
- 3.3 Δημιουργία κυψελών
- 3.4 Εισαγωγή χρήστη στο σύστημα
 - 3.4.1 Εισαγωγή χρήστη
 - 3.4.2 Εύρεση απωλειών διάδοσης και σταθμού βάσης που εξυπηρετεί τον χρήστη
 - 3.4.3 Εισαγωγή χρήστη με ομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για ένα sector
 - 3.4.4 Εισαγωγή χρήστη με ομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors
 - 3.4.5 Εισαγωγή χρήστη με ομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα έξυπνων κεραιών
 - 3.4.6 Εισαγωγή χρήστη με ανομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα έξυπνων κεραιών
- 3.5 Εύρεση τομέα/λοβού στον οποίο ανήκει ο χρήστης
 - 3.5.1 Σύστημα 3-sector κεραιών
 - 3.5.2 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη
 - 3.5.3 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη
- 3.6 Υπολογισμός κέρδους ενίσχυσης σήματος από την κεραία κάθε τομέα
 - 3.6.1 Σύστημα 3-sector κεραιών
 - 3.6.2 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη
 - 3.6.3 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη
- 3.7 Υπολογισμός διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας
 - 3.7.1 Διάγραμμα ακτινοβολίας fixed λοβών
 - 3.7.2 Διάγραμμα ακτινοβολίας adaptive λοβών
- 3.8 Υπολογισμός ισχύος εκπομπής χρήστη και noise rise των τομέων του συστήματος
- 3.9 Έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης
- 3.10 Έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης
- 3.11 Διαδικασία προσομοιώσεων και μελέτη κριτηρίων τερματισμού
 - 3.11.1 Σύστημα συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για ένα sector
 - 3.11.2 Σύστημα συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors
 - 3.11.3 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector
 - 3.11.4 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors
 - 3.11.5 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector
 - 3.11.6 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

- 3.11.6.1 Διαδικασία προσομοίωσης
- 3.11.6.2 Διαδικασία Βελτιστοποίησης (optimization)
- 3.11.6.3 Κριτήρια τερματισμού προσομοίωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

- 4.1 Γενικές πληροφορίες
- 4.2 Ομοιόμορφη κατανομή
- 4.3 Ανομοιόμορφη κατανομή
 - 4.3.1 Υπηρεσίες φωνής (voice services) 12.2 kbps
 - 4.3.2 Υπηρεσίες δεδομένων (data services) 144 kbps
 - 4.3.3 Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps)
 - 4.3.4 Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps - data services 384 kbps)
- 4.4 Συμπεράσματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- A.1 Fixed δίκτυο
 - A.1.1 Υπολογισμός ακτίνας κάλυψης και μέγιστων απωλειών διάδοσης
 - A.1.2 Δημιουργία κυψελών
 - A.1.3 Εισαγωγή χρήστη στο σύστημα
 - A.1.4 Εύρεση τομέα/λοβού στον οποίο ανήκει ο χρήστης
 - A.1.5 Υπολογισμός κέρδους ενίσχυσης σήματος από την κεραία κάθε τομέα
 - A.1.6 Υπολογισμός διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας
 - A.1.7 Έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης
 - A.1.8 Έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης
 - A.1.9 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector
- A.2 Adaptive δίκτυο
 - A.2.1 Εύρεση τομέα/λοβού στον οποίο ανήκει ο χρήστης
 - A.2.2 Υπολογισμός κέρδους ενίσχυσης σήματος από την κεραία κάθε τομέα
 - A.2.3 Υπολογισμός διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας
 - A.2.4 Έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης
 - A.2.5 Έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης
 - A.2.6 Διαδικασία Βελτιστοποίησης (optimization)
 - A.2.7 Διαγραφή χρηστών που δεν ανήκουν σε λοβό του συστήματος
 - A.2.8 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

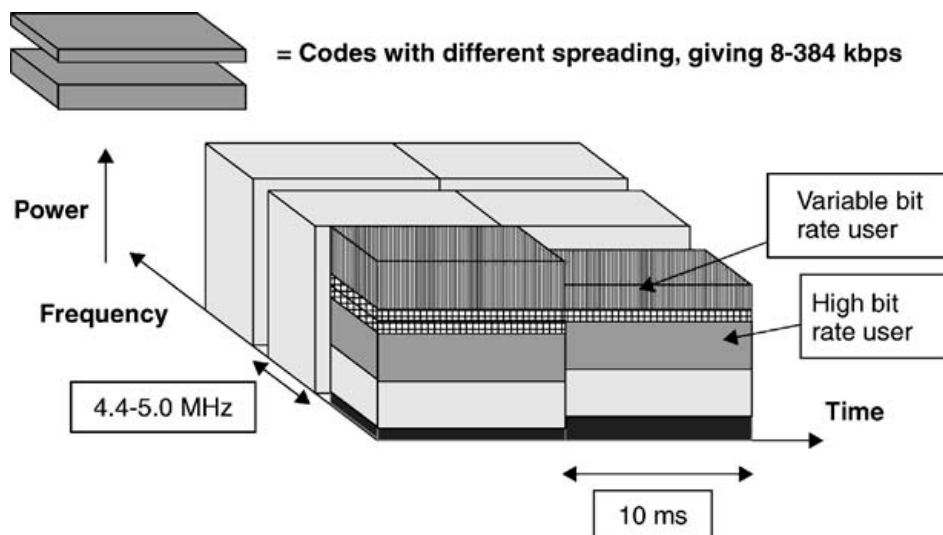
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ WCDMA

1.1 Γενικά για το WCDMA

Το WCDMA (Wideband CDMA) είναι ένα ευρυζωνικό σύστημα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence-CDMA) με τα εξής χαρακτηριστικά [1]:

- Τα σήματα πληροφορίας απλώνονται φασματικά, προερχόμενα από τον πολλαπλασιασμό των αρχικών bits με μια ψευδοτυχαία ακολουθία bits (τα οποία ονομάζονται chips) που προέρχονται από τους κώδικες εξάπλωσης του CDMA. Προκειμένου να μπορούν να εξυπηρετούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (ως και 2Mbps) απαιτείται η χρήση πολλαπλών ψευδοτυχαίων ακολουθιών.
- Ο ρυθμός μετάδοσης των chips (chip rate) είναι 3.84 Mcps, από τον οποίο προκύπτει εύρος ζώνης ίσο με 5MHz.
- Ένα WCDMA σύστημα υποστηρίζει διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης προκειμένου να παρέχεται σε κάθε σύνδεση το απαιτούμενο για την εφαρμογή εύρος ζώνης. Σε κάθε χρήστη δίνεται ένα παράθυρο (frame) 10 ms, με τον ρυθμό μετάδοσης των bits του χρήστη να παραμένει σταθερός.



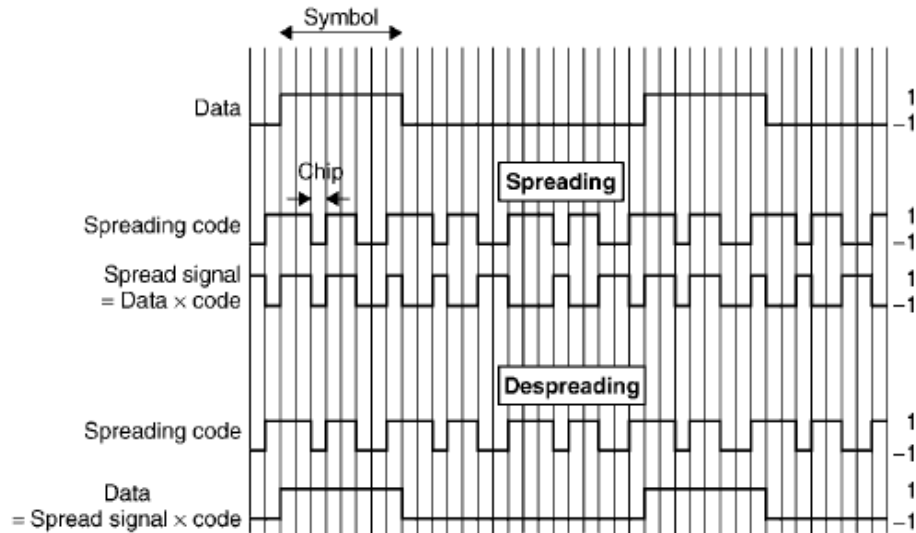
Σχήμα 1.1 Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας

- Το WCDMA έχει δύο τρόπους διαχωρισμού των φερόντων: την τεχνική διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Duplex) και την τεχνική διαίρεσης χρόνου (Time Division Duplex). Η διαφορά της FDD με την TDD έγκειται στο ότι στην μεν πρώτη ξεχωριστά φέροντα των 5 MHz χρησιμοποιούνται στην άνω

(uplink) και στη κάτω (downlink) ζεύξη, ενώ στη δεύτερη ένα φέρον στα 5 MHz είναι μοιρασμένο χρονικά στην άνω και την κάτω ζεύξη.

1.2 Εξάπλωση-ανάκτηση φάσματος

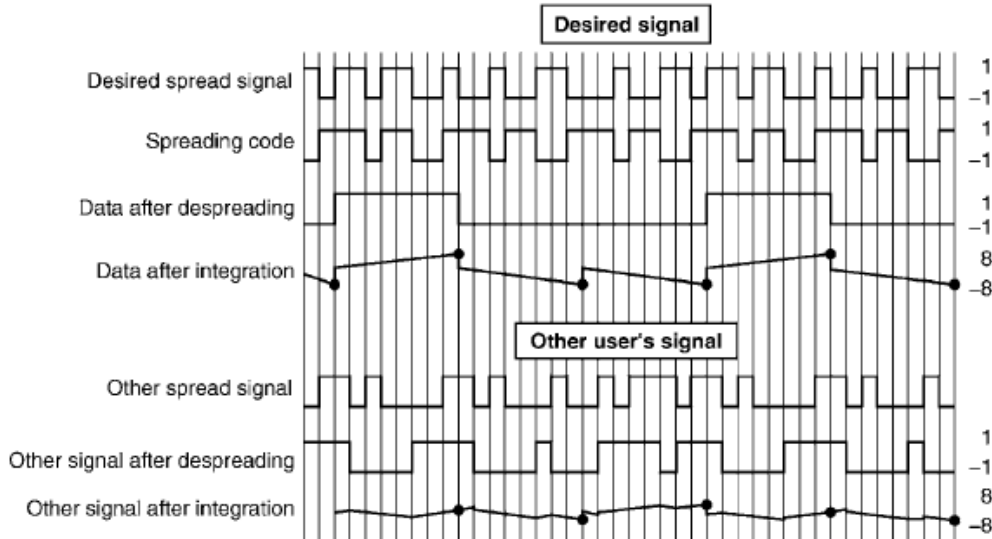
Η λειτουργία του WCDMA βασίζεται στη διαδικασία εξάπλωσης – ανάκτησης φάσματος [1] και διακρίνεται στο σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 Εξάπλωση-ανάκτηση φάσματος στο WCDMA

Συγκεκριμένα, θεωρούμε τα δεδομένα του χρήστη σαν μια ακολουθία bits διαμορφωμένη κατά BPSK, ρυθμού R , με τιμές ± 1 . Η διαδικασία της εξάπλωσης (spreading) είναι ουσιαστικά ο πολλαπλασιασμός κάθε bit του χρήστη με μια ακολουθία k bits, που ονομάζονται chips, τα οποία είναι διαμορφωμένα επίσης κατά BPSK. Η ακολουθία αυτή ονομάζεται ακολουθία εξάπλωσης (spreading code) κι ο αριθμός k των bits της ακολουθίας αυτής ονομάζεται παράγοντας εξάπλωσης (spreading factor). Το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού αυτού, είναι μια εξαπλωμένη ακολουθία bits με ρυθμό $k \cdot R$ που έχει παρόμοια εμφάνιση με την ψευδοτυχαία ακολουθία θορύβου και μεταδίδεται στο ραδιοκανάλι μέχρι τον δέκτη.

Κατά την διαδικασία ανάκτησης φάσματος στο δέκτη ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την διαδικασία εξάπλωσης. Συγκεκριμένα, το σήμα στον δέκτη πολλαπλασιάζεται με την ίδια τυχαία ακολουθία εξάπλωσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την διαδικασία εξάπλωσης των δεδομένων του χρήστη. Απαιτείται όμως τέλειος συγχρονισμός μεταξύ εκπεμπόμενου σήματος και ακολουθίας εξάπλωσης στο δέκτη. Η ανάκτηση φάσματος προσδίδει στο σήμα το αρχικό του φασματικό περιεχόμενο, το οποίο είναι ανάλογο του ρυθμού R της ακολουθίας bits των δεδομένων του χρήστη. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανάκτησης φάσματος όταν εφαρμόζεται η τεχνική σε WCDMA σήμα άλλου χρήστη, του οποίου το σήμα είχε εξαπλωθεί με διαφορετική ακολουθία εξάπλωσης.



Σχήμα 1.3 Παράδειγμα ανάκτησης φάσματος

Γενικά, ο τέλει συγχρονισμός μεταξύ του εκπεμπόμενου σήματος και του κώδικα εξάπλωσης στο δέκτη έχει ως αποτέλεσμα την ανάκτηση των δεδομένων του χρήστη. Αυτό που προκύπτει είναι μια τριγωνική παλμοσειρά, που έχει μέγιστη τιμή $+k$ και ελάχιστη $-k$, όπου k ο παράγοντας εξάπλωσης. Αντίθετα, όταν έχουμε φώραση ενός σήματος από κάποιον παρεμβάλλοντα χρήστη που έχει διαφορετικό κώδικα εξάπλωσης από τον επιθυμητό χρήστη, έχουμε ουσιαστικά απόρριψη του σήματος του, καθώς η ολοκλήρωση του σήματος που λαμβάνεται κατά τη διαδικασία της ανάκτησης φάσματος θα οδηγήσει σε δεδομένα κατά πολύ ασθενέστερα από τα επιθυμητά.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το πλάτος του τελικού σήματος είναι περίπου k φορές μεγαλύτερο από αυτό του παρεμβάλλοντος σήματος, γεγονός που στα WCDMA συστήματα καλείται κέρδος επεξεργασίας (Processing Gain). Το κέρδος επεξεργασίας είναι αυτό που δίνει στο WCDMA μια 'ανοσία' απέναντι στις παρεμβολές που δημιουργούν οι χρήστες του συστήματος, ώστε να επαναχρησιμοποιήσουμε το φάσμα των 5 MHz σε γεωγραφικά κοντινές αποστάσεις.

Για παράδειγμα, οι φωνητικές υπηρεσίες έχουν ρυθμό bit 12.2 Kbps και έχουν κέρδος επεξεργασίας 25 dB, το οποίο προκύπτει από το γεγονός ότι η ακολουθία bit του χρήστη πολλαπλασιάζεται με την ψευδοτυχαία ακολουθία chip ρυθμού 3.84 Mcps,

οπότε το κέρδος επεξεργασίας θα είναι $10 \cdot \log_{10} \left(\frac{3.84 \cdot 10^6}{12.2 \cdot 10^3} \right) = 25dB$. Μετά την

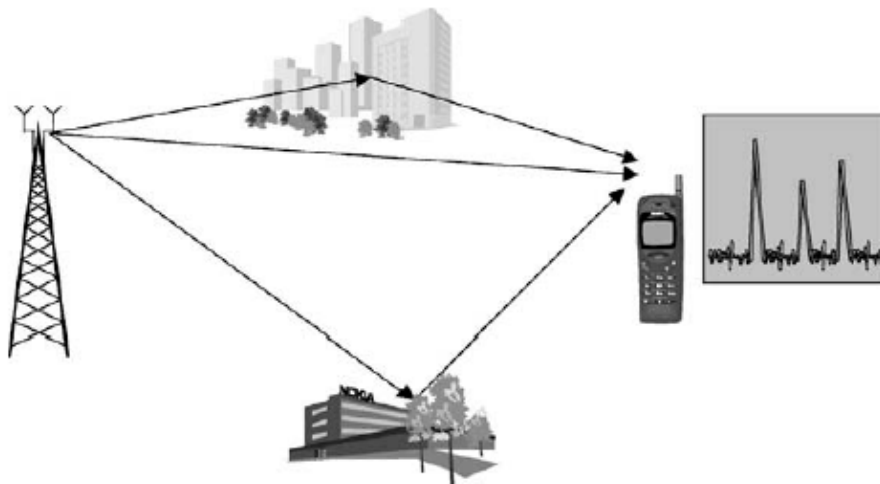
ανάκτηση, η ισχύς του σήματος θα πρέπει να είναι μερικά dB πάνω από τα επίπεδα της συνολικής λαμβανόμενης ισχύος που περιλαμβάνει παρεμβολές και θόρυβο. Συμβολίζουμε το λόγο της ενέργειας (ή πυκνότητας ισχύος) ανά bit χρήστη E_b προς την φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου (που περιλαμβάνει τόσο τις παρεμβολές στην είσοδο του δέκτη, όσο και τον θερμικό θόρυβο) N_0 με E_b/N_0 . Για τη συγκεκριμένη υπηρεσία το E_b/N_0 είναι της τάξης των 5db. Αυτό συνεπάγεται ότι το επιθυμητό σήμα μπορεί να ανιχνευτεί ακόμα και αν είναι ασθενέστερο κατά 20db σε σχέση με τις παρεμβολές και το θερμικό θόρυβο.

Το WCDMA αναπτύχθηκε για να παρέχει διευρυμένες υπηρεσίες δεδομένων για διάφορους ρυθμούς μετάδοσης. Αξίζει λοιπόν να σημειωθεί η πτώση στο κέρδος επεξεργασίας όταν ο ρυθμός bit των δεδομένων του χρήστη αυξάνεται. Για

παράδειγμα, για ρυθμό bit στα 2 Mbps το κέρδος επεξεργασίας μειώνεται στα $10 \cdot \log_{10} \left(\frac{3.84 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} \right) \cong 2.8dB$.

1.3 Πολυδιαδρομικά κανάλια και δέκτης RAKE

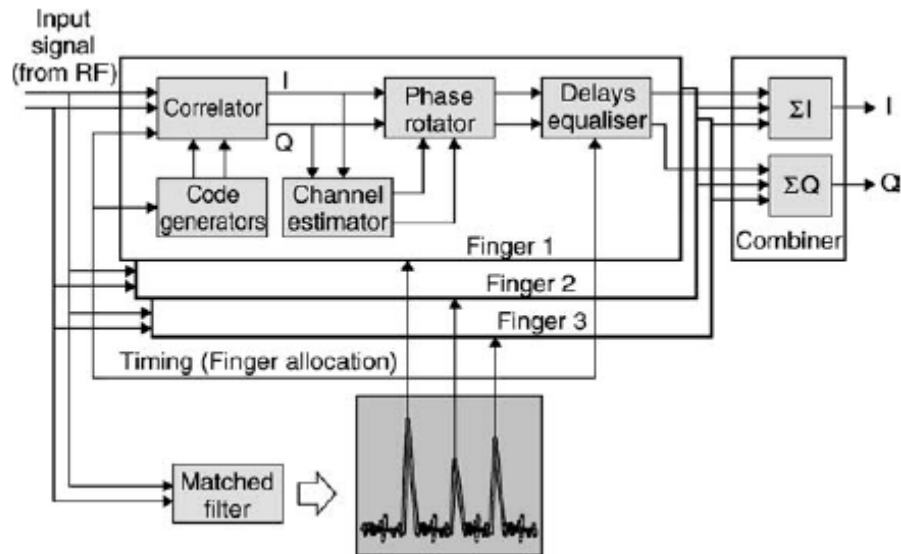
Στο σύστημα WCDMA τόσο οι σταθμοί βάσης, όσο και τα κινητά τερματικά χρησιμοποιούν τον ίδιο τύπο συσχετιστή προκειμένου να ολοκληρώσουν τα δεδομένα μετά την επανασυμπύεση. Όμως, εξαιτίας της πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath propagation), που οφείλεται σε πολλαπλές ανακλάσεις (reflections), διαθλάσεις (diffractions), περιθλάσεις και αποσβέσεις (attenuations), λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών και εμποδίων όπως κτίρια και λόφοι, δημιουργήθηκε η απαίτηση να υπάρχει ένας δέκτης με πολλαπλούς συσχετιστές-δέκτες (δάχτυλα), ώστε να λαμβάνεται η ενέργεια που φτάνει από κάθε μονοπάτι. Αυτή είναι η κεντρική ιδέα ενός δέκτη RAKE [1].



Σχήμα 1.4 Διάδοση σήματος σε ασύρματο μέσο

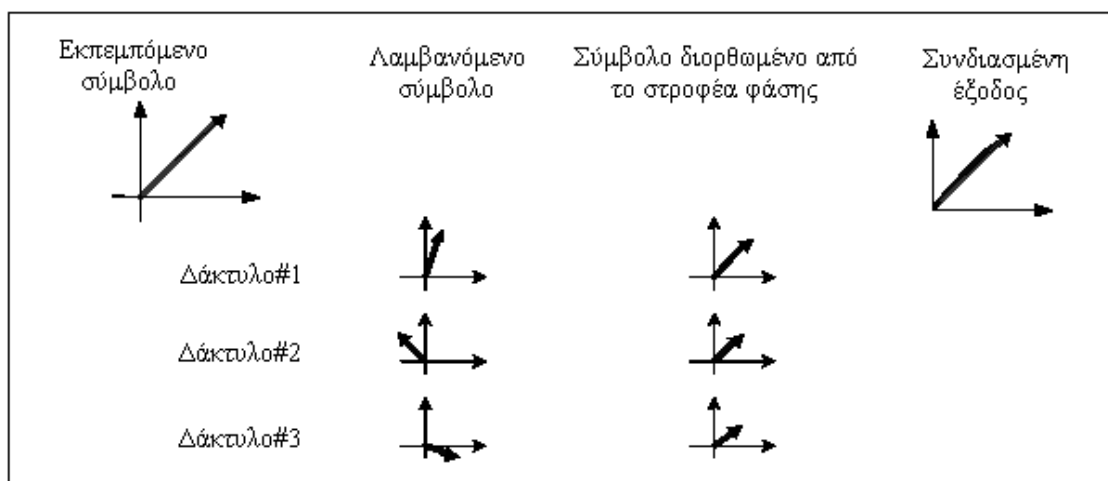
Αρχικά, παίρνουμε σαν δεδομένο ότι η διάρκεια ενός chip με ρυθμό στα 3.84Mcps είναι 0.26 μ s. Αν η χρονική διαφορά με την οποία φτάνουν οι πολυδιαδρομικές συνιστώσες είναι μεγαλύτερη από 0.26 μ s, τότε ο συσχετιστής του δέκτη μπορεί να ξεχωρίσει αυτές τις συνιστώσες και να τις αθροίσει κατά σύμφωνο τρόπο. Η χρονική διαφορά των 0.26 μ s μεταφράζεται χωρικά σε διαφορά 78 μέτρων ανάμεσα στα μονοπάτια που διανύουν οι συνιστώσες του ίδιου σήματος. Αν ο ρυθμός chip ήταν στο 1 Mcps, τότε η απόσταση των σημάτων θα έπρεπε να ήταν πάνω από 300 μέτρα και έτσι δε μπορεί να εφαρμοστεί σε κυψέλες με μικρή ακτίνα ραδιοκάλυψης.

Προκειμένου λοιπόν να μην οδηγηθούμε σε διασυμβολική παρεμβολή λόγω των καθυστερημένων συνιστωσών που φτάνουν στο δέκτη, απαιτείται η χρήση ενός δέκτη RAKE.



Σχήμα 1.5 Διάγραμμα ενός δέκτη RAKE με τρία δάκτυλα

Ο δέκτης του σχήματος έχει τρεις συσχετιστές που ονομάζονται ‘δάκτυλα’. Η ψηφιακή είσοδος εισέρχεται από το ραδιοκανάλι, ενώ ως έξοδο παίρνουμε τις ακολουθίες bits I και Q που φαίνονται στο σχήμα. Οι γεννήτριες κώδικα (code generators) και οι συσχετιστές (correlators) εκτελούν τις διεργασίες της ανάκτησης και της ολοκλήρωσης των δεδομένων του χρήστη. Ο εκτιμητής του καναλιού (channel estimator) χρησιμοποιεί πιλοτικά σύμβολα για να εκτιμήσει την κατάσταση του καναλιού για κάθε ‘δακτυλο’ και ρυθμίζει ανάλογα την θέση του στροφέα φάσης. Έτσι τα σήματα εξόδου από τα τρία δάκτυλα έχουν την ίδια φάση και μπορούν να προστεθούν από το δέκτη RAKE, δίχως το ένα να αναιρεί το άλλο. Με αυτόν τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε στο μέγιστο το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής μετάδοσης. Επίσης, χρησιμοποιείται ένα φίλτρο που καθορίζει και ενημερώνει τις καθυστερήσεις των σημάτων κάθε στιγμή στο κανάλι, γεγονός που βοηθάει στην μέγιστη απόδοση των ‘δακτύλων’.

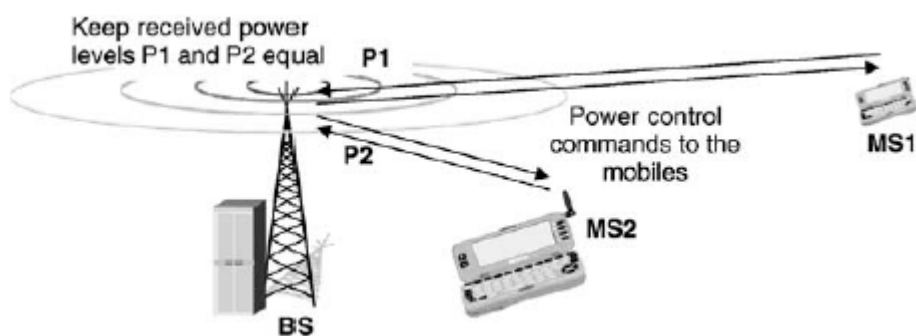


Σχήμα 1.6 Διόρθωση φάσης συμβόλων από το στροφέα φάσης

Σημειώνεται επίσης ότι παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην υλοποίηση ενός δέκτη RAKE ενός σταθμού βάσης και ενός κινητού τερματικού, οι βασικές αρχές που αναφέρθηκαν παραπάνω εφαρμόζονται και στις δυο περιπτώσεις.

1.4 Έλεγχος ισχύος

Ο γρήγορος έλεγχος ισχύος [1] ίσως είναι το πιο σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας του WCDMA, ειδικότερα στην άνω ζεύξη. Χωρίς τον έλεγχο ισχύος, ένα και μόνο τερματικό που εκπέμπει παραπάνω ισχύ από τα καθορισμένα όρια μπορεί να μπλοκάρει μια ολόκληρη κυψέλη. Στο σχήμα 1.7 διακρίνεται το πρόβλημα που δημιουργείται όταν δύο κινητά επικοινωνούν με τον ίδιο σταθμό βάσης από διαφορετικές θέσεις. Χωρίς έλεγχο ισχύος στα κινητά, ο σταθμός βάσης θα λάβει σημαντικά περισσότερη ισχύ από τον χρήστη 1, σε σχέση με την ισχύ που θα λάβει από τον απομακρυσμένο χρήστη 2. Μέσω όμως του ελέγχου ισχύος, ο σταθμός βάσης λαμβάνει την ίδια ισχύ και από τα δύο κινητά τερματικά.



Σχήμα 1.7 Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου

Έστω ότι τα κινητά MS1 και MS2 του σχήματος λειτουργούν στην ίδια συχνότητα με τον σταθμό βάσης να διαχωρίζει τα σήματα που προέρχονται απ'τα τερματικά αυτά με βάση τον παράγοντα εξάπλωσης του καθενός. Υποθέτοντας ότι τα κινητά τερματικά του σχήματος εκπέμπουν την ίδια ισχύ και ότι το σήμα του χρήστη 1 φτάνει στο σταθμό βάσης με απώλειες διάδοσης κατά 70 dB παραπάνω από ότι το σήμα του χρήστη 2, που είναι πιο κοντά στον σταθμό βάσης BS. Αν δεν υπάρχει μηχανισμός ο οποίος να πραγματοποιεί έλεγχο ισχύος, το κινητό τερματικό 2 θα προκαλεί τέτοιες παρεμβολές στο κινητό τερματικό 1, που θα ανεβάζουν τη στάθμη θορύβου και θα ελαττώνουν την πιθανότητα λήψης των ασθενέστερων σημάτων, αυξάνοντας το λεγόμενο πρόβλημα κοντινού προς μακρινό άκρο (near far problem). Γενικά, η βέλτιστη στρατηγική για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα κοντινού προς μακρινό άκρο είναι να εξισορροπήσουμε τη λαμβανόμενη ισχύ από τα κινητά τερματικά.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με 2 μεθόδους :

- Έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου (Open Loop Power Control)
- Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου (Closed Loop Power Control)

1.4.1 Έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου (Open Loop Power Control)

Η μέθοδος αυτή σχετίζεται με εκτιμήσεις των απωλειών διάδοσης από το κινητό τερματικό μέχρι το σταθμό βάσης, οπότε και κρίνεται αρκετά ανακριβής, καθώς οι εκτιμήσεις βασίζονται σε σήματα που στέλνει ο σταθμός βάσης στο δέκτη, δηλαδή την κάτω ζεύξη. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι οι διαλείψεις στην άνω και στην κάτω ζεύξη είναι ασυσχέτιστες εξαιτίας τις μεγάλης διαφοράς συχνοτήτων που λειτουργεί η κάθε μία. Κατά συνέπεια οι πληροφορίες που παίρνουμε από τη μία ζεύξη δεν είναι αντιπροσωπευτικές και για την άλλη. Παρόλα αυτά, ο έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου χρησιμοποιείται σαν μια πρώτη προσέγγιση για την ισχύ που αρχικά θα πρέπει να εκπέμψει το κινητό στην αρχή της σύνδεσής του με το δίκτυο.

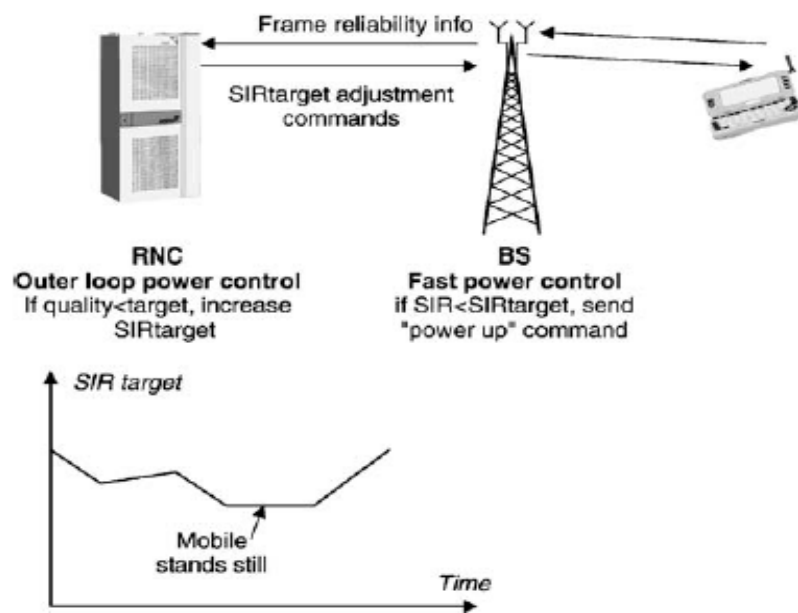
1.4.2 Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου (Closed Loop Power Control)

Στην άνω ζεύξη, ο σταθμός βάσης πραγματοποιεί συνεχείς μετρήσεις του σηματοθορυβικού λόγου SINR για κάθε κινητό τερματικό. Στη συνέχεια συγκρίνει την μετρούμενη τιμή SINR με ένα συγκεκριμένο κατώφλι SINR. Αν το μετρούμενο SINR είναι μικρότερο από το κατώφλι SINR, τότε ο σταθμός βάσης δίνει εντολή στο κινητό να εκπέμψει περισσότερη ισχύ. Στην περίπτωση που το μετρούμενο SINR είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι SINR, ο σταθμός βάσης δίνει εντολή στο κινητό να εκπέμψει λιγότερη ισχύ. Αυτός ο κύκλος “μέτρησε το SINR-στείλε εντολή στο κινητό-το κινητό αντιδρά αυξάνοντας ή μειώνοντας την εκπεμπόμενη ισχύ”, επαναλαμβάνεται με ρυθμό 1500 φορές το δευτερόλεπτο (1.5 KHz) για κάθε κινητό τερματικό.

Η παραπάνω διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα όλα τα κινητά τερματικά στο WCDMA να εκπέμπουν ακριβώς την ισχύ που χρειάζεται για τις απαιτήσεις της υπηρεσίας που χρησιμοποιούν. Για αυτόν τον λόγο είναι και η λύση που τελικά προτιμήθηκε στο WCDMA για εξισορρόπηση της λαμβανόμενης ισχύος από τα τερματικά των χρηστών.

Για τον καθορισμό του κατωφλίου SINR πραγματοποιείται εξωτερικός βρόχος ελέγχου ισχύος (Outer Loop Power Control), που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.8 που ακολουθεί. Το κατώφλι SINR δίνεται από τον ελεγκτή RNC. Αυτό υπολογίζεται ξεχωριστά για όλες τις ζεύξεις με βάση τις ανάγκες της σύνδεσης για ποιότητα υπηρεσίας, η οποία συνήθως εκφράζεται ως μια στάθμη κατωφλίου του ρυθμού των λανθασμένων ψηφίων (Bit Error Rate) ή του ρυθμού των λανθασμένων χρονικών πλαισίων (Frame Error Rate). Σημειώνεται ότι το αναγκαίο SINR (που ως έχουμε δει είναι ανάλογο με το λόγο E_b/N_0 , σύμφωνα με τη σχέση $E_b/N_0 = SINR \cdot Processin\ g_Gain$) για επιθυμητό FER=1% και εξαρτάται από την ταχύτητα του χρήστη και από το προφίλ του ραδιοδιαύλου. Αν θέταμε το κατώφλι SINR σταθερό ώστε να προλαμβάνουμε το χειρότερο δυνατό σενάριο, που αφορά ταχέως κινούμενους χρήστες με έντονο το φαινόμενο των γρήγορων διαλείψεων, θα θέταμε πολύ ψηλά και θα εξαναγκάζαμε την πλειοψηφία των κινητών να εκπέμπουν περισσότερο από όσο χρειάζεται. Το παραπάνω γεγονός θα είχε ως άμεσο αποτέλεσμα την ελάττωση της χωρητικότητας της κυνέλης. Επομένως, είναι απαραίτητο το κατώφλι SINR να μεταβάλλεται γύρω από μια ελάχιστη τιμή, που σχεδόν ικανοποιεί τις απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας. Τυπικά, ο εξωτερικός βρόχος ελέγχου ισχύος υλοποιείται με το σταθμό βάσης να ελέγχει την αξιοπιστία σωστής λήψης ενός χρονικού παραθύρου (Frame) με κάποια μέθοδο, όπως την εκτέλεση ενός ελέγχου CRC (Cyclic Redundancy Check). Οι πληροφορίες που συλλέγονται από το σταθμό βάσης πηγαίνουν στον RNC ελεγκτή. Αν ο ρυθμός σφαλμάτων FER ξεπεράσει κάποια

αποδεκτά για την ποιότητα υπηρεσίας επίπεδα, ο RNC ελεγκτής θα αυξήσει το SINR κατωφλίου και θα στείλει την καινούρια του τιμή στους σταθμούς βάσης που ελέγχει.



Σχήμα 1.8 Ο εξωτερικός και ο γρήγορος βρόγχος ελέγχου ισχύος

Η ίδια τεχνική εφαρμόζεται και στην κάτω ζεύξη, με διαφορετικό όμως κίνητρο. Στην κάτω ζεύξη δεν υπάρχει το πρόβλημα κοντινού προς μακρινό άκρο, είναι όμως επιθυμητό να δίνεται ένα σημαντικό περιθώριο ισχύος για κινητά που βρίσκονται στις άκρες μιας κυψέλης, λόγω αυξημένων παρεμβολών που προέρχονται από γειτονικές κυψέλες.

Όλα τα προαναφερθέντα δουλεύουν μια χαρά στη πράξη, με την προϋπόθεση βέβαια ότι το κινητό τερματικό έχει αρκετή ισχύ ώστε να μπορεί να ικανοποιεί κάθε φορά τις εντολές του σταθμού βάσης. Σε συνθήκες έντονης σκίασης το κινητό αναγκάζεται να εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ισχύ, με πιθανό αποτέλεσμα να προκαλεί σημαντικές παρεμβολές στις γειτονικές κυψέλες.

Ένα επιπλέον φανερό μειονέκτημα που επιφέρει ο έλεγχος ισχύος, είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα τόσο στα κινητά τερματικά, όσο και στους σταθμούς βάσης.

1.5 Διαπομπή

Πολλές φορές ένα κινητό τερματικό διασχίζει τα σύνορα δύο κυψελών, επομένως η διαδικασία της διαπομπής είναι απαραίτητη σε ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών, προκειμένου να αποφευχθεί η διακοπή της κλήσης στην περίπτωση αυτή. Η διαπομπή [2] είναι ολόκληρη η διαδικασία αλλαγής διαύλου στην τρέχουσα σύνδεση, ώστε να διατηρηθεί σταθερή η ποιότητα υπηρεσίας. Υπάρχουν δύο τύποι διαπομπής, η ενδοκυψελική διαπομπή και η διακυψελική διαπομπή. Στην μεν πρώτη, ο χρήστης μεταφέρεται σε ένα καινούριο τομέα, αλλά εξακολουθεί να εξυπηρετείται από τον ίδιο σταθμό βάσης, ενώ στην δεύτερη ο χρήστης υποχρεούται να αλλάξει σταθμό βάσης.

Στο WCDMA σύστημα η διακυψελική διαπομπή ονομάζεται ήπια διαπομπή (soft handover), ενώ η ενδοκυψελική διαπομπή ονομάζεται ηπιότερη διαπομπή (softer handover).

Τα κριτήρια με βάση τα οποία πραγματοποιείται διαπομπή είναι:

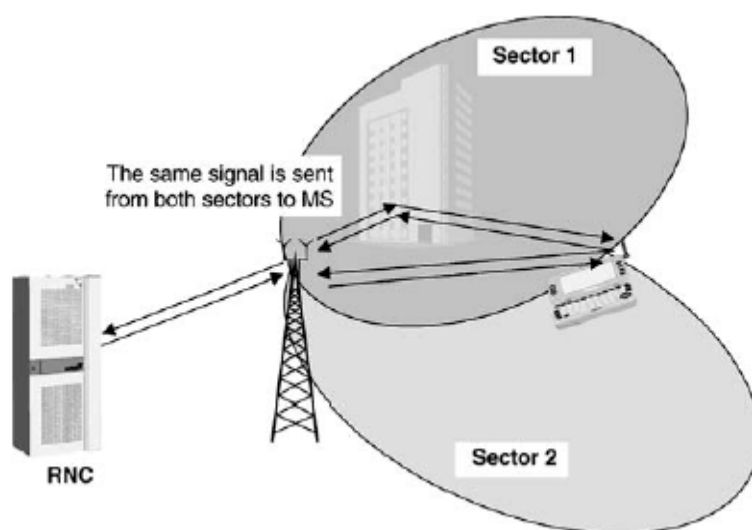
- Η ποιότητα του σήματος
- Η ανάγκη αποσυμφόρησης υπερφορτωμένων σταθμών βάσης
- Η κινητικότητα του χρήστη

Βασικές απαιτήσεις που αφορούν τη διαδικασία της διαπομπής είναι:

- Από άποψη χρήστη, η διαπομπή δε θα πρέπει να γίνεται αντιληπτή
- Από άποψη δικτύου, η διαδικασία διαπομπής δε θα πρέπει να αυξάνει σημαντικά το φορτίο σηματοδότησης

1.5.1 Ηπιότερη διαπομπή (Softer Handover)

Στην περίπτωση αυτή το κινητό τερματικό βρίσκεται στην περιοχή που επικαλύπτεται από 2 τομείς που εξυπηρετούνται από τον ίδιο σταθμό βάσης, περίπτωση που διακρίνεται και στο σχήμα 1.9.

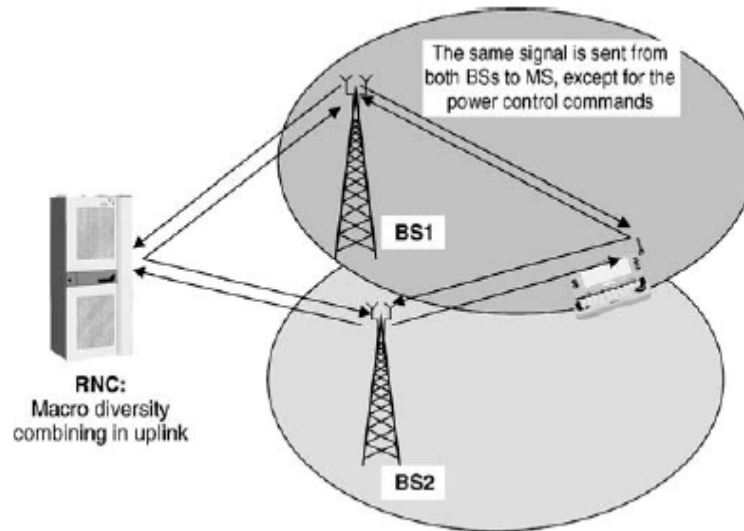


Σχήμα 1.9 Ηπιότερη διαπομπή

Η επικοινωνία μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τερματικού πραγματοποιείται μέσω 2 ασύρματων καναλιών, ένα για κάθε τομέα χωριστά, επομένως στην κάτω ζεύξη χρησιμοποιούνται 2 κώδικες εξάπλωσης. Τα σήματα στη μεριά του δέκτη θα λαμβάνονται μέσω δέκτη Rake. Για να γίνει η σωστή λήψη των 2 σημάτων από τους επικαλυπτόμενους τομείς, ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τους κώδικες εξάπλωσης των τομέων αυτών και να τροφοδοτήσει τη γεννήτρια κωδικών του δέκτη. Ίδια διαδικασία ακολουθείται και στην άνω ζεύξη με τα σήματα που λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης να συνδυάζονται από αυτόν. Κατά τη διάρκεια της ηπιότερης διαπομπής εκτελείται έλεγχος ισχύος μόνο σε μία σύνδεση. Γενικά, ηπιότερη διαπομπή εκτελείται σε ποσοστό 5-15% των συνδέσεων.

1.5.2 Ήπια διαπομπή (Soft Handover)

Η διαδικασία της ήπιας διαπομπής συμβαίνει όταν το κινητό τερματικό βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης δύο τομέων που εξυπηρετούνται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης σύμφωνα και με το σχήμα 1.10.



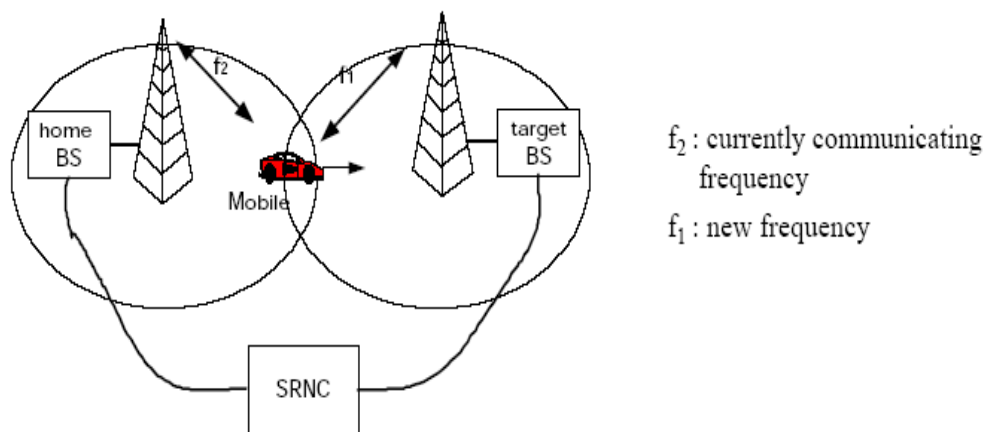
Σχήμα 1.10 Ήπια διαπομπή

Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην περίπτωση της ήπιας διαπομπής, η επικοινωνία μεταξύ του κινητού και των σταθμών βάσης πραγματοποιείται μέσω δύο διαφορετικών ασύρματων καναλιών. Από την πλευρά του κινητού τερματικού δεν υπάρχουν διαφορές σε σχέση με την ηπιότερη διαπομπή. Από την άλλη, στην άνω ζεύξη το σήμα λαμβάνεται και από τους 2 σταθμούς βάσης και προωθούνται στον RNC από τον οποίο συνδυάζονται. Με αυτόν τον τρόπο, ο ελεγκτής RNC έχει τη δυνατότητα να μαζέψει πληροφορίες για την αξιοπιστία στη λήψη των frames από τους δύο σταθμούς βάσης και να επιλέξει το καταλληλότερο frame από τα δύο υποψήφια. Αυτός είναι και ο λόγος που ο εξωτερικός έλεγχος ισχύος πραγματοποιείται στον RNC. Το πλεονέκτημα αυτό καλείται μακροσκοπική διαφορική λήψη (macro-diversity) και είναι το κέρδος που παρέχεται από τη λήψη περισσότερων του ενός σημάτων.

Κατά τη διάρκεια της ήπιας διαπομπής πραγματοποιείται έλεγχος ισχύος για κάθε σύνδεση χωριστά και γενικά πραγματοποιείται σε ποσοστό 20-40% των συνδέσεων.

1.5.3 Inter-frequency Hard Handover

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στην περίπτωση που θέλουμε να μεταφέρουμε τη λειτουργία του κινητού από μία συχνότητα σε μία άλλη.



Σχήμα 1.11 Inter-frequency Hard Handover

1.5.4 Inter-system Hard Handover

Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται μεταξύ των συστημάτων WCDMA FDD και ενός άλλου συστήματος όπως είναι το WCDMA TDD ή GSM. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την περίπτωση διαπομπής μεταξύ περιοχών με UMTS και GSM/GPRS κάλυψη. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της σύνδεσης, στην περίπτωση που το κινητό εισέρχεται σε περιοχή χωρίς UMTS κάλυψη.

1.6 Ισολογισμός ισχύος

Ο ισολογισμός ισχύος (link budget planning) [2] αποτελεί τμήμα του σχεδιασμού δικτύου και είναι απαραίτητο για να καθοριστούν τα εξής στοιχεία: η ραδιοκάλυψη, η χωρητικότητα και η ποιότητα υπηρεσίας που απαιτούνται από το δίκτυο.

Στόχος του ισολογισμού ισχύος είναι ο υπολογισμός του μεγίστου μεγέθους κυψέλης κάτω από δεδομένα κριτήρια:

- Είδος υπηρεσίας (ταχύτητα και τύπος δεδομένων)
- Είδος περιβάλλοντος (terrain, building penetration)
- Συμπεριφορά και τύπος κινητών (ταχύτητα, μέγιστο επίπεδο ισχύος)
- System configuration (κεραίες BS, ισχύς BS, απώλειες καλωδίων, κέρδος διαπομπής)
- Απαιτούμενη πιθανότητα κάλυψης
- Οικονομικοί παράγοντες (χρήση ακριβού και καλύτερης ποιότητας εξοπλισμού, φτηνότερες μέθοδοι εγκατάστασης)

Όλα τα παραπάνω κριτήρια θα πρέπει να ταιριάζουν στις ζητούμενες ανάγκες κάλυψης, χωρητικότητας και ποιότητας του συστήματος για κάθε υπηρεσία σε κάθε περιοχή.

Πριν περάσουμε σε ένα παράδειγμα ισολογισμού ισχύος θα αναφερθούμε σε τρεις ιδιαίτερες παραμέτρους του WCDMA συστήματος που λαμβάνουν μέρος στον ισολογισμό αυτό.

1.6.1 Περιθώριο παρεμβολών (Interference Margin)

Το περιθώριο παρεμβολών χρησιμοποιείται στο link budget λόγω της αλληλεξάρτησης της χωρητικότητας μιας κυψέλης από τη κάλυψή της. Όσο μεγαλώνει το φορτίο της κυψέλης, τόσο μεγαλύτερο περιθώριο παρεμβολών απαιτείται και τόσο μικραίνει η περιοχή κάλυψης. Σε περιπτώσεις που η σχεδίαση έχει σκοπό τη μεγιστοποίηση της κάλυψης (coverage limited), επιλέγεται μικρότερη τιμή για το περιθώριο παρεμβολής, σε σχέση με την περίπτωση που σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της χωρητικότητας (capacity limited) οπότε και επιλέγεται μεγαλύτερη τιμή για το περιθώριο παρεμβολής. Το περιθώριο παρεμβολής πρέπει να είναι ίσο με τη μέγιστη αύξηση θορύβου (noise rise) που έχει θεωρηθεί κατά τη σχεδίαση του συστήματος. Τυπικές τιμές για τις περιπτώσεις μεγιστοποίησης της χωρητικότητας είναι 1 έως 3 dB.

1.6.2 Περιθώριο γρήγορων διαλείψεων (Fast Fading Margin)

Το κινητό τερματικό χρειάζεται ένα ποσό ισχύος προκειμένου να πραγματοποιήσει έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου. Το περιθώριο γρήγορων διαλείψεων βρίσκεται εφαρμογή σε τερματικά που κινούνται με μικρή ταχύτητα, όπου ο έλεγχος ισχύος μπορεί να εξουδετερώσει τις γρήγορες διαλείψεις, γεγονός που δεν συμβαίνει στην περίπτωση κινητών σταθμών με μεγάλες ταχύτητες. Τυπικές τιμές για το περιθώριο γρήγορων διαλείψεων είναι 2 έως 5 dB, για κινητούς σταθμούς με μικρές ταχύτητες.

1.6.3 Κέρδος από μεταπομπές τύπου soft (Soft Handover Gain)

Οι διαπομπές (soft ή hard) παρέχουν ένα κέρδος έναντι των διαλείψεων που ακολουθούν log-normal κατανομή (slow fading). Αυτό συμβαίνει επειδή το slow fading είναι ασυσχέτιστο μεταξύ των σταθμών βάσης και πραγματοποιώντας διαπομπή το κινητό μπορεί να επιλέξει ένα καλύτερο σταθμό. Η ήπια διαπομπή δίνει ένα ακόμα κέρδος έναντι των γρήγορων διαλείψεων μειώνοντας το απαιτούμενο EbNo, λόγω της λήψης από 2 ασυσχέτιστα κανάλια. Το συνολικό κέρδος των ήπιων διαπομπών κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3 db.

Στη συνέχεια ακολουθεί παράδειγμα ισολογισμού ισχύος [2]:

UMTS UL Link budget example, (c) UMTSWorld.com	
TX	
Mobile max power = 0.125W (dBm)	21
Body loss - Antenna gain (dB)	2
EIRP (dBm)	19
RX	
BTS noise density (dBm/Hz) = Thermal noise density + BTS noise figure	-168
RX noise power (dBm) = -168 + 10 * log(3840000)	-102.2
Interference margin (dB)	3
RX interference power (dBm) = 10 * LOG(10^((-102.2+3)/10) * 10^(-102.2/10))	-102.2
Noise & interference (dBm) = 10 * LOG(10^((-102.2)/10) + 10^(-102.2/10))	-99.2
Process gain (dB), 12.2k voice = 10 * log(3840/12.2)	25.0
Required Eb/No for speech (dB)	5
Antenna gain (dBi)	17
Cable and connector losses (dB)	3
Fast fading margin (dB) = slow moving mobile	4
RX sensitivity (dBm)	-129.2
Total available path loss (dB)	148.2
Dimensioning	
Log normal fading margin (dB)	7
Indoor / In-vehicle loss (dB)	0
Soft handover gain (dB)	3
Cell edge target propagation loss (dB)	144.2
Okamura-Hata cell range (km) $L=137.4+35.2\text{LOG}(R)$	1.56

Για την εκτίμηση λοιπόν της μέγιστης ακτίνας μιας κυψέλης, είναι απαραίτητος ο ισολογισμός ισχύος (link budget) για την άνω και την κάτω ζεύξη. Η εκπεμπόμενη ισχύς, το κέρδος των κεραιών εκπομπής και λήψης, τα κέρδη, οι απώλειες, καθώς και άλλες παράμετροι που αφορούν στην εκπομπή και στη λήψη, στο περιβάλλον διάδοσης και στις παρεμβολές συνδυάζονται για τον υπολογισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης απώλειας ισχύος. Στη συνέχεια, μέσω του κατάλληλου για την περιοχή μοντέλου διάδοσης καθορίζεται η μέγιστη ακτίνα. Στο παραπάνω παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί το μοντέλο των Okumura-Hata, το οποίο δίνει την ακτίνα της κυψέλης μέσω της σχέσης:

$L = 137.4 + 35.2 \cdot \log_{10}(R)$, όπου L οι μέγιστες επιτρεπτές απώλειες διάδοσης και R η ακτίνα της κυψέλης.

1.7 Δείκτης φορτίου (Load Factor)

Το δεύτερο βήμα της διαστασιολόγησης είναι η εκτίμηση του αριθμού των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα σταθμό βάσης.

1.7.1 Δείκτης φορτίου άνω ζεύξης (UL Load Factor)

Θα ξεκινήσουμε την ανάλυση από τη βασική εξίσωση:

$(EbNo)_j = (\text{Κέρδος επεξεργασίας χρήστη } j) \cdot (\text{Σήμα χρήστη } j) / (\text{Συνολικά λαμβανόμενη ισχύ})$

όπου $(EbNo)_j$ η ενέργεια ανά bit χρήστη. Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει η εξής:

$$(EbNo)_j = \frac{W}{u_j \cdot R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{total} - P_j} \quad (1.1)$$

όπου W είναι ο ρυθμός chip που είναι ίσος με 3.84 Mcps, P_j η λαμβανόμενη ισχύς του σταθμού από το χρήστη j , R_j ο ρυθμός bit του χρήστη, u_j ο συντελεστής ενεργητικότητας (activity factor) του χρήστη και $I_{total} - P_j$ είναι η συνολικά λαμβανόμενη ισχύς εκτός από την ισχύ του χρήστη j . Λύνοντας την (1.1) ως προς P_j προκύπτει:

$$P_j = \frac{I_{total}}{1 + \frac{I_{total}}{(EbNo)_j \cdot R_j \cdot u_j}} \quad (1.2)$$

Θεωρώντας τη σχέση $P_j = L_j \cdot I_{total}$, ο δείκτης φορτίου L_j για μία σύνδεση υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{I_{total}}{(EbNo)_j \cdot R_j \cdot u_j}} \quad (1.3)$$

Ορίζοντας σαν UL load factor την παρακάτω παράσταση:

$$n_{UL} = \sum_1^N L_j \quad (1.4)$$

όπου N οι χρήστες μέσα στην ίδια κυψέλη, και γράφοντας τις συνολικά λαμβανόμενες παρεμβολές, εξαιρώντας το θερμικό θόρυβο PN, σαν άθροισμα των λαμβανόμενων ισχύων από όλους τους N χρήστες, έχουμε:

$$I_{total} - PN = \sum_1^N P_j = \sum_1^N L_j \cdot I_{total} \quad (1.5)$$

Στη συνέχεια ορίζουμε την παράμετρο noise rise ως τον λόγο της συνολικά λαμβανόμενης ισχύος προς την ισχύ του θερμικού θορύβου, δηλαδή :

$$noise_rise = \frac{I_{total}}{PN} = \frac{1}{1 - \sum_1^N L_j} = \frac{1}{1 - n_{UL}} \quad (1.6)$$

Παρατηρούμε ότι όταν ο UL load factor παίρνει την τιμή 1, η παράμετρος noise rise προσεγγίζει το άπειρο και το σύστημα φτάνει σε οριακές τιμές χωρητικότητας.

Στους παραπάνω υπολογισμούς λάβαμε υπόψη μόνο τις παρεμβολές που δημιουργούνται από χρήστες της ίδιας κυψέλης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι έχουμε παρεμβολές και από χρήστες γειτονικών κυψελών ο UL load factor δίνεται από την παρακάτω σχέση, που είναι κι η εξίσωση φορτίου που θέλουμε να υπολογίσουμε:

$$n_{UL} = (1 + i) \cdot \sum_1^N L_j = (1 + i) \cdot \sum_1^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(EbNo)_j \cdot R_j \cdot u_j}} \quad (1.7)$$

όπου i είναι ο λόγος των παρεμβολών που προκαλούνται από άλλες κυψέλες προς τις ενδοκυψελικές παρεμβολές, δηλαδή :

$$i = \frac{other_cell_interference}{own_cell_interference} \quad (1.8)$$

Η εξίσωση φορτίου χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της χωρητικότητας μιας κυψέλης. Για ένα δίκτυο, που εξυπηρετεί μόνο υπηρεσίες φωνής και στο οποίο όλοι οι N χρήστες έχουν μικρό ρυθμό μετάδοσης ίσο με R, θεωρούμε ότι :

$$\frac{W}{(EbNo) \cdot R \cdot u} \gg 1$$

Επομένως, η εξίσωση φορτίου της σχέσης (1.7) παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$n_{UL} = (1 + i) \cdot \frac{EbNo}{W/R} \cdot N \cdot u \quad (1.9)$$

Έτσι, με χρήση της παραπάνω σχέσης μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε τον αριθμό των χρηστών N που μπορεί να υποστηρίξει η κυψέλη στην άνω ζεύξη. Η

μεταβλητή noise rise συνήθως λαμβάνει τιμές μεταξύ 3 – 6db που αντιστοιχούν σε δείκτη φορτίου 50-75% αντίστοιχα και καθορίζεται από το σχεδιαστή.

1.7.2 Δείκτης φορτίου κάτω ζεύξης (DL Load Factor)

Ο δείκτης φορτίου της κάτω ζεύξης υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν της άνω ζεύξης και δίνεται από τη σχέση:

$$n_{DL} = [(1 - a_j) + i_j] \cdot \frac{(EbNo)_j}{W / R_j} \cdot \sum_1^N u_j \quad (1.10)$$

όπου a_j ο δείκτης ορθογωνιότητας στην κάτω ζεύξη.

Το WCDMA χρησιμοποιεί ορθογωνικούς κώδικες στην κάτω ζεύξη, ώστε να μπορούν να αναγνωριστούν οι χρήστες. Η ορθογωνιότητα αυτή καταστρέφεται σε περίπτωση πολυδιαδρομικής διάδοσης. Ο δείκτης ορθογωνιότητας a_j παίρνει τιμές μεταξύ 0.4 και 0.9, ενώ όταν $a=1$ αντιστοιχεί σε τέλεια ορθογωνικούς κώδικες.

Στην κάτω ζεύξη ο παράγοντας i που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, εξαρτάται από τη θέση των χρηστών και είναι διαφορετικός για κάθε χρήστη j . Για αυτό το λόγο υπολογίζεται η μέση τιμή του:

$$\bar{n}_{DL} = [(1 - \bar{a}) + \bar{i}] \cdot \frac{(EbNo)_j}{W / R_j} \cdot \sum_1^N u_j \quad (1.11)$$

Ο δείκτης αυτός εμφανίζει την ίδια συμπεριφορά με αυτόν της άνω ζεύξης. Όταν δηλαδή προσεγγίζει το άπειρο, το σύστημα βρίσκεται σε οριακές τιμές χωρητικότητας.

Στην κάτω ζεύξη είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της συνολικής ισχύος που εκπέμπει ο σταθμός βάσης που βασίζεται στη μέση μεταφερόμενη ισχύ και όχι στη μέγιστη που αντιστοιχεί σε χρήστες που βρίσκονται στη άκρη της κυψέλης. Αυτό συμβαίνει γιατί ενώ κάποιοι χρήστες που βρίσκονται στην άκρη της κυψέλης απαιτούν υψηλή ισχύ, άλλοι που βρίσκονται κοντά στον σταθμό βάσης απαιτούν λιγότερη.

Η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς για κάθε χρήστη καθορίζεται από τη μέση εξασθένιση L και την ευαισθησία του δέκτη του κινητού, απουσία παρεμβολών. Στη συνέχεια στην ελάχιστη αυτή ισχύ προστίθεται η επίδραση του noise rise εξαιτίας των παρεμβολών. Το αποτέλεσμα αντιπροσωπεύει την απαιτούμενη ισχύ για ένα χρήστη σε μία «μέση» τοποθεσία της κυψέλης.

Άλλη μία χρήσιμη παράμετρος είναι η συνολική ισχύς που πρέπει να εκπέμπει ο σταθμός βάσης και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_{total} = \frac{\frac{(EbNo)_j}{W / R_j} \cdot N_{rf} \cdot W \cdot \bar{L} \cdot \sum_1^N u_j}{1 - \bar{n}_{DL}} \quad (1.12)$$

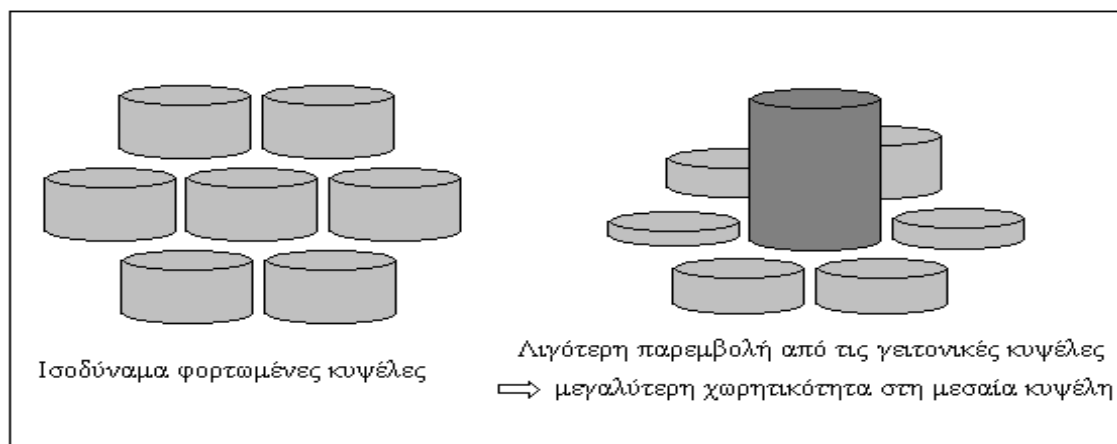
όπου $N_{rf} = k \cdot T + NF = -174dBm + NF$, k η σταθερά Boltzman, T η θερμοκρασία σε Kelvin και NF μια παράμετρος με τυπικές τιμές 5 – 9db.

1.8 Ήπια χωρητικότητα

Σε αυτήν την παράγραφο θα γίνει λόγος για ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των WCDMA συστημάτων, την ήπια χωρητικότητα (soft capacity) [3]. Αναφερόμαστε σε ήπια χωρητικότητα, όταν δεν υπάρχει τεχνικός περιορισμός (όπως τα διαθέσιμα κανάλια) και η χωρητικότητα του συστήματος εξαρτάται από τις παρεμβολές. Τα συνολικά κανάλια που διατίθενται στους χρήστες μιας τυχαίας κυψέλης του δικτύου είναι περισσότερα από το μέσο αριθμό καναλιών κάθε κυψέλης, με το σκεπτικό ότι οι γειτονικές κυψέλες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποσότητα της συνολικά λαμβανόμενης ισχύος μιας κυψέλης. Έτσι, περισσότερη κίνηση μπορεί να εξυπηρετηθεί, με την ίδια πιθανότητα μη διεκπεραίωσης κλήσης (Blocking Probability), όταν οι παρεμβολές βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα.

Η ήπια χωρητικότητα μπορεί να εξηγηθεί ως ακολούθως:

- Όσο λιγότερο φορτωμένες είναι οι γειτονικές κυψέλες, τόσο χαμηλότερα θα είναι τα επίπεδα της λαμβανόμενης παρεμβολής σε μία κυψέλη και αντίστοιχα τόσα περισσότερα τα διαθέσιμα προς τους χρήστες κανάλια για την εν λόγω κυψέλη.



Σχήμα 1.12 Ήπια χωρητικότητα στο WCDMA

Αν λοιπόν σε μια κυψέλη διατηρήσουμε το φορτίο σε χαμηλά επίπεδα, προκύπτει μια επιπλέον χωρητικότητα για τις γειτονικές κυψέλες. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να δανείσουμε στο WCDMA χωρητικότητα από μία κυψέλη σε άλλες γειτονικές κυψέλες.

Όμως, γενικά στα WCDMA συστήματα είναι επιθυμητό να υπάρχει ισορροπία φορτίου στις κυψέλες, ώστε η συνολική χωρητικότητα του συστήματος να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Αντίθετα, οι υπερφορτωμένες κυψέλες προξενούν περίσσια εξωκυψελική παρεμβολή (inter-cell interference) στις γειτονικές, οπότε η χωρητικότητα των γειτονικών μειώνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΞΥΠΝΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

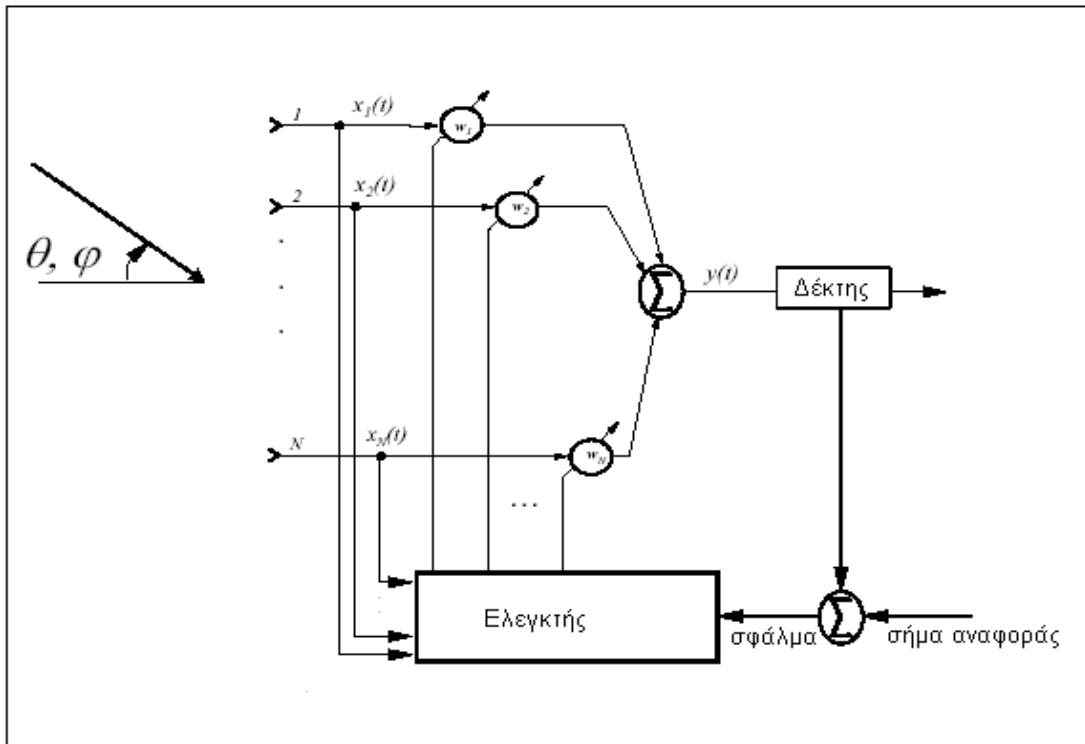
2.1 Εισαγωγή

Η κινητή τηλεφωνία αποτελεί μια τεχνολογία που επεκτάθηκε και κυριάρχησε με ταχύτατο ρυθμό σε όλο τον κόσμο, με άμεσο επακόλουθο την μεγάλη αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών. Αυτή η αύξηση στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση έθεσε νέες απαιτήσεις για τη χωρητικότητα του δικτύου, γεγονός που οδήγησε στην ανάζητηση νέων τεχνικών, που στόχευαν στην αύξηση της χωρητικότητας στα κυψελωτά συστήματα. Μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνικές ήταν οι έξυπνες κεραιές. Έτσι, παρόλο που στα συστήματα δεύτερης γενιάς δόθηκε έμφαση στην ανάπτυξη τεχνικών διαμόρφωσης, κωδικοποίησης και πρωτοκόλλων, η τεχνολογία κεραιών τέθηκε σε δεύτερη μοίρα και οι απαιτήσεις των συστημάτων τρίτης γενιάς οδήγησαν στην χρήση των έξυπνων στοιχειοκεραιών. Οι έξυπνες στοιχειοκεραίες βελτίωσαν την αποδοτικότητα εύρους ζώνης, μιας και προσέφεραν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της χωρικής διαφορικής λήψης (spatial diversity) [2].

Μία έξυπνη στοιχειοκεραία αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που συνδυάζονται μέσω ενός δικτύου διαμόρφωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας (beamforming network) με σκοπό να καθορίσει τα σχετικά πλάτη και τις σχετικές φάσεις των στοιχείων της. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής (intersymbol interference), μεγαλύτερο βεληνεκές, υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, καθώς και μικρότερη κατανάλωση ισχύος του κινητού τερματικού. Οι έξυπνες κεραιές γενικά στρέφουν έναν λοβό ακτινοβολίας στην κατεύθυνση όπου βρίσκεται κάποιος επιθυμητός χρήστης, με αποτέλεσμα να αυξάνουν την επιθυμητή λαμβανόμενη ισχύ και να μειώνουν τις παρεμβολές. Περισσότερες λεπτομέρειες για την λειτουργία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των έξυπνων κεραιών ακολουθούν στις επόμενες παραγράφους.

2.2 Βασική θεωρία συστημάτων έξυπνων κεραιών

Μια έξυπνη κεραία είναι μια ευθύγραμμη διάταξη που αποτελείται από ισαπέχοντα στοιχεία, τα οποία συνδυάζονται μέσω ενός συστήματος ελέγχου ώστε να παράγουν κάθε φορά το επιθυμητό διάγραμμα ακτινοβολίας. Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 Η βασική διάταξη μιας έξυπνης κεραίας

Το σύστημα του σχήματος 2.1 αποκαλείται συνήθως ως δίκτυο διαμόρφωσης λοβών ακτινοβολίας (Beamforming Network) [4].

Αν λοιπόν θεωρήσουμε ότι η απόσταση δύο διαδοχικών στοιχείων της κεραίας είναι ίση με d , λ το μήκος κύματος του λαμβανόμενου σήματος, τότε το σήμα στο m -οστό στοιχείο της κεραίας μπορεί να γραφτεί ως:

$$x_m(t) = s(t) \cdot \exp(j \cdot k \cdot (m-1) \cdot d \cdot \cos \phi \cdot \sin \theta) \quad (2.1)$$

Το k είναι ο κυματικός αριθμός ($k = 2\pi/\lambda$), ενώ ϕ και θ είναι οι γωνίες άφιξης του σήματος του χρήστη, το οποίο είναι της μορφής:

$s(t) = m_i(t) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot f_o \cdot t)$, όπου $m_i(t)$ είναι το διαμορφωμένο σήμα. Στην περίπτωση CDMA συστήματος [2] ισχύει $m_i(t) = d_i(t) \cdot g(t)$, όπου $d_i(t)$ είναι η ακολουθία δεδομένων του χρήστη και $g(t)$ είναι μια ψευδοτυχαία δυαδική ακολουθία θορύβου που παίρνει τιμές $+1$ ή -1 . Επίσης, η γωνία ϕ είναι η αζιμουθιακή γωνία και η γωνία θ είναι η γωνία ανύψωσης. Θεωρώντας ότι κάθε σήμα φτάνει στην κεραία με γωνία ανύψωσης θ ίση με 90 μοίρες, η εξίσωση (2.1) μετασχηματίζεται ως:

$$x_m(t) = s(t) \cdot \exp(j \cdot k \cdot (m-1) \cdot d \cdot \cos \phi) \quad (2.2)$$

Εκφράζοντας τα βάρη της κεραίας ως σε κάθε στοιχείο ως w_m , η έξοδος που δίνει η κεραία θα είναι:

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m \cdot x_m(t) = s(t) \cdot \sum_{m=1}^M w_m \cdot \exp(j \cdot k \cdot (m-1) \cdot d \cdot \cos \phi) = s(t) \cdot S(\phi) \quad (2.3)$$

όπου M ο αριθμός στοιχείων της κεραίας. Η συνάρτηση $S(\phi)$ καλείται παράγοντας διάταξης της κεραίας. Επίσης, στην εξίσωση (2.3) δε λάβαμε υπόψη το διάγραμμα ακτινοβολίας κάθε στοιχείου. Αυτό πραγματοποιείται με την προσθήκη ενός πολλαπλασιαστικού παράγοντα $U(\phi)$, με αποτέλεσμα η (2.3) να παίρνει την τελική της μορφή:

$$Y(t) = s(t) \cdot S(\phi) \cdot U(\phi) \quad (2.4)$$

Η φάση του λαμβανόμενου σήματος σε κάθε στοιχείο αντιπροσωπεύει ένα διάνυσμα, το οποίο καλείται διάνυσμα στροφής (steering vector). Το διάνυσμα αυτό για γωνία άφιξης σήματος ϕ έχει τις ακόλουθες συνιστώσες :

$$s_i = [1, \exp(j \cdot \pi \cdot \cos(\phi_i)), \dots, \exp(j \cdot \pi \cdot (M - 1) \cdot \cos(\phi_i))] \quad (2.5)$$

Η γνώση όλων των διανυσμάτων στροφής, δηλαδή για κάθε γωνία άφιξης ϕ , είναι πολύ σημαντική στην ανάλυση μιας έξυπνης κεραίας, αφού αποτελεί τη βάση για αλγόριθμους εύρεσης της θέσης ενός χρήστη και επιλογής του κατάλληλου διαγράμματος ακτινοβολίας.

2.3 Είδη έξυπνων κεραιών

Οι έξυπνες κεραιές [3] χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Έξυπνες κεραιές μεταγωγής λοβών (switched beam), όπου κάθε κεραία έχει περιορισμένο αριθμό σταθερών και προκαθορισμένων λοβών ακτινοβολίας.
- Έξυπνες κεραιές προσαρμοστικού αλγορίθμου (adaptive array), όπου το σύστημα έχει τη δυνατότητα να τροποποιεί δυναμικά το διάγραμμα της κεραίας σε πραγματικό χρόνο.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τις 2 κατηγορίες, αναφέρονται στις παραγράφους που ακολουθούν .

2.3.1 Έξυπνες κεραιές μεταγωγής λοβών

Ουσιαστικά, οι έξυπνες κεραιές μεταγωγής λοβών διαχωρίζουν τις κυψέλες σε τομείς. Όμως πραγματοποιούν έναν επιπλέον διαχωρισμό των τομέων σε μικροτομείς (microsectors), όπου ο κάθε μικροτομέας περιλαμβάνει ένα προκαθορισμένο σταθερό διάγραμμα λοβού το οποίο εμφανίζει μεγαλύτερη ευαισθησία στο κέντρο του λοβού και μικρότερη σε όλη την υπόλοιπη περιοχή.

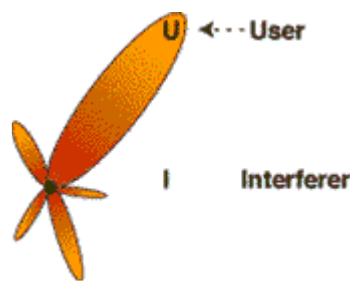
Το σύστημα στρέφει το λοβό σε διαφορετικές κατευθύνσεις μεταβάλλοντας τη διαφορά φάσης στα σήματα που τροφοδοτούν τα στοιχεία της κεραίας ή που

λαμβάνονται από αυτά. Όταν ένας χρήστης εντοπιστεί σε έναν τομέα, το σύστημα επιλέγει να τον εξυπηρετήσει ο μικροτομέας που του δίνει το ισχυρότερο σήμα.

2.3.2 Έξυπνες κεραιές προσαρμοστικού αλγορίθμου

Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα να τροποποιεί δυναμικά το διάγραμμα της κεραιάς, ώστε να βελτιστοποιήσει την μετάδοση στο ασύρματο σύστημα.

Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται κατάλληλοι αλγορίθμοι προκειμένου να επιτυγχάνεται συνεχής διαχωρισμός ανάμεσα στο επιθυμητό σήμα, στο σήμα από πολυδιαδρομική διαδοση και σε ενδεχόμενες παρεμβολές. Γενικά, ο σκοπός είναι να στραφεί ο κύριος λοβός στην κατεύθυνση του σήματος και οι δευτερεύοντες ή μηδενικοί λοβοί στις παρεμβολές. Αυτό επιτυγχάνεται με υπολογισμό των διευθύνσεων άφιξής τους. Με αυτόν τον τρόπο, γνωρίζουμε τις αλλαγές στην θέση του επιθυμητού σήματος και των παρεμβολών ανά πάσα στιγμή .



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα ακτινοβολίας έξυπνης κεραιάς προσαρμοστικού αλγορίθμου

2.4 Διαφορετικές τεχνικές έξυπνων κεραιών

Γενικά η χρήση ομοιοκατευθυντικών κεραιών στην εκπομπή σημάτων έχει σαν αποτέλεσμα να φτάνει στον επιθυμητό χρήστη μόνο ένα μικρό μέρος της ενέργειας που εκπέμπεται. Το υπόλοιπο μέρος της ενέργειας θα χαθεί και θα αποτελέσει παρεμβολή για άλλους χρήστες του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι η χρήση συμβατικών κεραιών κρίνεται ανεπαρκής, κυρίως από πλευράς εκπεμπόμενης ισχύος. Επομένως η χρήση έξυπνων κεραιών, που ελαττώνουν την εκπεμπόμενη ισχύ προς κάθε κατεύθυνση στοχεύοντας όμως να δώσουν κατευθυντικότητα στην ζεύξη για να φτάσει στον επιθυμητό χρήστη η μέγιστη ισχύς, με τις μικρότερες δυνατές παρεμβολές στους υπολοίπους κρίνεται άκρως απαραίτητη. Η μέθοδος μεταγωγής λοβών [2] είναι ένας από τους απλούς τρόπος επίλυσης του προβλήματος.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν αριθμό από σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας, στραμμένους σε διαφορετικές διευθύνσεις. Στην πιο απλή του μορφή ο αλγόριθμος αυτός επιλέγει για κάθε χρήστη της κυψέλης το λοβό που μεγιστοποιεί την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος του χρήστη. Εκ πρώτης όψεως, ο αλγόριθμος μεταγωγής λοβών φαίνεται να δουλεύει καλά κυρίως σε περιπτώσεις που το σήμα λαμβάνεται από μια συγκεκριμένη γωνία άφιξης. Ακόμη όμως και στην περίπτωση που το σήμα εμφανίζει γωνιακή διασπορά, αν η εν λόγω γωνιακή διασπορά είναι μικρότερη από το

γωνιακό εύρος κάθε λοβού ακτινοβολίας, τότε μπορούν να προκύψουν σημαντικά οφέλη από μία έξυπνη κεραία μεταγωγής λοβών.

Με βάση τη θεωρία των γραμμικών στοιχειοκεραιών [4], μπορούμε να υπολογίσουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας για κάθε λοβό. Έτσι, για να παραχθεί ο i λοβός ακτινοβολίας, ο οποίος θέλουμε να είναι στραμμένος στη γωνία ϕ_o , θα πρέπει τα βάρη της κεραίας να δίνονται από την επίλυση του γραμμικού συστήματος:

$$w^H \cdot A = e^T \quad (2.6)$$

όπου w είναι ο ζητούμενος πίνακας με τα βάρη, A ο πίνακας με στήλες τα διανύσματα στροφής s_o , όπου και θέλουμε τον επιθυμητό λοβό και s_1, s_2, \dots, s_{L-1} όπου απαιτούνται μηδενισμοί του παράγοντα διάταξης και e είναι ένα διάνυσμα με όλα του τα στοιχεία μηδενικά, εκτός του στοιχείου i (όπου i αντιστοιχεί στην γωνία ϕ_o του επιθυμητού λοβού). Τα στοιχεία του πίνακα A υπολογίζονται από την σχέση (2.5)

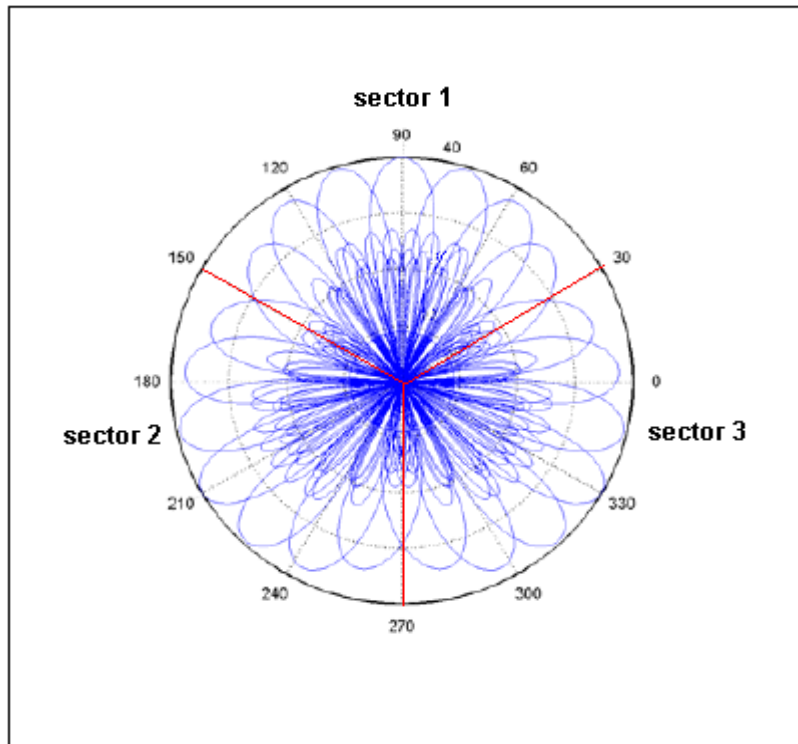
Αν $L=M-1$ [6], τότε ο πίνακας A είναι τετραγωνικός, άρα και το σύστημα της σχέσης (2.6) μπορεί να λυθεί απευθείας με δεδομένη την ύπαρξη του αντίστροφου πίνακα του A . Σε διαφορετική περίπτωση, η (2.6) λύνεται με χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$w^H = e^T \cdot A^H \cdot (A \cdot A^H)^{-1} \quad (2.7)$$

Με τον υπολογισμό των παραπάνω σχέσεων, το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας για τον m -οστό λοβό δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S_m(\phi) = \sum_{n=1}^M w_{m,n}^* \cdot \exp[-j \cdot (n-1) \cdot \pi \cdot \cos(\phi)] \quad (2.8)$$

Με χρήση της εξίσωσης (2.8) μπορούμε να δημιουργήσουμε μια σειρά από ανεξάρτητους μεταξύ τους λοβούς ακτινοβολίας, όπως πράξαμε και στο σχήμα 2.3. Σε αυτό το σχήμα διακρίνονται 7 λοβοί ανά τομέα 120 μοιρών μέσα σε μια κυψέλη [3].



Σχήμα 2.3 Το διάγραμμα ακτινοβολίας 7 λοβών ανά τομέα από γραμμική κεραία 8 στοιχείων

2.5 Πλεονεκτήματα χρήσης συστημάτων έξυπνων κεραιών

Η χρήση συστημάτων έξυπνων κεραιών δίνει πολλαπλά πλεονεκτήματα που έχουν να κάνουν με την ραδιοκάλυψη, την χωρητικότητα και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών [3]. Ακολουθεί παρουσίαση των πλεονεκτημάτων αυτών στις παραγράφους που ακολουθούν.

2.5.1 Επέκταση της ραδιοκάλυψης

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης συστημάτων έξυπνων κεραιών είναι η αύξηση της ακτίνας ραδιοκάλυψης της κυψέλης. Η ισχύς δεν εκπέμπεται πλέον προς κάθε κατεύθυνση εντός της περιοχής κάλυψης της κυψέλης, αλλά η εκπομπή γίνεται με κατευθυντικό τρόπο, ώστε να ταιριάζει στις ιδιαίτερες ανάγκες της ζεύξης κάθε χρήστη.

Μια έξυπνη κεραία, με N στοιχεία, αυξάνει το σηματοθορυβικό λόγο SNR κατά ένα παράγοντα περίπου ίσο με $G \approx 10 \cdot \log_{10}(N)$.

Το επιπλέον κέρδος G έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση των απωλειών διάδοσης που μπορούμε να ανεχτούμε για αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας, με αποτέλεσμα και την αύξηση της ακτίνας ραδιοκάλυψης.

Αν υποθέσουμε μικρή γωνιακή διασπορά σήματος (δηλαδή ότι κάθε συνιστώσα σήματος συλλαμβάνεται από την κεραία) και συντελεστή απωλειών διάδοσης ίσο με n ,

τότε ο συντελεστής αύξησης της ραδιοκάλυψης (Range Extension Factor, REF) υπολογίζεται από την σχέση:

$$REF = \frac{R2}{R1} = \frac{N1}{n} \quad (2.9)$$

όπου R1 και R2 είναι οι ακτίνες ραδιοκάλυψης στην περίπτωση κεραίας με ένα στοιχείο ακτινοβολίας και με N στοιχεία ακτινοβολίας αντίστοιχα. Ο συντελεστής βελτίωσης σε επίπεδο περιοχής μας δίνεται από το τετράγωνο της ποσότητας REF, ενώ το αντίστροφο του συντελεστή βελτίωσης περιοχής μας δίνει το συντελεστή ελάττωσης σταθμών βάσης, οι οποίοι απαιτούνται για την εξυπηρέτηση της ίδιας περιοχής (Base Station Reduction Factor, BSRF). Αν δηλαδή προς κάλυψη μιας περιοχής χρειαζόμασταν K σταθμούς βάσης με συμβατικές κεραίες, τώρα χρειαζόμαστε $(1/2) * K / (REF) = K * BSRF$ σταθμούς βάσης με έξυπνες κεραίες.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η αύξηση της ραδιοκάλυψης δεν αποτελεί ένα επιθυμητό στόχο. Το επιπλέον όμως κέρδος που προσδίδουν οι έξυπνες κεραίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτως ώστε να ελαττωθεί η εκπεμπόμενη ισχύς από τα κινητά τερματικά. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο, αφού έτσι θα διαρκεί περισσότερο η μπαταρία του κινητού. Αν καταφέρουμε να εκμεταλλευτούμε το παραπάνω γεγονός σε πλήρη έκταση, θα μπορέσουμε να οδηγηθούμε μελλοντικά σε συσκευές με μικρότερο μέγεθος, μιας και θα μειωθούν οι απαιτήσεις μας σε μπαταρία.

2.5.2 Αύξηση της χωρητικότητας

Με την χρήση συμβατικών κεραιών, μόνο ένα μικρό μέρος της ενέργειας εκπομπής φτάνει στον επιθυμητό χρήστη, ενώ το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας θα προκαλέσει παρεμβολές στους υπόλοιπους χρήστες του δικτύου. Στην κάτω ζεύξη, η κατευθυντικότητα που προσδίδουν οι έξυπνες κεραίες μπορεί να ελαττώσει τα επίπεδα των παρεμβολών σε ομοδιαυλικούς χρήστες. Ομοίως στην άνω ζεύξη, ένας κατευθυντικός λοβός μιας έξυπνης κεραίας λαμβάνει λιγότερες παρεμβολές από ομοδιαυλικούς χρήστες εξαιτίας του στενού γωνιακού του εύρους. Έτσι, το φιλτράρισμα στο πεδίο του χώρου που παρέχουν οι έξυπνες κεραίες είναι ιδιαίτερος επιθυμητός για συστήματα WCDMA, αφού σε αυτά οι χρήστες μοιράζονται το ίδιο εύρος ζώνης με αποτέλεσμα να εμφανίζεται ένας μεγάλος αριθμός από παρεμβολείς.

Στο σύστημα τρίτης γενιάς WCDMA, η χωρητικότητα ενός WCDMA δικτύου περιορίζεται από την ποσότητα της συνολικά λαμβανόμενης ισχύος από τους σταθμούς βάσης, δηλαδή δεν υπάρχει κάποιος τεχνικός περιορισμός στην χωρητικότητα, όπως τα διαθέσιμα κανάλια, αλλά αυτή εξαρτάται μονάχα από τις παρεμβολές (βλ. παράγραφο 1.8, ήπια χωρητικότητα). Στα συστήματα WCDMA πρώτης γενιάς, που προσέφεραν μόνο φωνητικές υπηρεσίες, υπήρχαν 6 με 10 παρεμβολείς στην κάτω ζεύξη και πολλοί περισσότεροι αδύναμοι, λόγω του κέρδους επεξεργασίας, παρεμβολείς στην άνω ζεύξη. Όμως, στο WCDMA η παρεμβολή δεν μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφα κατανομημένη χωρικά και αυτό επειδή προσφέρονται διαφορετικές υπηρεσίες δεδομένων με διαφορετικό κέρδος επεξεργασίας. Το παραπάνω σημαίνει ότι δεν είναι εύκολο να βρεθεί μια απλή αναλυτική σχέση που να υπολογίζει το κέρδος σε χωρητικότητα που προσδίδει μια έξυπνη κεραία σε ένα

WCDMA σύστημα, μιας και είναι πολλά τα σενάρια που εμφανίζονται στην πράξη με χρήστες διαφόρων ρυθμών μετάδοσης.

2.5.3 Βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας

Η βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου SNR κατά ένα παράγοντα G είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί προς αύξηση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος. Το γεγονός αυτό θα έχει ως άμεση συνέπεια τη μείωση του ρυθμού των λαμβανόμενων ψηφίων, BER. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να υποστηρίξουμε ένα χρήστη, του οποίου η υπηρεσία απαιτεί ένα δεδομένο κατώφλι BER και που απέχει μια συγκεκριμένη απόσταση από το σταθμό βάσης. Αν στο σταθμό βάσης κάνουμε χρήση μιας έξυπνης κεραιάς, τότε για τον ίδιο χρήστη που απέχει την ίδια απόσταση από το σταθμό βάσης είμαστε σε θέση να τον εξυπηρετήσουμε με χαμηλότερο BER και έτσι να του παρέχουμε καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας.

2.6 Μειονεκτήματα χρήσης συστημάτων έξυπνων κεραιών

2.6.1 Πολυπλοκότητα πομποδέκτη

Είναι προφανές ότι ένας πομποδέκτης που χρησιμοποιεί έξυπνη κεραία είναι πολύ πιο πολύπλοκος από ένα παραδοσιακό πομποδέκτη σταθμού βάσης. Η κεραία θα χρειάζεται ξεχωριστές συνδέσεις με τον πομποδέκτη για κάθε ένα από τα στοιχεία, καθώς και μια ακριβή ρύθμιση σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, η διαδικασία σύνθεσης των λοβών της στοιχειοκεραίας απαιτεί σημαντικό υπολογιστικό φόρτο, ειδικά στην περίπτωση προσαρμοστικών κεραιών. Αυτό σημαίνει ότι ένας σταθμός βάσης με έξυπνες κεραιές πρέπει να διαθέτει πολύ δυνατούς επεξεργαστές και συστήματα ελέγχου.

Κατά συνέπεια, οι σταθμοί βάσης με έξυπνες κεραιές θα είναι πολύ πιο ακριβοί από τους παραδοσιακούς σταθμούς βάσης.

2.6.2 Διαχείριση εξοπλισμού (resource management)

Αν και οι έξυπνες κεραιές στηρίζονται κυρίως στην τεχνολογία RF, απαιτούν βελτιωμένες λειτουργίες δικτύων όπως η διαχείριση εξοπλισμού και κινητικότητας (mobility management). Όταν μια νέα σύνδεση δημιουργείται ή μια υπάρχουσα σύνδεση ανατίθεται σε ένα νέο σταθμό βάσης, καμία γωνιακή πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη στο νέο σταθμό βάσης, ο οποίος χρειάζεται κάποιο εναλλακτικό τρόπο για να εντοπίσει το χρήστη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί επιτρέποντας στο σταθμό βάσης να σαρώνει την κυψέλη συνεχώς με μία δέσμη ανίχνευσης η οποία θα ψάχνει για υποψήφιους για νέα σύνδεση ή ανάθεση από άλλη κυψέλη. Μια άλλη δυνατότητα είναι η χρήση ενός εξωτερικού συστήματος για εντοπισμό θέσης (π.χ. GPS). Όπως εξηγήθηκε νωρίτερα η μέθοδος SDMA εξυπηρετεί διαφορετικούς χρήστες που

χρησιμοποιούν το ίδιο φυσικό κανάλι επικοινωνίας στην ίδια κυψέλη και διαχωρίζονται μόνο από την γωνία. Σε περίπτωση που δύο χρήστες έχουν την ίδια ακριβώς γωνία, ένας από αυτούς πρέπει γρήγορα να μετακινηθεί σε άλλο κανάλι ώστε η σύνδεση να μην διακοπεί. Αυτό σημαίνει ότι σε συστήματα που χρησιμοποιούν SDMA θα υπάρχουν πολύ περισσότερες αναθέσεις στην ίδια κυψέλη (intracell handovers) σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα TDMA ή CDMA.

2.6.3 Φυσικό μέγεθος

Μια στοιχειοκεραία με μεγάλο αριθμό στοιχείων είναι αναγκαία, ώστε η έξυπνη κεραία να έχει αποδεκτό κέρδος. Τυπικές στοιχειοκεραίες που αποτελούνται από 6-10 οριζόντια διαχωριζόμενα στοιχεία έχουν προταθεί για εξωτερικά περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών. Η αναγκαία απόσταση μεταξύ των στοιχείων είναι 0.4-0.5 μήκη κύματος κι επομένως μια στοιχειοκεραία με οκτώ στοιχεία θα έχει μήκος περίπου 1.2 m στα 900 MHz και 60 cm στα 2 GHz.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΩΔΙΚΑ

3.1 Σκοπός προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα περιγραφούν όλες οι συναρτήσεις και διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση του συστήματος. Πραγματοποιήθηκαν πολλά διαφορετικά σενάρια με σκοπό την εύρεση της χωρητικότητας του συστήματος σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα:

- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος προσαρμοζόμενων (adaptive) έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των συναρτήσεων και διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση.

3.2 Υπολογισμός ακτίνας κάλυψης και μέγιστων απωλειών διάδοσης

Στην αρχή της προσομοίωσης πρέπει να υπολογιστεί η ακτίνα κάλυψης και οι μέγιστες επιτρεπτές απώλειες διάδοσης, με την χρήση του ισολογισμού ισχύος

(Παράρτημα A.1.1). Ο ισολογισμός ισχύος γίνεται στην συνάρτηση με έξοδο τα 2 ζητούμενα στοιχεία, η ακτίνα κάλυψης R_{cov} για τον προσδιορισμό του μεγέθους του συστήματος κυψελών που θα χρησιμοποιήσουμε και οι μέγιστες επιτρεπτές απώλειες διάδοσης $max_pathloss$ για τον έλεγχο εισαγωγής χρήστη στο σύστημα.

3.3 Δημιουργία κυψελών

Σε αυτό το στάδιο θα δημιουργήσουμε το σύστημα κυψελών στο οποίο θα πραγματοποιηθούν οι προσομοιώσεις.

Συγκεκριμένα, το σύστημα θα αποτελείται από μια κεντρική κυψέλη, γύρω από την οποία θα σχηματίζονται και οι υπόλοιπες κυψέλες του συστήματος. Αυτό καθορίζεται από τον αριθμό των σειρών t (tiers) που επιθυμούμε να έχουμε στο σύστημα. Με $t=0$, έχουμε μόνο την κεντρική κυψέλη, με $t=1$ έχουμε μια σειρά κυψελών γύρω από την κεντρική κ.ο.κ.

Επίσης, κάθε κυψέλη αποτελείται από 3 υπο-κυψέλες (sectors). Με την χρήση της ακτίνας κάλυψης που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα, μπορούμε να υπολογίσουμε και τα κέντρα των κυψελών του συστήματος (servstations).

Χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση $[b,R]=cell_array(R_{cov},t,x_0,y_0)$, με εισόδους την ακτίνα κάλυψης, τον αριθμό των σειρών κυψελών του συστήματος και την θέση (x_0,y_0) της κεντρικής κυψέλης και με έξοδο τον πίνακα b με τις συντεταγμένες των κυψελών και R την ακτίνα κυψέλης.

Συγκεκριμένα, αρχικά χρησιμοποιώντας την ακτίνα κάλυψης, πρέπει να υπολογίσουμε την ακτίνα κάθε κυψέλης. Αυτό γίνεται ως εξής:

Αν η ακτίνα κάλυψης περιλαμβάνει έναν κύκλο με ακτίνα R_{cov} , τότε αυτός ο κύκλος έχει εμβαδό $E_{κυκλου} = \pi \cdot R_{cov}^2$. Η κυψέλη από την άλλη έχει εμβαδό

$E_{κυψελης} = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot R^2}{2}$. Κι επειδή η ακτίνα κάλυψης περιλαμβάνει όλη την κυψέλη, με

μια απλή ισότητα των παραπάνω σχέσεων προκύπτει η ακτίνα κυψέλης R .

Για τον υπολογισμό του πίνακα b με τις συντεταγμένες των κέντρων των κυψελών του συστήματος ακολουθούμε την εξής λογική:

- Για κάθε την πρώτη σειρά κυψελών υπολογίζουμε πρώτα αυτές που έχουν κέντρα σε γωνίες $\varphi=30^\circ+k \cdot 60^\circ$ από την κεντρική, με το k να παίρνει διαδοχικά τιμές από 0 έως 5.

$$(x_k + 2, y_k + 2) = (2 \cdot h \cdot \cos(30^\circ + k \cdot 60^\circ), 2 \cdot h \cdot \sin(30^\circ + k \cdot 60^\circ)), k = 0,1,2,3,4,5$$

- Έπειτα για κάθε νέα σειρά κυψελών ακολουθούμε την παραπάνω διαδικασία, υπολογίζοντας τα κέντρα των γειτονικών κυψελών. Έτσι ,έχοντας τα κέντρα των γειτονικών κυψελών, σε κάθε μια από αυτές σχεδιάζουμε τις 3 υπο-κυψέλες της με την χρήση της συνάρτησης $triple_cell(R,x,y)$, με x,y τις συντεταγμένες της κυψέλης.

3.4 Εισαγωγή χρήστη στο σύστημα

Σκοπός των προσομοιώσεων είναι η μέτρηση της χωρητικότητας του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την σειριακή εισαγωγή χρηστών μέχρι να ικανοποιηθούν τα κριτήρια τερματισμού της προσομοίωσης.

Στο σύστημα μας η εισαγωγή χρηστών γίνεται με διαφορετικούς τρόπους ανά περίπτωση και σύμφωνα με τις απαιτήσεις της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, η εισαγωγή ενός χρήστη μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

- Εισαγωγή χρήστη σε σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή (ομοιόμορφη κατανομή).
- Εισαγωγή χρήστη σε σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή (ομοιόμορφη κατανομή)
- Εισαγωγή χρήστη σε σύστημα έξυπνων κεραιών (ομοιόμορφη κατανομή)
- Εισαγωγή χρήστη σε σύστημα έξυπνων κεραιών (ανομοιόμορφη κατανομή)

Και οι 4 τρόποι έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά, αλλά οι διαφορές τους οφείλονται στα διαφορετικά κριτήρια εισαγωγής χρήστη, που χρησιμοποιούν.

3.4.1 Εισαγωγή χρήστη

Αρχικά, η συνάρτηση εισαγωγής χρήστη πρέπει να τοποθετήσει τον χρήστη γεωγραφικά μέσα στο σύστημα. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, οφείλουμε να οριοθετήσουμε το σύστημα μας. Οφείλουμε δηλαδή να καθορίσουμε την μέγιστη ακτίνα κάλυψης του συστήματος μας. Αυτό θα γίνει με την χρήση 2 παραμέτρων, της ακτίνας R μιας κυψέλης και του αριθμού σειρών του συστήματος t . Αρχικά, υπολογίζουμε πόσες κυψέλες (sum) έχει το σύστημα μας:

```
sum=1;  
for i=0:t  
sum=sum+6*i;  
end
```

και στην συνέχεια σκεπτόμενοι ότι η συνολική ακτίνα κάλυψης του συστήματος μας είναι R_m , πρέπει $sum \cdot \text{Εμβαδόν_Κυψέλης} = \text{Εμβαδόν_Συνολικής_Κάλυψης}$, δηλαδή:

$$sum \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot R^2}{2} = \pi \cdot R_{cov}^2, \text{ απ' όπου προκύπτει και η συνολική ακτίνα κάλυψης } R_{cov}.$$

Στη συνέχεια, με χρήση είτε της συνάρτησης `rand`, η οποία σε κάθε κλήση της δίνει ως έξοδο τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανεμημένους από 0 έως 1, είτε της συνάρτησης `randsrc`, που σε κάθε της κλήση δίνει ως έξοδο τυχαίους αριθμούς από πίνακα που έχουμε ορίσει εμείς ομοιόμορφα κατανεμημένους, καθορίζουμε την κυψέλη (servstation) που θα ανήκει ο χρήστης (περαιτέρω λεπτομέρειες θα δοθούν για κάθε τρόπο εισαγωγής). Αφού εισαχθεί σε κάποια κυψέλη, με χρήση της `rand` επιλέγεται μια γωνία χρήστη και μια απόσταση από την κυψέλη στην οποία ανήκει.

Έπειτα, υπολογίζουμε τις απώλειες διάδοσης του χρήστη με χρήση της συνάρτησης `pathloss(x,b,sigma)`, που δέχεται σαν μεταβλητές εισόδου τις

συντεταγμένες του χρήστη, τις συντεταγμένες του σταθμού βάσης που ανήκει και μια σταθερά σ και ελέγχουμε αν οι απώλειες διάδοσης του χρήστη ξεπερνούν τις μέγιστες απώλειες διάδοσης του συστήματος, καθώς και αν ο σταθμός βάσης που εξυπηρετεί τον χρήστη είναι ίδιος με τον προεπιλεγμένο. Σε περίπτωση που ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη, ο χρήστης εισάγεται στο σύστημα, αλλιώς επαναλαμβάνεται η διαδικασία εισαγωγής του.

3.4.2 Εύρεση απωλειών διάδοσης και σταθμού βάσης που εξυπηρετεί τον χρήστη

Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες των BS και του χρήστη, υπολογίζουμε τις απώλειες διάδοσης του χρήστη προς όλους τους σταθμούς του συστήματος.

Οι απώλειες διάδοσης [2] δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$L = 137.4 + 35.2 \cdot \log_{10}(d) + \sigma \cdot \text{randn} \quad (3.1)$$

Ο 1ος παράγοντας του αθροίσματος $137.4 + 35.2 \cdot \log_{10}(d)$ αποτελεί το μοντέλο διάδοσης του Okumura Hata [2]. Το μοντέλο αυτό αναφέρεται σε αστικές περιοχές με μακροκυβέλες και θεωρεί ότι το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης είναι 30m, ενώ το αντίστοιχο ύψος για την κεραία του κινητού τερματικού είναι 1,5m.

Η συχνότητα φέροντος είναι 1950 MHz. Το αποτέλεσμα της (okumura hata) υπολογίζεται σε db, ενώ η απόσταση d σε km. Η απόσταση ενός χρήστη i με καρτεσιανές συνιστώσες (x_i, y_i) από ένα σταθμό βάσης j με συνιστώσες (x_j, y_j) , υπολογίζεται από τον τύπο της απόστασης, ο οποίος είναι:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3.2)$$

Το παραπάνω μοντέλο όμως δε λαμβάνει υπόψη το γεγονός, ότι η αταξία στο περιβάλλον διάδοσης μπορεί να είναι διαφορετική σε δύο θέσεις, όπου η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι ίδια. Λόγω της ανομοιομορφίας του περιβάλλοντος διάδοσης, η μέση ισχύς που λαμβάνεται σε διάφορες θέσεις του δέκτη, που απέχουν ίδια απόσταση από τον πομπό, είναι πολύ διαφορετική από εκείνη που υπολογίζεται αν χρησιμοποιήσουμε μόνο το μοντέλο του Okumura Hata.

Τα παραπάνω εκφράζονται μέσω του παράγοντα $\sigma \cdot \text{randn}$, που αποτελεί και τον παράγοντα σκίασης. Πρόκειται για μια τυχαία μεταβλητή Gauss (σε db) με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση σ (επίσης σε db), την οποία και θεωρούμε ίση με 8 στην προσομοίωση μας. Η randn είναι έτοιμη συνάρτηση της Matlab, η οποία παράγει τυχαίους αριθμούς που ακολουθούν την κανονική κατανομή και έχουν μέση τιμή το μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με ένα. Η σκίαση προκαλείται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του εδάφους στην περιοχή που διαδίδεται το σήμα.

Στην προσομοίωση μας, οι απώλειες διάδοσης υπολογίζονται με την κλήση της συνάρτησης $\text{pathloss}(x, b, \sigma)$ που επιστρέφει έναν πίνακα με τις απώλειες διάδοσης του χρήστη προς τους αντίστοιχους σταθμούς βάσης.

3.4.3 Εισαγωγή χρήστη με ομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

Σε αυτή την περίπτωση, δεν αλλάζουν πολλά σε σχέση με όσα περιγράφησαν παραπάνω. Ο χρήστης εισέρχεται στο σύστημα λαμβάνοντας τυχαίες συντεταγμένες μέσα στην ακτίνα κάλυψης:

```
x(1,:) = -Rm + 2 * Rm * rand(1,2)
```

κι εν συνεχεία υπολογίζονται οι απώλειες διάδοσης του χρήστη, καθώς και ο σταθμός βάσης που τον εξυπηρετεί και ελέγχεται το κριτήριο τερματισμού της συνάρτησης.

3.4.4 Εισαγωγή χρήστη με ομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors

Σε αυτή την περίπτωση, αρχικά ο χρήστης εισάγεται τυχαία σε κάποιον από τους sectors που μπορούν να δεχτούν ακόμα χρήστες και δεν είναι γεμάτοι με χρήση της συνάρτησης `randsrc`. Συγκεκριμένα, ο χρήστης εισάγεται σε έναν από τους διαθέσιμους sectors του συστήματος, που είναι στοιχεία του πίνακα `available_sectors`:

```
sctr = randsrc(1,1,available_sectors)
```

και στη συνέχεια επιλέγεται τυχαία η γωνία του χρήστη και η απόσταση του από τον σταθμό βάσης και ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε πιο πάνω μέχρι τον τερματισμό της συνάρτησης.

3.4.5 Εισαγωγή χρήστη με ομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα έξυπνων κεραιών

Δεν αλλάζει κάτι σημαντικό από την περίπτωση της εισαγωγής χρήστη σε σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού να γεμίσει έστω ένας sector, με μια διαφορά:

- Γίνεται έλεγχος κάθε φορά αν ο χρήστης εισάγεται στην κεντρική κυψέλη.

Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση μιας μεταβλητής $p = \text{rand}$, όπου κάθε φορά ελέγχεται αν ο χρήστης έχει εισαχθεί στην κεντρική κυψέλη και η μεταβλητή p είναι μικρότερη από $21/39$, τότε ο χρήστης γίνεται δεκτός. Σε διαφορετική περίπτωση, η διαδικασία εισαγωγής χρήστη επαναλαμβάνεται.

3.4.6 Εισαγωγή χρήστη με ανομοιόμορφη κατανομή σε σύστημα έξυπνων κεραιών

Στην ανομοιόμορφη κατανομή (Παράρτημα A.1.3) ο χρήστης εισάγεται όχι ομοιόμορφα μέσα στο σύστημα, αλλά σε συγκεκριμένες περιοχές (hotspot areas), που είτε επιλέγει ο χρήστης, είτε επιλέγονται τυχαία. Οι βασικοί παράμετροι στην

ανομοιόμορφη κατανομή είναι το εύρος W της περιοχής που επιθυμούμε να έχει μεγαλύτερες πιθανότητες εισαγωγής ο χρήστης, η αρχική γωνία της περιοχής αυτής θ_1 και ο αριθμός των περιοχών αυτών hotspot. Η λογική που ακολουθείται στην ανομοιόμορφη κατανομή είναι η εξής:

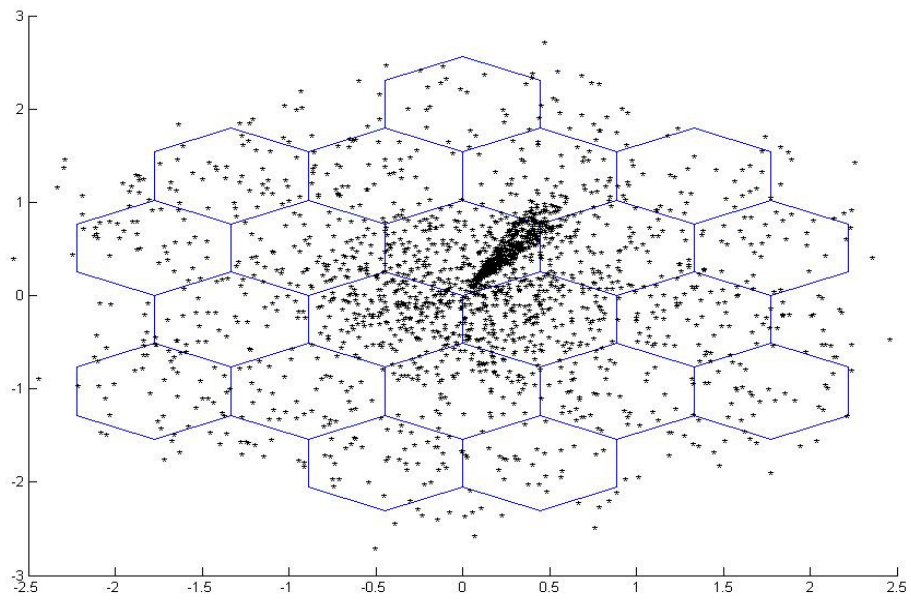
1) Δίνεται ο αριθμός των περιοχών που επιθυμούμε να υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εισαχθεί ο χρήστης (hotspot).

2) Ο χρήστης εισάγεται τυχαία σε έναν σταθμό βάσης (servstation). Αν ο χρήστης εισαχθεί στην κεντρική κυψέλη (δηλαδή $\text{servstation}=1$), τότε ακολουθούνται τα 3 παρακάτω βήματα:

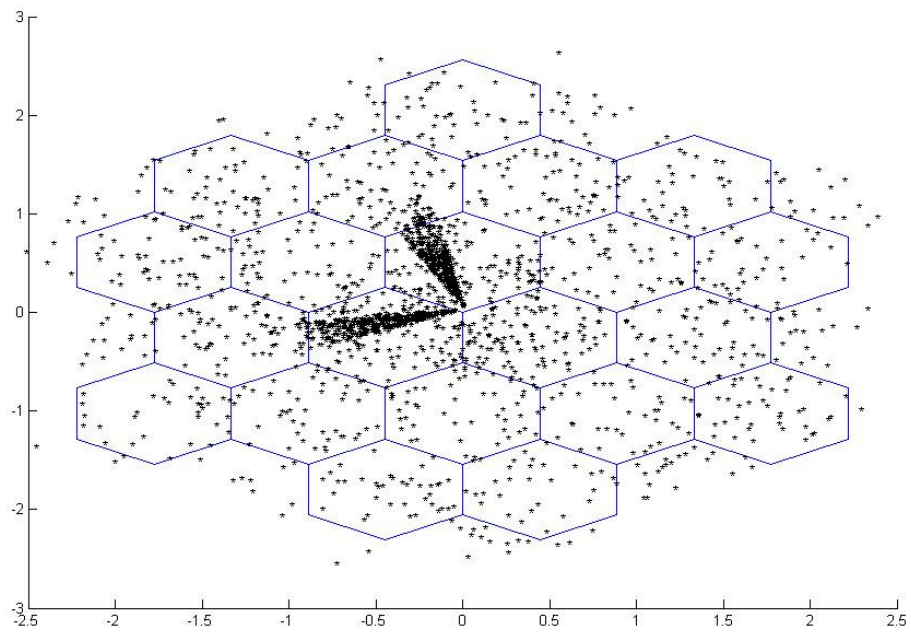
- Αν $\text{hotspot}=1$, τότε δημιουργείται μια τέτοια περιοχή στην πρώτη υποκυψέλη της κεντρικής κυψέλης, με αρχική γωνία θ_1 και εύρος W . Η πιθανότητα να εισαχθεί ο χρήστης στην περιοχή αυτή είναι $1/3$ και παίρνει μια τυχαία γωνία μέσα στο εύρος αυτό.
- Αν $\text{hotspot}=2$, τότε δημιουργούνται 2 περιοχές, μία στην πρώτη υποκυψέλη και μία στην δεύτερη, με εύρος W . Η πιθανότητα να εισαχθεί ο χρήστης σε μία από τις 2 περιοχές αυτές είναι $2/3$ και παίρνει μια τυχαία γωνία μέσα στο εύρος αυτό.
- Αν $\text{hotspot}=3$, τότε δημιουργούνται 3 περιοχές, μία στην πρώτη υποκυψέλη, μία στην δεύτερη και άλλη μία στην τρίτη με εύρος W . Ο χρήστης εισάγεται υποχρεωτικά σε μία από τις 3 παραπάνω περιοχές και παίρνει μια τυχαία γωνία μέσα στο εύρος αυτό.
- Αν ο χρήστης εισαχθεί σε κάποιον σταθμό βάσης διαφορετικό του κεντρικού, τότε παίρνει μια τυχαία γωνία μέσα στο εύρος $1^\circ-361^\circ$.

3) Αφού έχει δοθεί γωνία στον χρήστη, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την ομοιόμορφη κατανομή για σύστημα έξυπνων κεραιών. Επιλέγεται τυχαία η απόσταση του χρήστη από τον σταθμό βάσης, υπολογίζονται οι συντεταγμένες του και οι απώλειες διάδοσης και ελέγχεται αν δεν ξεπερνούν τις μέγιστες απώλειες διάδοσης, οπότε και γίνεται δεκτός ο χρήστης στο σύστημα. Σε διαφορετική περίπτωση επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία. Σημειώνουμε ότι ο χρήστης μπαίνει σε κάποια από κυψέλες του συστήματος διάφορη της κεντρικής με πιθανότητα $18/39$.

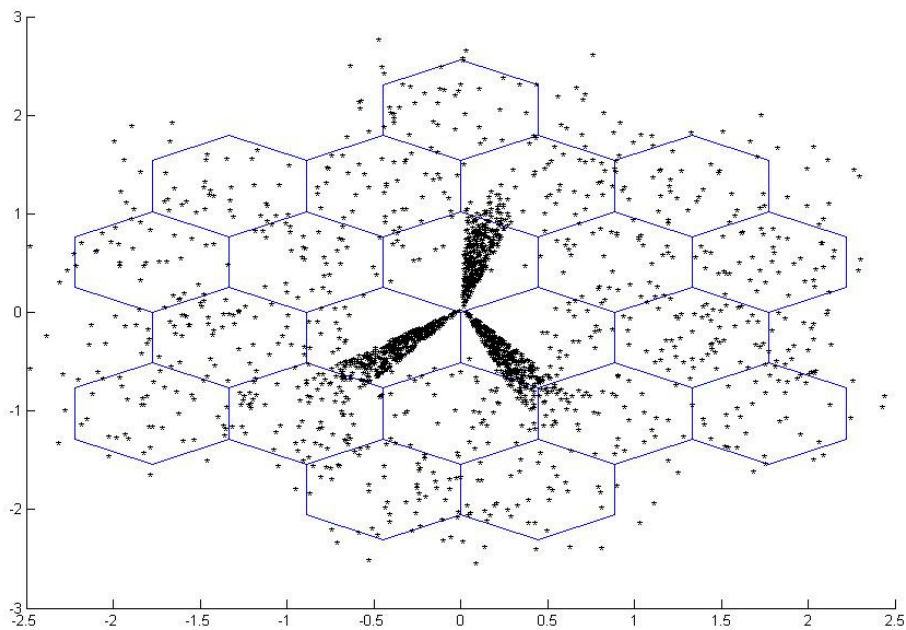
Στα σχήματα 3.1, 3.2 και 3.3 που ακολουθούν, διακρίνονται ανομοιόμορφες κατανομές χρηστών για $\text{hotspot}=1,2,3$ αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1 Ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών για hotspot=1



Σχήμα 3.2 Ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών για hotspot=2



Σχήμα 3.3 Ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών για hotspot=3

3.5 Εύρεση τομέα/λοβού στον οποίο ανήκει ο χρήστης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάθε κυψέλη του συστήματος αποτελείται από 3 υποκυψέλες (sectors).

- Όταν ο χρήστης έχει γωνία που ανήκει στο διάστημα $[30,150]$, τότε ανήκει στην πρώτη υποκυψέλη (sector) της κυψέλης
- Όταν ο χρήστης έχει γωνία που ανήκει στο διάστημα $(150,270]$, τότε ανήκει στην δεύτερη υποκυψέλη (sector) της κυψέλης
- Όταν ο χρήστης έχει γωνία που ανήκει στο διάστημα $(270,390)$, τότε ανήκει στην τρίτη υποκυψέλη (sector) της κυψέλης

Σημειώνεται ότι έγινε η παραδοχή ότι ένας χρήστης που εισέρχεται στις γωνίες 30° και 150° , που αποτελούν και τα όρια της πρώτης υποκυψέλης με την τρίτη και την δεύτερη αντίστοιχα, θεωρείται ότι ανήκει στην πρώτη υποκυψέλη και όχι στην τρίτη ή την δεύτερη αντίστοιχα. Αντίστοιχες παραδοχές έγιναν και για την γωνία 270° .

Η εύρεση της γωνίας του χρήστη γίνεται με την χρήση της συνάρτησης $\text{atan2}(y,x)$ που έχει ως είσοδο δύο πραγματικούς αριθμούς, y και x (οι οποίοι αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη y και τη x συνιστώσα ενός διανύσματος, ή το φανταστικό και το πραγματικό μέρος ενός μιγαδικού αριθμού) και επιστρέφει την γωνία που σχηματίζουν οι δύο αριθμοί μεταξύ τους, άρα και την γωνία του χρήστη ως προς την αρχή των αξόνων.

Συγκεκριμένα, στην προσομοίωση μας, είχαμε $y=y_i-y_b$ και $x=x_i-x_b$, όπου (x_i,y_i) οι συντεταγμένες του χρήστη που έχει εισαχθεί και (x_b,y_b) οι συντεταγμένες του σταθμού βάσης που ανήκει ο χρήστης.

Στη συνέχεια, πρέπει να προσδιοριστεί σε ποιά υποκυψέλη sector ανήκει ο χρήστης στο σύστημα. Στην προσομοίωση μας είχαμε 3 σενάρια :

- Σύστημα 3-sector κεραιών
- Σύστημα έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες
- Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες

3.5.1 Σύστημα 3-sector κεραιών

Στην περίπτωση αυτή, θεωρώντας ότι κάθε σταθμός βάσης έχει 3 υποκυψέλες (sectors), η διαδικασία αρίθμησης των sectors στο σύστημα είναι αρκετά απλή. Ο πρώτος σταθμός βάσης έχει 3 sectors με αρίθμηση 1,2,3, ο δεύτερος σταθμός βάσης έχει κι αυτός 3 sectors με αρίθμηση στο σύστημα 4,5,6 κ.ο.κ .

Συνοπτικά έχουμε τα εξής:

- $sector = (b-1)*3+1$, αν ο χρήστης ανήκει στον 1ο sector του σταθμού βάσης b.
- $sector = (b-1)*3+2$, αν ο χρήστης ανήκει στον 2ο sector του σταθμού βάσης b.
- $sector = (b-1)*3+3$, αν ο χρήστης ανήκει στον 3ο sector του σταθμού βάσης b

Τα παραπάνω διακρίνονται στην συνάρτηση $sector(x,y,b,d)$, που δέχεται σαν εισόδους τις συντεταγμένες (x,y) του χρήστη, τον πίνακα συντεταγμένων των σταθμών βάσης του συστήματος b και τον σταθμό βάσης που ανήκει ο χρήστης d και επιστρέφει τον sector που ανήκει ο χρήστης.

3.5.2 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη

Στο σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη έχουμε ίδια λογική αρίθμησης των sectors στο σύστημα με μία διαφορά:

- Οι λοβοί που δημιουργούνται στο σύστημα αποτελούν ο καθένας τους έναν ξεχωριστό τομέα (sector) του συστήματος.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ναι μεν ο χρήστης θα εισαχθεί σε μία από τις υποκυψέλες του σταθμού βάσης που ανήκει, αλλά ο sector που θα ανήκει σε περίπτωση που εισαχθεί στον κεντρικό σταθμό βάσης, θα καθοριστεί απ' τον λοβό στον οποίο ανήκει.

Στην συνάρτηση $sectorbeam(x,y,b,d,y_s_2,L)$ που θα μας δώσει τον sector στον οποίο ανήκει ο χρήστης, έχουμε παραμέτρους εισόδου τις συντεταγμένες του χρήστη (x,y) , τον πίνακα συντεταγμένων των σταθμών βάσης του συστήματος b, τον σταθμό βάσης που ανήκει ο χρήστης d, τον πίνακα y_s_2 με στοιχεία καθένα από τα οποία αποτελεί το κέρδος του χρήστη από την κεραία του αντίστοιχου λοβού (θα αναλυθεί στις επόμενες παταγράφους πως προκύπτει αυτός ο πίνακας) και L ο αριθμός των

λοβών σε μία υποκυψέλη του συστήματος. Η συνάρτηση αυτή (Παράρτημα A.1.4) θα επιστρέψει σαν έξοδο την υποκυψέλη και τον τομέα (sector) που ανήκει ο χρήστης.

Για τον υπολογισμό των παραπάνω τιμών ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Υπολογίζεται η υποκυψέλη που ανήκει ο χρήστης με βάση την γωνία που σχηματίζει με την αρχή των αξόνων.
- Αν ο χρήστης δεν ανήκει στην κεντρική κυψέλη, τότε ο τομέας (beam) που ανήκει υπολογίζεται από την σχέση: $beam = sec + number_of_beams - 3$.
- Αν ο χρήστης ανήκει στην κεντρική κυψέλη, τότε για την υποκυψέλη που αυτός ανήκει, βρίσκουμε για ποιόν λοβό το κέρδος y_s_2 είναι το μικρότερο. Και αυτός θα ναι και ο λοβός, άρα και ο sector που εξυπηρετεί τον χρήστη.

3.5.3 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη

Στην περίπτωση αυτή, επειδή οι λοβοί του συστήματος δεν είναι σταθεροί, ούτε έχουν σταθερό αριθμό αλλά καθορίζονται από την κίνηση του του συστήματος και τους χρήστες που έχουν ήδη εισαχθεί, χρησιμοποιείται διαφορετική διαδικασία για να βρούμε σε ποιον λοβό ανήκει ο χρήστης.

Η συνάρτηση $sec_beam2(current, angle_user, angle_sbeam, userservstation, Wi)$ έχει σαν παραμέτρους εισόδου τον αριθμό των χρηστών στο σύστημα, την γωνία του χρήστη ως προς τον σταθμό βάσης που ανήκει $angle_user$, τον πίνακα με τις γωνίες των λοβών που έχουν δημιουργηθεί στο σύστημα $angle_sbeam$, τον πίνακα με τους σταθμούς βάσης που ανήκουν όλοι οι χρήστες του συστήματος και Wi ο πίνακας με τα εύρη των λοβών του συστήματος (Παράρτημα A.2.1).

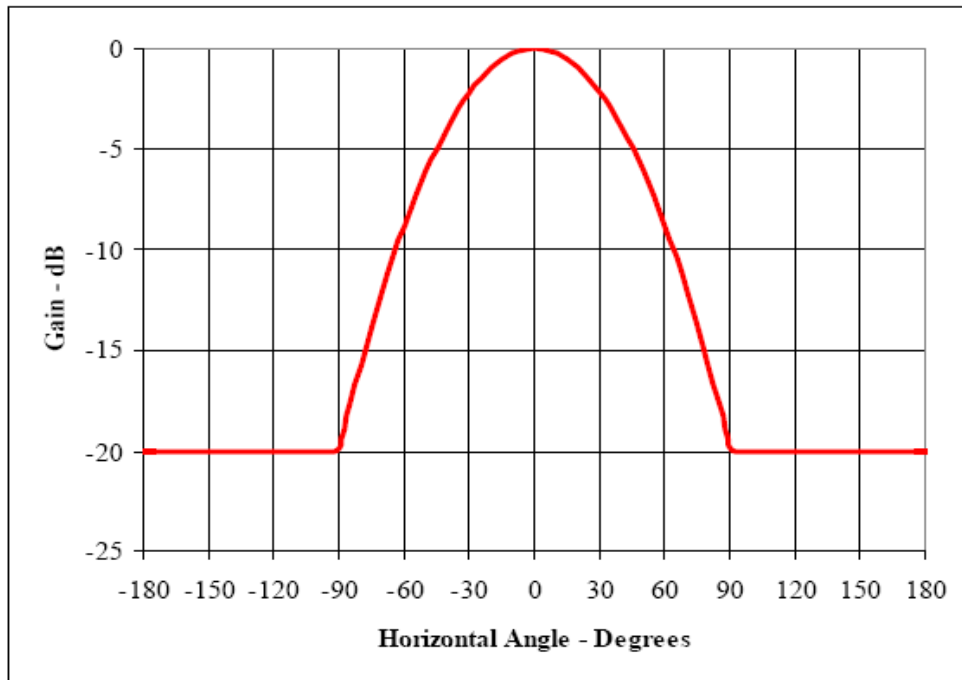
Για να υπολογιστεί σε ποιον λοβό ανήκει ο χρήστης, γίνεται έλεγχος της παρακάτω συνθήκης:

```
(abs(angle_user-angle_sbeam(i))  
<=round(Wi(angle_sbeam(i))/2)) & (userservstation==1)
```

δηλαδή ελέγχεται αν υπάρχουν γωνίες των χρηστών μέσα στο εύρος του λοβού i και ταυτόχρονα οι χρήστες ανήκουν στην κεντρική κυψέλη (οπότε και έχει νόημα να αναζητηθεί ο λοβός στον οποίο ανήκουν). Αν ικανοποιείται αυτή η συνθήκη, τότε ο λοβός στον οποίο ανήκουν οι χρήστες είναι ο λοβός i . Σε διαφορετική περίπτωση, συνεχίζεται η αναζήτηση, μέχρι να ολοκληρωθεί η επαναληπτική διαδικασία, οπότε κι οι χρήστες που ανήκουν σε κεντρική κυψέλη και δεν ανήκουν σε κάποιον λοβό, αφαιρούνται στην συνέχεια.

3.6 Υπολογισμός κέρδους ενίσχυσης σήματος από την κεραία κάθε τομέα

Στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήσαμε χρησιμοποιήσαμε 3-sector κεραιές, για τις οποίες το διάγραμμα ακτινοβολίας φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί [2]:



Σημια 3.4 Διάγραμμα ακτινοβολίας 3-sector κεραίας

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζεται η εξασθένηση του σήματος της κεραίας του τομέα καθώς απομακρυνόμαστε από την γωνία μεγίστου κέρδους (που στο σχήμα λαμβάνεται ως 0), η οποία προσεγγίζεται με την χρήση της σχέσης που ακολουθεί:

$$A(\theta) = -\min \left[12 \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \quad (3.3)$$

όπου θ η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κατεύθυνσης που εξετάζουμε και της γωνίας μεγίστου κέρδους, με τον περιορισμό $-60^\circ < \theta < 60^\circ$, A_m η μέγιστη εξασθένηση η οποία θεωρείται ίση με 20dB και η γωνία θ_{3dB} είναι η γωνία στην οποία το κέρδος, έχει μειωθεί κατά 3db σε σχέση με τη μέγιστη τιμή του και είναι ίση με 70° .

Έστω ότι εισάγεται χρήστης στο σύστημα. Αμέσως μετά τον προσδιορισμό του σταθμού βάσης και του τομέα στον οποίο ανήκει, επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός του κέρδους ενίσχυσης από την κεραία κάθε τομέα του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την κλήση της συνάρτησης gain, η οποία μπορεί να έχει τις 3 διαφορετικές εκδοχές ανάλογα με την προσομοίωση που εκτελούμε:

- Σύστημα 3-sector κεραίων
- Σύστημα έξυπνων κεραίων στην κεντρική και κυψέλη και 3-sector κεραίων στις υπόλοιπες κυψέλες
- Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραίων στην κεντρική και κυψέλη και 3-sector κεραίων στις υπόλοιπες κυψέλες

3.6.1 Σύστημα 3-sector κεραιών

Στο σύστημα 3-sector κεραιών, καλείται η συνάρτηση `gain(x,y,b,Attenuation_matrix)`, που έχει σαν παραμέτρους εισόδου τις συντεταγμένες (x,y) του χρήστη που έχει εισαχθεί στο σύστημα, τον πίνακα συντεταγμένων των σταθμών βάσης του συστήματος `b` και τον πίνακα `Attenuation_matrix`, που θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Ο πίνακας `Attenuation_matrix` δημιουργείται κάθε φορά στην αρχή κάθε προσομοίωσης και είναι ένας πίνακας με μήκος 1×61 , με κάθε στοιχείο του να αντιστοιχεί στην εξασθένηση του σήματος της κεραίας του τομέα για κάθε γωνία καθώς απομακρυνόμαστε από την γωνία μεγίστου κέρδους, σύμφωνα με την σχέση (3). Ο πίνακας `Attenuation_matrix` δημιουργείται από τις εξής εντολές:

```
N_points=1000;
phi=linspace(-180,180,2*N_points+1);
secgain=10.^(min(12*(phi/70).^2,20)/10);

for angle=0:1:60
    laplacian=exp(-sqrt(2)*abs(phi-angle)/AS)/AS/sqrt(2);
    f=secgain.*laplacian;
    Attenuation_matrix(angle+1)=10*log10(int_simpson(f,-
180,180,N_points));
end
```

Σημειώνουμε ότι η συνάρτηση `int_simpson(f,-180,180,N_points)` που χρησιμοποιείται στον σχηματισμό του πίνακα `Attenuation_matrix`, έχει ως σκοπό τον υπολογισμό του ολοκληρώματος μιας συνάρτησης `f`, με χρήση της μεθόδου Simpson.

Η συνάρτηση `gain` θα επιστρέψει στο σύστημα έναν πίνακα μήκους $1 * \text{total_sectors}$, όσοι δηλαδή κι οι τομείς του συστήματος, ακολουθώντας την εξής λογική:

Υπολογίζουμε αρχικά τις γωνίες που σχηματίζει ο χρήστης με τους σταθμούς βάσης με την κλήση της συνάρτησης `angles(x,y,b)`, η οποία επιστρέφει έναν πίνακα $1 * \text{length}(b)$. Συγκεκριμένα, ο υπολογισμός των γωνιών γίνεται με την χρήση των παρακάτω γραμμών κώδικα:

```
for i=1:length(b)
    xd=x-b(i,1);
    yd=y-b(i,2);
    side1 = sqrt(xd^2 + yd^2);
    side2 = abs(xd);
    angle = acos(side2/side1);
    if((xd<0)&&(yd>0))
        angle = pi - angle;
    elseif((xd<0)&&(yd<0))
        angle = angle + pi;
    elseif((xd>0)&&(yd<0))
        angle = 2*pi - angle;
    end
    if(angle>=0)&&(angle<pi/6)
        angle = angle + 2*pi;
    end
    ang(i) = round((180/pi)*angle);
end
```

end

Επίσης σημειώνεται ότι για τις γωνίες που ανήκουν στο διάστημα $[0, 30)$ έχουμε ειδικό περιορισμό, για να μην έχουμε ταύτιση με άλλες πιθανές γωνίες του χρήστη.

Αφού υπολογίσαμε τις γωνίες του χρήστη με όλους τους σταθμούς βάσης, για κάθε σταθμό βάσης ελέγχουμε το εξής:

- Αν η γωνία είναι στο διάστημα $[30, 150]$, τότε προφανώς ο χρήστης 'βλέπει' στον πρώτο τομέα του αντίστοιχου σταθμού βάσης, οπότε και γι' αυτόν τον τομέα το κέρδος θα είναι ίσο με: $14 + \text{Attenuation_matrix}(k_1 + 1)$, όπου 14 είναι το κέρδος της κεραίας G_t και k_1 είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία, που ενώνει τον χρήστη με τον αντίστοιχο σταθμό βάσης, με την γωνία μεγίστου κέρδους της κεραίας του αντίστοιχου τομέα. Επειδή όμως ο χρήστης 'βλέπει' στον πρώτο τομέα, η γωνία μεγίστου κέρδους είναι ίση με 90° , οπότε και $k_1 = \text{abs}(90 - f)$. Για τους άλλους τομείς του σταθμού βάσης, το αντίστοιχο κέρδος θα είναι ίσο με $14 - A_m$, όπου A_m η μέγιστη εξασθένηση η οποία θεωρείται ίση με 20dB.
- Αν η γωνία είναι στο διάστημα $(150, 270]$, τότε προφανώς ο χρήστης 'βλέπει' στον δεύτερο τομέα του αντίστοιχου σταθμού βάσης, οπότε και γι' αυτόν τον τομέα το κέρδος θα είναι ίσο με: $14 + \text{Attenuation_matrix}(k_2 + 1)$. Επειδή όμως ο χρήστης 'βλέπει' στον δεύτερο τομέα, η γωνία μεγίστου κέρδους είναι ίση με 210° , οπότε και $k_2 = \text{abs}(210 - f)$. Για τους άλλους τομείς του σταθμού βάσης, το αντίστοιχο κέρδος θα είναι ίσο με $14 - A_m$.
- Τέλος, αν η γωνία είναι στο διάστημα $(270, 390)$, τότε προφανώς ο χρήστης 'βλέπει' στον τρίτο τομέα του αντίστοιχου σταθμού βάσης, οπότε και γι' αυτόν τον τομέα το κέρδος θα είναι ίσο με: $14 + \text{Attenuation_matrix}(k_3 + 1)$. Επειδή όμως ο χρήστης 'βλέπει' στον δεύτερο τομέα, η γωνία μεγίστου κέρδους είναι ίση με 330° , οπότε και $k_3 = \text{abs}(330 - f)$, ενώ για τους υπόλοιπους τομείς του σταθμού βάσης, το αντίστοιχο κέρδος θα είναι, όπως και προηγουμένως, ίσο με $14 - A_m$.

3.6.2 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη

Στο σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη και 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες εκτός της κεντρικής, καλείται η συνάρτηση $\text{gain}(x, y, b, y_s_2, \text{Attenuation_matrix}, L, M)$, όπου y_s_2 πίνακας με στοιχεία καθένα από τα οποία αποτελεί το κέρδος του χρήστη από την κεραία του αντίστοιχου λοβού, L ο αριθμός των λοβών ανά sector ίσος με 7 και M ο αριθμός των στοιχείων της κεραίας, ίσος με 8 (Παράρτημα A.1.5).

Γενικά, ακολουθείται ίδια λογική με την προηγούμενη περίπτωση, με μόνη διαφορά τον υπολογισμό του κέρδους για τους τομείς της κεντρικής κυψέλης.

Έτσι, για την κεντρική κυψέλη, αν ο χρήστης 'βλέπει' στο διάστημα $[30, 150]$, τότε το κέρδος για κάθε λοβό q που είναι στο διάστημα αυτό, θα υπολογίζεται από την

σχέση: $y(1, q) = 14 - y_{s_2}(f+1, q) + 10 * \log_{10}(M)$, όπου $q=1,2..7$. Αντίστοιχα, για το διάστημα $(150,270]$, το κέρδος για κάθε λοβό q είναι ίσο με $y(1, q) = 14 - y_{s_2}(f+1-120, q) + 10 * \log_{10}(M)$, όπου $q=8,9..14$ και τέλος αν ο χρήστης 'βλέπει' στο διάστημα $(270,390)$, τότε το κέρδος για κάθε λοβό q που είναι στο διάστημα αυτό, θα υπολογίζεται από την σχέση $y(1, q) = 14 - y_{s_2}(f+1-240, q) + 10 * \log_{10}(M)$, όπου $q=15,16..21$.

Για τους υπόλοιπους σταθμούς βάσης και τους αντίστοιχους τομείς τους, ακολουθεί η λογική που περιγράφηκε προηγουμένως, δηλαδή για τους τομείς που 'βλέπει' ο χρήστης το κέρδος είναι ίσο με $14 + \text{Attenuation_matrix}(k1+1)$ και για όλους τους υπόλοιπους ίσο με $14 - A_m$.

3.6.3 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη

Στο σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, καλείται η συνάρτηση $\text{gain3}(x, y, b, y_{s_2}, \text{Attenuation_matrix}, M_i, \text{lobes_per_sec}, \text{angle_sbeam})$, με παραμέτρους εισόδου τις συντεταγμένες (x, y) του χρήστη, τον πίνακα συντεταγμένων των σταθμών βάσης του συστήματος b , τον πίνακα $\text{Attenuation_matrix}$, τον πίνακα M_i που δείχνει τον αριθμό των στοιχείων που απαιτούνται για να σχηματιστεί σε κάποια γωνία κάποιος λοβός μεταβλητού εύρους, τον πίνακα lobes_per_sec που δείχνει πόσοι λοβοί έχουν δημιουργηθεί στους 3 sectors της κεντρικής κυψέλης και τον πίνακα angle_sbeam , με στοιχεία τις γωνίες των λοβών που έχουν δημιουργηθεί στην κεντρική κυψέλη (Παράρτημα A.2.2).

Ακολουθεί η ίδια λογική με αυτή του συστήματος έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες που αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, με τη διαφορά ότι δεν έχουμε σταθερούς λοβούς, αλλά μεταβλητό αριθμό λοβών με μη σταθερές γωνίες. Επομένως, το κέρδος θα υπολογίζεται γενικά από την σχέση:

$y(1, q) = 14 - y_{s_2}(f+1, q) + 10 * \log_{10}(M_i(\text{angle_sbeam}(q)))$, με περιορισμό ότι αυτό θα γίνεται για όσους λοβούς έχουμε εκείνη τη χρονική στιγμή στο σύστημα.

Για τις κυψέλες, διάφορες της κεντρικής, ακολουθεί η ίδια μεθοδολογία που περιγράφηκε και στα υπόλοιπα σενάρια.

3.7 Υπολογισμός διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας

Στα σενάρια που είναι απαραίτητη η χρήση έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη, πρέπει να υπολογίσουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Συγκεκριμένα, για την υλοποίηση μιας έξυπνης κεραίας μεταγωγής λοβών, χρησιμοποιούμε μια γραμμική στοιχειοκεραία M στοιχείων η οποία παράγει L κύριους λοβούς ακτινοβολίας, οι οποίοι είτε είναι σταθερά στραμμένοι προς μία διεύθυνση (fixed), είτε οι διευθύνσεις τους προσαρμόζονται από την κίνηση του δικτύου τη δεδομένη χρονική στιγμή (adaptive), ανάλογα και με την προσομοίωση που τρέχουμε. Σκοπός σε κάθε περίπτωση είναι να βρούμε το κέρδος κάθε λοβού συναρτήσει της αζιμουθιακής γωνίας ϕ .

3.7.1 Διάγραμμα ακτινοβολίας fixed λοβών

Στο σενάριο αυτό, γίνεται χρήση της συνάρτησης beamforming(L,M), η οποία έχει σαν παραμέτρους εισόδου τον αριθμό των επιθυμητών λοβών L και τον αριθμό των στοιχείων της στοιχειοκεραίας M και σαν έξοδο το κέρδος κάθε λοβού για κάθε γωνία. Επίσης, σημειώνεται ότι γίνεται υπολογισμός του κέρδους των L λοβών του πρώτου τομέα (sector), με τα κέρδη των υπόλοιπων 2*L λοβών των 2 άλλων τομέων της κεντρικής κυψέλης να υπολογίζονται με αναγωγή στον πρώτο, με δεδομένο ότι πρόκειται για σύστημα με σταθερούς λοβούς (Παράρτημα Α.1.6).

Αρχικά, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των γωνιών των επιθυμητών λοβών της στοιχειοκεραίας. Το εύρος κάθε λοβού θα είναι ίσο με $120/L$, επομένως για το εύρος [30,150]:

- Ο πρώτος λοβός πρέπει να βρίσκεται στην γωνία: $\phi_1=30 +120/(2*L)$.
- Ο δεύτερος λοβός πρέπει να είναι στραμμένος στην γωνία: $\phi_2=\phi_1+120/L=30 +(1+1/2)*120/L$ κ.ο.κ.

Με αυτόν τον τρόπο και με αναγωγή σε ακτίνια, υπολογίζουμε τον πίνακα y_angle , ο οποίος έχει μήκος $1*L$ και έχει σαν στοιχεία του τις γωνίες των λοβών που δημιουργήθηκαν για τον πρώτο τομέα του συστήματος.

Έχοντας υπολογίσει τις γωνίες των επιθυμητών λοβών, επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός του παράγοντα διάταξης της κεραίας στις κατευθύνσεις αυτές.

Συγκεκριμένα, θέλουμε τους εξής προσδιορισμούς [6]:

$$\begin{cases} S(\phi_m) = 1 \\ S(\phi_i) = 0, i \neq m \end{cases}$$

όπου ϕ_m η επιθυμητή γωνία λοβού.

Έτσι, για τον υπολογισμό του πίνακα με στοιχεία τα βάρη w_{ij} που στρέφουν τον λοβό στην επιθυμητή κατεύθυνση, θα γίνει επίλυση του γραμμικού συστήματος:

$$w^H \cdot A = e^T \quad (3.4)$$

όπου w είναι ο ζητούμενος πίνακας με τα βάρη, A ο πίνακας με στήλες τα διανύσματα στροφής s_o , όπου και θέλουμε τον επιθυμητό λοβό και s_1, s_2, \dots, s_{L-1} όπου απαιτούνται μηδενισμοί του παράγοντα διάταξης και e είναι ένα διάνυσμα με όλα του τα στοιχεία μηδενικά, εκτός του στοιχείου i (όπου i αντιστοιχεί στην γωνία ϕ_o του επιθυμητού λοβού).

Τα στοιχεία του πίνακα A υπολογίζονται από την σχέση:

$$s_i = [1, \exp(j \cdot \pi \cdot \cos(\phi_i)), \dots, \exp(j \cdot \pi \cdot (M - 1) \cdot \cos(\phi_i))] \quad (3.5)$$

Αν $L=M-1$, τότε ο πίνακας A είναι τετραγωνικός, άρα και το σύστημα της σχέσης (3.4) μπορεί να λυθεί απευθείας με δεδομένη την ύπαρξη του αντίστροφου πίνακα του A . Σε διαφορετική περίπτωση, η (3.4) λύνεται με χρήση της ακόλουθης σχέσης [6]:

$$w^H = e^T \cdot A^H \cdot (A \cdot A^H)^{-1} \quad (3.6)$$

Η σχέση (3.6) επιτυγχάνεται με χρήση της εντολής υπάρχουσας εντολής `pinv` στο MATLAB, η οποία υπολογίζει ψευδο-αντίστροφους πίνακες μη τετραγωνικών πινάκων.

Με τον υπολογισμό των παραπάνω σχέσεων, το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραιάς για τον m -οστό λοβό δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S_m(\phi) = \sum_{n=1}^M w_{m,n}^* \cdot \exp[-j \cdot (n-1) \cdot \pi \cdot \cos(\phi)] \quad (3.7)$$

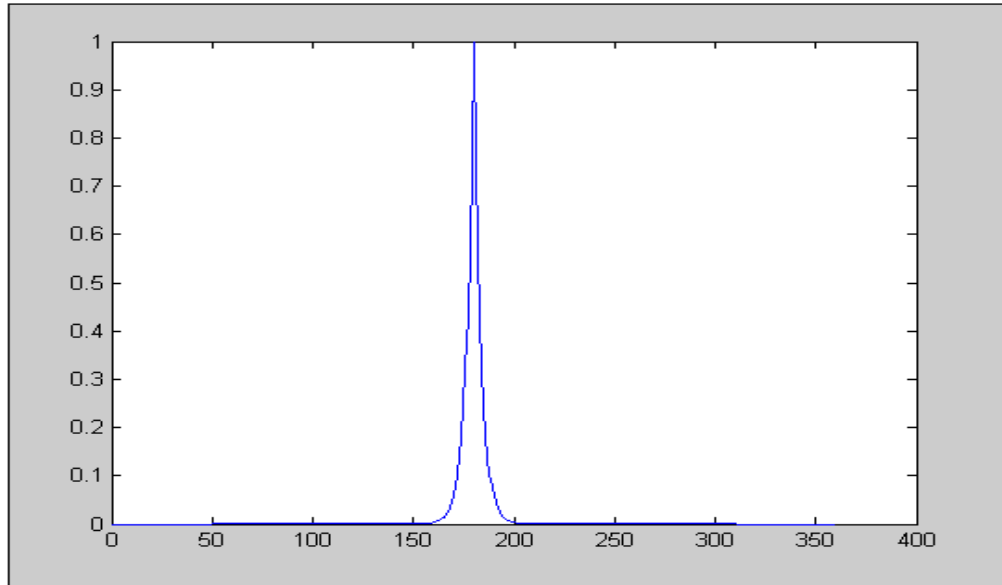
Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας πίνακας `Sbeam` με διαστάσεις $361 \times L$, που δίνει τον παράγοντα διάταξης του λοβού m για κάθε γωνία θ μέσα στο διάστημα $[1, 361]$. Επίσης για γωνίες εκτός του εύρους του 1ου τομέα, δηλαδή για γωνίες εκτός του διαστήματος $[30, 150]$ έχουμε θέσει τον παράγοντα διάταξης των λοβών του ίσο με την τιμή $S=0.1$, που αντιστοιχεί σε κέρδος -20 dB. Ένας χρήστης δηλαδή που βρίσκεται στον 2ο ή στον 3ο τομέα θα δέχεται κέρδος -20 dB από τους λοβούς του 1ου τομέα.

Γενικά, θεωρούμε ότι το σήμα ενός χρήστη που φτάνει στον τομέα που τον εξυπηρετεί υπόκειται σε πολυδιαδρομική διάδοση. Προσομοιώνοντας την πολυδιαδρομική διάδοση με χρήση της Λαπλασιανής κατανομής [2], θεωρούμε αντίστοιχα ότι το σήμα κάθε χρήστη ακολουθεί τη Λαπλασιανή κατανομή η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Laplacian(\phi, AS) = \exp\left(-\sqrt{2} \cdot \text{abs}\left(\frac{\phi - f}{AS}\right)\right) \quad (3.8)$$

όπου ϕ γωνία που παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 360° , f η γωνία άφιξης του χρήστη ως προς το σταθμό βάσης που τον εξυπηρετεί και AS είναι η γωνιακή διασπορά της κατανομής.

Η γραφική παράσταση της λαπλασιανής κατανομής συναρτήσει της γωνίας ϕ για $AS=5^\circ$, διακρίνεται στο ακόλουθο σχήμα 3.5:



Σχήμα 3.5 Γραφική παράσταση της λαπλασιανής κατανομής

Η λαπλασιανή είναι μια κατανομή με στενό γωνιακό εύρος γύρω από μια κεντρική τιμή. Η κύρια συνιστώσα σήματος χρήστη, η οποία αντιστοιχεί στη γωνία άφιξης του προς το σταθμό βάσης που τον εξυπηρετεί, ταυτίζεται με την κορυφή της κατανομής. Όλες τις υπόλοιπες συνιστώσες, θεωρούμε ότι τις λαμβάνουμε με γωνίες άφιξης που απέχουν κατά μία μοίρα μεταξύ τους και είναι συμμετρικές ως προς ως προς την κύρια συνιστώσα σήματος.

Έτσι και στην περίπτωση μας, θεωρούμε ότι ο παράγοντας διάταξης ακολουθεί την Λαπλασιανή κατανομή, οπότε και ο μορφοποιημένος παράγοντας διάταξης θα προκύψει από την σχέση:

$$G(\phi_m; \phi) = \int |S(\phi_m; \phi')|^2 \cdot p_A(\phi' - \phi) d\phi' \quad (3.9)$$

όπου p_A η λαπλασιανή κατανομή και S ο παράγοντας διάταξης που έχει υπολογιστεί πιο πάνω.

Τέλος, σημειώνεται ότι το κέρδος που θα δεχθεί το σήμα δεν είναι ίσο με τον παράγοντα διάταξης, αλλά ίσο με την τιμή $-10 \cdot \log_{10}(y_{s_2})$, κι αφού πρώτα ο παράγοντας διάταξης έχει κανονικοποιηθεί ως προς τη μέγιστη τιμή του.

3.7.2 Διάγραμμα ακτινοβολίας adaptive λοβών

Στο adaptive δίκτυο δεν έχουμε μεγάλες διαφορές από το fixed, με εξαίρεση το γεγονός ότι στο adaptive δίκτυο δεν χρειάζεται να υπολογίσουμε τις γωνίες των λοβών μιας και οι γωνίες αυτές υπολογίζονται και προσαρμόζονται από την κίνηση του δικτύου.

Συγκεκριμένα, καλείται η συνάρτηση `beamforming_adaptive2` (Παράρτημα A.2.3) με παραμέτρους εισόδου τον αριθμό των λοβών που έχουν δημιουργηθεί, τον πίνακα `angle_sbeam` με στοιχεία τις γωνίες των λοβών του συστήματος σε εύρος [30,390), τον

πίνακα $angle_steer1$ με στοιχεία τις αντίστοιχες γωνίες του πίνακα $angle_sbeam$, διαμορφωμένες για να αντιστοιχούν σε γωνίες του πρώτου τομέα, δηλαδή με εύρος [30,150] και τον πίνακα M_i , όπου κάθε στοιχείο του αντιστοιχεί σε μια γωνία και δείχνει τον αριθμό των στοιχείων που θα απαιτούνταν για να δημιουργηθεί λοβός κάποιου επιθυμητού εύρους σε αυτή την κατεύθυνση.

Η σημαντική διαφορά μεταξύ του σχηματισμού του παράγοντα διάταξης ενός λοβού στο adaptive δίκτυο σε σχέση με το fixed έγκειται στον αριθμό των στοιχείων της στοιχειοκεραίας που απαιτούνται. Συγκεκριμένα, ενώ στο fixed δίκτυο είχαμε συγκεκριμένο αριθμό λοβών σε σταθερές διευθύνσεις και με σταθερό εύρος, στο adaptive να μεν έχουμε συγκεκριμένο αριθμό λοβών σε κατευθύνσεις που καθορίζει εκείνη τη στιγμή το σύστημα, με διαφορετικό όμως εύρος ο καθένας. Έτσι, στον υπολογισμό του πίνακα A της σχέσης (5) παραπάνω, για τον λοβό j δεν έχουμε απαραίτητα M στοιχεία, αλλά $M_i(angle_sbeam(j))$, όπου $angle_sbeam(j)$ η γωνία του j λοβού.

Ο υπολογισμός του παράγοντα διάταξης της κεραίας, καθώς και του κέρδους της μετά και την διαμόρφωση του με χρήση της λαπλασιανής κατανομής ακολουθούν τα βήματα που εξηγήθηκαν στην παράγραφο 3.7.1. Μια διαφορά όμως είναι ότι στο adaptive δίκτυο δεν κανονικοποιούμε τον παράγοντα διάταξης ως προς τη μέγιστη τιμή του.

3.8 Υπολογισμός ισχύος εκπομπής χρήστη και noise rise των τομέων του συστήματος

Η ισχύς εκπομπής κάθε χρήστη που εισάγεται στο σύστημα, υπολογίζεται στο κυρίως πρόγραμμα μετά την ανάθεση του χρήστη σε κάποιον τομέα sector και τον υπολογισμό του κέρδους ενίσχυσης της κεραίας του τομέα που ανήκει ο χρήστης.

Ξεκινώντας από την σχέση:

$$EbNo = SINR * PG \quad (3.10)$$

όπου $EbNo$ ο λόγος της ενέργειας ενός bit προς την φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου, $SINR$ είναι ο λόγος της ισχύος σήματος προς την ισχύ του θορύβου και των παρεμβολών και PG το κέρδος επεξεργασίας της υπηρεσίας που χρησιμοποιεί ο χρήστης, σκοπός μας είναι ο υπολογισμός του ισχύος εκπομπής του χρήστη. Σημειώνεται ότι όλες οι παράμετροι στην παραπάνω σχέση δεν είναι σε dB.

Λογαριθμίζοντας την σχέση (3.10), προκύπτει:

$$EbNo = Si - (I+N) + PG \quad (3.11)$$

όπου S_i είναι η ισχύς σήματος του χρήστη i σε dBm, I είναι οι παρεμβολές που δέχεται ο χρήστης από όλους τους υπόλοιπους χρήστες του συστήματος σε dBm, N είναι η ισχύς του θερμικού θορύβου η οποία λαμβάνεται ίση με -103.2dBm και PG το κέρδος επεξεργασίας της υπηρεσίας που χρησιμοποιεί ο χρήστης σε dB.

Από την τελευταία σχέση μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ σήματος του χρήστη S_i , η οποία θα μας δώσει και την ισχύ εκπομπής του P_i . Έτσι, ο πρώτος χρήστης που εισάγεται θα έχει ισχύ σήματος:

$S1 = N - PG + EbNo$, μιας και στο σύστημα δεν υπάρχει άλλος χρήστης για να δημιουργήσει παρεμβολές.

Αν υπάρχουν άλλοι χρήστες στο σύστημα, τότε θα προκαλέσουν παρεμβολές στον χρήστη που εισάγεται που θα είναι ίσες με $Isectors(e)$, όπου $Isectors$ ο πίνακας με στοιχεία τις παρεμβολές όλων των χρηστών που είναι στο σύστημα σε κάθε τομέα και e ο τομέας στον οποίο ανήκει ο χρήστης.

Ο πίνακας $Isectors$ υπολογίζεται κάθε φορά από την παρακάτω σχέση:

$$Isectors = P * total_loss + PN \quad (3.12)$$

όπου P ο πίνακας με τις ισχύεις εκπομπής των χρηστών, $total_loss$ ο πίνακας με στοιχεία τις απώλειες όλων των χρηστών του συστήματος και PN ο θερμικός θόρυβος. Σημειώνεται ότι όλες οι παράμετροι της παραπάνω εξίσωσης δεν είναι σε dB.

Συγκεκριμένα, ο πίνακας των απωλειών $total_loss$ είναι το άθροισμα του κέρδους ενίσχυσης $atten$ της κεραίας του τομέα που ανήκει ο χρήστης I (παράμετρος εξόδου της συνάρτησης $gain.m$) και των απωλειών διάδοσης $pathloss$ του χρήστη και υπολογίζεται από την σχέση:

$$totalloss(i, :) = atten(i, :) - pathloss(i, :)$$

Εν τέλει, η ισχύς σήματος του χρήστη i δίνεται από την σχέση:

$$S(i) = Eb_No - PG + I$$

όπου $I = Isectors(e) + N$ και η αντίστοιχη ισχύς εκπομπής του χρήστη:

$$P(i) = S(i) - totalloss(i, e) + margins$$

όπου e ο τομέας του χρήστη και $margins$ οι απώλειες που σχετίζονται κυρίως με τον κυματοδηγό στο δέκτη.

Σημειώνεται ότι για τα διαφορετικά σενάρια της προσομοίωσης (3-sector κεραίες, έξυπνες κεραίες, προσαρμοζόμενες έξυπνες κεραίες) υπάρχουν μερικές διαφορές όσον αφορά την ονομασία των παραμέτρων κι όχι τόσο πολύ όσον αφορά τη λογική υπολογισμού των αντίστοιχων ισχύων σήματος και εκπομπής χρήστη.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης $noise_rise$ από την σχέση:

$$noise_rise = Isectors - N \quad (3.13)$$

όπου όπως αναφέρθηκε $Isectors$ είναι ο πίνακας με στοιχεία τις παρεμβολές όλων των χρηστών που είναι στο σύστημα προς κάθε τομέα.

3.9 Έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης

Όπως έχει αναφερθεί στο κομμάτι της θεωρίας, ο έλεγχος ισχύος είναι απαραίτητος στην προσομοίωση μας για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα κοντινού προς μακρινό άκρο (near far problem), άρα και να εξισορροπήσουμε τη λαμβανόμενη ισχύ από τα κινητά τερματικά. Κι αυτό γιατί αν δεν υπάρχει μηχανισμός ο οποίος να πραγματοποιεί έλεγχο ισχύος, θα προκαλούνται τέτοιες παρεμβολές στα κινητά τερματικά που θα ανεβάζουν τη στάθμη θορύβου και θα ελαττώνουν την πιθανότητα λήψης των ασθενέστερων σημάτων.

Για τον έλεγχο ισχύος άνω ζεύξης γίνεται κλήση της συνάρτησης `uplinkcontrol(users,S,P,sec,totalloss,bur,secs,SNRmin)` με παραμέτρους εισόδου τον αριθμό των χρηστών του συστήματος `users`, τους πίνακες ισχύων σήματος και εκπομπής χρηστών του συστήματος `S`, `P` αντίστοιχα, τον πίνακα `sec` με στοιχεία τους τομείς στους οποίους ανήκουν όλοι οι χρήστες, τον πίνακα `totalloss` με στοιχεία τις απώλειες κάθε χρήστη του συστήματος, τον πίνακα `bur` ο οποίος θα επεξηγηθεί στην συνέχεια, τον αριθμό των τομέων του συστήματος `secs` και το αποδεκτό όριο `SNRmin`.

Η συνάρτηση αυτή (Παράρτημα A.1.7) έχει σαν εξόδους τους ανανεωμένους πίνακες ισχύων `Snew`, `Pnew`, τον ανανεωμένο πίνακα `Inew` με στοιχεία τις παρεμβολές όλων των χρηστών που είναι στο σύστημα προς κάθε τομέα, τον δείκτη `noise_rise_new` και τέλος τον ανανεωμένο πίνακα `burnew` που θα χρησιμοποιηθεί στην επόμενη επανάληψη.

Ο έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης πραγματοποιείται με την επίλυση ενός γραμμικού συστήματος [5]. Συγκεκριμένα, για την άνω ζεύξη ο σηματοθορυβικός λόγος για κάθε χρήστη i θα πρέπει να ικανοποιεί την ακόλουθη σχέση:

$$SINR(i) = SINR_{min} \quad (3.14)$$

όπου $SINR_{min}$ είναι ο ελάχιστος σηματοθορυβικός λόγος που πρέπει να έχει ένας χρήστης για να έχουμε αποδεκτή ποιότητα υπηρεσιών.

Ο σηματοθορυβικός λόγος $SINR(i)$ μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$SINR(i) = \frac{S_i}{I_{sectors}(sector(i)) - S_i} \quad (3.15)$$

όπου $sector(i)$ ο τομέας στον οποίο ανήκει ο χρήστης i και $I_{sectors}(sector(i))$ η συνολική λαμβανόμενη ισχύς από τον τομέα $sector(i)$. Ο όρος S_i είναι η λαμβανόμενη ισχύς στον τομέα που ανήκει ο χρήστης από τον χρήστη i .

Από την σχέση (3.15), προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$S(sector(i)) = \frac{I_{sectors}(sector(i)) \cdot SNIR_{min}}{1 + SNIR_{min}} \quad (3.16)$$

Λαμβάνοντας απόψη και την παρακάτω σχέση:

$$I_{sectors}(sector(i)) = \sum_{j=1}^K B(j, sector(i)) \cdot S(j) + I_{noise} \quad (3.17)$$

όπου I_{noise} ο θερμικός θόρυβος, K ο συνολικός αριθμός τομέων στο σύστημα και ο πίνακας B να υπολογίζεται από την σχέση:

$$B(i, j) = \sum_{k=1}^N \frac{total_losses(k, j)}{total_losses(k, i)}, \{sector(k) = j\} \quad (3.18)$$

όπου $total_losses(k, i)$ είναι οι συνολικές απώλειες του χρήστη k από τον τομέα i και N ο αριθμός των χρηστών στο σύστημα.

Από τις σχέσεις (3.16),(3.17) μπορεί εύκολα να προκύψει ένα γραμμικό σύστημα [5]:

$$I_{sectors} = \left(I - B \cdot \frac{SNIR_min}{1 + SINR_min} \right)^{-1} \cdot I_{noise} = bup^{-1} \cdot I_{noise} \quad (3.19)$$

όπου ο πίνακας bup ανανεώνεται σε κάθε εισαγωγή χρήστη για να περιλαμβάνει την διακυψελική παρεμβολή που αναλύθηκε. Ο πίνακας bup ανήκει στις παραμέτρους εισόδου της συνάρτησης `uplinkcontrol` και ο πίνακας $bupnew$ είναι ο ανανεωμένος πίνακας που θα χρησιμοποιηθεί στην επόμενη επανάληψη.

Οι ισχείς των τομέων του συστήματος έπειτα κι από τον προσδιορισμό του πίνακα $I_{sectors}$ θα προκύψουν από την σχέση (3.16). Επειδή όμως όλοι οι χρήστες ενός τομέα έχουν την ίδια ισχύ σήματος, οι ισχείς σήματος των χρηστών του συστήματος θα είναι ίσες με την ισχύ του τομέα στον οποίο ανήκουν. Αυτό επιτυγχάνεται με την εντολή $S_{new} = 10 \cdot \log_{10}(S_n(sec(1, 1:users)))$, όπου S_n οι ισχείς των τομέων που προέκυψαν σε W .

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι νέες τιμές της ισχύος εκπομπής των χρηστών με την γνωστή σχέση $P(i) = S(i) - totalloss(i, sec(i)) + margins$, ενώ υπολογίζεται και ο δείκτης `noise rise`.

Στο adaptive δίκτυο κάθε φορά που καλείται η συνάρτηση `uplinkcontrol2` (Παράρτημα A.2.4), πραγματοποιείται η παραπάνω διαδικασία όχι μόνο για τον τελευταίο χρήστη που έγινε δεκτός στο σύστημα, αλλά για όλους τους χρήστες του συστήματος. Επίσης και ο πίνακας $bupnew$ υπολογίζεται εκ νέου κάθε φορά, καθώς η δημιουργία νέων λοβών στο σύστημα επηρεάζει την θέση των απωλειών κάθε τομέα του συστήματος στον πίνακα `totalloss`, άρα και στον `bupnew`.

3.10 Έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης

Στην κάτω ζεύξη δεν υπάρχει το πρόβλημα κοντινού προς μακρινό άκρο, ο έλεγχος ισχύος όμως είναι επιθυμητός για να δίνεται ένα σημαντικό περιθώριο ισχύος για

κινητά που βρίσκονται στις άκρες μιας κυψέλης, λόγω αυξημένων παρεμβολών που προέρχονται από γειτονικές κυψέλες.

Ο έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης πραγματοποιείται με την κλήση της συνάρτησης `downlinkcontrol(users,D,g,sec,totalloss,secs,PG)`, όπου `users` ο αριθμός των χρηστών του συστήματος, `D,g` 2 βοηθητικοί πίνακες για τον υπολογισμό των απαιτούμενων πινάκων ισχύος των τομέων του συστήματος, `sec` ο πίνακας με στοιχεία τους τομείς όλων των χρηστών του συστήματος, `totalloss` ο πίνακας στοιχεία τις απώλειες κάθε χρήστη του συστήματος προς κάθε τομέα, `secs` ο αριθμός των τομέων του συστήματος και `PG` το κέρδος επεξεργασίας της υπηρεσίας που χρησιμοποιεί ο χρήστης σε dB (Παράρτημα A.1.8).

Στην κάτω ζεύξη η απαιτούμενη εκπεμπόμενη ισχύς ανά σταθμό βάσης υπολογίζεται από την σχέση [5]:

$$p_i = \rho_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot \left((1 - a_i) \cdot P_m + \sum_{j=1, j \neq i}^I P_j \cdot \frac{L_{m,i}}{L_{j,i}} + I_{noise} \cdot L_{m,i} \right) \quad (3.20)$$

όπου p_i η απαιτούμενη εκπεμπόμενη ισχύς στον τομέα m για τον χρήστη i , R_i ο ρυθμός μετάδοσης των bit, P_m η συνολική απαιτούμενη εκπεμπόμενη ισχύς για τον τομέα m , I ο συνολικός αριθμός των τομέων του συστήματος, $L_{m,i}$ οι απώλειες του χρήστη i από τον τομέα m που τον εξυπηρετεί, $L_{j,i}$ οι απώλειες του χρήστη i από κάποιον τομέα j και ρ_i η απαιτούμενη τιμή του EbNo για τον χρήστη i . Ο όρος a_i είναι ένας παράγοντας ορθογωνιότητας που εξαρτάται από την κατάσταση του δικτύου και λαμβάνεται ίσος με 0.5.

Όπως διαπιστώνουμε από την παραπάνω σχέση, η απαιτούμενη ισχύς ανά σταθμό βάσης μπορεί να εκφραστεί σαν ένα γραμμικό άθροισμα από τις εκπεμπόμενες ισχύεις των τομέων του συστήματος. Σαν αποτέλεσμα, για κάθε τομέα μπορεί να παραχθεί μια γραμμική εξίσωση από την παρακάτω σχέση:

$$\sum_{i=1}^{K(m)} p_i + P_{common_channels} = P_m \quad (3.21)$$

όπου $K(m)$ ο αριθμός των χρηστών στον τομέα m .

Χρησιμοποιώντας τις 2 παραπάνω σχέσεις είναι εύκολο να υπολογίσουμε την εκπεμπόμενη ισχύ των τομέων του συστήματος, επιλύοντας ένα γραμμικό σύστημα της μορφής:

$$D \cdot P_{sector} = g \quad (3.22)$$

όπου οι πίνακες D , g είναι βοηθητικοί πίνακες με στοιχεία που ανανεώνονται σε κάθε κλήση της συνάρτησης `downlinkcontrol` σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις και P_{sector} ο πίνακας με διαστάσεις $1 \times secs$, που αντιστοιχεί στον πίνακα με τις επιθυμητές ισχύεις τομέων P_m που αναζητούμε. Επίσης ο πίνακας P_{down} με διαστάσεις $1 \times users$ που

αποτελεί μία από τις παραμέτρους εξόδου έπειτα από κάθε κλήση της συνάρτησης `downlinkcontrol` αποτελείται από τα στοιχεία p_i .

Όπως και στην περίπτωση του ελέγχου ισχύος άνω ζεύξης, στο adaptive δίκτυο δεν υπάρχουν διαφορές στον τρόπο υπολογισμού των απαιτούμενων ισχύων Psector των τομέων, παρά μόνο το γεγονός ότι η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους χρήστες του συστήματος κάθε φορά κι όχι μόνο για τον τελευταίο χρήστη που έχει εισαχθεί στο δίκτυο, όπως γίνεται στο fixed δίκτυο. Επομένως στο adaptive δίκτυο δεν απαιτείται η συνεχής ενημέρωση των πινάκων D, g κάθε φορά που εισάγεται χρήστης στο δίκτυο, καθώς αυτοί δημιουργούνται κάθε φορά από την αρχή με την κλήση της συνάρτησης `downlinkcontrol` (Παράρτημα A.2.5).

3.11 Διαδικασία προσομοιώσεων και μελέτη κριτηρίων τερματισμού

Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων εξετάζονται 6 διαφορετικά σενάρια:

- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει την επιτρεπόμενη τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει την επιτρεπόμενη τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει την επιτρεπόμενη τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει την επιτρεπόμενη τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει την επιτρεπόμενη τιμή.
- Χωρητικότητα συστήματος με την χρήση συστήματος προσαρμοζόμενων (adaptive) έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη και συμβατικών 3-sector κεραιών στις υπόλοιπες κυψέλες, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα και με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει την επιτρεπόμενη τιμή.

Στη συνέχεια ακολουθεί ανάλυση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε και για τα 6 παραπάνω σενάρια, περιγραφή των παραμέτρων που υπολογίστηκαν σε κάθε περίπτωση καθώς και τα κριτήρια τερματισμού των προσομοιώσεων. Για κάθε από τα παραπάνω σενάρια καλείται η συνάρτηση `simulation(input_matrix)`, όπου `input_matrix` ένας πίνακας με στοιχεία μεταβλητές που επιθυμούμε.

3.11.1 Σύστημα συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

Σε κάθε κλήση της συνάρτησης `simulation(input_matrix)` ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- 1) Εισάγεται χρήστης (`flag5=1`). Ο χρήστης τοποθετείται σε κάποιον σταθμό βάσης και τομέα στο σύστημα
- 2) Υπολογίζεται το κέρδος ενίσχυσης της κεραίας του τομέα που τον εξυπηρετεί, οι τιμές των ισχύων σήματος και εκπομπής του χρήστη και στη συνέχεια ο δείκτης `noise rise`.
- 3) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα `noise rise` που να ξεπερνά το όριο `noise_rise_thres` και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής `P` θα ξεπερνάει το όριο `Pmax`, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (`flag1=1,flag2=1`). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (`flag1=0,flag2=0`).
- 4) Πραγματοποιείται έλεγχος άνω και κάτω ζεύξης και προκύπτουν ανανεωμένες τιμές ισχύων εκπομπής για όλους τους χρήστες και του δείκτη `noise rise`.
- 5) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα `noise rise` που να ξεπερνά το όριο `noise_rise_thres` και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής του `P` να ξεπερνάει το όριο `Pmax`, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (`flag3=1,flag4=1`). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (`flag3=0,flag4=0`).
- 6) Εξετάζεται αν υπάρχει τομέας για τον οποίο ο δείκτης `noise rise` είναι μεγαλύτερος ή ίσος του $0.99 * \text{noise_rise_thres}$. Αν υπάρχει, τότε `flag5=0`, οπότε τερματίζεται η προσομοίωση επιστρέφοντας τις επιθυμητές παραμέτρους. Σε αντίθετη περίπτωση `flag5=1`, οπότε και το πρόγραμμά μας επιστρέφει στο βήμα 1 για να συνεχιστεί η προσομοίωση.

Σημειώνουμε ότι κάθε φορά που εισάγεται χρήστης επιλέγεται και ο τύπος της υπηρεσίας που επιθυμεί. Συγκεκριμένα, ανάλογα με το σενάριο της προσομοίωσης, ο χρήστης μπορεί να απαιτήσει:

- **scenario=1:** Υπηρεσίες φωνής (voice services) 12.2 kbps
- **scenario=2:** Υπηρεσίες δεδομένων (data services) 144 kbps
- **scenario=3:** Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps) με αντίστοιχες πιθανότητες 0.7 και 0.3.
- **scenario=4:** Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps - data services 384 kbps) με αντίστοιχες πιθανότητες 0.6, 0.3 και 0.1.

Έτσι, ανάλογα με το σενάριο που έχει επιλεγεί ο χρήστης επιλέγει κάποια υπηρεσία σύμφωνα με τις παρακάτω γραμμές κώδικα:

```
if scenario==1
    PG=25;
    Eb_No=[5.1 5.6];
    Pmax=21;
    serv=1;
```



```

elseif scenario==2
    PG=14.3;
    Eb_No=[0.8 2.2];
    Pmax=24;
    serv=2;
elseif scenario==3
    if prob<=0.7
        PG=25;
        Eb_No=[5.1 5.6];
        Pmax=21;
        serv=1;
    else
        PG=14.3;
        Eb_No=[0.8 2.2];
        Pmax=24;
        serv=2;
    end
end
elseif scenario==4
    if prob<=0.6
        PG=25;
        Eb_No=[5.1 5.6];
        Pmax=21;
        serv=1;
    elseif (prob>0.6)&&(prob<=0.9)
        PG=14.3;
        Eb_No=[0.8 2.2];
        Pmax=24;
        serv=2;
    else
        PG=10;
        Eb_No=[0.9 2.1];
        Pmax=24;
        serv=3;
    end
end
end
service(current)=serv;

```

3.11.2 Σύστημα συμβατικών 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors

Στην περίπτωση αυτή σε κάθε κλήση της συνάρτησης simulation(input_matrix) ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- 1) Εισάγεται χρήστης (accept=1). Ο χρήστης τοποθετείται σε κάποιον σταθμό βάσης και τομέα στο σύστημα που δεν ικανοποιεί το περιθώριο παρεμβολής (τοποθετείται σε έναν τομέα i του συστήματος για τον οποίο available_sectors(k)=i).
- 2) Υπολογίζεται το κέρδος ενίσχυσης της κεραίας του τομέα που τον εξυπηρετεί, οι τιμές των ισχύων σήματος και εκπομπής του χρήστη και στη συνέχεια ο δείκτης noise rise.
- 3) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα noise rise που να ξεπερνά το όριο noise_rise_thres και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P θα ξεπερνάει το

όριο P_{max} , τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα ($flag1=1, flag2=1$). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης ($flag1=0, flag2=0$).

4) Πραγματοποιείται έλεγχος άνω και κάτω ζεύξης και προκύπτουν ανανεωμένες τιμές ισχύων εκπομπής για όλους τους χρήστες και του δείκτη $noise\ rise$.

5) Η προσομοίωση συνεχίζεται με εισαγωγή όλων των χρηστών που υπάρχουν στο σύστημα στην διαδικασία πιθανής αφαίρεσης χρηστών ($flag_lim=0$).

6) Ελέγχεται αν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής του P_{new} να ξεπερνά το όριο P_{max} . Αν υπάρχει, αφαιρείται ο χρήστης με τη μέγιστη ισχύ εκπομπής P_{new} ($flag_lim=1$), ανανεώνονται όλες οι γραμμές των πινάκων που σχετίζονται με τον χρήστη που αφαιρείται με την κλήση της συνάρτησης new_arrays και η διαδικασία συνεχίζει στο βήμα 9. Αλλιώς το πρόγραμμα προχωράει στο επόμενο βήμα.

7) Ελέγχεται αν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής κάτω ζεύξης P_{down} του να ξεπερνά το όριο P_{max_down} που είναι ίσο με 29.3W. Αν υπάρχει, αφαιρείται ο χρήστης με τη μέγιστη ισχύ εκπομπής κάτω ζεύξης P_{down} ($flag_lim=1$) και η διαδικασία συνεχίζει στο βήμα 9. Αλλιώς το πρόγραμμα προχωράει στο επόμενο βήμα.

8) Υπολογίζεται για κάθε χρήστη η ποσότητα $P/total_loss$ για τον τομέα με τη μεγαλύτερη τιμή $noise\ rise$ σε περίπτωση που υπάρχει κάποιος τομέας, ο οποίος ξεπερνάει την επιτρεπόμενη τιμή του ορίου $noise_rise_thres$. Βρίσκουμε τον χρήστη με τη μεγαλύτερη τιμή της παραπάνω ποσότητας και τον αφαιρούμε ($flag_lim=1$). Σε διαφορετική περίπτωση $flag_lim=0$, οπότε και δεν αφαιρείται χρήστης και η προσομοίωση συνεχίζει στο βήμα 1.

9) Υπολογίζεται ο ανανεωμένος δείκτης $noise\ rise$ και ελέγχεται ποιόι τομείς ικανοποιούν το περιθώριο παρεμβολής. Σε περίπτωση που όλοι οι τομείς είναι «γεμάτοι», τότε η προσομοίωση ολοκληρώνεται και επιστρέφονται οι επιθυμητές τιμές των μεταβλητών εξόδου ($accept=0$). Αλλιώς και εφόσον έχει αφαιρεθεί κάποιος χρήστης η διαδικασία αφαίρεσης χρήστη επαναλαμβάνεται (επιστροφή στο βήμα 6).

Η συνάρτηση new_arrays είναι μια συνάρτηση που παίρνει σαν παραμέτρους εισόδου όλους τους πίνακες στους οποίους έχει στοιχείο ο χρήστης που πρέπει να αφαιρεθεί. Αυτοί οι πίνακες είναι οι P_{new} , $totalloss$, $total_loss$, sec , $Isectors$ και η συνάρτηση δίνει σαν έξοδο τους ανανεωμένους πίνακες $bupnew$, D_{new} , g_{new} , καθώς και τον πίνακα απωλειών των τομέων $Isectors$, που προκύπτει μετά την αφαίρεση του χρήστη.

3.11.3 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

Στο σενάριο αυτό ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτή της παραγράφου 3.11.1, με κάποιες αλλαγές στις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην διάρκεια της προσομοίωσης. Τα κριτήρια τερματισμού παραμένουν ίδια.

1) Εισάγεται χρήστης ($flag5=1$). Ο χρήστης τοποθετείται σε κάποιον σταθμό βάσης, λοβό και τομέα στο σύστημα.

- 2) Υπολογίζεται ο παράγοντας διάταξης της κεραίας του λοβού που τον εξυπηρετεί αν ανήκει στην κεντρική κυψέλη, το κέρδος ενίσχυσης της κεραίας του τομέα που τον εξυπηρετεί, οι τιμές των ισχύων σήματος και εκπομπής του χρήστη και στη συνέχεια ο δείκτης noise rise.
- 3) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα noise rise που να ξεπερνά το όριο noise_rise_thres και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P θα ξεπερνάει το όριο Pmax, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (flag1=1,flag2=1). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (flag1=0,flag2=0).
- 4) Πραγματοποιείται έλεγχος άνω και κάτω ζεύξης και προκύπτουν ανανεωμένες τιμές ισχύων εκπομπής για όλους τους χρήστες και του δείκτη noise rise.
- 5) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα noise rise που να ξεπερνά το όριο noise_rise_thres και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P θα ξεπερνάει το όριο Pmax, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (flag3=1,flag4=1). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (flag3=0,flag4=0).
- 6) Εξετάζεται αν υπάρχει τομέας για τον οποίο ο δείκτης noise rise είναι μεγαλύτερος ή ίσος του $0.99 * \text{noise_rise_thres}$. Αν υπάρχει, τότε flag5=0, οπότε τερματίζεται η προσομοίωση επιστρέφοντας τις επιθυμητές παραμέτρους. Σε αντίθετη περίπτωση flag5=1, οπότε και το πρόγραμμά μας επιστρέφει στο βήμα 1 για να συνεχιστεί η προσομοίωση.

3.11.4 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors

Στο σενάριο αυτό ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.11.2. Συγκεκριμένα έχουμε τα εξής βήματα:

- 1) Εισάγεται χρήστης (accept=1). Ο χρήστης τοποθετείται σε κάποιον σταθμό βάσης, λοβό και τομέα στο σύστημα που δεν ικανοποιεί το περιθώριο παρεμβολής (τοποθετείται σε έναν τομέα i του συστήματος για τον οποίο $\text{available_sectors}(k)=i$).
- 2) Υπολογίζεται ο παράγοντας διάταξης της κεραίας του λοβού που εξυπηρετεί τον χρήστη (αν ανήκει στην κεντρική κυψέλη), το κέρδος ενίσχυσης της κεραίας του τομέα που τον εξυπηρετεί, οι τιμές των ισχύων σήματος και εκπομπής του χρήστη και στη συνέχεια ο δείκτης noise rise.
- 3) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα noise rise που να ξεπερνά το όριο noise_rise_thres και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P θα ξεπερνάει το όριο Pmax, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (flag1=1,flag2=1). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (flag1=0,flag2=0).
- 4) Πραγματοποιείται έλεγχος άνω και κάτω ζεύξης και προκύπτουν ανανεωμένες τιμές ισχύων εκπομπής για όλους τους χρήστες και του δείκτη noise rise.
- 5) Η προσομοίωση συνεχίζεται με εισαγωγή όλων των χρηστών που υπάρχουν στο σύστημα στην διαδικασία πιθανής αφαίρεσης χρηστών (flag_lim=0).

- 6) Ελέγχεται αν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής του P_{new} να ξεπερνά το όριο P_{max} . Αν υπάρχει, αφαιρείται ο χρήστης με τη μέγιστη ισχύ εκπομπής P_{new} ($flag_lim=1$), ανανεώνονται όλες οι γραμμές των πινάκων που σχετίζονται με τον χρήστη που αφαιρείται με την κλήση της συνάρτησης `new_arrays` και η διαδικασία συνεχίζει στο βήμα 9. Αλλιώς το πρόγραμμα προχωράει στο επόμενο βήμα.
- 7) Ελέγχεται αν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής κάτω ζεύξης P_{down} του να ξεπερνά το όριο P_{max_down} που είναι ίσο με 29.3W. Αν υπάρχει, αφαιρείται ο χρήστης με τη μέγιστη ισχύ εκπομπής κάτω ζεύξης P_{down} ($flag_lim=1$) και η διαδικασία συνεχίζει στο βήμα 9. Αλλιώς το πρόγραμμα προχωράει στο επόμενο βήμα.
- 8) Υπολογίζεται για κάθε χρήστη η ποσότητα $P/total_loss$ για τον τομέα με τη μεγαλύτερη τιμή `noise_rise` σε περίπτωση που υπάρχει κάποιος τομέας, που ξεπερνάει την επιτρεπόμενη τιμή του ορίου `noise_rise_thres`. Βρίσκουμε τον χρήστη με τη μεγαλύτερη τιμή της παραπάνω ποσότητας και τον αφαιρούμε ($flag_lim=1$). Σε διαφορετική περίπτωση $flag_lim=0$, οπότε και δεν αφαιρείται χρήστης και η προσομοίωση συνεχίζει στο βήμα 1.
- 9) Υπολογίζεται ο ανανεωμένος δείκτης `noise_rise` και ελέγχεται ποιόι τομείς ικανοποιούν το περιθώριο παρεμβολής. Σε περίπτωση που όλοι οι τομείς είναι «γεμάτοι», τότε η προσομοίωση ολοκληρώνεται και επιστρέφονται οι επιθυμητές τιμές των μεταβλητών εξόδου (`accept=0`). Αλλιώς και εφόσον έχει αφαιρεθεί κάποιος χρήστης η διαδικασία αφαίρεσης χρήστη επαναλαμβάνεται (επιστροφή στο βήμα 6).

3.11.5 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

Στο συγκεκριμένο σενάριο έχουμε ομοιότητες με το σενάριο της παραγράφου 3.11.3, με σημαντική όμως διαφορά την εισαγωγή χρήστη στο σύστημα με ανομοιόμορφη κατανομή. Η διαφορά αυτή όμως δεν αντικατοπτρίζεται στα κριτήρια τερματισμού της προσομοίωσης, καθώς δεν υπάρχει η παραμικρή διαφοροποίηση (Παράρτημα Α.1.9).

- 1) Εισάγεται χρήστης με ανομοιόμορφη κατανομή ($flag5=1$). Ο χρήστης τοποθετείται σε κάποιον σταθμό βάσης, λοβό και τομέα στο σύστημα.
- 2) Υπολογίζεται ο παράγοντας διάταξης της κεραιάς του λοβού που τον εξυπηρετεί αν ανήκει στην κεντρική κυψέλη, το κέρδος ενίσχυσης της κεραιάς του τομέα που τον εξυπηρετεί, οι τιμές των ισχύων σήματος και εκπομπής του χρήστη και στη συνέχεια ο δείκτης `noise_rise`.
- 3) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα `noise_rise` που να ξεπερνά το όριο `noise_rise_thres` και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P θα ξεπερνάει το όριο P_{max} , τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα ($flag1=1, flag2=1$). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης ($flag1=0, flag2=0$).
- 4) Πραγματοποιείται έλεγχος άνω και κάτω ζεύξης και προκύπτουν ανανεωμένες τιμές ισχύων εκπομπής για όλους τους χρήστες και του δείκτη `noise_rise`.
- 5) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα `noise_rise` που να ξεπερνά το όριο `noise_rise_thres` και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P να ξεπερνάει το

όριο Pmax, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (flag3=1,flag4=1). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (flag3=0,flag4=0).

6) Εξετάζεται αν υπάρχει τομέας για τον οποίο ο δείκτης noise rise είναι μεγαλύτερος ή ίσος του $0.99 * \text{noise_rise_thres}$. Αν υπάρχει, τότε flag5=0, οπότε τερματίζεται η προσομοίωση επιστρέφοντας τις επιθυμητές παραμέτρους. Σε αντίθετη περίπτωση flag5=1, οπότε και το πρόγραμμά μας επιστρέφει στο βήμα 1 για να συνεχιστεί η προσομοίωση.

3.11.6 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

Το σενάριο αυτό (Παράρτημα A.2.8) αρχικά ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία με τα προηγούμενα, κυρίως όσον αφορά την εισαγωγή χρήστη (η οποία γίνεται βέβαια με ανομοιόμορφη κατανομή), της εισαγωγή του σε λοβό και τομέα στο σύστημα (περισσότερα έχουν περιγραφεί σε προηγούμενες παραγράφους), καθώς και τον υπολογισμό του κέρδους ενίσχυσης της κεραιάς του τομέα που εξυπηρετεί τον χρήστη, των απωλειών και του δείκτη noise rise.

Η λογική όμως που ακολουθείται στο σενάριο αυτό διαφέρει σημαντικά από όλα τα προηγούμενα. Στη συνέχεια ακολουθεί πλήρης περιγραφή του σεναρίου.

3.11.6.1 Διαδικασία προσομοίωσης

Σκοπός της προσομοίωσης είναι να βελτιωθεί η κάλυψη του δικτύου σε περίπτωση ανομοιόμορφης κατανομής. Συγκεκριμένα, στο σύστημα μας δεν προυπάρχει κανένας λοβός στην κεντρική κυψέλη. Οι λοβοί δημιουργούνται δυναμικά και ανάλογα με την κίνηση του δικτύου. Επίσης, κάθε φορά πραγματοποιείται η διαδικασία βελτιστοποίησης (optimization) [5] της διεύθυνσης των λοβών του συστήματος με βάση την κατάσταση του δικτύου και συγκεκριμένα κριτήρια.

Αρχικά, ελέγχεται αν ο χρήστης με γωνία άφιξης AoA μπορεί να εισαχθεί σε κάποιον από τους λοβούς που έχουν δημιουργηθεί στο σύστημα (αν υπάρχουν) με χρήση της συνάρτησης sec_beam που έχει περιγραφεί σε προηγούμενες παραγράφους. Αν δε μπορεί να εισαχθεί, τότε ελέγχεται αν μπορεί να δημιουργηθεί νέος λοβός στο σύστημα. Τα κριτήρια δημιουργίας νέου λοβού σε γωνία ϕ στο σύστημα, για εύρος τομέα $[\phi_{\min} \ \phi_{\max}]$ και ϕ_1, ϕ_2 διευθύνσεις 2 συνεχόμενων λοβών του συστήματος είναι τα ακόλουθα:

$$\phi = \begin{cases} AoA, \text{if } |AoA - \phi_1| > \Delta, |AoA - \phi_2| > \Delta \\ \phi_1 + \Delta, \text{if } |AoA - \phi_1| < \Delta, |\phi_1 + \Delta - \phi_2| > \Delta \\ \phi_2 - \Delta, \text{if } |AoA - \phi_2| < \Delta, |\phi_2 - \Delta - \phi_1| > \Delta \\ \phi_{\min} + \Delta/2, \text{if } |AoA - \phi_{\min}| < \Delta/2 \\ \phi_{\max} - \Delta/2, \text{if } |AoA - \phi_{\max}| < \Delta/2 \end{cases}$$

Αν δε μπορεί να δημιουργηθεί νέος λοβός, αλλά ούτε μπορεί να εισαχθεί ο χρήστης σε κάποιον από τους ήδη υπάρχοντες, τότε ο χρήστης απορρίπτεται. Όταν εισαχθεί χρήστης στο σύστημα, τότε λαμβάνει χώρα η διαδικασία βελτιστοποίησης (optimization) της κατεύθυνσης των λοβών του συστήματος, με σκοπό να στραφούν οι λοβοί του συστήματος σε κατευθύνσεις όπου ελαχιστοποιείται η συνολική μεταδιδόμενη ισχύς κάτω ζεύξης.

3.11.6.2 Διαδικασία Βελτιστοποίησης (optimization)

Θεωρώντας ότι ο αριθμός των τομέων του συστήματος που «φιλοξενούν» προσαρμοζόμενους λοβούς είναι ίσος με $K1$ και $K2$ είναι ο αριθμός των υπολοίπων τομέων του συστήματος, η συνολική μεταδιδόμενη ισχύς κάτω ζεύξης του λοβού m δίνεται από τη σχέση [5]:

$$P(\phi_m) = \frac{1}{1 - (1 - a) \cdot K(m) \cdot \left(\frac{Eb}{No}\right)_i \cdot \frac{R_i}{W}} \cdot \sum_{i=1}^{K(m)} \left(\left(\frac{Eb}{No}\right)_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot \left(\sum_{j=1, j \neq m}^{K1} P_j \frac{L_{m,i}}{L_{j,i}} + \sum_{k=1}^{K2} P_j \frac{L_{m,i}}{L_{k,i}} + L_{m,i} \cdot I_{noise} \right) \right)$$

όπου στην παραπάνω σχέση οι απώλειες $L_{m,i}$ εξαρτώνται από την γωνία ϕ_m , ενώ οι απώλειες $L_{j,i}$ εξαρτώνται από τις κατευθύνσεις των υπολοίπων λοβών του συστήματος. Σημειώνεται επίσης ότι οι απώλειες $L_{k,i}$ θα είναι πάντα σταθερές από την στιγμή που οι λοβοί του ανήκουν στο σύνολο $K2$ είναι προκαθορισμένοι.

Για κάθε λοβό m ($1 \leq m \leq K1$) βρίσκουμε τις γωνίες ϕ_m που ελαχιστοποιούν την παραπάνω σχέση. Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η διαδικασία βελτιστοποίησης (optimization) των λοβών που ανήκουν στο σύνολο $K1$, μέσα από μια διαδικασία εξέτασης του δικτύου αρχικά και προσαρμογής των λοβών τελικά. Οι αλλαγές στις γωνίες των λοβών ϕ_m φέρουν αλλαγές και στην μεταδιδόμενη ισχύ των τομέων του συστήματος, επομένως ο έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης είναι απαραίτητος μετά από κάθε διαδικασία βελτιστοποίησης και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το σύστημα φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση.

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης [5] ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- 1) Αρχικοποίηση του συστήματος (iter=0) και αρχίζει η διαδικασία iter=iter+1.
- 2) Υπολογίζονται οι βέλτιστες γωνίες των λοβών του συστήματος με βάση το κριτήριο:

$$\phi_m = \min_{\phi \in \{\phi_{\min}, \phi_{\max}\}} \left\{ \frac{1}{1 - (1-a) \cdot K(m) \cdot \left(\frac{Eb}{No}\right)_i \cdot \frac{R_i}{W}} \cdot \sum_{i=1}^{K(m)} \left(\left(\frac{Eb}{No}\right)_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot \left(\sum_{j=1, j \neq m}^{K1} P_j \frac{L_{m,i}(\bar{\phi})}{L_{j,i}} + \sum_{k=1}^{K2} P_j \frac{L_{m,i}(\bar{\phi})}{L_{k,i}} + L_{m,i}(\bar{\phi}) \cdot I_{noise} \right) \right) \right\}$$

Οι γωνίες ϕ_{\min} και ϕ_{\max} επιλέγονται στο διάστημα των γωνιών των χρηστών που ανήκουν στον εξεταζόμενο λοβό.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με την κλήση της συνάρτησης optimization (Παράρτημα A.2.6), η οποία δέχεται ως παραμέτρους εισόδου τον πίνακα με τις γωνίες των λοβών του συστήματος angle_sbeam, τον πίνακα με τις γωνίες των λοβών του συστήματος με αναγωγή στο διάστημα [30,150] angle_sbeam_2, τον πίνακα με τις γωνίες των χρηστών ως προς τους σταθμούς βάσης που τους εξυπηρετούν angle_user, τις γωνίες των λοβών που ανήκει κάθε χρήστης users_angles, τον πίνακα με τις συντεταγμένες κάθε χρήστη userco, τον πίνακα b με στοιχεία τις συντεταγμένες των σταθμών βάσης του συστήματος, τον πίνακα Attenuation_matrix με στοιχεία το κέρδος εξασθένισης της κεραίας για κάθε γωνία ϕ , τον πίνακα lobes_per_sec με στοιχεία τον αριθμό των λοβών ανά τομέα (sector), τον πίνακα με τις απώλειες διάδοσης κάθε χρήστη pathlossbeam, τον πίνακα με τις ισχείς κάθε τομέα Psector, τους πίνακες Wi, Mi με στοιχεία το εύρος και τον αριθμό των στοιχείων αντίστοιχα για κάθε γωνία που θα μπορούσε να δημιουργηθεί λοβός και τέλος το εύρος W. Μετά από κάθε κλήση της συνάρτησης optimization παίρνουμε σαν εξόδους τον πίνακα με τις νέες γωνίες των λοβών new_angle και τους ανανεωμένους πίνακες Wi, Mi.

Κατά την κλήση της συνάρτησης optimization, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Για κάθε ένα λοβό του συστήματος, αναζητούνται οι χρήστες που ο λοβός που τους εξυπηρετεί είναι κι ο εξεταζόμενος.
- Αν ο λοβός έχει μόνο έναν χρήστη, τότε η γωνία του λοβού παραμένει ίση με την αρχική του, σε διαφορετική περίπτωση από τους υπάρχοντες χρήστες του λοβού επιλέγεται σαν ϕ_{\min} η μικρότερη γωνία χρήστη και αντίστοιχα ϕ_{\max} η μεγαλύτερη γωνία χρήστη, υπολογίζεται το παραπάνω άθροισμα και τέλος υπολογίζεται η βέλτιστη γωνία του λοβού.

- Ανάλογα και με τον τομέα που βρίσκεται ο λοβός, προσαρμόζεται η γωνία του έτσι ώστε να μην επικαλύπτει λοβούς από διπλανούς τομείς της κεντρικής κυψέλης, δηλαδή αν
$$\begin{cases} |\phi_m - \phi_{\text{τομεα}}(\min)| < W/2 \Rightarrow \phi_m = \phi_{\text{τομεα}}(\min) + W/2 \\ |\phi_m - \phi_{\text{τομεα}}(\max)| < W/2 \Rightarrow \phi_m = \phi_{\text{τομεα}}(\max) - W/2 \end{cases}$$

όπου σε κάθε περίπτωση W είναι το εύρος του λοβού που εξετάζουμε και $\phi_{\text{τομεα}}(\min)$, $\phi_{\text{τομεα}}(\max)$ είναι η ελάχιστη και η μέγιστη γωνία του τομέα που ανήκει ο λοβός. Δηλαδή για τον πρώτο τομέα οι αντίστοιχες γωνίες είναι 30° και 150°, για τον δεύτερο τομέα 150° και 270° και για τον τρίτο τομέα 270° και 390°.

- Τέλος, για δύο συνεχόμενους λοβούς με διαφορετικά εύρη και με διαφορά των γωνιών τους μικρότερη του W, τότε ανάλογα με το αν επιτρέπει η παρούσα διαμόρφωση του συστήματος, μετακινούμε τον έναν από τους 2 τόσο ώστε να μην καλύπτει τον επόμενο.

3) Αν $|\phi_m - \phi_n| > \Delta$ (proc=0), για κάθε λοβό m και n που ανήκουν στο σύνολο K1, τότε η προσομοίωση προχωράει στο βήμα 7, αλλιώς συνεχίζεται στο επόμενο.

4) Αν $|\phi_m - \phi_n| < \Delta$ (proc=1), για κάθε λοβό m και n που ανήκουν στο σύνολο K1, τότε λαμβάνει χώρα διαδικασία προσαρμογής λοβών με τους 2 λοβούς να συγχωνεύονται σε έναν με εύρος 2W.

5) Ελέγχεται αν οι υπάρχοντες χρήστες ανήκουν στους λοβούς που δημιουργήθηκαν και αν δεν ανήκουν σε κάποιον λοβό, τότε αφαιρούνται με κλήση της συνάρτησης deleteusers (Παράρτημα A.2.7), η οποία επιστρέφει τους ανανεωμένους πίνακες με τις ισχύεις, τις συντεταγμένες, τους σταθμούς βάσης, τους τομείς, τις απώλειες διάδοσης των χρηστών που παραμένουν στο σύστημα χωρίς τους χρήστες που αφαιρέθηκαν. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο δείκτης noise rise και ελέγχεται αν η τιμή του στον λοβό με εύρος 2W ξεπερνάει την επιτρεπόμενη τιμή noise_rise_thres. Αν την ξεπερνά, τότε δημιουργούνται 2 λοβοί εύρους W στις γωνίες $\phi_m - \Delta/2$ και $\phi_m + \Delta/2$ και υπολογίζονται οι βέλτιστες γωνίες, όπως στο βήμα 1. Αν οι βέλτιστες γωνίες είναι ίσες με $\phi_m - \Delta/2$ και $\phi_m + \Delta/2$ αντίστοιχα, τότε η προσομοίωση συνεχίζεται στο βήμα 7. Αλλιώς, δημιουργείται λοβός με εύρος W.

6) Δημιουργούνται 2 νέοι λοβοί με εύρος 2W στις γωνίες $\phi_m - 3\Delta/2$ και $\phi_m + 3\Delta/2$, με σκοπό να καλυφθούν οι χρήστες που έμειναν εκτός από το προηγούμενο βήμα. Σε αυτή την περίπτωση προηγείται έλεγχος για τον αν μπορούν να δημιουργηθούν λοβοί με διπλάσιο εύρος στις γωνίες $\phi_m - 3\Delta/2$ και $\phi_m + 3\Delta/2$, ενώ στη συνέχεια αφαιρούνται όλοι οι χρήστες που δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από κάποιον λοβό.

7) Πραγματοποιείται έλεγχος ισχύος άνω και κάτω ζεύξης στο σύστημα.

8) Ελέγχεται το κριτήριο $\frac{|P_{iter,m} - P_{iter-1,m}|}{P_{iter-1,m}} < 10^{-3}$ για κάθε τομέα m και αν

ικανοποιείται τότε η διαδικασία της βελτιστοποίησης ολοκληρώθηκε (stop=1), αλλιώς η διαδικασία επιστρέφει στο βήμα 1 (stop=0).

3.11.6.3 Κριτήρια τερματισμού προσομοίωσης

1) Εισάγεται χρήστης με ανομοιόμορφη κατανομή (flag5=1). Ο χρήστης τοποθετείται σε κάποιον σταθμό βάσης, λοβό και τομέα στο σύστημα

2) Υπολογίζεται ο παράγοντας διάταξης της κεραίας του λοβού που τον εξυπηρετεί αν ανήκει στην κεντρική κυψέλη, το κέρδος ενίσχυσης της κεραίας του τομέα που τον εξυπηρετεί, οι τιμές των ισχύων σήματος και εκπομπής του χρήστη και στη συνέχεια ο δείκτης noise rise.

3) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα noise rise που να ξεπερνά το όριο noise_rise_thres και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P θα ξεπερνάει το

όριο Pmax, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (flag1=1,flag2=1). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (flag1=0,flag2=0).

4) Πραγματοποιείται έλεγχος άνω και κάτω ζεύξης και προκύπτουν ανανεωμένες τιμές ισχύων εκπομπής για όλους τους χρήστες και του δείκτη noise rise.

5) Αν δεν υπάρχει στοιχείο του πίνακα noise rise που να ξεπερνά το όριο noise_rise_thres και δεν υπάρχει χρήστης που η ισχύς εκπομπής P να ξεπερνάει το όριο Pmax, τότε συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο βήμα (flag3=1,flag4=1). Σε διαφορετική περίπτωση η προσομοίωση επιστρέφει στο βήμα 1 και αφαιρείται ο χρήστης (flag3=0,flag4=0).

6) Πραγματοποιείται η διαδικασία βελτιστοποίησης που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.11.6.2.

7) Εξετάζεται αν υπάρχει τομέας για τον οποίο ο δείκτης noise rise είναι μεγαλύτερος ή ίσος του $0.99 * \text{noise_rise_thres}$. Αν υπάρχει, τότε flag5=0, οπότε τερματίζεται η προσομοίωση επιστρέφοντας τις επιθυμητές παραμέτρους. Σε αντίθετη περίπτωση flag5=1, οπότε και το πρόγραμμά μας επιστρέφει στο βήμα 1 για να συνεχιστεί η προσομοίωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

4.1 Γενικές πληροφορίες

Σκοπός των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν είναι η μελέτη και ο υπολογισμός του κέρδους χωρητικότητας του συστήματος με την χρήση έξυπνων κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου, για διάφορα σενάρια υπηρεσιών.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με ομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα για τις εξής περιπτώσεις:

- Σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.
- Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.

Σε κάθε περίπτωση, οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για μία σειρά κυψελών γύρω από την κεντρική (tier=1), για τιμές loading factor 50 και 90% και για 2 είδη υπηρεσιών: υπηρεσίες φωνής 12.2 kbps και υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps.

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών στο σύστημα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν 2 σετ προσομοιώσεων για 4 διαφορετικά σενάρια υπηρεσιών και 3 περιπτώσεις ανομοιόμορφης κατανομής η καθεμία:

- Στο πρώτο σετ προσομοιώσεων έγινε χρήση έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη
- Στο δεύτερο σετ προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκαν έξυπνες κεραίες προσαρμοστικού αλγορίθμου

Συγκεκριμένα, στο πρώτο σετ προσομοιώσεων είχαμε δημιουργία 7 λοβών σε κάθε τομέα της κεντρικής κυψέλης με την χρήση έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών 8 στοιχείων. Έτσι, είχαμε συνολικά 39 τομείς στο σύστημα, δεδομένου ότι οι προσομοιώσεις έγιναν για μία σειρά (1 tier) κυψελών γύρω από την κεντρική. Στο δεύτερο σετ προσομοιώσεων, έγινε χρήση έξυπνων κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου, επομένως δεν είχαμε προκαθορισμένο αριθμό λοβών στην κεντρική κυψέλη, όπως στην πρώτη περίπτωση, καθώς οι λοβοί δημιουργούνται ανάλογα με την κατάσταση και την κίνηση του δικτύου. Σε κάθε περίπτωση, έξυπνες κεραίες χρησιμοποιήθηκαν μόνο στην κεντρική κυψέλη, ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς

βάσης έγινε χρήση 3-sector κεραιών και ο παράγοντας loading factor ήταν ίσος με 50% (loading_factor=0.5).

Τα 4 σενάρια υπηρεσιών που μελετήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Υπηρεσίες φωνής (voice services) 12.2 kbps
- Υπηρεσίες δεδομένων (data services) 144 kbps
- Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps) με αντίστοιχες πιθανότητες κατανομής κίνησης 0.7 και 0.3.
- Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps - data services 384 kbps) με αντίστοιχες πιθανότητες κατανομής κίνησης 0.6, 0.3 και 0.1.

Τέλος, όσον αφορά την ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών, έχουμε 3 διαφορετικές περιπτώσεις:

- Ανομοιόμορφη κατανομή με μία επιθυμητή περιοχή (hotspot area) εισαγωγής χρήστη στην κεντρική κυψέλη. Σε αυτή την περίπτωση, η περιοχή αυτή βρίσκεται στον πρώτο τομέα και η πιθανότητα εισαγωγής χρήστη (που ανήκει στην κεντρική κυψέλη) σε αυτή την περιοχή είναι 1/3.
- Ανομοιόμορφη κατανομή με δύο επιθυμητές περιοχές (hotspot areas) εισαγωγής χρήστη στην κεντρική κυψέλη. Σε αυτή την περίπτωση, οι περιοχές αυτές βρίσκονται στους δύο πρώτους τομείς της κεντρικής κυψέλης και η πιθανότητα εισαγωγής χρήστη (που ανήκει στην κεντρική κυψέλη) σε μία από τις δύο περιοχές είναι 2/3.
- Ανομοιόμορφη κατανομή με τρεις επιθυμητές περιοχές (hotspot areas) εισαγωγής χρήστη στην κεντρική κυψέλη. Σε αυτή την περίπτωση, οι περιοχές αυτές βρίσκονται στους τρεις τομείς της κεντρικής κυψέλης (μία hotspot area σε κάθε τομέα) και ο χρήστης που εισάγεται στην κεντρική κυψέλη, εισάγεται οπωσδήποτε σε μία από τις τρεις περιοχές.

Για κάθε περίπτωση, έγιναν προσομοιώσεις για εύρη περιοχών μεταξύ των γωνιών 0.25Δ και 7Δ , όπου $\Delta=120/7$, με βήμα 0.25Δ .

Συνοπτικά, στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται όλες οι τιμές των παραμέτρων των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Πίνακας 1
Παράμετροι προσομοίωσης και σενάρια υπηρεσιών

Παράμετρος	Τιμή
Ακτίνα κυψέλης (Cell radius) [m]	800
Συχνότητα φέροντος (Carrier frequency) [GHz]	2
Τυπική απόκλιση του παράγοντα σκίασης [dB]	8
Αριθμός σειρών (tiers) κυψελών γύρω απ' την κεντρική	1
Loading factor [%]	50
Αζιμουθιακή διασπορά (Azimuth dispersion)	Λαπλασιανή κατανομή με γωνιακή διασπορά

	5°
Ισχύς θερμικού θορύβου (Thermal noise level) [dBm]	-103.2
Μέγιστο κέρδος 3-sector κεραίας [dBi]	14
Μέγιστη ισχύς ανά σταθμό βάσης [dBm]	43
Όριο ισχύος ανά τομέα [dBm-W]	38.2 – 20/3
Μέγιστη ισχύς χρήστη στην κάτω ζεύξη [dBm]	29.3
Μέγιστη ισχύς χρήστη στην άνω ζεύξη [dBm]	1.21 (υπηρεσίες φωνής 12.2 kbps) 2.24 (υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps και 384 kbps)
Παράγοντας ορθογωνιότητας (Orthogonality factor)	0.5
EbNo υπηρεσιών φωνής 12.2 kbps [dB]	uplink : 5.1 downlink : 5.6
EbNo υπηρεσιών δεδομένων 144 kbps [dB]	uplink : 0.8 downlink : 2.2
EbNo υπηρεσιών δεδομένων 384 kbps [dB]	uplink : 0.9 downlink : 2.1
Σενάρια υπηρεσιών	<ol style="list-style-type: none"> 1. Υπηρεσίες φωνής (voice services) 12.2 kbps 2. Υπηρεσίες δεδομένων (data services) 144 kbps 3. Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps) με αντίστοιχες πιθανότητες 0.7 και 0.3. 4. Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps - data services 384 kbps) με αντίστοιχες πιθανότητες 0.6, 0.3 και 0.1.

Στη συνέχεια ακολουθεί μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων για καθένα από τα 4 σενάρια που αναλύθηκαν.

4.2 Ομοιόμορφη κατανομή

Από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Σημειώνουμε ότι σε κάθε πίνακα, για κάθε τιμή του loading factor, έχουμε 3 στήλες. Στην πρώτη είναι οι συνολικοί χρήστες στο σύστημα, στην δεύτερη στήλη οι χρήστες που ανήκουν στην κεντρική κυψέλη και στην τρίτη το ποσοστό απόρριψης χρηστών στην κεντρική κυψέλη (Blocking Probability) [%].

Πίνακας 2
Σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

	Loading factor=0.5			Loading factor=0.9		
Υπηρεσίες φωνής 12.2 kbps	252	40	0	840	131	0
Υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps	60	9	11.11	175	27	0

Πίνακας 3
Σύστημα 3-sector κεραιών με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors

	Loading factor=0.5			Loading factor=0.9		
Υπηρεσίες φωνής 12.2 kbps	413	54	6.38	1063	139	0.7
Υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps	105	14	33.33	257	34	2.77

Πίνακας 4
Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

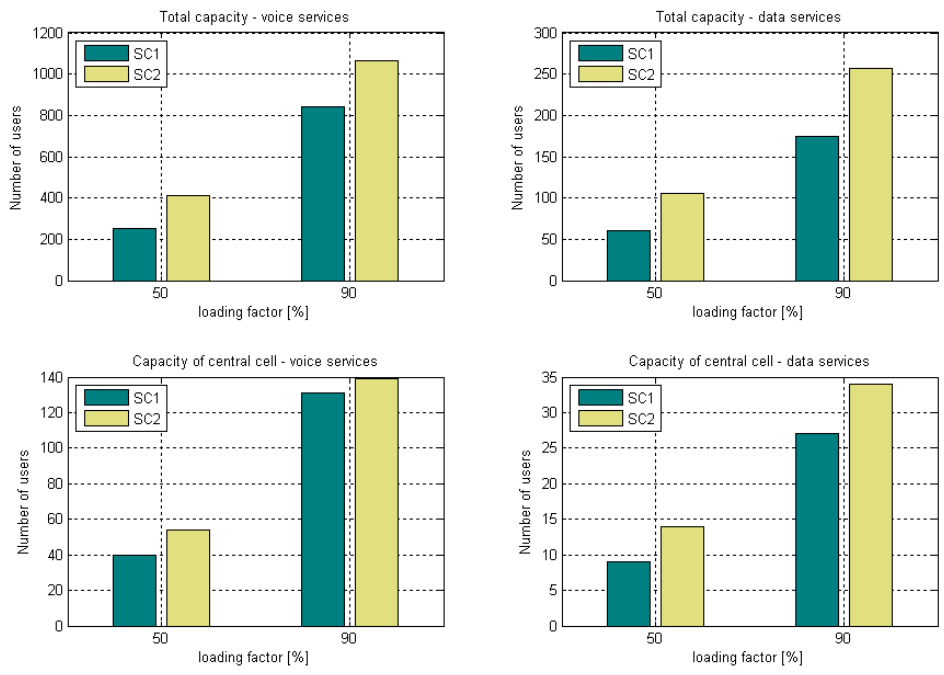
	Loading factor=0.5			Loading factor=0.9		
Υπηρεσίες φωνής 12.2 kbps	275	148	0.58	1131	622	0
Υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps	71	41	5.26	210	113	32.1

Πίνακας 5
Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών με κριτήριο τερματισμού για όλους τους sectors

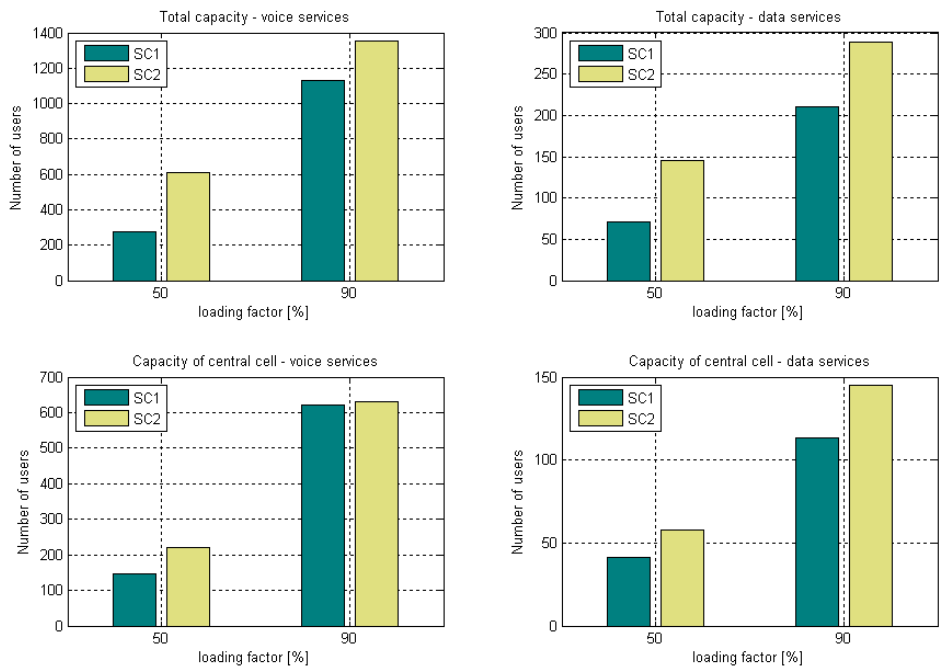
	Loading factor=0.5			Loading factor=0.9		
Υπηρεσίες φωνής 12.2 kbps	613	219	39.62	1356	631	5.26
Υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps	145	58	65.26	289	145	32.1

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων 2-5, συμπεραίνουμε ότι με κριτήριο τερματισμού να γεμίζουν όλοι οι τομείς του συστήματος, έχουμε μεγάλο ποσοστό απόρριψης χρηστών (Blocking Probability) στην κεντρική κυψέλη (μέχρι και 65%), επομένως και δεν συμφέρει να χρησιμοποιηθεί τον κριτήριο αυτό στην ανομοιόμορφη

κατανομή, γιατί σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε ακόμα μεγαλύτερο ποσοστό απόρριψης.



Σχήμα 4.1 Σύστημα 3-sector κεραιών



Σχήμα 4.2 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών

Στα σχήματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα των πινάκων, για σύστημα 3-sector κεραιών και σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής

λοβών αντίστοιχα. Σημειώνουμε ότι το SC1 αναφέρεται σε προσομοίωση με κριτήριο τερματισμού το περιθώριο παρεμβολής σε ένα sector να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή και SC2 με κριτήριο το περιθώριο παρεμβολής σε όλους τους sectors να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.

4.3 Ανομοιόμορφη κατανομή

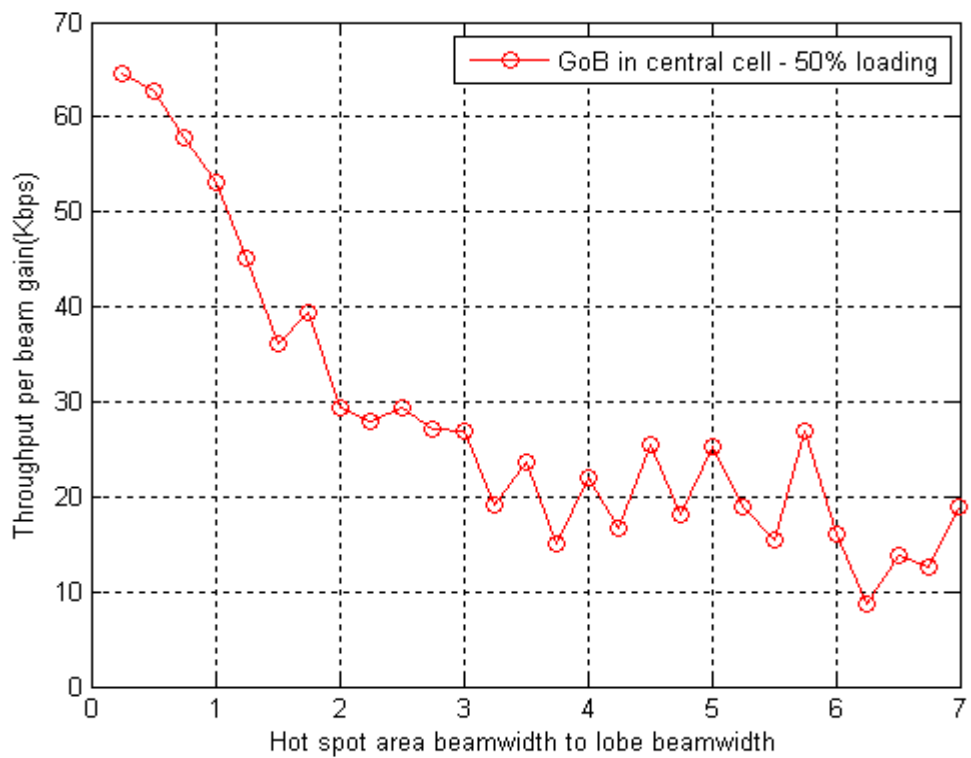
4.3.1 Υπηρεσίες φωνής (voice services) 12.2 kbps

Στο σενάριο αυτό, όλοι οι χρήστες που εισάγονται στο σύστημα επιθυμούν υπηρεσίες φωνής 12.2 kbps.

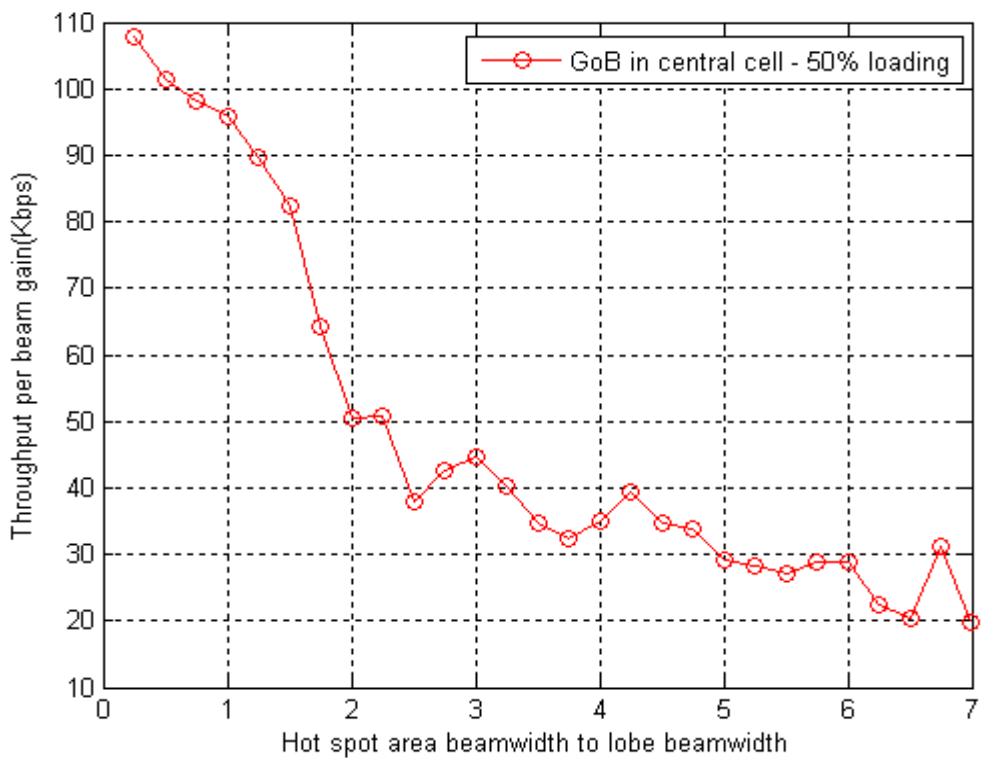
Όπως διακρίνεται στα διαγράμματα των σχημάτων 4.3 και 4.4, το κέρδος από την χρήση έξυπνων κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου είναι μεγαλύτερο όταν έχουμε 2 επιθυμητές περιοχές εισαγωγής χρήστη στην κεντρική κυψέλη (hotspot areas). Ο λόγος είναι ότι για μικρό εύρος των επιθυμητών περιοχών στην περίπτωση 2 hotspot areas, όλο και περισσότεροι χρήστες εισάγονται στις 'στενές' επιθυμητές περιοχές της κεντρικής κυψέλης, επομένως δημιουργούνται και λιγότεροι λοβοί στο σύστημα. Συμπερασματικά, αυξάνεται το κέρδος χωρητικότητας χρηστών ανά λοβό. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση που έχουμε 3 hotspot areas, όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.5, όπου το κέρδος φτάνει μέχρι και 290%. Σε αυτή την περίπτωση, η τιμή του κέρδους είναι λογική, γιατί όταν έχουμε 3 hotspot areas, οι χρήστες που ανήκουν στην κεντρική κυψέλη εισάγονται υποχρεωτικά σε μια από τις 3 περιοχές. Έτσι, για μικρό εύρος των hotspot areas (της τάξεως του 0.25Δ-Δ), όλοι οι χρήστες εισάγονται στις στενές αυτές περιοχές, επομένως δημιουργούνται 3 λοβοί, ένας για κάθε τομέα. Άρα και το κέρδος χωρητικότητας πλησιάζει μεγάλες τιμές. Επίσης, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το εύρος των επιθυμητών περιοχών, τόσο μειώνεται το κέρδος χωρητικότητας ανά λοβό. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο αυξάνεται το εύρος, τόσο αυξάνεται ο αριθμός των λοβών στο σύστημα.

Διαπιστώνεται ότι το κέρδος στην περίπτωση μιας hotspot περιοχής είναι αρκετά μικρό, σε σύγκριση και με τις αντίστοιχες περιπτώσεις των σεναρίων 2, 3 και 4 λόγω της ύπαρξης χρηστών που χρησιμοποιούν αποκλειστικά υπηρεσίες φωνής.

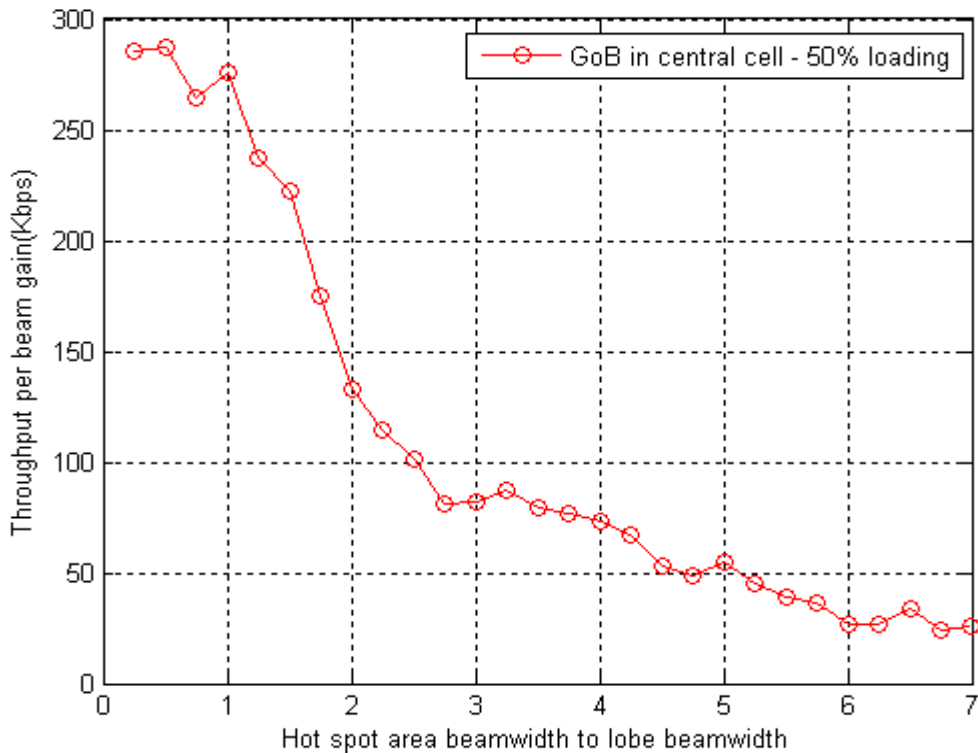
Τέλος, παρατηρούμε ότι το κέρδος ακολουθεί εκθετική μείωση για κάθε αριθμό hotspot areas. Για μεγάλο αριθμό hotspots μάλιστα, ο ρυθμός μείωσης του κέρδους αυξάνεται. Κι αυτό γιατί για μία hotspot area, ακόμα και για μικρό εύρος, οι χρήστες εισάγονται σχεδόν σε όλο το εύρος της κεντρικής κυψέλης, άρα και το κέρδος χωρητικότητας δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο σε σύγκριση με την περίπτωση 3 hotspot areas, όπου οι χρήστες κατανέμονται σε στενές περιοχές της κυψέλης, επομένως δημιουργούνται και λιγότεροι λοβοί. Επομένως, όσο το εύρος μεγαλώνει, το κέρδος στην περίπτωση μιας hotspot area μειώνεται, αλλά όχι στο βαθμό που μειώνεται για μεγαλύτερο αριθμό hotspot areas.



Σχήμα 4.3 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (1^ο σενάριο – 1 hotspot)



Σχήμα 4.4 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (1^ο σενάριο – 2 hotspots)



Σχήμα 4.5 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (1° σενاريو – 3 hotspots)

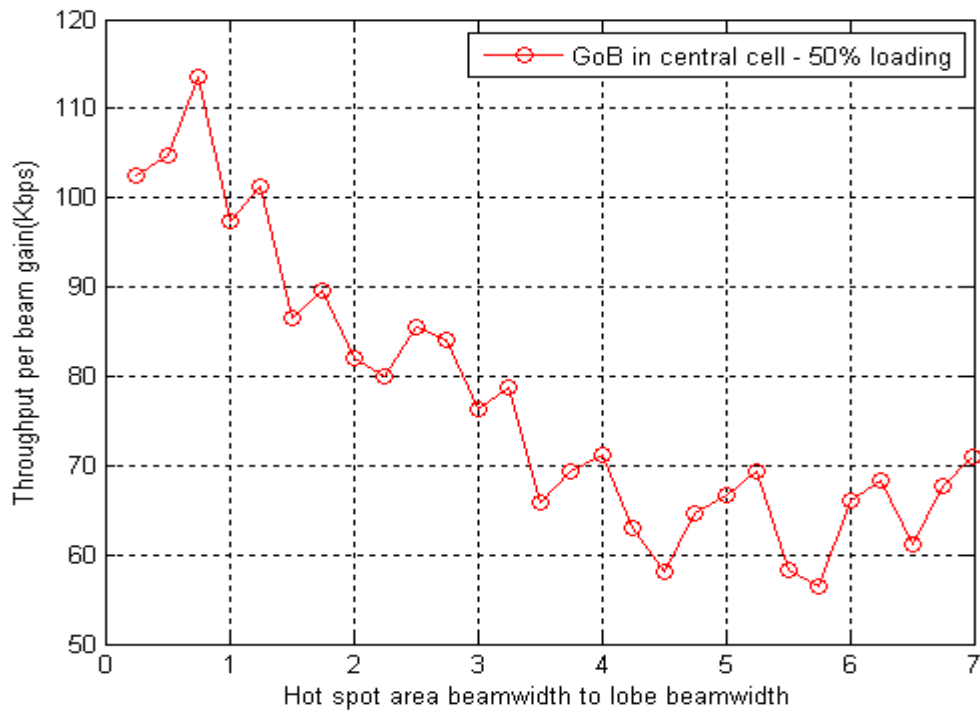
4.3.2 Υπηρεσίες δεδομένων (data services) 144 kbps

Στο σενάριο αυτό, όλοι οι χρήστες που εισάγονται στο σύστημα επιθυμούν υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps, δηλαδή με πιθανότητα 100%.

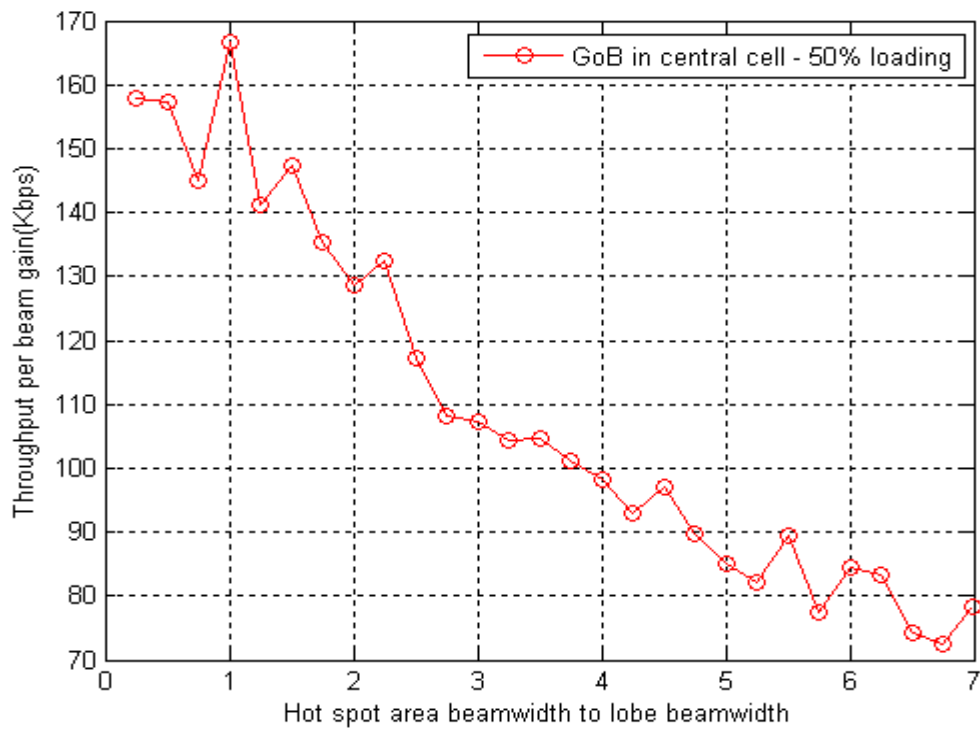
Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των σχημάτων 4.6 και 4.7, παρατηρούμε ότι το κέρδος από την χρήση έξυπνων κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου είναι μεγαλύτερο όταν έχουμε 2 επιθυμητές hotspot areas, ακριβώς για τον ίδιο λόγο που αναλύθηκε στην παράγραφο 4.3.1. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση που έχουμε 3 hotspot areas, όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.8, όπου το κέρδος φτάνει μέχρι και 350%. Επίσης, όπως και στην περίπτωση των υπηρεσιών φωνής στην παράγραφο 4.3.1, βλέπουμε ότι το κέρδος ακολουθεί εκθετική μείωση για κάθε αριθμό hotspot areas και μάλιστα για μεγαλύτερο αριθμό hotspot areas, ο ρυθμός μείωσης του κέρδους αυξάνεται σημαντικά.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι για υπηρεσίες δεδομένων έχουμε το μεγαλύτερο κέρδος χωρητικότητας, μιας και το κέρδος αγγίζει το 350% σε σχέση με τα σενάρια 1, 3 και 4 όπου έχουμε 290%, 310% και 320% αντίστοιχα. Διαπιστώνουμε ότι το κέρδος αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων μεγάλης ταχύτητας. Προφανώς, το κέρδος του δεύτερου σεναρίου θα είναι το υψηλότερο από τα 4, γιατί σε αυτή την περίπτωση, στο σύστημα υπάρχουν χρήστες που επιλέγουν μόνο υπηρεσίες δεδομένων, σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις όπου υπάρχει ένα ποσοστό χρηστών που χρησιμοποιούν υπηρεσίες φωνής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο σύστημα στρέφονται λοβοί σε διευθύνσεις χρηστών με υψηλές

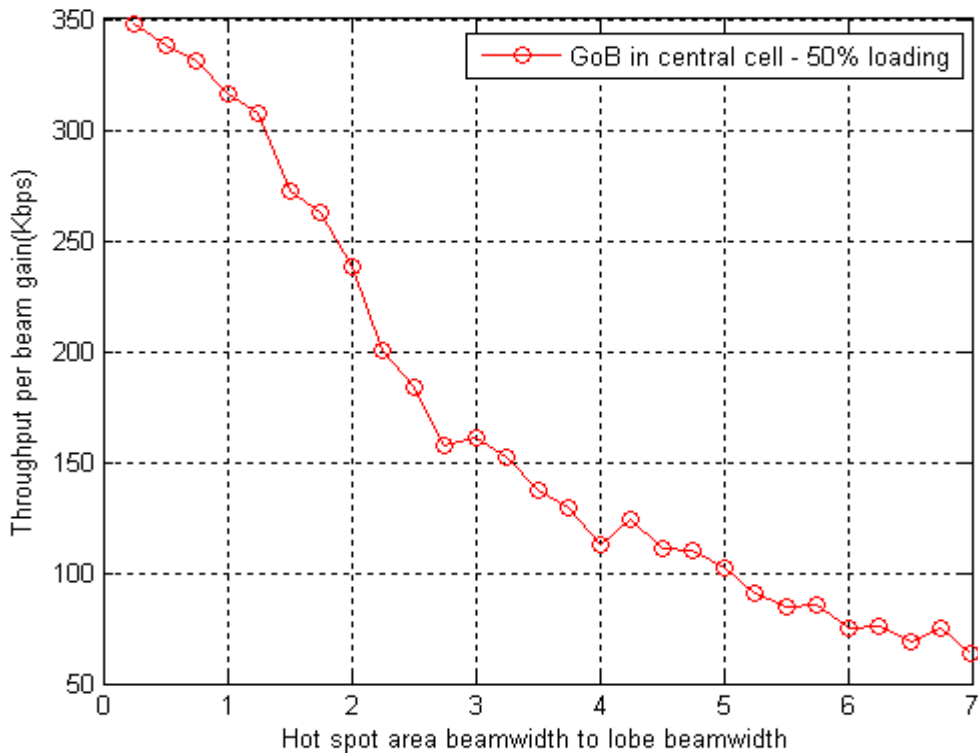
ταχύτητες υπηρεσιών δεδομένων, επομένως μειώνεται η εκπεμπόμενη ισχύς τους, άρα αυξάνεται και η χωρητικότητα του συστήματος.



Σχήμα 4.6 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (2^ο σενاريو – 1 hotspot)



Σχήμα 4.7 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (2^ο σενاريو – 2 hotspots)

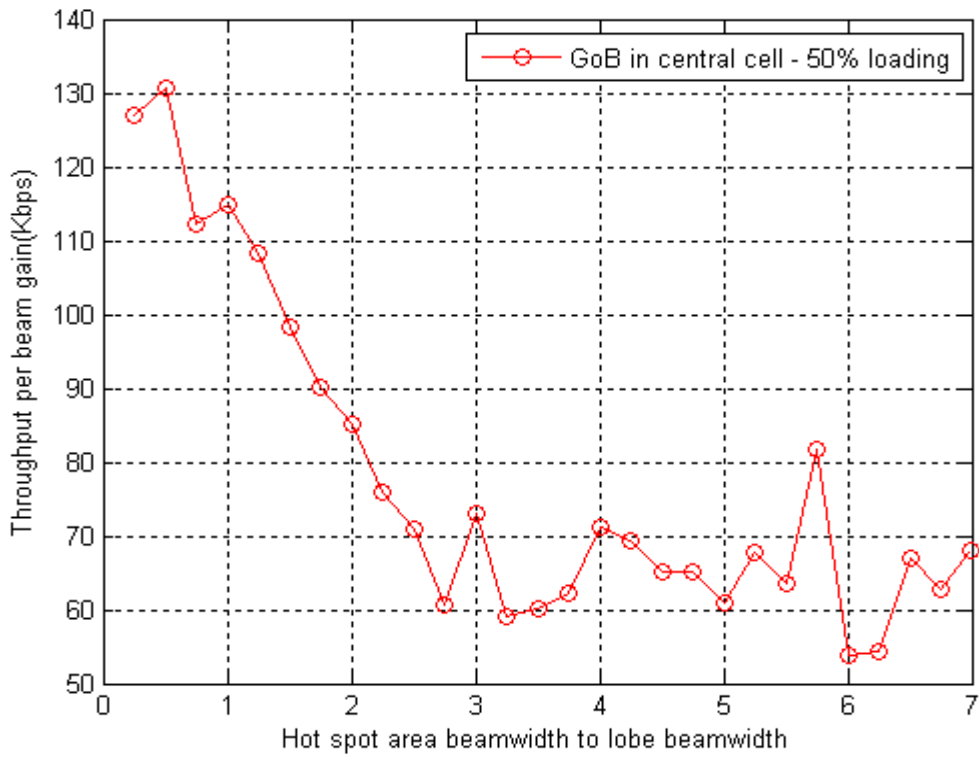


Σχήμα 4.8 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (2^ο σεναριο – 3 hotspots)

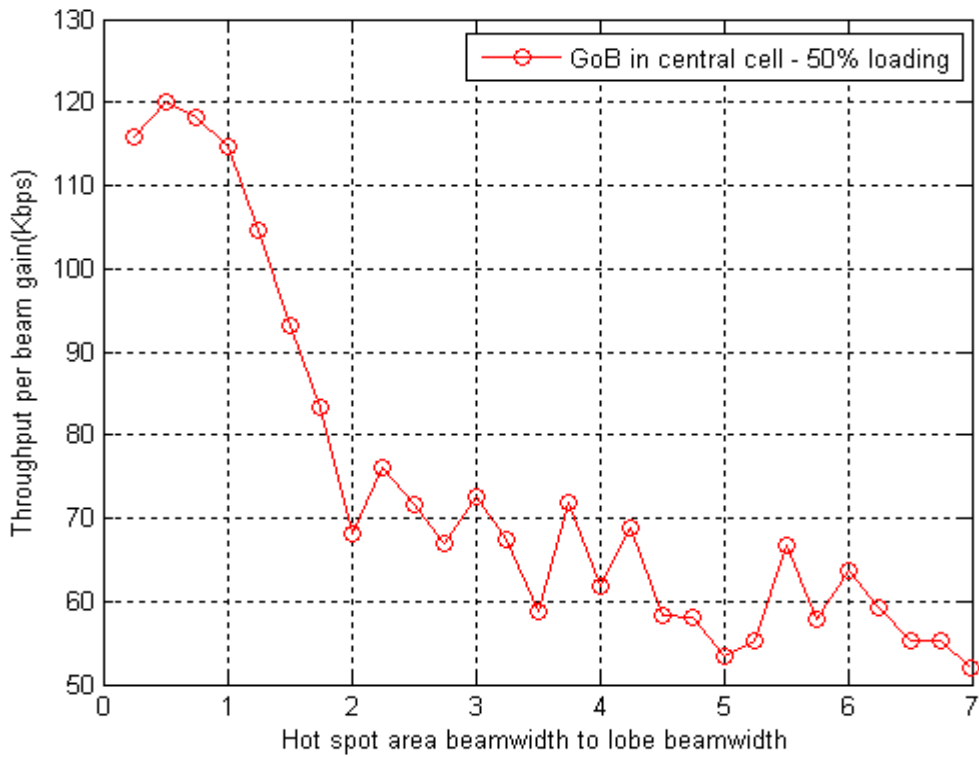
4.3.3 Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps)

Στην περίπτωση αυτή, οι χρήστες που εισάγονται στο σύστημα επιλέγουν μία από τις προτεινόμενες υπηρεσίες φωνής ή δεδομένων με τις αντίστοιχες πιθανότητες. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα να επιλέξουν υπηρεσίες φωνής είναι 0.7 και η πιθανότητα να επιλέξουν υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps είναι 0.3.

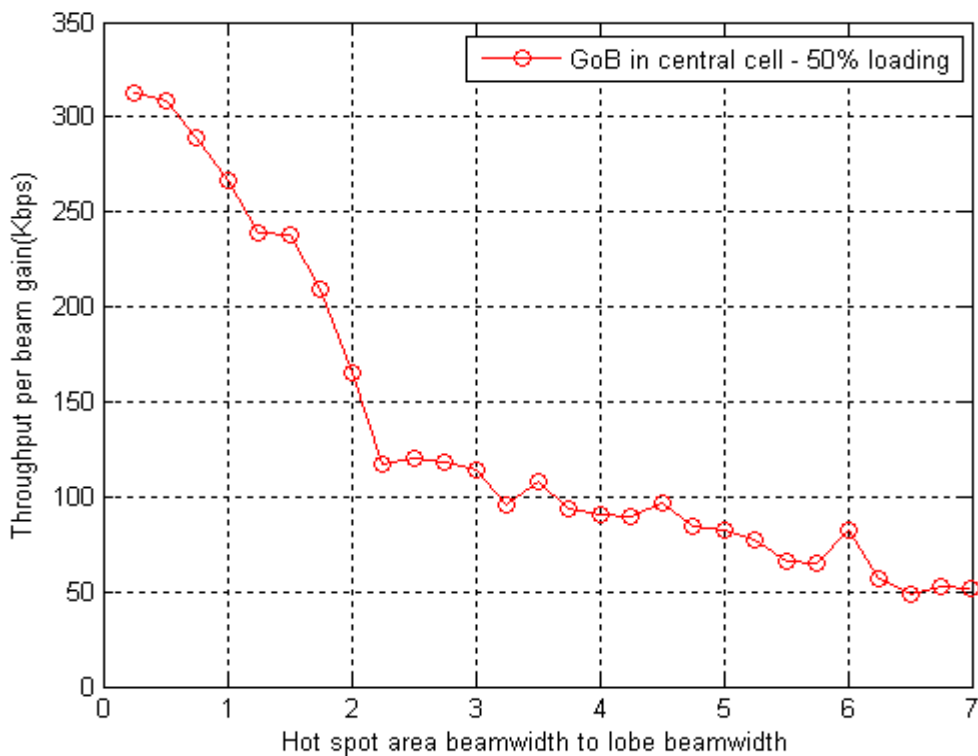
Όπως παρατηρούμε στα 3 διαγράμματα των σχημάτων 4.9, 4.10 και 4.11 που ακολουθούν, το κέρδος χωρητικότητας ανά λοβό αυξάνεται για μεγαλύτερο αριθμό hotspot areas. Επίσης, σε κάθε περίπτωση το κέρδος μειώνεται εκθετικά, όσο αυξάνεται το εύρος των hotspot areas.



Σχήμα 4.9 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (3° σενاريو – 1 hotspot)



Σχήμα 4.10 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (3° σενاريو – 2 hotspots)

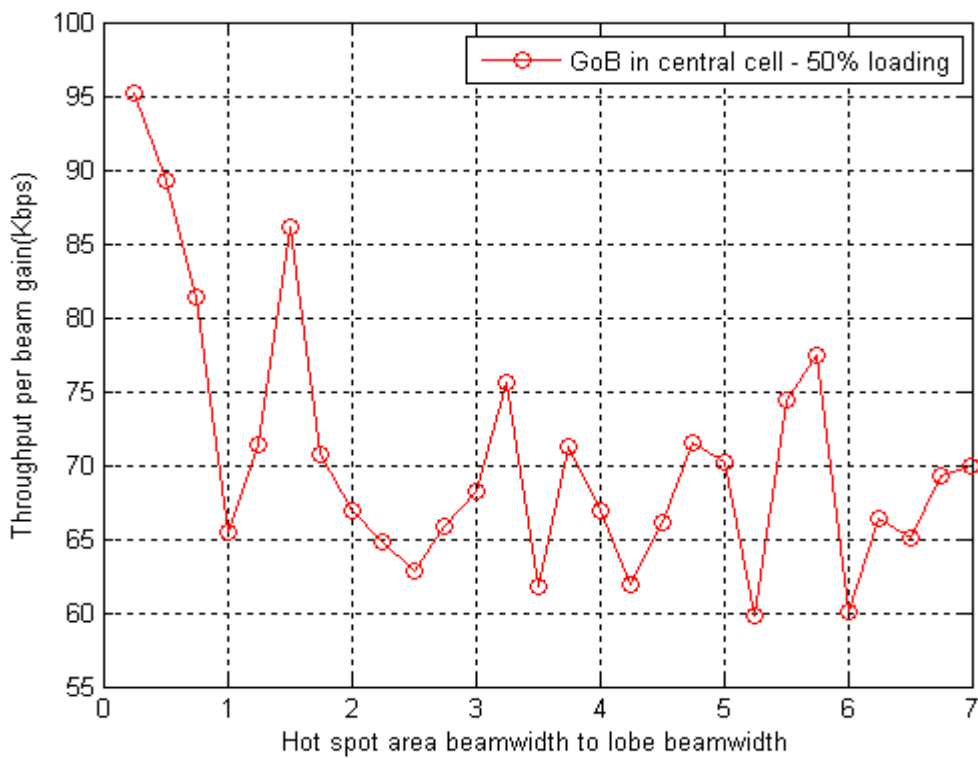


Σχήμα 4.11 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (3^ο σεναριο – 3 hotspots)

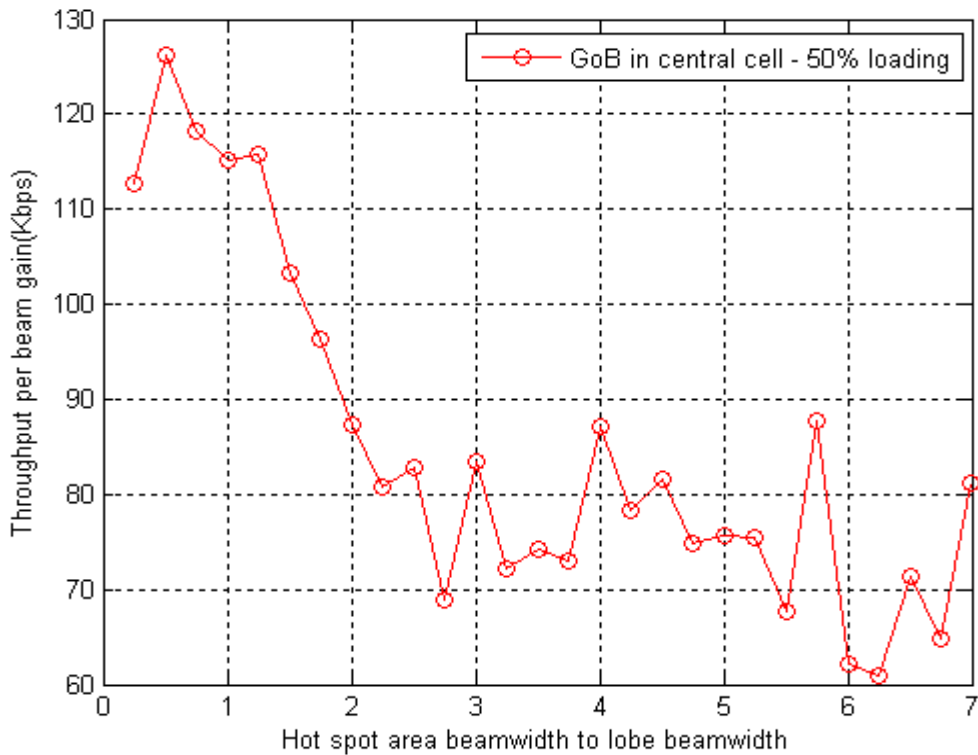
4.3.4 Μικτές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (voice 12.2 kbps - data services 144 kbps - data services 384 kbps)

Στο τελευταίο σενάριο των προσομοιώσεων, οι χρήστες που εισάγονται στο σύστημα επιλέγουν μία από τις προτεινόμενες υπηρεσίες φωνής ή δεδομένων με τις αντίστοιχες πιθανότητες. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα να επιλέξουν υπηρεσίες φωνής είναι 0.6, η πιθανότητα να επιλέξουν υπηρεσίες δεδομένων 144 kbps είναι 0.3 και η πιθανότητα να επιλέξουν υπηρεσίες δεδομένων 384 kbps είναι ίση με 0.1.

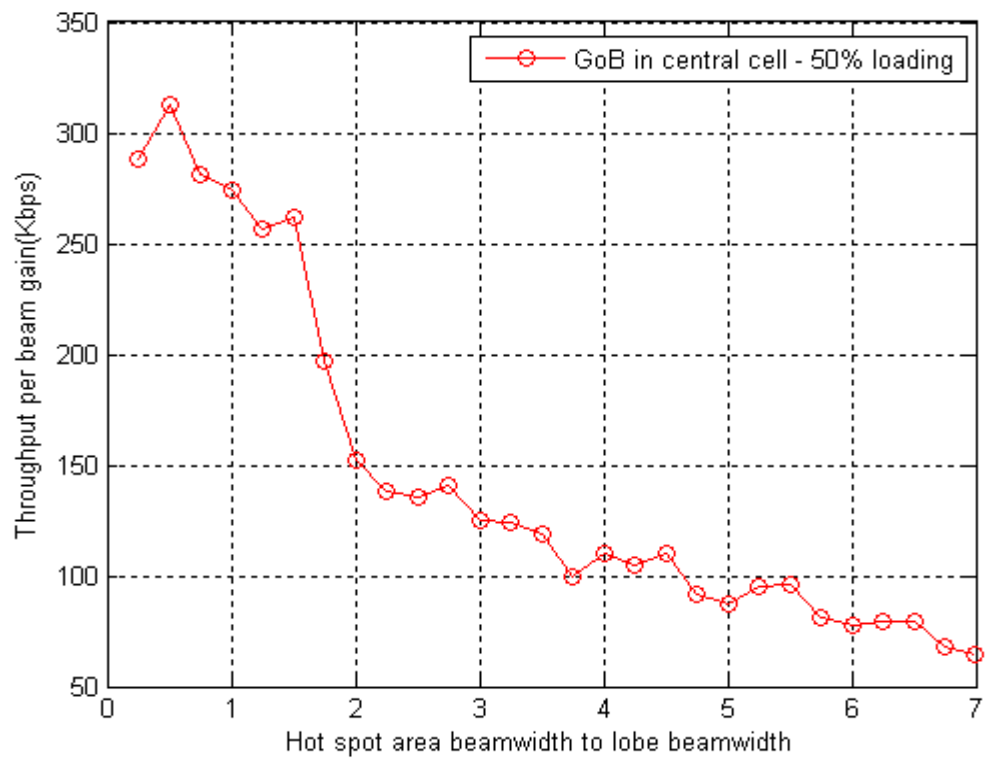
Όπως παρατηρούμε στα 3 διαγράμματα των σχημάτων 4.12, 4.13 και 4.14 που ακολουθούν και όπως προβλεπόταν και από την ανάλυση της παραγράφου 4.3.1, το κέρδος χωρητικότητας ανά λοβό αυξάνεται για μεγαλύτερο αριθμό hotspot areas. Επίσης, σε κάθε περίπτωση το κέρδος μειώνεται εκθετικά, όσο αυξάνεται το εύρος των hotspot areas.



Σχήμα 4.12 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (4^ο σενاريو – 1 hotspot)



Σχήμα 4.13 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (4^ο σενاريو – 2 hotspots)



Σχήμα 4.14 Κέρδος χωρητικότητας με χρήση κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου (4^ο σενاريو – 3 hotspots)

4.4 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάμε την απόδοση ενός συστήματος έξυπνων κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου. Σκοπός της μελέτης είναι να προσδιορίσουμε τα οφέλη που αποκομίζουμε από την χρήση προσαρμοζόμενων (adaptive) έξυπνων κεραιών σε σχέση με τις κλασικές έξυπνες κεραιές μεταγωγής λοβών, για διάφορες υπηρεσίες και σενάρια προσομοιώσεων. Συγκεκριμένα, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι προσομοιώσεις με κριτήριο τερματισμού να φτάσει έστω ένας sector το περιθώριο παρεμβολής έχουν μικρότερο ποσοστό απόρριψης χρηστών (Blocking Probability) στην κεντρική κυψέλη σε σύγκριση με τις προσομοιώσεις με κριτήριο τερματισμού να φτάσουν όλοι οι sectors το περιθώριο παρεμβολής. Συμπερασματικά, προτιμούνται προσομοιώσεις της πρώτης περίπτωσης για να αποφευχθούν έντονα προβλήματα απόρριψης χρηστών στο σύστημα.
- Στο adaptive δίκτυο η χωρητικότητα του συστήματος είναι μικρότερη από την χωρητικότητα ενός fixed δικτύου, δηλαδή ενός δικτύου με έξυπνες κεραιές μεταγωγής λοβών, όμως δημιουργούνται και λιγότεροι λοβοί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνονται οι διακυβελικές παρεμβολές, άρα απαιτούνται λιγότεροι πόροι στην κάτω ζεύξη.
- Η προτεινόμενη χρήση έξυπνων κεραιών προσαρμοστικού αλγορίθμου αυξάνει τα κέρδη χωρητικότητας ανά λοβό σε σχέση με τις κεραιές μεταγωγής λοβών για κάθε υπηρεσία και για κάθε αριθμό επιθυμητων περιοχών εισαγωγής χρήστη στην κεντρική κυψέλη, μέχρι και 350% για 3 hotspot areas.
- Το κέρδος χωρητικότητας ανά λοβό αυξάνεται για μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.
- Χρήστες που χρησιμοποιούν υπηρεσίες δεδομένων μεγάλου ρυθμού μετάδοσης επωφελούνται από τα κέρδη χωρητικότητας ανά λοβό, επομένως και από την απόδοση του adaptive δικτύου.
- Το κέρδος χωρητικότητας ανά λοβό μειώνεται εκθετικά όσο μεγαλώνει το εύρος των hotspot areas. Επίσης, ο ρυθμός μείωσης του κέρδους αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των hotspot areas στο σύστημα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A.1 Fixed δίκτυο

A.1.1 Υπολογισμός ακτίνας κάλυψης και μέγιστων απωλειών διάδοσης

```
function [Rcov,max_pathloss]=link_budget (Rb)
a=21;%max mobile transmission power(dBm)
b=0;%mobile antenna gain(dBi)
c=0;%body loss(dB)
d=a+b-c;%equivalent isotropic radiated power(dBm)
e=-174;%thermal noise density(dBm/Hz)
f=5;%base station receiver noise figure(dB)
g=e+f;%receiver noise density(dBm/Hz)
h=g+10*log10(3840000);%receiver noise power(dBm)
i=3;%interference margin(dB)
j=h+i;%total effective noise + interference(dBm)
k=10*log10(3840/Rb);%processing gain(dB)
l=match(Rb);%required Eb/N0(dB)
m=l-k+j;%receiver sensitivity(dBm)
n=14-9;%base station antenna gain(dBi)
o=0;%cable loss in the base station(dB)
p=4;%fast fading margin(dB)
q=d-m+n-o-p;%max path loss(dB)
r=8;%log-normal fading margin(dB)
s=0;%soft handover gain(dB)
t=0;%incarloss(dB)
u=q-r+s-t;%allowed propagation loss for cell range(dB)
x=(u-137.4)/35.2;
Rcov=10^x;
max_pathloss=u;
```

A.1.2 Δημιουργία κυψελών

```
function [y,R]=cell_array(r,t,x0,y0)
R=sqrt(2*pi*r*r/(9*sqrt(3)));
h=(sqrt(3))*R/2;
sum=1;
for i=0:t
    sum=sum+6*i;
end
if sum==1
    triple_cell(R,x0,y0)
else
    j=1;
    triple_cell(R,x0,y0);
    for n=1:t
        for m=0:5
```

```

        for l=0:n-1
            j=j+1;
            y(j,1)=x0+n*3*R*cos(pi/6+m*pi/3)+3*R*1*cos(5*pi/6+m*pi/3);
            y(j,2)=y0+n*3*R*sin(pi/6+m*pi/3)+3*R*1*sin(5*pi/6+m*pi/3);
            triple_cell(R,y(j,1),y(j,2))
        end
    end
end
end
end

```

```

function triple_cell(R,x0,y0)
    x1=x0;
    y1=y0+R;
    one_cell(R,x1,y1);
    h=R*sqrt(3)/2;
    x2=x0-h;
    y2=y0-R/2;
    one_cell(R,x2,y2);
    x3=x0+h;
    y3=y0-R/2;
    one_cell(R,x3,y3);
end

```

```

function one_cell(R,x0,y0)
    for k=1:7
        x(k,1)=x0+R*cos(pi/6+k*pi/3);
        x(k,2)=y0+R*sin(pi/6+k*pi/3);
    end
    a=x(:,1);
    b=x(:,2);

```

A.1.3 Εισαγωγή χρήστη στο σύστημα

```

function [user_co,user_pathloss,user_servstation] =
put_user_random_sector(R,t,sigma,b,max_pathloss,W,hotspot1,thetal)
sum=1;
for i=0:t
    sum=sum+6*i;
end

Rm=R*sqrt(sum*9*sqrt(3)/(2*pi));

flag=0;
p1=rand;
p2=rand;
prob=[1/3 2/3 1];
srvstn=randsrc(1,1,1:sum);
while ((p1<18/39)&&(srvstn~=1))
    srvstn=randsrc(1,1,1:sum);
end

if (srvstn==1)&&(hotspot1==1)
    if(p2<prob(hotspot1))

```

```

    theta2=thetal(1)+W*rand;
else
    theta2=randsrc(1,1,1:361);
    while((theta2>=thetal(1))&&(theta2<=thetal(1)+W))
        theta2=randsrc(1,1,1:361);
    end
end
elseif (srvstn==1)&&(hotspot1==2)
    q=randsrc(1,1,1:2);
    if(p2<prob(hotspot1))
        theta2=thetal(q)+W*rand;
    else
        theta2=randsrc(1,1,1:361);

while((theta2>=thetal(1))&&(theta2<=thetal(1)+W)&&((theta2>=thetal(2)
)&&(theta2<=thetal(2)+W))
    theta2=randsrc(1,1,1:361);
    end
end
elseif (srvstn==1)&&(hotspot1==3)
    q=randsrc(1,1,1:3);
    theta2=thetal(q)+W*rand;
else
    theta2=randsrc(1,1,1:361);

while((theta2>=thetal(1))&&(theta2<=thetal(1)+W)&&((theta2>=thetal(2)
)&&(theta2<=thetal(2)+W)&&((theta2>=thetal(3))&&(theta2<=thetal(3)+W)
)
    theta2=randsrc(1,1,1:361);
    end
end

while(flag==0)
    x_r=(-2*R+3*R*rand);
    y_r=(-sqrt(3)*R+2*sqrt(3)*R*rand);
    rho=sqrt((x_r)^2+(y_r)^2);
    x_temp(1,1)=rho*cos(theta2*pi/180);
    x_temp(1,2)=rho*sin(theta2*pi/180);
    x(1,1)=x_temp(1,1)+b(srvstn,1);
    x(1,2)=x_temp(1,2)+b(srvstn,2);
    c=pathloss(x,b,sigma);
    d=servstation(c);
    if((c(1,d)<=max_pathloss)|| (d~=srvstn))
        flag=1;
    end
    if((p1<18/39)&&(d~=1))
        flag=0;
    end
end

user_co(1,:)=x(1,:);
user_pathloss=c;
user_servstation=d;

```

A.1.4 Εύρεση τομέα/λοβού στον οποίο ανήκει ο χρήστης

```
function [sec,beam]=sectorbeam(x,y,b,d,y_s_2,L)
xd=x-b(d,1);
yd=y-b(d,2);
side1 = sqrt(xd^2 + yd^2);
side2 = abs(xd);
angle = acos(side2/side1);
if((xd<0)&&(yd>0))
    angle = pi - angle;
elseif((xd<0)&&(yd<0))
    angle = angle + pi;
elseif((xd>0)&&(yd<0))
    angle = 2*pi - angle;
end
if(angle>=0)&&(angle<pi/6)
    angle = angle + 2*pi;
end
angle = round((180/pi)*angle);
theta = angle;

if (theta>=30)&&(theta<=150)
    sec=3*(d-1)+1;
elseif (theta>150)&&(theta<=270)
    sec=3*(d-1)+2;
else sec=3*(d-1)+3;
end

if (d~=1)
    beam=sec+18;
else

    if(sec==1)
        qi=y_s_2(theta+1,:);
        [y,q]=min(qi);
        beam=q;
    elseif(sec==2)
        qi=y_s_2(theta-120+1,:);
        [y,q]=min(qi);
        beam=L+q;
    else
        qi=y_s_2(theta-240+1,:);
        [y,q]=min(qi);
        beam=2*L+q;
    end
end
end
```

A.1.5 Υπολογισμός κέρδους ενίσχυσης σήματος από την κεραία κάθε τομέα

```
function y=gain(x,y,b,y_s_2,Attenuation_matrix,L,M)
Am=20;
ang=angles(x,y,b);

for k=1:39
    y(1,k)=14-Am;
```

```

end

f=round(ang(1));

if (f>=30)&&(f<=150)
    for q=1:7
        y(1,q)=14-y_s_2(f+1,q)+10*log10(M);
    end
elseif (f>150)&&(f<=270)
    for q=8:14
        y(1,q)=14-y_s_2(f+1-120,q-L)+10*log10(M);
    end
else
    for q=15:21
        y(1,q)=14-y_s_2(f-240+1,q-2*L)+10*log10(M);
    end
end

for i=2:length(b)
    f=round(ang(i));

    if (f>=30)&&(f<=150)
        k1=abs(90-f);
        y(1,(3*(i-1)+19))=14-Attenuation_matrix(k1+1);
    elseif (f>150)&&(f<=270)
        k2=abs(210-f);
        y(1,(3*(i-1)+20))=14-Attenuation_matrix(k2+1);
    else
        k3=abs(330-f);
        y(1,(3*(i-1)+21))=14-Attenuation_matrix(k3+1);
    end
end

```

A.1.6 Υπολογισμός διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας

```

function [y_angle,y_s,y_s_2,G]=beamforming(L,M)
AS=5;
D=120/L;
c=3*(10^8);
f=2*(10^9);
l=c/f;
k=(2*pi)/l;
d=0.5*l;

for n=1:L
    angle_steer(n)=pi/6+((n-0.5)*D)*(pi/180);
end
y_angle=angle_steer*180/pi;

for m=1:M
    for j=1:L
        s(m,j)=exp(i*k*(m-1)*d*cos((angle_steer(j)))));
    end
end

e=eye(L);
w= e*pinv(s);

```

```

for beam=1:L
    for phi=1:361
        Sbeam(phi,beam)=0;
        for elem=1:M
            phi_beam=(phi-1)*pi/180;
            Sbeam(phi,beam)=Sbeam(phi,beam)+(w(beam,elem)*exp(i*k*(elem-
1)*d*cos(phi_beam)));
        end
    end
end

S1=abs(Sbeam);
for ks=1:L
    for is=1:361
        if ((is>150)|| (is<30))
            S1(is,ks)=0.01;
        end
    end
end
y_s=S1;

for m=1:L
    phi=linspace(1,361,361);
    Sk(phi)=(y_s(phi,m)).^2;
    att=10.^(min(12*((phi-90)/70).^2,20)/10);
    att = 1./att;
    f=Sk.*att;

    for angle=1:1:361
        laplacian=exp(-sqrt(2)*abs(phi-angle)/AS)/AS/sqrt(2);
        f1=f.*laplacian;
        y_s_2(angle,m)=int_simpson(f1,-180,180,180);
    end
end

y_s_2=y_s_2/max(max(y_s_2));
y_s_2 = -10*log10(y_s_2);

for m=1:L
    phi=linspace(1,361,361);
    Sm(phi)=(abs(S1(phi,m))).^2;

    for angle=1:1:361
        laplacian=exp(-sqrt(2)*abs(phi-angle)/AS)/AS/sqrt(2);
        f=Sm.*laplacian;
        G(angle,m)=int_simpson(f,-180,180,180);
    end
end

```

A.1.7 Έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης

```

function
[Snew,Pnew,Inew,noise_rise_new,bupnew]=uplinkcontrol(users,S,P,sec,tot
alloss,bup,secs,SNRmin)
N=-103.2;
A=SNRmin;

```

```

margins=4;
us=users;
PN=10^(N/10);
bupnew=bup;

for j=1:secs
    afactor(us,j)=10^(-totalloss(us,sec(us))/10)/(10^(-
totalloss(us,j)/10));
end

for k=1:secs
    bupnew(k,sec(us))=bup(k,sec(us))+afactor(us,k);
end

w=PN*ones(secs,1);
q=eye(secs,secs)-bupnew*(A/(1+A));
Inew=(q^(-1))*w;
Sn=Inew*A/(1+A);
Snew=10*log10(Sn(sec(1,1:users)));

for i=1:us
    Pnew(i)=Snew(i)-totalloss(i,sec(i))+margins;
end

total_loss=10.^(totalloss/10);
IN=(10.^(Pnew/10))*total_loss+PN;
Inew=10*log10(IN);

noise_rise_new=Inew-N;

```

A.1.8 Έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης

```

function
[Dnew,gnew,Psector,Pdown]=downlinkcontrol(users,D,g,sec,totalloss,secs
,pRW)
a=0.5;
N=-103.2;
PN=10^(N/10)/1000;
Dnew=D;
gnew=g;
us=users;
m=sec(us);

for i=1:secs
    if i==m
        Dnew(m,i)=D(m,i)+pRW*(1-a) ;
    else
        Dnew(m,i)=D(m,i)+ pRW*(10^(-totalloss(us,m)/10))/(10^(-
totalloss(us,i)/10));
    end
end
gnew(m)=g(m)-pRW*PN*(10^(-totalloss(us,m)/10));

```



```

Psector=(Dnew^(-1))*gnew ;
sums=0;
for j=1:secs
    if j~=m
        sums=sums+pRW*Psector(j)*(10^(-totalloss(users,m)/10))/(10^(-
totalloss(users,j)/10));
    end
end

Pdown(users)=10*log10(pRW*(1-a)+pRW*PN*(10^(-totalloss(users,m)/10)
+sums);

```

A.1.9 Σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

```

function y=simulation(input_matrix)
scenario=input_matrix(1);
loading_factor=input_matrix(2);
t=input_matrix(3);
hotspot=input_matrix(4);

rand('state',sum(100*clock));
randn('state',sum(100*clock));

[Rcov,max_pathloss]=link_budget(12.2);
sigma=8;AS=5;
D=120/7;
Ws(1:28)=[0.25*D:0.25*D:7*D];
y=zeros(11,28);
L=7;M=8;
x0=0;y0=0;
N=-103.2;PN=10^(N/10);
noise_rise_thres=10*log10(1/(1-loading_factor));
margins=4;
tricells=1;
for i=1:t
    tricells=tricells+6*i;
end
secs=3*tricells+3*L-3;
[b,R]=cell_array(Rcov,t,x0,y0);
N_points=1000;
phi=linspace(-180,180,2*N_points+1);
secgain=10.^(min(12*(phi/70).^2,20)/10);

for angle=0:1:60
    laplacian=exp(-sqrt(2)*abs(phi-angle)/AS)/AS/sqrt(2);
    f=secgain.*laplacian;
    Attenuation_matrix(angle+1)=10*log10(int_simpson(f,-
180,180,N_points));
end

[y_angle,y_s,y_s_2,G]=beamforming(L,M);

```

```

for x=1:28
    W=Ws(x);
    theta1=[randsrc(1,1,30:(150-W)) randsrc(1,1,150:(270-W))
randsrc(1,1,270:(390-W))];
    P=[];S=[];Pnew=[];Snew=[];totalloss=[];total_loss=[];del=0;
    Dnew=-eye(secs,secs);
    gnew=-ones(secs,1);
    bupnew=zeros(secs,secs);
    current=0;
    current_centralcell=0;

current_centralcell_122=0;current_centralcell_144=0;current_centralcel
l_384=0;
    current_122=0;current_144=0;current_384=0;
    number_central_users=0;
    flag5=1;

while(flag5==1)
    flag1=1;flag2=1;flag3=1;flag4=1;
    P=Pnew;S=Snew;
    tempP=P;tempS=S;
    current=current+1;
    [user_co,user_pathloss,user_servstation] =
put_user_random_sector(R,t,sigma,b,max_pathloss,W,hotspot,theta1);
    xi=user_co(1);yi=user_co(2);

    prob=rand;
    if scenario==1
        PG=25;
        Eb_No=[5.1 5.6];
        Pmax=21;
    elseif scenario==2
        PG=14.3;
        Eb_No=[0.8 2.2];
        Pmax=24;
    elseif scenario==3
        if prob<=0.7
            PG=25;
            Eb_No=[5.1 5.6];
            Pmax=21;
        else
            PG=14.3;
            Eb_No=[0.8 2.2];
            Pmax=24;
        end
    elseif scenario==4
        if prob<=0.6
            PG=25;
            Eb_No=[5.1 5.6];
            Pmax=21;
        elseif (prob>0.6)&&(prob<=0.9)
            PG=14.3;
            Eb_No=[0.8 2.2];
            Pmax=24;
        else
            PG=10;
            Eb_No=[0.9 2.1];
        end
    end
end

```

```

        Pmax=24;
    end
end

SNRmin=10^(-(PG-Eb_No(1))/10);
RW=10^(-PG/10);
pii=10^(Eb_No(2)/10);
pRW=pii*RW;
a=user_co;
c=user_pathloss;
d=user_servstation;
[sect,beam]=sectorbeam(xi,yi,b,d,y_s_2,L);
Attenbeam=gain(xi,yi,b,y_s_2,Attenuation_matrix,L,M);

userco(current,:)=a(1,:);
userpathloss(current,:)=c;
userservstation(current)=d;
sec(current)=sect;
sbeam(current)=beam;
attenbeam(current,:)=Attenbeam;

if PG==25
    current_122=current_122+1;
elseif PG==14.3
    current_144=current_144+1;
elseif PG==10
    current_384=current_384+1;
end

if(d==1)
    current_centralcell=current_centralcell+1;
    number_central_users=number_central_users+1;
end

if (d==1)&&(PG==25)
    current_centralcell_122=current_centralcell_122+1;
elseif (d==1)&&(PG==14.3)
    current_centralcell_144=current_centralcell_144+1;
elseif (d==1)&&(PG==10)
    current_centralcell_384=current_centralcell_384+1;
end

for k=1:21
    pathlossbeam(current,k)=userpathloss(current,1);
end
for i=2:tricells
    for k=((3*i-1)+17):1:((3*i+1)+17)
        pathlossbeam(current,k)=userpathloss(current,i);
    end
end

if (current==1)
    I=N;
    Inew=I*ones(secs,1);
else
    r=10.^(Inew/10);
    IW= r (beam);
end

```

```

        I=10*log10(IW);
    end

    totalloss(current,:)=attenbeam(current,:)-pathlossbeam(current,:);
    total_loss=10.^(totalloss/10);

    S(current)=Eb_No(1)-PG+I;
    P(current)=S(current)-totalloss(current,beam)+margins;

    w=(10.^(P/10))*total_loss+PN;
    Isectors=10*log10(w);
    noise_rise=Isectors-N;

    if (P(current)<Pmax)
        flag1=1;
        if (sum(noise_rise>noise_rise_thres)>0)
            flag1=0;
        end
    end

    if (current==1)
        Snew(current)=S(current);
        Pnew(current)=P(current);
        flag2=1;

    else
        bup=bupnew;
        [Snew,Pnew,Inew,noise_rise_new,bupnew]=
        uplinkcontrol(current,S,P,sbeam,totalloss,bup,secs,SNRmin);
        temp_Inew(current,:)=Inew(:);
        temp_noiserisew(current,:)=noise_rise_new(:);
        temp_bup=bup ;
        if sum(Pnew<Pmax)==0
            flag2=1;
        end

        if (sum(noise_rise_new>noise_rise_thres)>0)
            flag3=0;
        end
    end

    D=Dnew;
    g=gnew;

    [Dnew,gnew,Psector]=downlinkcontrol(current,D,g,sbeam,totalloss,secs,p
    RW);

    Ptotal=0;
    for i=1:21
        Ptotal=Ptotal+Psector(i);
    end
    tempD=D;
    tempg=g;

    if sum(Psector>5.66)>0
        flag4=0;
    end
    if (current==1)

```

```

        flag5=1;
    else

        if ([flag1 flag2 flag3 flag4]==[1 1 1 1])
            q=sum(noise_rise_new>=0.98*noise_rise_thres);
            if q>0
                flag5=0;
            end

        else
            if (PG==25)
                current_122=current_122-1;
            elseif (PG==14.3)
                current_144=current_144-1;
            elseif (PG==10)
                current_384=current_384-1;
            end

            P(current)=[]; S(current)=[]; sbeam(current)=[];
totalloss(current,:)=[];

            current=current-1;
            Inew(:)=temp_Inew(current,:);
            bupnew=temp_bup;
            Dnew=tempD;
            gnew=tempg;
            Pnew=tempP;
            Snew=tempS;
            if d==1
                current_centralcell=current_centralcell-1;
            end
            del=del+1;
            if del==100
                flag5=0;
            end

            if (d==1)&&(PG==25)
                current_centralcell_122=current_centralcell_122-1;
            elseif (d==1)&&(PG==14.3)
                current_centralcell_144=current_centralcell_144-1;
            elseif (d==1)&&(PG==10)
                current_centralcell_384=current_centralcell_384-1;
            end
        end
    end
end

    y(1,x)=current; y(2,x)=current_122; y(3,x)=current_144;
    y(4,x)=current_384;
    y(5,x)=current_centralcell; y(6,x)=current_centralcell_122;
    y(7,x)=current_centralcell_144; y(8,x)=current_centralcell_384;
    y(9,x)=(1-current_centralcell/number_central_users)*100;
    y(10,x)=21;
    y(11,x)=Ptotal;
end

```

A.2 Adaptive δίκτυο

Σημείωση: Πολλές από τις συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο adaptive δίκτυο είναι ίδιες με αυτές του παραρτήματος A.1. Ακολουθούν συναρτήσεις που δεν περιγράφησαν στο παράρτημα A.1.

A.2.1 Εύρεση τομέα/λοβού στον οποίο ανήκει ο χρήστης

```
function
[sbeam,users_angles]=sec_beam2(current,angle_user,angle_sbeam,userserv
station,Wi)

sbeam=zeros(current,1);
users_angles=400*ones(current,1);
for i=1:length(angle_sbeam)
    users_beam=[];
    users_beam=find((abs(angle_user-
angle_sbeam(i))<=round(Wi(angle_sbeam(i))/2))&(userservstation==1));
    sbeam(users_beam,1)=i;
    users_angles(users_beam)=angle_sbeam(i);
end
```

A.2.2 Υπολογισμός κέρδους ενίσχυσης σήματος από την κεραία κάθε τομέα

```
function
y=gain3(x,y,b,y_s_2,Attenuation_matrix,Mi,lobes_per_sec,angle_sbeam)
Am=20;
ang=angles(x,y,b);

leng=lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3);
y(1,1:(leng+18))=14-Am;
f=round(ang(1));

    if (f>=30)&&(f<=150)
        y(1,1:lobes_per_sec(1))=14-
y_s_2(f+1,1:lobes_per_sec(1))+10*log10(Mi(angle_sbeam(1:lobes_per_sec(
1))));

    elseif (f>150)&&(f<=270)
        y(1,lobes_per_sec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2))=14-
y_s_2(f+1-
120,lobes_per_sec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2))+10*log10(Mi(
angle_sbeam(lobes_per_sec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2))));

    else
y(1,lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:
lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3))=14-y_s_2(f-
240+1,lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:
lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3))+
```

```

10*log10(Mi(angle_sbeam(lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:
lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3)))));
end

for i=2:length(b)
    f=round(ang(i));

    if (f>=30)&&(f<=150)
        k1=abs(90-f);
        y(1,(3*(i-1)+leng-2))=14-Attenuation_matrix(k1+1);
    elseif (f>150)&&(f<=270)
        k2=abs(210-f);
        y(1,(3*(i-1)+leng-1))=14-Attenuation_matrix(k2+1);
    else
        k3=abs(330-f);
        y(1,(3*(i-1)+leng))=14-Attenuation_matrix(k3+1);
    end
end
end

```

A.2.3 Υπολογισμός διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας

```

function [y_s]=beamforming_adaptive2(L,angle_sbeam,angle_steer1,Mi)
AS=5;
c=3*(10^8);
f=2*(10^9);
l=c/f;
k=(2*pi)/l;
d=0.5*l;
M=8;
s=zeros(M,L);
Sbeam=zeros(361,L);
y_s_2=zeros(361,L);
angle_steer=angle_steer1*pi/180;

for j=1:L
    for m=1:Mi(angle_sbeam(j))
        s(m,j)=exp(i*k*(m-1)*d*cos((angle_steer(j)))));
    end
end

e=eye(L);
w=e*pinv(s);

for beam=1:L
    for phi=1:361
        Sbeam(phi,beam)=0;
        for elem=1:Mi(angle_sbeam(j))
            phi_beam=(phi-1)*pi/180;
            Sbeam(phi,beam)=Sbeam(phi,beam)+(w(beam,elem)*exp(i*k*(elem-1)*d*cos(phi_beam)));
        end
    end
end

S1=abs(Sbeam);

```

```

for ks=1:L
    for is=1:361
        if ((is>150)|| (is<30))
            S1(is,ks)=0.01;
        end
    end
end
y_s=S1;

for m=1:L
    phi=linspace(1,361,361);
    Sk(phi)=(y_s(phi,m)).^2;
    att=10.^(min(12*((phi-90)/70).^2,20)/10);
    att = 1./att;
    f=Sk.*att;

    for angle=1:1:361
        laplacian=exp(-sqrt(2)*abs(phi-angle)/AS)/AS/sqrt(2);
        f1=f.*laplacian;
        y_s_2(angle,m)=int_simpson(f1,-180,180,180);
    end
end

y_s = -10*log10(y_s_2);

```

A.2.4 Έλεγχος ισχύος άνω ζεύξης

```

function
[Snew,Pnew,Inew,noise_rise_new,bupnew]=uplinkcontrol2(users,S,P,sec,to
talloss,bup,secs,SNRmin)
N=-103.2;
A=SNRmin;
margins=4;
us=users;
PN=10^(N/10);
bupnew=zeros(secs,secs);
afactor=zeros(users,secs);

for use=1:users
    bup=bupnew;
    afactor(use,:)=10^(-totalloss(use,sec(use))/10)./(10.^(-
totalloss(use,+)/10));
    bupnew(:,sec(use))=bup(:,sec(use))+afactor(use,+)';
    totalloss_current(1,use)=totalloss(use,sec(use));
end

w=PN*ones(secs,1);
q=eye(secs,secs)-bupnew*(A/(1+A));
Inew= (q^(-1))*w;
Sn=Inew*A/(1+A);
Snew=10*log10(Sn(sec(1,1:users)));

Pnew=Snew(:)-totalloss_current(1,+)'+margins*ones(us,1);
Pnew=Pnew';
total_loss=10.^(totalloss/10);
IN=(10.^(Pnew/10))*total_loss+PN;

```



```

Inew=10*log10(IN);
noise_rise_new=Inew-N;

```

A.2.5 Έλεγχος ισχύος κάτω ζεύξης

```

function [Psector,Pdown]=downlinkcontrol(users,sec,totalloss,secs,pRW)
D=-eye(secs,secs);
g=-ones(secs,1);
a=0.5;
N=-103.2;
PN=10^(N/10)/1000;
Dnew=D;
gnew=g;

for us=1:users
    m=sec(us);
    D=Dnew;
    g=gnew;

    for i=1:secs
        if i==m
            Dnew(m,i)=D(m,i)+pRW*(1-a);
        else
            Dnew(m,i)=D(m,i)+ pRW*(10^(-totalloss(us,m)/10))/(10^(-totalloss(us,i)/10));
        end
    end
    gnew(m)=g(m)-pRW*PN*(10^(-totalloss(us,m)/10));
end

Psector=(Dnew^(-1))*gnew;
sums=0;
sums=pRW*(10^(-totalloss(users,m)/10))./(10.^(-totalloss(users,:)/10))*Psector-pRW*Psector(m)*(10^(-totalloss(users,m)/10))/(10^(-totalloss(users,m)/10));

Pdown(users)=10*log10(pRW*(1-a)+ pRW*PN*(10^(-totalloss(users,m)/10))+sums);

```

A.2.6 Διαδικασία Βελτιστοποίησης (optimization)

```

function
[new_angle,Wi,Mi]=optimization2(angle_sbeam,angle_sbeam_2,angle_user,y_s,users_angles,userco,b,Attenuation_matrix,lobes_per_sec,lobes_of_sec,pathlossbeam,Psector,Wi,Mi,W,PG,Eb_No)
N=-103.2;
PN=10^(N/10)/1000;
RW=10^(-PG/10);
M=8;a=0.5;
rate=[];
angle_min=[30 150 270];angle_max=[150 270 390];

```

```

for lo=1:length(angle_sbeam)
    rate=[];
    usersbeam=[];
    usersbeam=find(users_angles==angle_sbeam(lo));
    angle_sbeam_2_current=angle_sbeam_2;
    if lo<=lobes_per_sec(1)
        min_angle(lo)=30;
        max_angle(lo)=150;
    elseif
        (lo<=lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(1))&&(lo>lobes_per_sec(1))
        min_angle(lo)=150;
        max_angle(lo)=270;
    else
        min_angle(lo)=270;
        max_angle(lo)=390;
    end

    if
        (length(usersbeam)<2)|| (lo<lobes_of_sec(1))|| (lo>lobes_of_sec(length(lobes_of_sec)))
        new_angle_temp=angle_sbeam(lo);
    else

        theta_min=min(angle_user(usersbeam));
        theta_max=max(angle_user(usersbeam));
        if lo<=lobes_per_sec(1)
            theta_min=theta_min;
            theta_max=theta_max;
        elseif
            (lo<=lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(1))&&(lo>lobes_per_sec(1))
            theta_min=theta_min-120;
            theta_max=theta_max-120;
        else
            theta_min=theta_min-240;
            theta_max=theta_max-240;
        end
        count=0;
        for theta=theta_min:1:theta_max

            y_s2=y_s;
            count=count+1;
            theta1(count)=theta;
            sum=0;
            sum3=0;

[y_s2(:,lo)]=beamforming_adaptive2(1,angle_sbeam,theta,Mi);

            attentemp=[];atten_temp=[];totallossstemp=[];
            for us=1:length(usersbeam)
                sum1=0;

            atten_temp=gain3(userco(usersbeam(us),1),userco(usersbeam(us),2),b,y_s
            2,Attenuation_matrix,Mi,lobes_per_sec,angle_sbeam);
                attentemp(usersbeam(us),:)=atten_temp;

            totallossstemp(usersbeam(us),:)=attentemp(usersbeam(us),:)-
            pathlossbeam(usersbeam(us),:);

```

```

        sum1=((10^(-
totallosstemp(usersbeam(us),lo)/10))./(10.^(-
totallosstemp(usersbeam(us),:)/10)))*Psector-Psector(lo);
        sum3=sum3+(10^(-Eb_No/10))*RW*(sum1+(10^(-
totallosstemp(usersbeam(us),lo)/10))*PN);

        end
        sum=1/(1-(1-a)*length(usersbeam)*(10^(-
Eb_No/10))*RW)*sum3;
        rate(count)=abs(sum);
    end

    [value,pos]=min(rate);
    new_angle_temp=thetal(pos);

    if lo<=lobes_per_sec(1)
        new_angle_temp=new_angle_temp;
    elseif
(lo<=lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(1))&&(lo>lobes_per_sec(1))
        new_angle_temp=new_angle_temp+120;
    else
        new_angle_temp=new_angle_temp+240;
    end

end

new_angle(lo)=new_angle_temp;
if lo<=lobes_per_sec(1)
    if abs(new_angle(lo)-angle_min(1))<round(Wi(angle_sbeam(lo))/2)
        new_angle(lo)=angle_min(1)+round(Wi(angle_sbeam(lo))/2);
    elseif abs(new_angle(lo)-
angle_max(1))<round(Wi(angle_sbeam(lo))/2)
        new_angle(lo)=angle_max(1)-round(Wi(angle_sbeam(lo))/2);
    end
elseif
(lo<=lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(1))&&(lo>lobes_per_sec(1))
    if abs(new_angle(lo)-angle_min(2))<round(Wi(angle_sbeam(lo))/2)
        new_angle(lo)=angle_min(2)+round(Wi(angle_sbeam(lo))/2);
    elseif abs(new_angle(lo)-
angle_max(2))<round(Wi(angle_sbeam(lo))/2)
        new_angle(lo)=angle_max(2)-round(Wi(angle_sbeam(lo))/2);
    end
else
    if abs(new_angle(lo)-
angle_min(3))<round(Wi(angle_sbeam(lo))/2)
        new_angle(lo)=angle_min(3)+round(Wi(angle_sbeam(lo))/2);
    elseif abs(new_angle(lo)-
angle_max(3))<round(Wi(angle_sbeam(lo))/2)
        new_angle(lo)=angle_max(3)-round(Wi(angle_sbeam(lo))/2);
    end
end
if new_angle(lo)~=angle_sbeam(lo)
    Wi(new_angle(lo))=Wi(angle_sbeam(lo));
    Wi(angle_sbeam(lo))=W;
    Mi(new_angle(lo))=Mi(angle_sbeam(lo));
    Mi(angle_sbeam(lo))=M;
end

if lo>1

```

```

        if (abs(new_angle(lo)-new_angle(lo-
1))<Wi(new_angle(lo))/2+Wi(new_angle(lo-
1))/2)&&((Wi(new_angle(lo))~=W)|| (Wi(new_angle(lo-1))~=W))
            if new_angle(lo-1)+round(Wi(new_angle(lo-
1))/2)+round(Wi(new_angle(lo))/2)<=max_angle(lo)-
round(Wi(new_angle(lo))/2)
                new_angle_temp=new_angle(lo-1)+round(Wi(new_angle(lo-
1))/2)+round(Wi(new_angle(lo))/2);
                Wi_temp=Wi(new_angle(lo));
                Mi_temp=Mi(new_angle(lo));
                Wi(new_angle(lo))=W;
                Mi(new_angle(lo))=M;
                new_angle(lo)=new_angle_temp;
                Wi(new_angle(lo))=Wi_temp;
                Mi(new_angle(lo))=Mi_temp;
            elseif (new_angle(lo)-round(Wi(new_angle(lo-1))/2)-
round(Wi(new_angle(lo))/2)>=min_angle(lo-1)+round(Wi(new_angle(lo-
1))/2))
                new_angle_temp=new_angle(lo)-round(Wi(new_angle(lo-
1))/2)-round(Wi(new_angle(lo))/2);
                Wi_temp=Wi(new_angle(lo-1));
                Mi_temp=Mi(new_angle(lo-1));
                Wi(new_angle(lo-1))=W;
                Mi(new_angle(lo-1))=M;
                new_angle(lo-1)=new_angle_temp;
                Wi(new_angle(lo-1))=Wi_temp;
                Mi(new_angle(lo-1))=Mi_temp;
            end
        end
    end
end

end

for i=length(new_angle):-1:1
    if (new_angle(i)>390-round(W/2))|| (new_angle(i)<30-
round(W/2))|| (new_angle(i)==150)|| (new_angle(i)==270)
        Wi(new_angle(i))=W;
        Mi(new_angle(i))=M;
        new_angle(i)=[];
    end
end
end

```

A.2.7 Διαγραφή χρηστών που δεν ανήκουν σε λοβό του συστήματος

```

function
[current, angle_user, userco, userpathloss, userservstation, sec, sbeam, user
s_angles, S, P, Snew, Pnew, service]
=deleteusers(current, angle_user, userco, userpathloss, userservstation, se
c, sbeam, users_angles, S, P, Snew, Pnew, service)

del_users=find((userservstation==1)&(sbeam'==0));
del=length(del_users);
angle_user(del_users)=[];
userco(del_users,:)=[];
userpathloss(del_users,:)=[];
userservstation(del_users)=[];

```

```

sec(del_users)=[];
sbeam(del_users)=[];
users_angles(del_users)=[];
service(del_users)=[];
S(del_users)=[];P(del_users)=[];Snew(del_users)=[];Pnew(del_users)=[];

current=current-del;

```

A.2.8 Σύστημα προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών στην κεντρική κυψέλη, για ανομοιόμορφη κατανομή χρηστών και με κριτήριο τερματισμού για ένα sector

```

function y=simulation(input_matrix)
scenario=input_matrix(1);
loading_factor=input_matrix(2);
t=input_matrix(3);
hotspot=input_matrix(4);

rand('state',sum(100*clock));
randn('state',sum(100*clock));

AS=5;sigma=8;
D=120/7;W=D;
Ws(1:28)=[0.25*D:0.25*D:7*D];
x0=0;y0=0;
[Rcov,max_pathloss]=link_budget(12.2);
[b,R]=cell_array(Rcov,t,x0,y0);
y=zeros(11,28);
N_points=1000;
phi=linspace(-180,180,2*N_points+1);
secgain=10.^(min(12*(phi/70).^2,20)/10);

for angle=0:1:60
    laplacian=exp(-sqrt(2)*abs(phi-angle)/AS)/AS/sqrt(2);
    f=secgain.*laplacian;
    Attenuation_matrix(angle+1)=10*log10(int_simpson(f,-
180,180,N_points));
end

for ITER=1:28
    W_hotspot=Ws(ITER);
    thetal=[randsrc(1,1,(30):(150-W_hotspot)) randsrc(1,1,(150):(270-
W_hotspot)) randsrc(1,1,(270):(390-W_hotspot))];
    N=-103.2;PN=10^(N/10);
    noise_rise_thres=10*log10(1/(1-loading_factor));
    margins=4;
    M=8;L=7;
    accept=0;
    current=0;
    current_centralcell=0;

current_centralcell_122=0;current_centralcell_144=0;current_centralcel
l_384=0;
    current_122=0;current_144=0;current_384=0;
    number_central_users=0;

```

```

flag5=1;del=0;
lobes_per_sec=[0 0 0];
create=0;
sbeam=[];sec=[];
user_co=[];user_pathloss=[];user_servstation=[];angle_user=[];

userco=[];userpathloss=[];userservstation=[];seclobe=[];atten=[];total
loss=[];
y_s_2=zeros(361,18);y_s_new=-10*log10(y_s_2);
new_angle=[];
flag1=1;flag2=1;flag3=1;flag4=1;flag5=1;
Wi(1:391)=W;Mi(1:400)=M;
angle_min=[30 150 270];angle_max=[150 270 390];
Pnew=[];Snew=[];service=[];temp_service=[];

while flag5==1
    P=Pnew;S=Snew;
    angle_sbeam=sort(new_angle);
    temp_lobes=angle_sbeam;
    temp_service=service;
    tempP=P;tempS=S;
    temp_seclobe=seclobe;
    y_s_2=y_s_new;
    temp_ys=y_s_2;
    temp_atten=atten;
    temp_totalloss=totalloss;
    Wi_temp=Wi;
    Mi_temp=Mi;
    flag1=1;flag2=1;flag3=1;flag4=1;
    current=current+1;
    current_temp=current;
    total_loss=[];pathlossbeam=[];
    [user_co,user_pathloss,user_servstation]
=put_user_random_sector(R,t,sigma,b,max_pathloss,W_hotspot,hotspot,the
tal);
    xi=user_co(1);yi=user_co(2);
    a=user_co;
    c=user_pathloss;
    d=user_servstation;
    e=sector(xi,yi,b,d);
    temp_userco=userco;
    userco(current,:)=a(1,:);
    temp_userpathloss=userpathloss;
    userpathloss(current,:)=c;
    temp_userservstation=userservstation;
    userservstation(current)=d;
    temp_sec=sec;
    sec(current)=e;
    temp_sec=sec;

    prob=rand;
    if scenario==1
        PG=25;
        Eb_No=[5.1 5.6];
        Pmax=21;
        serv=1;
    elseif scenario==2
        PG=14.3;
        Eb_No=[0.8 2.2];
        Pmax=24;
        serv=2;

```

```

elseif scenario==3
    if prob<=0.7
        PG=25;
        Eb_No=[5.1 5.6];
        Pmax=21;
        serv=1;
    else
        PG=14.3;
        Eb_No=[0.8 2.2];
        Pmax=24;
        serv=2;
    end
elseif scenario==4
    if prob<=0.6
        PG=25;
        Eb_No=[5.1 5.6];
        Pmax=21;
        serv=1;
    elseif (prob>0.6)&&(prob<=0.9)
        PG=14.3;
        Eb_No=[0.8 2.2];
        Pmax=24;
        serv=2;
    else
        PG=10;
        Eb_No=[0.9 2.1];
        Pmax=24;
        serv=3;
    end
end
service(current)=serv;
SNRmin=10^(-(PG-Eb_No(1))/10);
RW=10^(-PG/10);
pii=10^(Eb_No(2)/10);
pRW=pii*RW;

beam_insert=0;create=0;lobes=[];insert_user=0;
noise_rise=[];noise_rise_new=[];stop=0;
Psector_opt=[];
if(d==1)
    number_central_users=number_central_users+1;
end

xd=xi-b(d,1);yd=yi-b(d,2);
w=atan2(yd,xd);t=w*(180/pi);z=round(t);
if z>=30
    theta=z;
elseif (z<0)
    theta=z+360;
    if (theta<30)&&(theta>=0)
        theta=theta+360;
    end
elseif (z<30)&&(z>=0)
    theta=z+360;
end
if (theta==150)|| (theta==270)
    theta=theta-1;
end
temp_angle_user=angle_user;
angle_user(current)=round(theta);
for i=1:3

```

```

        lobes_per_sec(i)=length(find(angle_sbeam>=angle_min(i)
&angle_sbeam<=angle_max(i)));
    end

    if d==1
        angle_lobe=angle_sbeam(find(angle_sbeam>=angle_min(e)
&angle_sbeam<=angle_max(e)));
        beam_insert=length(find(abs(angle_user(current)-
angle_sbeam)<=round(Wi(angle_sbeam)/2)));
        if beam_insert>0
            insert_user=1;
            ang=find(abs(angle_user(current)-
angle_sbeam)<=round(Wi(angle_sbeam)/2));
            if length(ang)==1
                users_angles(current)=angle_sbeam(ang);
            else
                users_angles(current)=angle_sbeam(ang(length(ang)));
            end

        elseif beam_insert==0
            if lobes_per_sec(e)==0
                if abs(angle_user(current)-angle_min(e))<W/2
                    angle_lobe_temp=angle_min(e)+round(W/2);
                    create=1;
                elseif abs(angle_user(current)-angle_max(e))<W/2
                    angle_lobe_temp=angle_max(e)-round(W/2);
                    create=1;
                else
                    angle_lobe_temp=angle_user(current);
                    create=1;
                end

            elseif lobes_per_sec(e)>0
                lobes=find(angle_lobe>angle_user(current));
                if length(lobes)==0
                    if (abs(angle_user(current)-
angle_max(e))<W/2)&&(abs(angle_max(e)-W/2-
angle_lobe(length(angle_lobe)))>W/2+Wi(angle_lobe(length(angle_lobe))
/2)
                        angle_lobe_temp=angle_max(e)-round(W/2);
                        create=1;
                    elseif (abs(angle_user(current)-
angle_lobe(length(angle_lobe)))<W/2+Wi(angle_lobe(length(angle_lobe))
/2)&&(abs(angle_lobe(length(angle_lobe))+W/2+Wi(angle_lobe(length(angl
e_lobe)))/2-angle_max(e))>W/2+Wi(angle_lobe(length(angle_lobe)))/2)
                        angle_lobe_temp=angle_lobe(length(angle_lobe))+round(W);
                        create=1;
                    elseif (abs(angle_user(current)-
angle_lobe(length(angle_lobe)))>W/2+Wi(angle_lobe(length(angle_lobe))
/2)&&(abs(angle_user(current)-angle_max(e))>W/2)
                        angle_lobe_temp=angle_user(current);
                        create=1;
                    end
                elseif lobes(1)==1
                    if (abs(angle_user(current)-
angle_min(e))<W/2)&&(abs(angle_min(e)+W/2-
angle_lobe(1))>W/2+Wi(angle_lobe(1))/2)
                        angle_lobe_temp=angle_min(e)+round(W/2);
                        create=1;
                    end
                end
            end
        end
    end

```



```

        elseif (abs(angle_user(current)-
angle_lobe(1))<W/2+Wi(angle_lobe(1))/2)&&(abs(angle_lobe(1)-
W/2+Wi(angle_lobe(1))/2-angle_min(e))>W/2+Wi(angle_lobe(1))/2)
            angle_lobe_temp=angle_lobe(1)-round(W);
            create=1;
        elseif (abs(angle_user(current)-
angle_lobe(1))>W/2+Wi(angle_lobe(1))/2)&&(abs(angle_user(current)-
angle_min(e))>W/2)
            angle_lobe_temp=angle_user(current);
            create=1;
        end
    else
        if abs(angle_user(current)-angle_max(e))<W/2
            angle_lobe_temp=angle_max(e)-round(W/2);
            create=1;
        elseif abs(angle_user(current)-angle_min(e))<W/2
            angle_lobe_temp=angle_min(e)+round(W/2);
            create=1;
        elseif (abs(angle_user(current)-angle_lobe(lobes(1)-
1))<W/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)-1))/2)&&(abs(angle_lobe(lobes(1)-
1)+Wi(angle_lobe(lobes(1)-1))/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)))/2-
angle_lobe(lobes(1))>Wi(angle_lobe(lobes(1)-
1))/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)))/2)
            angle_lobe_temp=angle_lobe(lobes(1)-
1)+round(W/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)-1))/2);
            create=1;
        elseif (abs(angle_user(current)-
angle_lobe(lobes(1)))<W/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)))/2)&&(abs(angle_lobe
(lobes(1))-Wi(angle_lobe(lobes(1)-1))/2-Wi(angle_lobe(lobes(1)))/2-
angle_lobe(lobes(1)-1))>Wi(angle_lobe(lobes(1)-
1))/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)))/2)
            angle_lobe_temp=angle_lobe(lobes(1))-
round(W/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)))/2);
            create=1;
        elseif (abs(angle_user(current)-
angle_lobe(lobes(1)))>W/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)))/2)&&(abs(angle_user
(current)-angle_lobe(lobes(1)-1))>W/2+Wi(angle_lobe(lobes(1)-1))/2)
            angle_lobe_temp=angle_user(current);
            create=1;
        end
    end
end

if create==1
    leng=length(angle_sbeam);
    users_angles(current)=angle_lobe_temp;
    angle_sbeam(leng+1)=angle_lobe_temp;
    angle_sbeam=sort(angle_sbeam);
    insert_user=1;
else
    insert_user=0;
end

end

else sbeam(current)=0;
    users_angles(current)=400;
    insert_user=1;
end

```

```

    if (insert_user==0)
        current=current-1;
    else

[sbeam,users_angles]=sec_beam2(current,angle_user,angle_sbeam,userserv
station,Wi);

        angle_sbeam_2=angle_sbeam;

angle_sbeam_2(find(angle_sbeam>150&angle_sbeam<=270))=angle_sbeam(find
(angle_sbeam>150&angle_sbeam<=270))-120;

angle_sbeam_2(find(angle_sbeam>270&angle_sbeam<390))=angle_sbeam(find(
angle_sbeam>270&angle_sbeam<390))-240;

[current,angle_user,userco,userpathloss,userservstation,sec,sbeam,user
s_angles,S,P,service,seclobe,atten,totalloss]
=deleteusers2(current,angle_user,userco,userpathloss,userservstation,s
ec,sbeam,users_angles,S,P,service,seclobe,atten,totalloss);
    for i=1:3
        lobes_per_sec(i)=length(find(angle_sbeam>=angle_min(i)
&angle_sbeam<=angle_max(i)));
    end
    pathlossbeam=newpathloss(current,userpathloss,lobes_per_sec);
    secs=18+length(angle_sbeam);

    if (d==1)&&(create==1)
        y_s_2=zeros(361,18);y_s_2=-10*log10(y_s_2);
        seclobe=[];atten=[];totalloss=[];us_central=[];us_noncentral=[];

[y_s_2(:,1:lobes_per_sec(1))]=beamforming_adaptive2(lobes_per_sec(1),a
ngle_sbeam,angle_sbeam_2(1:lobes_per_sec(1)),Mi);

[y_s_2(:,lobes_per_sec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2))]=beamfo
rming_adaptive2(lobes_per_sec(2),angle_sbeam,angle_sbeam_2(lobes_per_s
ec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)),Mi);

[y_s_2(:,lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_pe
r_sec(2)+lobes_per_sec(3))]=beamforming_adaptive2(lobes_per_sec(3),ang
le_sbeam,angle_sbeam_2(lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:lobes_per_s
ec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3)),Mi);

        us_central=find(userservstation==1);
        seclobe(us_central)=sbeam(us_central);
        us_noncentral=find(userservstation~=1);
        seclobe(us_noncentral)=length(angle_sbeam)+sec(us_noncentral)-
3;

    for i=1:current

Atten=gain3(userco(i,1),userco(i,2),b,y_s_2,Attenuation_matrix,Mi,lobe
s_per_sec,angle_sbeam);
        atten(i,:)=Atten;
        totalloss(i,:)=atten(i,:)-pathlossbeam(i,:);
    end
else

```

```

        if d==1
            seclobe(current)=sbeam(current);
        else
            seclobe(current)=length(angle_sbeam)+sec(current)-3;
        end

Atten=gain3(userco(current,1),userco(current,2),b,y_s_2,Attenuation_ma
trix,Mi,lobes_per_sec,angle_sbeam);
    atten(current,:)=Atten;
    totalloss(current,:)=atten(current,:)-
pathlossbeam(current,:);
    end

total_loss=10.^(totalloss/10);
wi=seclobe(current);

if (current==1)
    Inew=N;
    I=Inew;
else
    r=(10.^(P/10))*total_loss(1:current-1,:)+PN;
    IW=r(wi);
    I=10*log10(IW);
end

S(current)=Eb_No(1)-PG+I;
P(current)=S(current)-totalloss(current,wi)+margins;

w=(10.^(P/10))*total_loss+PN;
Isectors=10*log10(w);
noise_rise=Isectors-N;

    if (P(current)<Pmax)
        flag1=1;
        if (sum(noise_rise>=noise_rise_thres)>0)
            flag1=0;
        end
    end

bupnew=zeros(secs,secs);

if (P(current)<Pmax)
    flag1=1;
    if (sum(noise_rise>=noise_rise_thres)>0)
        flag1=0;
    end
end

if (current==1)
    Snew(current)=S(current);
    Pnew(current)=P(current);
    flag2=1;

```

```

else
    bup=bupnew;

[Snew,Pnew,Inew,noise_rise_new,bupnew]=uplinkcontrol2(current,S,P,seclobe,totalloss,bup,secs,SNRmin);
    if sum(Pnew<21)==0
        flag2=1;
    end

    if (sum(noise_rise_new>=noise_rise_thres)>0)
        flag3=0;
    end
end

[Psector,Pdown]=downlinkcontrol(current,seclobe,totalloss,secs,pRW);
new_angle=angle_sbeam;
Ptotal=sum(abs(Psector(1:length(new_angle)))));
lobes_of_sec=[];
if d==1
    lobes_of_sec=find(angle_sbeam>=angle_min(e)
&angle_sbeam<=angle_max(e));
end

if sum(Psector>5.66)>0
    flag4=0;
end

if(current==1)
    new_angle=angle_sbeam;
    y_s_new=y_s_2;
    flag5=1;
else
    if ([flag1 flag2 flag3 flag4]==[1 1 1 1])
        if d==1
            iter=0;
            stop=0;
            while (stop==0)
                if length(angle_sbeam)==0
                    stop=1;
                else
                    iter=iter+1;
                    angle_sbeam=new_angle;
                end
            end
        end
    end

[new_angle,Wi,Mi]=optimization2(angle_sbeam,angle_sbeam_2,angle_user,y_s_2,users_angles,userco,b,Attenuation_matrix,lobes_per_sec,lobes_of_sec,pathlossbeam,Psector,Wi,Mi,W,PG,Eb_No(2));
    proc=0;
    if length(new_angle)>1
        i=0;
        while (i<(length(new_angle)-1) )&&(proc==0)
            i=i+1;
            if abs(new_angle(i+1)-
new_angle(i))<Wi(new_angle(i+1))/2+Wi(new_angle(i))/2
                if
Wi(new_angle(i+1))==Wi(new_angle(i))&&(Wi(new_angle(i))==W)
                    proc=1;
                end
            else
                proc=0;
            end
        end
    end
end

```

```

                                end

                                end
                                end

                                if proc==1
                                    new_angle_temp=round((new_angle(i+1)+new_angle(i))/2);
                                    angle_sbeam_2=[];
                                    atten=[];pathlossbeam=[];totalloss=[];total_loss;

noise_rise=[];noise_rise_new=[];seclobe=[];Isectors=[];sbeam=[];users_
angles=[];us_central=[];us_noncentral=[];
                                    new_angle(i+1)=[];
                                    new_angle(i)=[];
                                    new_angle(length(new_angle)+1)=new_angle_temp;
                                    Wi(new_angle_temp)=2*W;
                                    Mi(new_angle_temp)=M/2;
                                    new_angle=sort(new_angle);

[sbeam,users_angles]=sec_beam2(current,angle_user,new_angle,userservst
ation,Wi);
                                    angle_sbeam_2=new_angle;

angle_sbeam_2(find(new_angle>150&new_angle<=270))=new_angle(find(new_a
ngle>150&new_angle<=270))-120;

angle_sbeam_2(find(new_angle>270&new_angle<390))=new_angle(find(new_an
gle>270&new_angle<390))-240;

[current,angle_user,userco,userpathloss,userservstation,sec,sbeam,user
s_angles,S,P,Snew,Pnew,service]
=deleteusers(current,angle_user,userco,userpathloss,userservstation,se
c,sbeam,users_angles,S,P,Snew,Pnew,service);
                                for sc=1:3

lobes_per_sec(sc)=length(find(new_angle>=angle_min(sc)
&new_angle<=angle_max(sc)));
                                end
                                y_s_new=[];

[y_s_new(:,1:lobes_per_sec(1))]=beamforming_adaptive2(lobes_per_sec(1)
,new_angle,angle_sbeam_2(1:lobes_per_sec(1)),Mi);

[y_s_new(:,lobes_per_sec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2))]=beam
forming_adaptive2(lobes_per_sec(2),new_angle,angle_sbeam_2(lobes_per_s
ec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)),Mi);

[y_s_new(:,lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_
per_sec(2)+lobes_per_sec(3))]=beamforming_adaptive2(lobes_per_sec(3),n
ew_angle,angle_sbeam_2(lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:lobes_per_s
ec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3)),Mi);

                                us_central=find(userservstation==1);
                                seclobe(us_central)=sbeam(us_central);
                                us_noncentral=find(userservstation~=1);

seclobe(us_noncentral)=lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec
(3)+sec(us_noncentral)-3;

```

```

        for i=1:current

Atten=gain3(userco(i,1),userco(i,2),b,y_s_new,Attenuation_matrix,Mi,lobes_per_sec,new_angle);
        atten(i,:)=Atten;
        end

secs=18+lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3);

pathlossbeam=newpathloss(current,userpathloss,lobes_per_sec);
P=[];S=[];
for i=1:current
    totalloss(i,:)=atten(i,)-pathlossbeam(i,:);
    total_loss=10.^(totalloss/10);
    if (i==1)
        Inew=N;
        I=Inew;
    else
        r=(10.^(P/10))*total_loss(1:i-1,)+PN;
        IW=r(wi);
        I=10*log10(IW);
    end
    S(i)=Eb_No(1)-PG+I;
    P(i)=S(i)-totalloss(i,seclobe(i))+margins;
end

loss=(10.^(P/10))*total_loss+PN;
Isectors=10*log10(loss);
noise_rise=Isectors-N;

sec2W=find(new_angle==new_angle_temp);

if (new_angle_temp<=150)&&(new_angle_temp>=30)
    theta_min=30;
    theta_max=150;
elseif (new_angle_temp<=270)&&(new_angle_temp>150)
    theta_min=150;
    theta_max=270;
else
    theta_min=270;
    theta_max=360;
end

if noise_rise(sec2W)>=0.99*noise_rise_thres
    Wi(new_angle_temp)=W;
    Mi(new_angle_temp)=M;
    if (sum(abs(new_angle_temp-3*W/2-
new_angle)<3*W/2)==0)&&(new_angle_temp-3*W/2>theta_min+round(W))

new_angle(length(new_angle)+1)=round(new_angle_temp-3*W/2);
    Wi(round(new_angle_temp-3*W/2))=2*W;
    Mi(round(new_angle_temp-3*W/2))=M/2;
    end
    if (sum(abs(new_angle_temp+3*W/2-
new_angle)<3*W/2)==0)&&(new_angle_temp+3*W/2<theta_max-round(W))

new_angle(length(new_angle)+1)=round(new_angle_temp+3*W/2);
    Wi(round(new_angle_temp+3*W/2))=2*W;
    Mi(round(new_angle_temp+3*W/2))=M/2;
    end
end

```

```

        new_angle=sort(new_angle);

        end
    end

    new_angle_iter=new_angle;
    for sc=1:3
        lobes_per_sec(sc)=length(find(new_angle>=angle_min(sc)
&new_angle<=angle_max(sc)));
    end

[sbeam,users_angles]=sec_beam2(current,angle_user,new_angle,userservst
ation,Wi);

    angle_sbeam_2=new_angle;

angle_sbeam_2(find(new_angle>150&new_angle<=270))=new_angle(find(new_a
ngle>150&new_angle<=270))-120;

angle_sbeam_2(find(new_angle>270&new_angle<390))=new_angle(find(new_an
gle>270&new_angle<390))-240;

[current,angle_user,userco,userpathloss,userservstation,sec,sbeam,user
s_angles,S,P,Snew,Pnew,service]
=deleteusers(current,angle_user,userco,userpathloss,userservstation,se
c,sbeam,users_angles,S,P,Snew,Pnew,service);
    y_s_new=[];

[y_s_new(:,1:lobes_per_sec(1))]=beamforming_adaptive2(lobes_per_sec(1)
,new_angle,angle_sbeam_2(1:lobes_per_sec(1)),Mi);

[y_s_new(:,lobes_per_sec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2))]=beam
forming_adaptive2(lobes_per_sec(2),new_angle,angle_sbeam_2(lobes_per_s
ec(1)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)),Mi);

[y_s_new(:,lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:lobes_per_sec(1)+lobes_
per_sec(2)+lobes_per_sec(3))]=beamforming_adaptive2(lobes_per_sec(3),n
ew_angle,angle_sbeam_2(lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+1:lobes_per_s
ec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3)),Mi);

    atten=[];pathlossbeam=[];totalloss=[];total_loss;
noise_rise=[];seclobe=[];Isectors=[];us_central=[];us_noncentral=[];
    us_central=find(userservstation==1);
    seclobe(us_central)=sbeam(us_central);
    us_noncentral=find(userservstation~=1);

seclobe(us_noncentral)=lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec
(3)+sec(us_noncentral)-3;

    for i=1:current
Atten=gain3(userco(i,1),userco(i,2),b,y_s_new,Attenuation_matrix,Mi,lo
bes_per_sec,new_angle);
        atten(i,:)=Atten;
    end

secs=18+lobes_per_sec(1)+lobes_per_sec(2)+lobes_per_sec(3);

pathlossbeam=newpathloss(current,userpathloss,lobes_per_sec);

```

```

P=[];S=[];
for i=1:current
    totalloss(i,:)=atten(i,:)-pathlossbeam(i,:);
    total_loss=10.^(totalloss/10);
    if (i==1)
        Inew=N;
        I=Inew;
    else
        r=(10.^(P/10))*total_loss(1:i-1,:)+PN;
        IW=r(wi);
        I=10*log10(IW);
    end
    S(i)=Eb_No(1)-PG+I;
    P(i)=S(i)-totalloss(i,seclobe(i))+margins;
end

bup=zeros(secs,secs);

[Snew,Pnew,Inew,noise_rise_new,bupnew]=uplinkcontrol2(current,S,P,seclobe,totalloss,bup,secs,SNRmin);

[Psector,Pdown]=downlinkcontrol(current,seclobe,totalloss,secs,pRW);
Ptotal=sum(abs(Psector(1:length(new_angle))));

    if length(angle_sbeam)~=length(new_angle_iter)
        stop=1;
    else
        Psector_opt(:,iter)=Psector;
        if (iter>1)&(sum(abs(Psector_opt(:,iter)-
Psector_opt(:,iter-1)))/Psector_opt(:,iter-1)>10^(-3))==0)
            stop=1;
        end
        if iter==10
            stop=1;
        end
    end
end
end

else
    new_angle=angle_sbeam;
    y_s_new=y_s_2;
end

flag5=1;
if (sum(noise_rise_new>=noise_rise_thres)==0)
    q=sum(noise_rise_new>=0.98*noise_rise_thres);
    if q>0
        flag5=0;
    end

else
    current=current_temp-1;
    new_angle=temp_lobes;
    userco=temp_userco;
    userpathloss=temp_userpathloss;
    userservstation=temp_userservstation;
    sec=temp_sec;
    angle_sbeam=new_angle;

```



```

        service=temp_service;
        Pnew=tempP;
        Snew=tempS;
        seclobe=temp_seclobe;
        y_s_new=temp_ys;
        atten=temp_atten;
        totalloss=temp_totalloss;
        Wi=Wi_temp;
        Mi=Mi_temp;
        del=del+1;
        if del==100
            flag5=0;
        end
    end
end

else
    angle_user(current)=[];
    current=current_temp-1;
    new_angle=temp_lobes;
    userco=temp_userco;
    userpathloss=temp_userpathloss;
    userservstation=temp_userservstation;
    sec=temp_sec;
    angle_sbeam=new_angle;
    service=temp_service;
    Pnew=tempP;
    Snew=tempS;
    seclobe=temp_seclobe;
    y_s_new=temp_ys;
    atten=temp_atten;
    totalloss=temp_totalloss;
    Wi=Wi_temp;
    Mi=Mi_temp;
    del=del+1;
    if del==100
        flag5=0;
    end
end
end
end
end

while length(sec)~=length(service)
    if length(sec)>length(service)
        sec(length(sec))=[];
    elseif length(sec)<length(service)
        service(length(service))=[];
    end
end

current_122=length(find(service==1));
current_144=length(find(service==2));
current_384=length(find(service==3));
current_centralcell=length(find((sec==2)|(sec==1)|(sec==3)));
current_centralcell_122=length(find(((sec==2)|(sec==1)|(sec==3))&(service==1)));
current_centralcell_144=length(find(((sec==2)|(sec==1)|(sec==3))&(service==2)));
current_centralcell_384=length(find(((sec==2)|(sec==1)|(sec==3))&(service==3)));

```

```
y(1,ITER)=current; y(2,ITER)=current_122; y(3,ITER)=current_144;  
y(4,ITER)=current_384;  
y(5,ITER)=current_centralcell; y(6,ITER)=current_centralcell_122;  
y(7,ITER)=current_centralcell_144; y(8,ITER)=current_centralcell_384;  
y(9,ITER)=(1-current_centralcell/number_central_users)*100;  
y(10,ITER)=length(new_angle);  
y(11,ITER)=Ptotal;
```

end

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: H.Holma and A.Toskala, 'WCDMA for UMTS', John Wiley & Sons, 2000
- [2]: Σιωζοπούλου Ε. Θεοδώρα, 'Μελέτη και προσομοίωση προχωρημένων συστημάτων WCDMA', Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Οκτώβριος 2006
- [3]: Εμμανουήλ Σταύρου Τσαχάκης, 'Εξυπνες κεραιές για το σύστημα τρίτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας WCDMA', Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Μάρτιος 2004
- [4]: Χ. Καψάλης και Π. Κωττής, 'Κεραιές-Ασύρματες Ζεύξεις', Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Ιούνιος 1999
- [5]: P. Gkonis, G. Tsoulos and D. Kaklamani, 'An Adaptive Admission Control Strategy for WCDMA Multicellular Networks with non-uniform Traffic', VTC Fall 2007
- [6]: L.C. Godara, 'Application of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction-of-Arrival Considerations', proc. of IEEE, August 1997
- [7]: Andrea Goldsmith, 'Wireless Communications', Stanford University, 2005