

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ
ΔΙΚΤΥΑ**

**ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΣΔΕΣΗΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ
ΣΕ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΑΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια: Ολυμπία Σιβίλογλου

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Άγγελος Ρούσκας

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στις Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα.

Πειραιάς, Ιούλιος 2013

**UNIVERSITY OF PIRAEUS
DEPARTMENT OF DIGITAL SYSTEMS**



**MASTER PROGRAM IN DIGITAL COMMUNICATIONS
AND NETWORKS**

**MASTER TITLE: ALGORITHMS FOR MOBILE
STATIONS ASSOCIATION IN COOPERATIVE RELAY
NETWORKS**

Author's Name: Olympia Siviloglou

Supervisor: Associate Professor Angelos Rouskas

Master Thesis submitted to the Department Digital Systems of the University of Piraeus in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master Program in Digital Systems And Networks.

Piraeus, Greece, July 2013

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη μελέτη αλγορίθμων πρόσδεσης των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών με κόμβους αναμετάδοσης. Το σύστημα που μελετούμε αφορά μία κυψέλη με έναν σταθμό βάσης, έναν αριθμό αναμεταδοτών τοποθετημένους στα άκρα της κυψέλης και έναν αριθμό κινητών τερματικών ομοιόμορφα κατανομημένων στην κυψέλη. Η ανεύρεση της βέλτιστης λύσης σύνδεσης των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους αποτελεί ένα NP Hard πρόβλημα. Στην παρούσα εργασία προτείνεται και μελετάται ένας ευριστικός, συνεργατικός αλγόριθμος σύνδεσης των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Και συγκρίνεται με τρεις άλλους ευριστικούς, συμβατικούς αλγόριθμους σύνδεσης.

Στον ευριστικό συνεργατικό αλγόριθμο τα κινητά τερματικά συνδέονται σε εκείνον τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο από τον οποίο αποσπών τους λιγότερους ραδιοπόρους. Στον πρώτο συμβατικό αλγόριθμο τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον κόμβο με την χαμηλότερη ισχύ εξυπηρέτησης, στον δεύτερο συμβατικό αλγόριθμο τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον κόμβο με την υψηλότερη ισχύ εξυπηρέτησης, ενώ τέλος στον τρίτο συμβατικό αλγόριθμο τα κινητά τερματικά συνδέονται τυχαία στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους.

Έγινε σύγκριση του συνεργατικού αλγορίθμου με τους τρεις συμβατικούς αλγορίθμους ως προς την πιθανότητα φραγής κλήσεως και ως προς την χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων για διαφορετικό πλήθος αναμεταδοτών και για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ του σταθμού βάσης και των αναμεταδοτών. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνεται ότι ο συνεργατικός αλγόριθμος είναι συνολικά ο καλύτερος.

Abstract

The scope of this thesis is the investigation of algorithms that associate mobile stations to the telecommunication nodes in a cooperative relay network. Our system consists of a single base station, a number of relay nodes at the cell edge and a number of mobile stations uniformly distributed in the cell area. The search of the optimal solution that associates the mobile stations to the most appropriate node in a cooperative relay network is a NP Hard problem. We propose a heuristic cooperative algorithm to determine how the mobile stations should associate to the base station or relay nodes and compare it against three other conventional algorithms.

The cooperative algorithm associates mobile stations with the node that consumes the least radio resources. The first conventional algorithm associate mobile stations with nodes that consume the least power, while the second conventional algorithm associates mobile stations with nodes that consume the most power. The third conventional algorithm associates mobile stations with nodes in a random manner.

We compare the proposer cooperative algorithm against the other three conventional in terms of blocking probability and resource usage for different number of relay nodes and for different distances between the base station and the relay nodes. The simulation results show that cooperative algorithm behaves overall better than the other three algorithm.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Άγγελο Ρούσκα, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος των Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιά. Τον ευχαριστώ θερμά για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση του καθώς και για τον προσωπικό χρόνο, που αφιέρωσε για την διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Εισαγωγή.....	1-3
2 Τύποι Αναμεταδοτών.....	4-7
2.1 Αναμεταδότης Επιπέδου1.....	5
2.2 Αναμεταδότης επιπέδου 2.....	5-6
2.3 Αναμεταδότης Επιπέδου3.....	6-7
3 Ετερογενή Δίκτυα.....	8-17
3.1 Τοπολογία.....	8-11
3.2 Ετερογενή δίκτυα με αναμεταδότες.....	11-17
3.2.1 Τεχνικές αναμετάδοσης.....	11-12
3.2.2 Συμβατική σύνδεση κινητών τερματικών.....	12-13
3.2.3 Συνεργατική αναμετάδοση.....	14
3.2.4 Σύγκριση Συνεργατικής vs Συμβατικής Αναμετάδοσης.....	15-17
4 Σύνδεση κινητών τερματικών και εξισορρόπηση φορτίου σε ένα συνεργατικό δίκτυο με αναμεταδότες.....	18-20
5 Βέλτιστη σύνδεση κινητών τερματικών και εξισορρόπηση φορτίου Σε ένα συνεργατικό δίκτυο με αναμεταδότες.....	21-26
6 Αλγόριθμοι για τη βέλτιστη σύνδεση κινητών τερματικών.....	27-45
6.1 ΠεριγραφήΕυριστικούΑλγορίθμου.....	27-33
6.2 Σύνδεση στον κόμβο με τις μικρότερες απώλειες διαδρομής.....	33-37
6.3 Σύνδεση στον κόμβο με την υψηλότερη ισχύ.....	38-41
6.4 Σύνδεση σε κόμβο με τυχαίο τρόπο.....	42-45
7 Μοντέλο Προσομοίωσης και Αποτελέσματα.....	46-65
7.1 Περιγραφή μοντέλου συστήματος.....	46-50
7.2 Περιβάλλον προσομοίωσης.....	51-52
7.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης- Γραφήματα.....	53-65
8 Συμπεράσματα.....	66-67
9 Μελλοντική Έρευνα.....	68
10 Βιβλιογραφία.....	69-70

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εξαιτίας των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων για υψηλότερο ρυθμό πρόσβασης και μετάδοσης δεδομένων καθώς και για καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) στα ασύρματα δίκτυα, το Third Generation Partnership Project (3GPP) καθιέρωσε την Long Term Evolution (LTE) τυποποίηση η οποία και ολοκληρώθηκε στο τέλος του έτους 2007. Μετέπειτα η 3GPP καθιέρωσε την LTE- Advanced τυποποίηση με μία σειρά από τεχνολογίες μετάδοσης, όπως το Carrier aggregation, το Coordinated Multiple Point Transmission and reception και το Relaying. Επιπλέον ο IEEE εγκαινίασε το 802.16j για την ανάπτυξη τεχνικών αναμετάδοσης (Relay- Based multihop techniques) για τα πρότυπα του WiMAX. Στις απαιτήσεις των IMT-Advanced συστημάτων έχουν σχεδιαστεί και το IEEE 802.16m πρότυπο WiMAX.

Τα ετερογενή δίκτυα (Heterogeneous Networks) που χρησιμοποιούν αναμεταδότες με χαμηλή ισχύ μετάδοσης αποτελούν μία σημαντική στρατηγική για τα κυψελωτά δίκτυα της επόμενης γενιάς. Όπως αποδεικνύεται η εισαγωγή της τεχνικής της αναμετάδοσης οδηγεί στην αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος (System Capacity). Η συνεχόμενη αύξηση της κίνησης δεδομένων (Data Traffic) στα ασύρματα, κυψελωτά δίκτυα οδηγεί στην επιτακτική ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων καθώς και στην αποδοτική εκμετάλλευση των ραδιοπόρων. Τα ετερογενή δίκτυα, με σταθμό βάσης με υψηλή ισχύ και αναμεταδότες με χαμηλή ισχύ, υιοθετήθηκαν στις 4G τεχνολογίες, όπως στο Long Term Evolution Advanced (LTE-A) και στο WiMAX. Όπως αποδεικνύεται η τεχνική της αναμετάδοσης στα ετερογενή δίκτυα οδηγεί στην αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, στην επέκταση της κάλυψης και στην αποδοτική και βέλτιστη εκμετάλλευση των ραδιοπόρων. [4]

Η τεχνική της συνεργατικής αναμετάδοσης (Cooperative Relaying) είναι μία σημαντική τεχνολογία που υιοθετήθηκε από τα κυψελωτά δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G Cellular Networks) με σκοπό να βελτιωθεί η κάλυψη (Coverage) και η χωρητικότητα (Capacity) του δικτύου. Σε ένα δίκτυο με αναμεταδότες απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός και ανάπτυξη ώστε να γίνει δυναμική εκμετάλλευση της χωρητικότητας και της κάλυψης των κυψελών. Επιπλέον, η τεχνική της συνεργατικής αναμετάδοσης

παίζει σημαντικό ρόλο στην βελτίωση της συνολικής επίδοσης του δικτύου (Overall Network Performance).

[1], [5].

Η αποτελεσματική σύνδεση των κινητών (Efficient Mobile Association) με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και η εξισορρόπηση φορτίου των τηλεπικοινωνιακών κόμβων (Load balancing) είναι θέματα που παίζουν σημαντικό ρόλο ώστε να υπάρξει υψηλή χωρητικότητα σε ένα σύστημα (High System Capacity) καθώς και να επιτευχθεί ομοιόμορφη εμπειρία (End- user experience) στους τελικούς χρήστες που βρίσκονται, τόσο στο κέντρο της κυψέλης (Cell Center), όσο και στην άκρη της κυψέλης (Cell Edge). Αυτός ο στόχος αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση όταν οι χαμηλοί σε ισχύ αναμεταδότες (Relay Nodes) υπερκαλύπτονται από τους υψηλούς σε ισχύ σταθμούς βάσης (Base Stations). [1], [6].

Η αυξητική τάση της κίνησης δεδομένων στα κινητά τερματικά (mobile data traffic) επιτάσσει την εισαγωγή νέων τεχνολογιών για την πρόσβαση σε κυψελωτά συστήματα αλλά και την αποδοτική χρησιμοποίηση των ήδη υπαρχόντων ραδιοπόρων (Radio Resources). Κατά συνέπεια, η τεχνική της συνεργατικής αναμετάδοσης (cooperative Relaying) υιοθετήθηκε από τα 3GPP, LTE- A, IEEE 802.16j, IEEE 802.16m, WiMAX συστήματα ως μία αποτελεσματική λύση που προσφέρει υψηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (High Data Rate Delivery). Πιο συγκεκριμένα η εισαγωγή αναμεταδοτών από τα LTE- Advanced συστήματα, στα μελλοντικά κυψελωτά δίκτυα οδηγεί στην επίτευξη του στόχου για 1 Gbps ανώτερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (peak rate) στην κατερχόμενη ζεύξη και 100 Mbps ανώτερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων στην ανερχόμενη ζεύξη, αντίστοιχα. [1], [2].

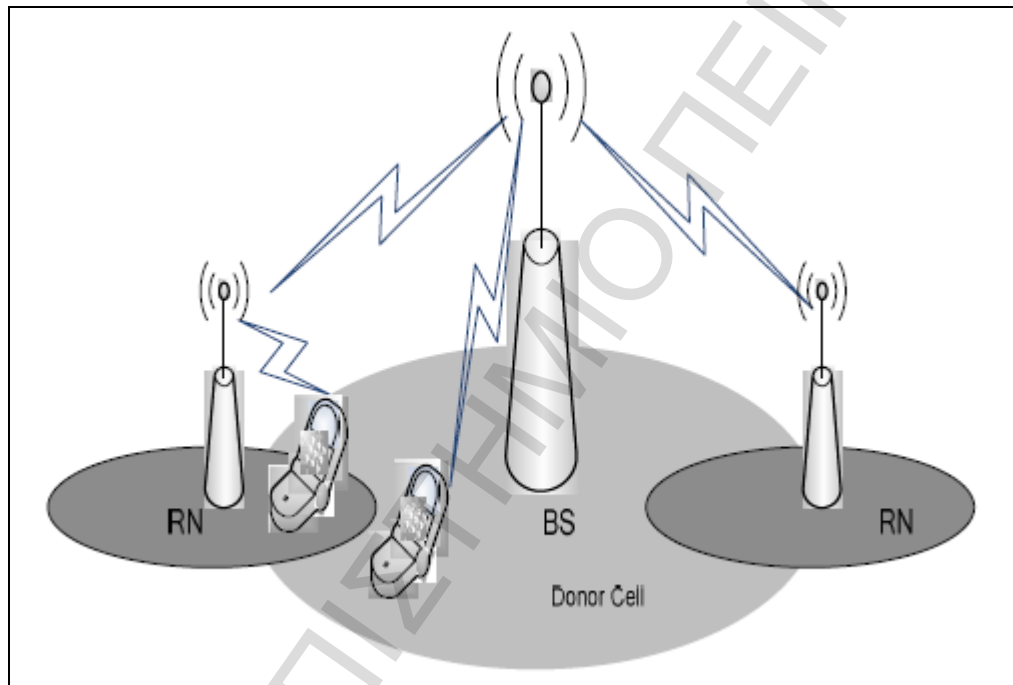
Τα κυψελωτά δίκτυα της επόμενης γενιάς θα υποστηρίζουν εξίσου χαμηλούς σε ισχύ αναμεταδότες και υψηλούς σε ισχύ σταθμούς βάσης. Όταν ο σταθμός βάσης και οι αναμεταδότες διαμοιράζονται το ίδιο φάσμα (Spectrum) για να εξυπηρετούν τα κινητά τερματικά (Mobile Stations), τότε, είναι ύψιστης σημασίας η έξυπνη διαχείριση των ραδιοπόρων και ο συντονισμός (Coordination) των τηλεπικοινωνιακών κόμβων του δικτύου έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων, να αυξηθεί η συνολική ρυθμαπόδοση του συστήματος (Throughput) καθώς και της κάθε κυψέλης, να περιοριστούν οι

παρεμβολές και να επιτευχθεί δυναμικά κέρδος στη χωρητικότητα του συστήματος (Capacity Gain). [1], [3].

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

2. Τύποι αναμεταδοτών

Οι αναμεταδότες είναι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι ενός δικτύου με ασύρματη οπισθοζεύξη (Wireless Backhaul), η οποία παρέχει τη σύνδεση του αναμεταδότη με τους υπόλοιπους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους του δικτύου. Υπάρχουν ενδοζωνικοί αναμεταδότες (In-band), όπου η οπισθοζεύξη λαμβάνει χώρα στην ίδια συχνότητα και στην κατερχόμενη και στην ανερχόμενη ζεύξη και εξωζωνικοί αναμεταδότες (Out-Of-band), όπου η οπισθοζεύξη λαμβάνει χώρα σε διαφορετικές συχνότητες στην κατερχόμενη και στην ανερχόμενη ζεύξη αντίστοιχα. Επιπλέον υπάρχουν αναμεταδότες επιπέδου 1, επιπέδου 2 και επιπέδου 3. [6], [14]



Σχήμα 1. Τοποθεσία Αναμεταδοτών σε ένα κυψελωτό δίκτυο.

2.1 Αναμεταδότες Επιπέδου 1

Στα κυψελωτά συστήματα υπάρχουν πολλοί τύποι αναμεταδοτών. Ένας κόμβος αναμετάδοσης μπορεί να είναι ένας επαναλήπτης (repeater), όπου λαμβάνει το σήμα από το κινητό τερματικό/ Σταθμό βάσης, το ενισχύει και το μεταφέρει στον σταθμό βάσης/ κινητό τερματικό αντίστοιχα. Αυτός ο αναμεταδότης καλείται Layer 1 Relay Node (L1) ή “Amplify –and-Forward”. Πιο συγκεκριμένα ο αναμεταδότης «Amplify – and - Forward» κάνει τα εξής:

Ο αναμεταδότης λαμβάνει το σήμα από το σταθμό βάσης/ κινητό τερματικό.

Κατόπιν, ενισχύει το σήμα που έχει λάβει και το προωθεί στο κινητό τερματικό/ Σταθμό βάσης. Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία είναι απλή και έχει πολύ μικρή καθυστέρηση αλλά ενισχύει τον θόρυβο. [3], [4].

2.2 Αναμεταδότες επιπέδου 2

Ένας αναμεταδότης που λαμβάνει μία μετάδοση, την αποκωδικοποιεί (Decodes) και επανακωδικοποιεί το αποτέλεσμα πριν το μεταφέρει στον σταθμό βάσης, καλείται Layer 2 Relay Node (L2) ή “Decode- and- forward” Relay Node. Πιο συγκεκριμένα ο αναμεταδότης L2 αποκωδικοποιεί σε πρώτη φάση το λαμβανόμενο σήμα από έναν σταθμό βάσης. Σε δεύτερη φάση, εφόσον τα αποκωδικοποιημένα δεδομένα είναι σωστά θα επανακωδικοποιήσει και θα προωθήσει το νέο σήμα στο κινητό τερματικό. Με αυτή την τεχνική αποφύγονται τα σφάλματα στη διάδοση αλλά εισάγεται μεγάλη καθυστέρηση επεξεργασίας (Processing Delay). Ακόμη πιο συγκεκριμένα σε έναν αναμεταδότη επιπέδου δύο (Decode-and-Forward Relay Node) η επικοινωνία ανάμεσα στο σταθμό βάσης και σε ένα κινητό τερματικό γίνεται σε δύο χρονοθυρίδες (Time Slots). Στην πρώτη χρονοθυρίδα ο σταθμός βάσης μεταδίδει ενώ οι αναμεταδότες και το κινητό τερματικό προσπαθούν να αποκωδικοποιήσουν το μήνυμα . Αν η αποκωδικοποίηση είναι ανεπιτυχής, τότε, ο αναμεταδότης παραμένει αδρανής στη δεύτερη χρονοθυρίδα. Εφόσον η αποκωδικοποίηση είναι επιτυχής, τότε, στη δεύτερη χρονοθυρίδα, ο αναμεταδότης που θα επιλεγεί ως ο καλύτερος κόμβος, επανακωδικοποιεί και μεταδίδει την πληροφορία η οποία είχε αποκωδικοποιηθεί στην πρώτη χρονοθυρίδα. Το κινητό τερματικό χρησιμοποιεί τα μηνύματα που έλαβε στη διάρκεια των δύο χρονοθυρίδων ώστε να αποκωδικοποιήσει την πληροφορία. [3], [4], [5], [6], [17].

Στην περίπτωση του αναμεταδότη επιπέδου 2 υπάρχει και η περίπτωση του «Demodulation-and-Forward Relay Node». Στην περίπτωση αυτή ο αναμεταδότης σε πρώτη φάση αποδιαμορφώνει το λαμβανόμενο σήμα από τον σταθμό βάσης ή από το κινητό τερματικό και στη συνέχεια λαμβάνει μία απόφαση χωρίς να αποκωδικοποιήσει το σήμα. Σε δεύτερη φάση διαμορφώνει και προωθεί το νέο σήμα στο κινητό τερματικό ή στον σταθμό βάσης. Στην περίπτωση του Demodulation-And-Forward αναμεταδότη υπάρχει το πλεονέκτημα ότι η διαδικασία είναι απλή και έχει μικρή καθυστέρηση αλλά δεν μπορούν να αποφευχθούν τα σφάλματα διάδοσης (Propagation Errors) εξαιτίας της απόφασης στο πρώτο βήμα. [3].

2.3 Αναμεταδότες Επιπέδου 3

Ένας αναμεταδότης που συμπεριφέρεται σαν σταθμός βάσης και έχει πλήρεις λειτουργίες ελέγχου των ραδιοπόρων, καλείται Layer 3 αναμεταδότης (L3 Relay Node). Ένας αναμεταδότης L3 μπορεί να επεξεργάζεται IP πακέτα, προωθώντας τα στο Network Layer και επί της ουσίας λειτουργεί ως ένας Mini σταθμός βάσης. Ο αναμεταδότης L3 μπορεί να εμφανίζεται ως μία ανεξάρτητη κυψέλη και να έχει δικό του φυσικό αναγνωριστικό. Όταν τα κινητά τερματικά λαμβάνουν πληροφορία μέσω ενός αναμεταδότη επιπέδου 3, τότε, ο σταθμός βάσης δεν χρειάζεται να μεταφέρει στον αναμεταδότη τα δεδομένα. Οι αναμεταδότες L3 μεταφέρουν Pilot Signals και αναφέρονται ως Independent αναμεταδότες (IRN). Υπάρχει μία επιπλέον κατηγορία αυτών των αναμεταδοτών Layer 3, που δεν έχουν διακριτικό, φυσικό ID. Κατά συνέπεια δεν μεταφέρουν Pilot Signals κατά την κατερχόμενη ζεύξη (Downlink) και έτσι είναι δύσκολο να αναγνωριστούν από τα κινητά τερματικά. Αυτοί οι αναμεταδότες βοηθούν τον σταθμό βάσης στη μεταφορά του σήματος ενισχύοντας την ισχύ του, τόσο στην κατερχόμενη, όσο και στην ανερχόμενη ζεύξη. Οι εν λόγω αναμεταδότες ονομάζονται συνεργατικοί κόμβοι αναμετάδοσης (Cooperative Relay Nodes/ CRN) [4], [6].

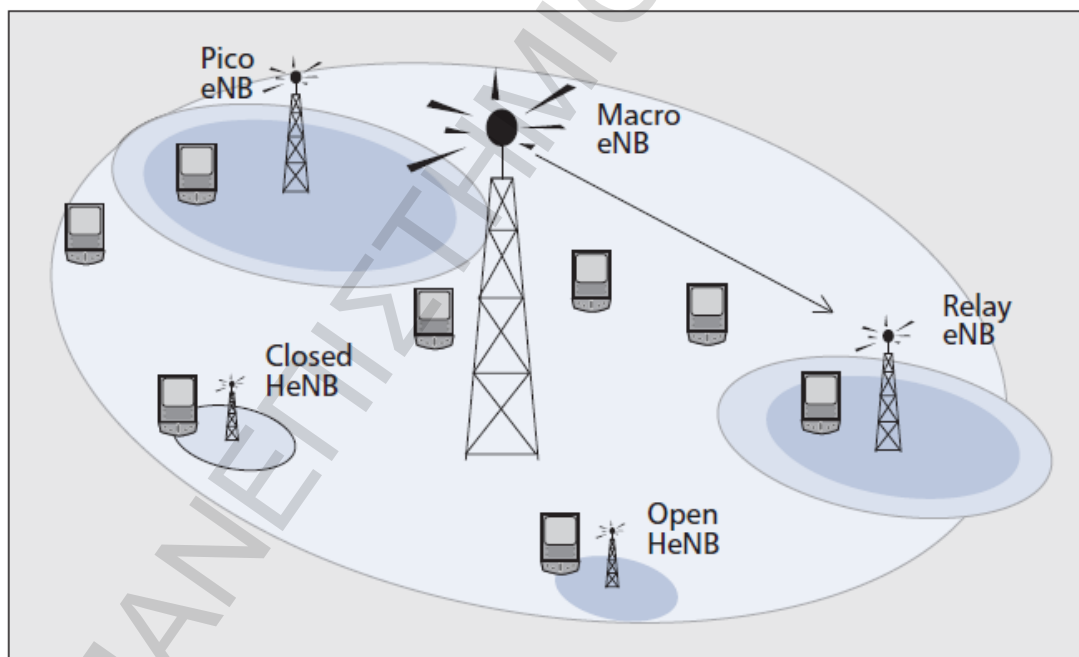
Οι αναμεταδότες επιπέδου 3 ελαττώνουν το επίπεδο των παρεμβολών καθώς και την ασύρματη κίνηση στην οπισθοζεύξη μιας και δεν αποκωδικοποιούν το λαμβανόμενο σήμα. Οι αναμεταδότες L3 έχουν υιοθετηθεί από τα πρότυπα των 3GPP LTE-A συστημάτων και ως τεχνική επεκτείνουν την περιοχή κάλυψης και αυξάνουν τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων. [4], [6].

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

3 Ετερογενή Δίκτυα

3.1 Τοπολογία Ετερογενών Δικτύων

Οι απαιτήσεις για υψηλή κίνηση δεδομένων σε ένα κυψελωτό δίκτυο αυξάνεται εκθετικά για αυτό και είναι θεμιτό να αυξάνονται οι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι. Επειδή τα σημερινά κυψελωτά δίκτυα βασίζονται σε πυκνές εγκαταστάσεις κόμβων, η εγκατάσταση ενός ακόμη σταθμού βάσης οδηγεί σε σημαντική αύξηση της διακυψελικής παρεμβολής. Γι αυτό τα σημερινά κυψελωτά δίκτυα βασίζονται στην εγκατάσταση νέων κόμβων, με χαμηλή ισχύ όπως: Pico, Femto και αναμεταδότες. Κατά συνέπεια ένα δίκτυο που αποτελείται από μακροκυψέλες και από τηλεπικοινωνιακούς κόμβους χαμηλής ισχύος εκπομπής, όπου δημιουργούνται διαφορετικές ζεύξεις ανάμεσα στους κόμβους μεταξύ τους και διαφορετικές ζεύξεις ανάμεσα στους κόμβους και τα κινητά τερματικά ονομάζεται ετερογενές δίκτυο (Heterogeneous Network). Σχήμα. 2. [14].



Σχήμα.2 Ετερογενές δίκτυο με ισχυρούς σε ισχύ και χαμηλούς σε ισχύ τηλεπικοινωνιακούς κόμβους.

Είναι γνωστό ότι ένα από τα προβλήματα των ασύρματων δικτύων είναι η έλλειψη ραδιοπόρων ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται ο αριθμός των κινητών, που εισέρχονται στα ασύρματα δίκτυα και πρέπει να εξυπηρετούνται με υψηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων αλλά και με ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Κατά συνέπεια στα ετερογενή

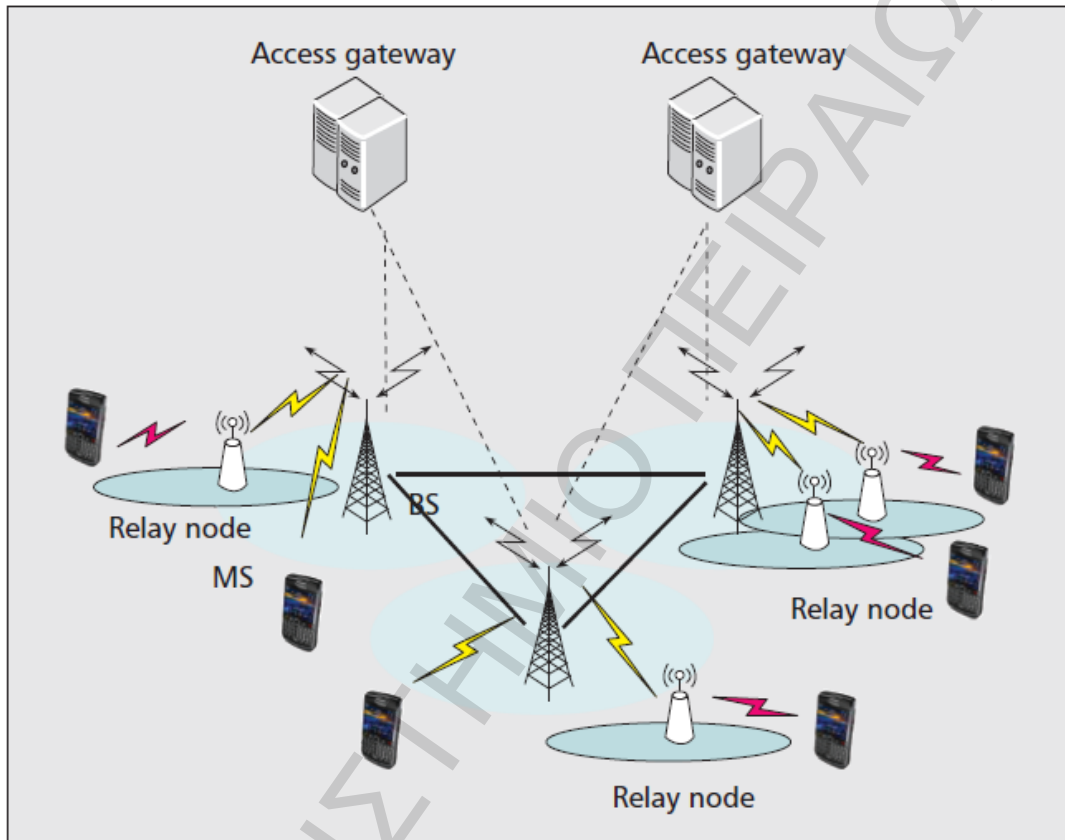
δίκτυα εγκαθίστανται Macro και Micro δομές ώστε να εξυπηρετούνται οι χρήστες αποδοτικά και συνεργατικά από τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. [13].

Τα ετερογενή δίκτυα χρησιμοποιούν κόμβους με διαφορετικές τιμές ισχύος μετάδοσης. Ένα ετερογενές δίκτυο αποτελείται από Macro Σταθμούς βάσης και Micro σταθμούς αναμετάδοσης, δηλαδή, από διαφορετικούς κόμβους οι οποίοι παρέχουν υπηρεσίες στα κινητά τερματικά. Τα ετερογενή δίκτυα αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη λύση για οικονομικά αποδοτικούς υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στα ασύρματα δίκτυα της επόμενης γενιάς.

Ένας σταθμός αναμετάδοσης θεωρείται ως μία διάταξη χαμηλή σε ισχύ και σε κόστος. Η θέση ενός αναμεταδότη βελτιστοποιείται ώστε να υπάρχει αξιόπιστη ασύρματη, οπισθοζεύξη ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στον σταθμό αναμετάδοσης. Εν συγκρίσει με τον σταθμό βάσης, ο αναμεταδότης είναι ευέλικτος στην εγκατάσταση του και είναι εύκολο να επεκταθεί σε ένα ευρυζωνικό δίκτυο. Η σωστή χωρική εγκατάσταση των σταθμών αναμετάδοσης μεγιστοποιεί την περιοχή κάλυψης, αυξάνει την ρυθμικόδοση του συστήματος, ελαττώνει την κατανάλωση ισχύος των κινητών τερματικών και παρέχει ομοιόμορφη και δίκαιη εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών, τόσο στο κέντρο, όσο και στα άκρα της κυψέλης. [4], [6].

Στο σχήμα. 3. παρατηρούμε την τοπολογία ενός ετερογενούς, κυψελωτού συστήματος με εγκατάσταση αναμεταδοτών. Στο σχήμα. 3 παρατηρούμε ότι οι αναμεταδότες τοποθετούνται στα άκρα της κυψέλης «δότη» (donor cell edge), όπου τα κινητά τερματικά μπορούν να έχουν πρόσβαση, είτε με πολύ υψηλότερο ρυθμό δεδομένων (Data Rate), είτε με πολύ χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης εν συγκρίσει με το ενδεχόμενο της απευθείας σύνδεσης με τον σταθμό βάσης. Η κυψέλη δότης είναι η κυψέλη που ελέγχεται από το σταθμό βάσης. Όσο η ισχύς μετάδοσης του σταθμού βάσης είναι πολύ υψηλότερη από την ισχύ του αναμεταδότη, η κάλυψη (Coverage) του σταθμού βάσης είναι, επίσης, μεγαλύτερη από την κάλυψη του αναμεταδότη. Για παράδειγμα η ισχύς μετάδοσης του σταθμού βάσης (BS) είναι της τάξης των 46dBm (40W) ενώ η ισχύς μετάδοσης του αναμεταδότη (RN) είναι της τάξης των 30dBm (1W). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η περιοχή κάλυψης των αναμεταδοτών να είναι πολύ μικρότερη από αυτή του σταθμού βάσης. Η τεχνική της αναμετάδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως στις εξής περιπτώσεις: Ως προέκταση για την κάλυψη

αγροτικών περιοχών (Rural area coverage extension), σε αστικές εστίες (Urban hotspots), σε εσωτερικές εστίες (Indoor hotspots), σε περιοχές χωρίς κάλυψη, σε περιοχές ομαδικής κινητικότητας (Group Mobility), σε επείγουσες και προσωρινές εγκαταστάσεις δικτύων (Emergency and temporary network deployment) [1], [4], [6]



Σχήμα3 A cooperative Relay Network Layout

Σε ένα ετερογενές δίκτυο με σταθμό βάσης και με αναμεταδότες είναι πιθανόν να υπάρξει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην ισχύ μετάδοσης ενός σταθμού βάσης και ενός αναμεταδότη. Κατά συνέπεια, όπως προαναφέρθηκε, δημιουργούνται διαφορετικές περιοχές κάλυψης για τον καθένα. Κάθε κινητό τερματικό θα εξυπηρετηθεί από έναν κόμβο, είτε από τον σταθμό βάσης, είτε από τον αναμεταδότη. Η ισχύς λήψης από την μετάδοση εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό από τη διαδρομή διάδοσης (propagation path) ανάμεσα στο κινητό τερματικό και στον σταθμό βάσης ή στον αναμεταδότη. Όταν ένα κινητό τερματικό εισέρχεται στο δίκτυο θα επιλέξει να εξυπηρετηθεί από

εκείνον τον κόμβο, ο οποίος θα του παρέχει την καλύτερη ποιότητα σήματος. (Signal Quality). [6]

Η εισαγωγή των αναμεταδοτών αλλάζει την τοπολογία ενός ετερογενούς δικτύου μιας και υπάρχουν κόμβοι με διαφορετική τιμή ισχύος, οι οποίοι υπερκαλύπτονται μεταξύ τους και δημιουργούν ένα νέο περιβάλλον παρεμβολών. Επειδή ο σταθμός βάσης και οι αναμεταδότες διαμοιράζονται το ίδιο φάσμα και εξυπηρετούν τα ίδια κινητά τερματικά πρέπει να υπάρξει αποδοτική και βέλτιστη διαχείριση των ραδιοπόρων και αποδοτικός συγχρονισμός των τηλεπικοινωνιακών κόμβων ώστε να περιοριστούν οι παρεμβολές ανάμεσα τους και να υπάρξει δυναμικό κέρδος στη χωρητικότητα. [4]

3.2 Ετερογενή δίκτυα με αναμεταδότες

3.2.1 Τεχνικές Αναμετάδοσης

Οι τεχνικές αναμετάδοσης (Relaying Techniques) μελετήθηκαν ενεργά για την εξέλιξη και την τυποποίηση της επόμενης γενιάς, ευρυζωνικών συστημάτων τηλεπικοινωνιών όπως είναι τα 3GPP Lte-Advanced, IEEE 802.16.j και IEEE 802.16.m. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν ότι οι τεχνολογίες αναμετάδοσης βελτιώνουν αποτελεσματικά την κάλυψη δικτύου και την ρυθμαπόδοση του συστήματος. Οι τεχνολογίες αναμετάδοσης περιλαμβάνουν τη μετάδοση μέσω αναμεταδότη, που είναι ένα είδος συνεργατικής επικοινωνίας στην οποία ο αναμεταδότης βοηθά στην προώθηση της πληροφορίας από τους γειτονικούς κόμβους UE (Other User Nodes) ή από τα κινητά τερματικά, σε έναν τοπικό σταθμό βάσης (Local eNode-B /Base Station). Κατά συνέπεια ένας αναμεταδότης μπορεί να επεκτείνει αποδοτικά το σήμα και την υπηρεσία κάλυψης (Service Coverage) ενός σταθμού βάσης και να ενισχύσει τη συνολική ρυθμαπόδοση του ασύρματου συστήματος. [3], [7].

Η τεχνική αναμετάδοσης θεωρείται ευρέως ως μία από τις πιο οικονομικά αποδοτικές λύσεις για την μεταφορά των δεδομένων με υψηλούς ρυθμούς καθώς και της πλήρους κάλυψης στα κυψελωτά ασύρματα δίκτυα της επόμενης γενιάς. Οι τεχνικές αναμετάδοσης αποτελούν μία σημαντική εξέλιξη για τα 4G κυψελωτά συστήματα καθώς παρέχουν στα ασύρματα δίκτυα ευελιξία στην κατανομή των ραδιοπόρων και υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, ειδικά στα κινητά τερματικά (Mobile Stations/ Users) όπου βρίσκονται σε δύσκολες συνθήκες καναλιού (π.χ. στα άκρα της κυψέλης). Οι αναμεταδότες έχουν μικρότερη λειτουργικότητα από αυτή του σταθμού βάσης και γι αυτό μπορούν να προωθήσουν δεδομένα στις απομακρυσμένες περιοχές μιας κυψέλης και δη με υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Κατά συνέπεια ελαττώνονται οι μεγάλες απώλειες διαδρομής (High Path Losses) ενώ το κόστος υποδομής των αναμεταδοτών είναι χαμηλό. Κατά συνέπεια ο συνδυασμός των τεχνικών αναμετάδοσης με άλλες τεχνικές ή τεχνολογίες (Για παράδειγμα OFDMA συστήματα) έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων σε κάθε κινητό τερματικό ανεξάρτητα από τη θέση του σε μία κυψέλη. [7].

3.2.2 Συμβατική αναμετάδοση

Η συμβατική σύνδεση κινητών τερματικών (Conventional Mobile Association) σε ένα ασύρματο δίκτυο αφορά δισημιακούς συνδέσμους επικοινωνίας (point – to – point) σε κανάλια με διαλείψεις. (Fading Channels). Σε ένα παραδοσιακό κυψελωτό δίκτυο με συμβατικό σενάριο σύνδεσης των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, υπάρχει ένας μόνο σταθμός βάσης με υψηλή ισχύ μετάδοσης. Κατά συνέπεια κάθε κινητό τερματικό συνδέεται με τον σταθμό βάσης από τον οποίο λαμβάνει το ισχυρότερο σήμα στην κατερχόμενη ζεύξη ή παρουσιάζει το μεγαλύτερο signal-to-interference-plus-noise ratio (*SINR*).

Η συμβατική σύνδεση κινητών τερματικών σε ένα κυψελωτό δίκτυο βασίζεται συνήθως στην ποιότητα σήματος κατά την κατερχόμενη ζεύξη. Σε ένα ετερογενές δίκτυο εξαιτίας της ανισορροπίας ανάμεσα στην ανερχόμενη και στην κατερχόμενη ζεύξη, όταν η σύνδεση των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους (Mobile Association) βασίζεται σε συμβατικούς κανόνες μπορεί να προκαλέσει υπερβολική παρεμβολή ή / και τεράστια διαφορά στην φόρτωση (loading) των τηλεπικοινωνιακών κόμβων.

Κάποια συμβατικά σενάρια είναι τα εξής:

- **Macro BS Association:** Στο σενάριο αυτό όλα τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον σταθμό βάσης, που παρέχει την πιο ισχυρή ισχύ λήψης, στην κατερχόμενη ζεύξη. Σε αυτό το συμβατικό σενάριο δεν υπάρχουν αναμεταδότες.
- **Mobile Downlink Association:** Στο σενάριο αυτό όλα τα κινητά τερματικά (MS) συνδέονται με εκείνον τον κόμβο (Σταθμό βάσης ή αναμεταδότη), από τον οποίο λαμβάνεται η πιο δυνατή ισχύς στην κατερχόμενη ζεύξη.
- **Mobile Uplink Association:** Στο σενάριο αυτό όλα τα κινητά τερματικά (MS) συνδέονται με εκείνον τον κόμβο (Σταθμό βάσης ή αναμεταδότη), στον οποίο τα κινητά τερματικά έχουν τη χαμηλότερη απώλεια σύζευξης (coupling loss) στην ανερχόμενη ζεύξη.
- **Range Expansion based:** Στο συμβατικό αυτό σενάριο τα κινητά τερματικά συνδέονται με εκείνον τον κόμβο ο οποίος παρουσιάζει τις μικρότερες απώλειες διαδρομής. [4], [6], [8], [12].

Στα συμβατικά σενάρια, συνήθως, η απόφαση σύνδεσης των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους βασίζεται στον παράγοντα της ισχύος. Αυτό οδηγεί στη σύνδεση των περισσότερων κινητών τερματικών με το σταθμό βάσης. [21] Στα συμβατικά σενάρια όπου το δίκτυο αποτελείται από Macro σταθμό βάσης και Micro αναμεταδότες τα κινητά τερματικά θα συνδέονταν με το σταθμό βάσης μιας και έχει τη μεγαλύτερη κατερχόμενη ισχύ μετάδοσης. Αυτό θα προσέφερε καλή ποιότητα υπηρεσίας στα κινητά τερματικά αλλά θα οδηγούσε σε ανισορροπία φορτίου ανάμεσα στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους καθώς και σε χαμηλή χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων. [1]

3.2.3 Συνεργατική αναμετάδοση

Η συνεργατική μετάδοση δεδομένων (Cooperative transmission) στηρίζεται στο βασικό μοντέλο αναμετάδοσης, το οποίο περιλαμβάνει τρία στοιχεία: Την πηγή S , έναν αναμεταδότη R και έναν προορισμό D . Σε ένα ασύρματο δίκτυο ενεργοποιώντας ένα σύνολο συνεργαζομένων αναμεταδοτών ώστε να προωθηθεί το λαμβανόμενο σήμα (πληροφορία), αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρξει πλήρης εκμετάλλευση του χωρικού διαφορισμού (Spatial Diversity) διαμέσου της συνεργατικότητας των κατανεμημένων κεραιών, που ανήκουν σε πολλαπλά κινητά τερματικά.

Υπάρχουν δύο διαφορετικά σενάρια, που αφορούν στις συνεργατικές μεταδόσεις (Cooperative Transmissions):

- Η συνεργατική μετάδοση ανάμεσα σε δευτερεύοντες χρήστες (Secondary Users).
Σε αυτό το σενάριο ένας δευτερεύων χρήστης συμπεριφέρεται ως αναμεταδότης για την μετάδοση ενός άλλου δευτερεύοντα κόμβου (Πηγή).
- Η συνεργατική μετάδοση από πρωτεύοντες χρήστες (Primary Users).
Σε αυτό το σενάριο οι δευτερεύοντες χρήστες αναμεταδίδουν το σήμα από τον πρωτεύοντα μεταδότη, στον προορισμό. Κατά συνέπεια βοηθώντας τους πρωτεύοντες χρήστες αυξάνεται ο αριθμός μεταδόσεων για τους δευτερεύοντες χρήστες. [11]

3.2.4 Σύγκριση Συνεργατικής vs Συμβατικής αναμετάδοσης

Η βέλτιστη χρήση των ραδιοπόρων αποτελεί ένα σημαντικό ερευνητικό κομμάτι για τα ασύρματα δίκτυα. Για να υπάρξει βέλτιστη χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων είναι σημαντικό κάθε κινητό να εξυπηρετηθεί από εκείνον τον κόμβο που παρέχει τις καλύτερες ραδιοϋπηρεσίες. Υπάρχουν τα συμβατικά κυψελωτά δίκτυα και τα συνεργατικά κυψελωτά δίκτυα. [6]

Τα συμβατικά ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν δισημειακές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις και γι αυτόν τον λόγο δεν υπάρχει αξιοπιστία στις μεταδόσεις, σε κανάλια με διαλείψεις. Από την άλλη πλευρά τα συνεργατικά ασύρματα δίκτυα (Cooperative Networks) παρουσιάζουν αυξανόμενη αξιοπιστία (Network Reliability) εξαιτίας του ότι η πληροφορία μεταδίδεται με τη συνεργασία και άλλων χρηστών στο δίκτυο. Ειδικότερα, στα συνεργατικά ασύρματα δίκτυα κάθε κινητό τερματικό αξιοποιεί τους άλλους κόμβους (σταθμό βάσης, αναμεταδότες ή/ και άλλα κινητά τερματικά) ώστε να δημιουργηθεί μία εικονική διάταξη κεραιών και να υπάρξει πλήρης εκμετάλλευση του χωρικού διαφορισμού. Κατά συνέπεια ελαχιστοποιούνται οι συνέπειες των διαλείψεων (Fading) και αυξάνεται η συνολική επίδοση του συστήματος. Όπως είδαμε παραπάνω η ανάλυση των συνεργατικών ασύρματων δικτύων βασίζεται στον παράγοντα της χωρητικότητας. Τα συνεργατικά ασύρματα δίκτυα είναι γνωστά και ως κανάλια αναμετάδοσης (Relay Channels).

Όπως προαναφέρθηκε, τα συμβατικά δίκτυα αναμετάδοσης βασίζονται σε δισημειακές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις ανάμεσα στους κόμβους ενώ τα συνεργατικά δίκτυα αναμετάδοσης βασίζονται σε συνεργασία των κόμβων του δικτύου ή/και άλλων δικτύων.

Τόσο στα συμβατικά, όσο και στα συνεργατικά συστήματα ο σταθμός βάσης (Πηγή) επικοινωνεί με τα κινητά τερματικά (Mobile Stations/ Users/ προορισμό) μέσω κάποιων τηλεπικοινωνιακών κόμβων αναμετάδοσης. Στα συμβατικά συστήματα όλοι οι αναμεταδότες συμμετέχουν στις μεταδόσεις σήματος. Κατά συνέπεια οι ενεργειακοί πόροι (Power Resources) διαμοιράζονται ομοιόμορφα μεταξύ αυτών. Στα συνεργατικά συστήματα επιλέγεται ο καλύτερος κόμβος, ο “best” Relay Node, ο οποίος συμμετέχει στη μετάδοση του σήματος. Η κατανομή της ισχύος είναι

διαφορετική στα MIMO συμβατικά και στα MIMO συνεργατικά συστήματα. Στα συνεργατικά MIMO συστήματα κάθε αναμεταδότης έχει το δικό του ορθογώνιο κανάλι (Orthogonal Channel) ενώ πολλαπλές κεραιές (Multiple Antennas) μεταδίδουν και παρεμβαίνουν στο ίδιο κανάλι. Κατά συνέπεια όσο αυξάνεται ο αριθμός των αναμεταδοτών, τόσο πιο πολύπλοκο είναι το ζήτημα της ορθογωνιότητας. Κατά συνέπεια επιλέγεται ο καλύτερος αναμεταδότης ως “Best” Relay Node και αυτός βοηθάει τον σταθμό βάσης στη μετάδοση του σήματος. [8], [9] [10].

Όταν ένα συμβατικό κυψελωτό δίκτυο αποτελείται από μεγάλο αριθμό σταθμών αναμετάδοσης, τότε, η παραπάνω σύνδεση των κινητών με τους κόμβους δεν θα είναι η βέλτιστη. Επιπλέον, σε ένα ετερογενές δίκτυο επειδή ο σταθμός βάσης έχει υψηλότερη ισχύ μετάδοσης από τους σταθμούς αναμετάδοσης κάθε κινητό τερματικό θα συνδεθεί με αυτόν και αυτό οδηγεί σε μία ανισόροπη χρήση των ραδιοπόρων. Κάποια κινητά τερματικά είναι θεμιτό να συνδεθούν με τους σταθμούς αναμετάδοσης, που έχουν μικρότερες απώλειες διαδρομής από αυτές του σταθμού βάσης. Στα συνεργατικά κυψελωτά δίκτυα τα παραπάνω ζητήματα επιλύονται μιας και κάθε κινητό συνδέεται με τον καλύτερο κόμβο και στην κατερχόμενη και στην ανερχόμενη ζεύξη. [6]

Επειδή τα συνεργατικά δίκτυα αναμετάδοσης βασίζονται στη συνεργασία των κόμβων του δικτύου αλλά και των άλλων δικτύων ενώ τα συμβατικά δίκτυα αναμετάδοσης βασίζονται σε δισημειακές ραδιοζεύξεις μεταξύ των κόμβων, τα συνεργατικά δίκτυα αναμετάδοσης πλεονεκτούν εν συγκρίσει με τα συμβατικά δίκτυα αναμετάδοσης σε ρυθμαπόδοση, σε καθυστέρηση (Delay), σε κατανάλωση ενέργειας (Energy consumption) καθώς και σε αξιοπιστία. Επιπλέον, τα συνεργατικά συστήματα βελτιώνουν την πιθανότητα φραγής κλήσεων του συστήματος. Κατά συνέπεια, εξυπηρετούνται περισσότεροι χρήστες στο σύστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα να είναι συνολικά πιο αποδοτικό. [8], [9], [10].

Εν κατακλείδι, τα συνεργατικά κυψελωτά δίκτυα έχουν πολλά πλεονεκτήματα εν συγκρίσει με τα συμβατικά κυψελωτά δίκτυα. Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι η αύξηση της ρυθμαπόδοσης, η επιπλέον κάλυψη και κατά συνέπεια η

εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών, η μείωση της παρεμβολής και η αποδοτική
χρησιμοποίηση της ισχύος. Σε ένα συμβατικό κυψελωτό δίκτυο τα κινητά τερματικά
που βρίσκονται κοντά στον σταθμό βάσης, εξυπηρετούνται με χαμηλή ισχύ ενώ τα
κινητά τερματικά που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης, εξυπηρετούνται με το
μέγιστο όριο της ισχύος. Αντιθέτως, στα συνεργατικά κυψελωτά δίκτυα γίνεται
αξιοποίηση της επιπλέον ισχύος, που είναι διαθέσιμη για τα κινητά τερματικά που
βρίσκονται κοντά στον σταθμό βάσης και έτσι οι αναμεταδότες ή αυτά τα κινητά
τερματικά, τα οποία γίνονται αναμεταδότες, χρησιμοποιούν αυτή την επιπλέον ισχύ
ώστε να εξυπηρετούν τα κινητά τερματικά, που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης.
[12].

4. Σύνδεση κινητών τερματικών και εξισορρόπηση φορτίου σε ένα συνεργατικό δίκτυο αναμετάδοσης

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε αναλυτικά τη σύνδεση των κινητών τερματικών (Mobile Association) και την εξισορρόπηση φορτίου στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους (Load Balancing) σε ένα συνεργατικό δίκτυο με αναμεταδότες. Η σύνδεση των κινητών τερματικών με τους κατάλληλους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, σε ένα συνεργατικό δίκτυο με αναμεταδότες, επιτρέπει σε κάθε κινητό τερματικό να συνδεθεί με τον καλύτερο κόμβο και στην ανερχόμενη και στην κατερχόμενη ζεύξη. Η εξισορρόπηση του φορτίου ανάμεσα στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους έχει ως στόχο να καταναίμει το φορτίο ανάμεσα σε όλους τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Κατά συνέπεια βελτιστοποιείται η χρησιμοποίηση πόρων, ελαχιστοποιείται το φορτίο στην ασύρματη οπισθοζεύξη, ελαχιστοποιείται η γρήγορη συμφόρηση του συστήματος και έχουμε εξισορρόπηση φορτίου. Με τη σωστή απόφαση σύνδεσης των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, επιτυγχάνεται υψηλή χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων, μειώνεται η πιθανότητα επικάλυψης των αναμεταδοτών από τον σταθμό βάσης και περιορίζονται οι παρεμβολές στο σύστημα. [1], [4], [6]

Όταν ένα κινητό τερματικό εισέρχεται στο δίκτυο, θα επιλέξει έναν κόμβο πρόσβασης που θα του παρέχει την καλύτερη ποιότητα σήματος. Αυτή η διαδικασία καλείται σύνδεση κινητού τερματικού. Σε ένα κυψελωτό δίκτυο υπάρχουν δύο σενάρια σύνδεσης των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, το συμβατικό και το συνεργατικό. Το συμβατικό σενάριο σύνδεσης των κινητών τερματικών βασίζεται στην ποιότητα σήματος της κατερχόμενης ζεύξης. Εξαιτίας της ανισορροπίας ανάμεσα στην ανερχόμενη και στην κατερχόμενη ζεύξη ενός ετερογενούς δικτύου, το συμβατικό σενάριο σύνδεσης των κινητών τερματικών είναι πιθανό να δημιουργήσει υπερβολική παρεμβολή ή/ και τεράστια διαφορά στο φορτίο των ετερογενών κόμβων. Το συνεργατικό σενάριο σύνδεσης των κινητών τερματικών σε ένα ετερογενές δίκτυο δίνει τη δυνατότητα σε κάθε κινητό να συνδεθεί με τον καλύτερο τηλεπικοινωνιακό κόμβο και στις δύο ζεύξεις, ανερχόμενη και κατερχόμενη. Σε ένα συνεργατικό σύστημα σύνδεσης των κινητών τερματικών με σταθμούς αναμετάδοσης υπάρχει ένας δότης σταθμός βάσης και οι σταθμοί αναμετάδοσης βοηθούν τον σταθμό βάσης να εξυπηρετήσει τα κινητά τερματικά. [6]

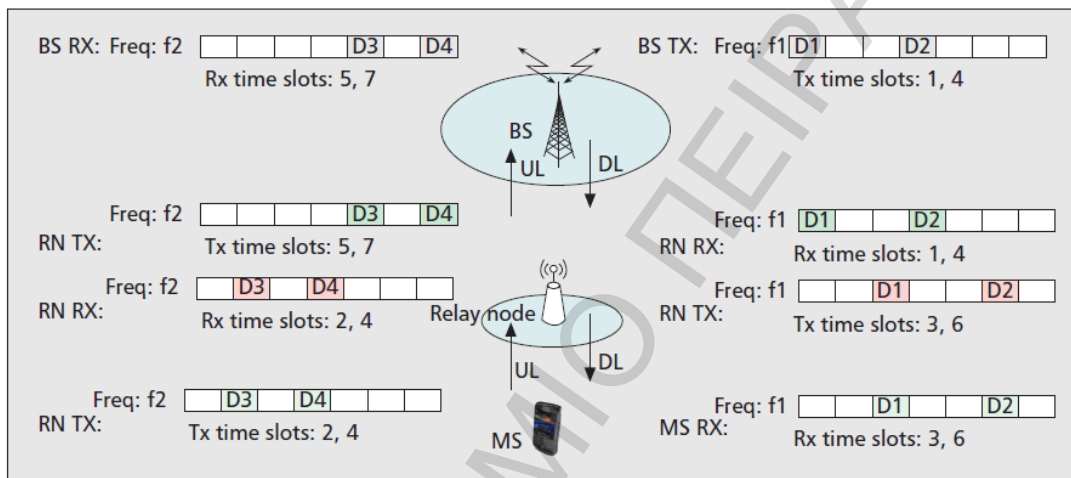
Στο σύστημα μας εξετάζουμε την κατερχόμενη ζεύξη. Αν η σύνδεση των κινητών τερματικών γινόταν βάσει της μεγαλύτερης λαμβανόμενης ισχύος στην κατερχόμενη ζεύξη, τότε η πλειοψηφία των κινητών τερματικών θα συνδεόταν με τον σταθμό βάσης λόγω της υψηλότερης ισχύος μετάδοσης του. Κατά συνέπεια οι αναμεταδότες θα έμεναν ανεκμετάλλευτοι καθώς και οι ραδιοπόροι αυτών μιας και έχουν μικρότερη κάλυψη λόγω της χαμηλότερης ισχύος μετάδοσης τους. Έτσι θα οδηγούμασταν σε ανισορροπία φορτίου ανάμεσα στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Γι αυτό στο σύστημα μας εξετάζουμε ένα βέλτιστο σενάριο για τη σύνδεση των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους καθώς και για την εξισορρόπηση του φορτίου των τηλεπικοινωνιακών κόμβων (Mobile Association και Load Balancing) ώστε να μεγιστοποιηθεί η χωρητικότητα του συστήματος μας. [4]

Για τη διευκόλυνση μας θα κάνουμε τις εξής παραδοχές:

- Η ραδιοζεύξη (radio link) ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στους αναμεταδότες, θα αναφέρεται ως οπισθοζεύξη (Backhaul link).
- Η ραδιοζεύξη ανάμεσα σε έναν αναμεταδότη και σε ένα κινητό τερματικό, θα αναφέρεται ως ζεύξη πρόσβασης (Access link).
- Η ραδιοζεύξη ανάμεσα σε έναν σταθμό βάσης και σε ένα κινητό τερματικό, θα αναφέρεται ως απευθείας ζεύξη (Direct Link). [1], [4], [14].

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 4 ένας αναμεταδότης μπορεί να συνδεθεί αμφίπλευρα, μέσω ραδιοζεύξης, με ένα κινητό τερματικό και επίσης κατά τον ίδιο τρόπο με έναν σταθμό βάσης. Υποθέτουμε ότι οι αναμεταδότες λειτουργούν σε ημιαμφίδρομη λειτουργία (Half-duplex mode), δηλαδή, η οπισθοζεύξη και η ζεύξη πρόσβασης (Access Link) είναι χρονικά πολυπλεγμένα σήματα (time-division multiplexed) σε μία φέρουσα συχνότητα (carrier frequency) και μόνο μία σύνδεση (link) είναι ενεργή σε κάθε μία χρονική στιγμή. Οι φέρουσες συχνότητες f_1 και f_2 χρησιμοποιούνται στην κατερχόμενη και στην ανερχόμενη μεταφορά, αντιστοίχως. Αν ένα κινητό τερματικό συνδεθεί με έναν αναμεταδότη, ο σταθμός βάσης θα στείλει διευθυνσιοδοτημένη πληροφορία στο κινητό τερματικό στις χρονικές στιγμές/χρονοθυρίδες 1 και 4, στην φέρουσα συχνότητα f_1 . Έπειτα ο αναμεταδότης μεταφέρει την λαμβανόμενη πληροφορία στο κινητό τερματικό στις χρονοθυρίδες 3 και 6. Σημειωτέον, ο αναμεταδότης δεν μπορεί να μεταδώσει στις χρονικές στιγμές 1 και 4 πάνω στη ζεύξη πρόσβασης ενώ δέχεται πληροφορία πάνω στην οπισθοζεύξη.

Παρομοίως, στην ανερχόμενη ζεύξη, ο αναμεταδότης δέχεται πληροφορία από τα κινητά τερματικά στις χρονοθυρίδες 2 και 4, στην φέρουσα συχνότητα f_2 . Έπειτα ο αναμεταδότης μεταδίδει την ίδια πληροφορία στον σταθμό βάσης στις χρονικές στιγμές 5 και 7, στην ίδια φέρουσα συχνότητα. Είναι καλό να σημειωθεί ότι ο αναμεταδότης δεν μπορεί να μεταδώσει στις χρονοθυρίδες 2 και 4 στην οπισθοζεύξη ενώ λαμβάνει πληροφορία στη ζεύξη πρόσβασης. [1]



Σχήμα4. Relay Node Cooperative Transmission/ reception

Η εξισορρόπηση φορτίου σε ένα συνεργατικό δίκτυο αναμετάδοσης έχει ως στόχο να κατανείμει ομοιόμορφα το φορτίο σε όλους τους κόμβους και ταυτόχρονα να αποφευχθεί η γρήγορη συμφόρηση του συστήματος (Early System Bottleneck). Μία άνιση κατανομή του φορτίου θα μπορούσε να «εξαντλήσει» γρήγορα τους πόρους του συστήματος και θα οδηγούσε σε χαμηλή χρησιμοποίηση των πόρων του συστήματος (Low System Resource Utilization). Επειδή υπάρχει η πιθανότητα επικάλυψης (coverage overlapping) μεταξύ του σταθμού βάσης και των αναμεταδοτών, το κινητό τερματικό πρέπει να κάνει την σωστή επιλογή σύνδεσης με κάποιον τηλεπικοινωνιακό κόμβο ώστε να υπάρξει αποδεκτή ποιότητα σήματος. Επιπλέον κάθε διαφορετική σύνδεση οδηγεί σε διαφορετική κατανάλωση πόρων και σε διαφορετική αποδοτικότητα φάσματος (Spectrum Efficiency). [1], [4]

5. Βέλτιστη σύνδεση κινητών τερματικών και εξισορρόπηση φορτίου σε ένα συνεργατικό δίκτυο αναμετάδοσης

Μαθηματικό Διατύπωση προβλήματος:

Όπως προαναφέρθηκε εξαιτίας των επικαλύψεων μεταξύ των αναμεταδοτών και του σταθμού βάσης, τα κινητά τερματικά σε ένα συνεργατικό δίκτυο αναμετάδοσης θα έχουν πολλαπλές επιλογές σύνδεσης. Κάθε πιθανή σύνδεση του κινητού τερματικού με έναν κόμβο θα πρέπει να οδηγεί σε μία αποδεκτή ποιότητα σήματος. Επιπλέον, κάθε διαφορετική σύνδεση έχει ως αποτέλεσμα μία διαφορετική κατανάλωση πόρων και αυτό, με τη σειρά του, έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει και διαφορετική αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος. Η μαθηματική διατύπωση αναλύεται διεξοδικά στην αναφορά [1].

Για να υπάρξει πλήρης και αποδοτική εκμετάλλευση των ραδιοπόρων υποθέτουμε την ύπαρξη πλήρους επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων ανάμεσα σε όλους τους αναμεταδότες. Ειδικότερα όλοι οι αναμεταδότες θα χρησιμοποιούν την ίδια μπάντα συχνοτήτων $f_c \pm \Delta_f / 2$, με τον σταθμό βάσης. Όπου f_c είναι η φέρουσα συχνότητα (Carrier frequency) και Δ_f είναι το εύρος ζώνης του καναλιού (Channel Bandwidth). Επιπλέον κάθε αναμεταδότης θα διαιρεί τους συνολικούς πόρους ανάμεσα στη δική του ασύρματη οπισθοζεύξη και στη ζεύξη πρόσβασης, βασιζόμενος σε χρονοδιαμετρική αμφίδρομη επικοινωνία (Time Division Duplex/ TDD), όπως φαίνεται και στο σχήμα 5. Σε ένα ενδοζωνικό συνεργατικό δίκτυο αναμετάδοσης, σε κάθε κυψέλη k (cell k), χρησιμοποιούμε τις μεταβλητές Ψ_{10k} , $\Psi_{2,jk}$ και $\Psi_{3,jk}$ αντιστοίχως, για να δηλώσουμε τη χρησιμοποίηση των πόρων (Resource Utilization) στην απευθείας ζεύξη με τον BS k , στη ζεύξη πρόσβασης ενός RN j μέσα στην κυψέλη k και της οπισθοζεύξης μεταξύ ενός RN j και ενός BS k , αντίστοιχα. Η πραγματική κατανάλωση πόρων υποδηλώνεται με τις μεταβλητές Ψ^r 's ενώ οι υποθετικοί δείκτες κατανάλωσης πόρων Ω 's προκύπτουν από τις σταθμισμένες (weighted) μεταβλητές Ψ 's.

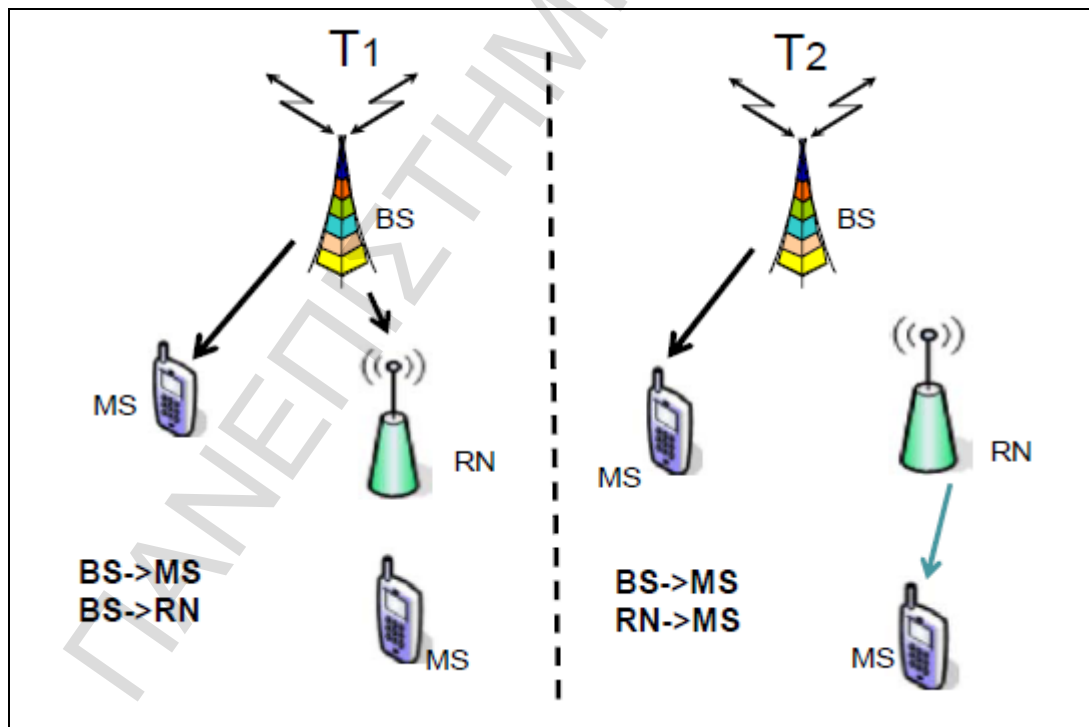
Για παράδειγμα:

$$\Omega_{10k} = \Psi_{10k} * w_{10k}, \quad \Omega_{2,jk} = \Psi_{2,jk} * w_{2,jk}, \quad \Omega_{3,jk} = \Psi_{3,jk} * w_{3,jk}$$

Παρατηρούμε ότι τρεις διαφορετικοί δείκτες κατανάλωσης πόρων χρησιμοποιούν διαφορετικά «βάρη» (συντελεστές στάθμισης) ώστε να υπάρξει ευελιξία στην εξισορρόπηση φορτίου.

Για παράδειγμα αν έχουμε τέσσερις αναμεταδότες και έναν σταθμό βάσης και κάθε αναμεταδότης μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει ολόκληρη την μπάνα συχνοτήτων που χρησιμοποιεί και ο σταθμός βάσης, τότε, η μεταβλητή $\Psi_{2,jk}$ μπορεί να σταθμιστεί ως το $\frac{1}{4}$ του Ψ_{10k} ή του $\Psi_{3,jk}$ μιας και οι πόροι που καταναλώθηκαν από τον έναν αναμεταδότη αφήνουν τους πόρους των άλλων τριών αναμεταδοτών διαθέσιμους.

Οι τιμές αυτών των βαρών θα επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες για ποιότητα σήματος, για αποδοτικότητα φάσματος και για εξισορρόπηση φορτίου. Αν οι πόροι του σταθμού βάσης είναι πιο σημαντικοί από τους πόρους των αναμεταδοτών, τότε το Ψ_{10k} ή το $\Psi_{3,jk}$ θα πάρουν υψηλότερα βάρη από το $\Psi_{2,jk}$.



Σχήμα 5. Relay with TDD (Time Division Duplex) [4]

Αν υποθέσουμε ότι ένα κινητό τερματικό i συνδεθεί με τον σταθμό βάσης k , θα χρειαστούν C_{10k} πόροι από την απευθείας ζεύξη του σταθμού βάσης k . Αν το κινητό

αυτό συνδεθεί με τον αναμεταδότη j , μέσα στην κυψέλη k , τότε, θα χρειαστούν C_{ijk} πόροι από τη ζεύξη πρόσβασης του αναμεταδότη j και επιπλέον C_{ijk}^b πόροι από την ασύρματη οπισθοζεύξη ανάμεσα στον Relay Node j και στον BS k .

Υποθέτουμε ότι M_c είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης σε ένα σύστημα, M_r είναι ο αριθμός των αναμεταδοτών σε μία κυψέλη, R η απόσταση των αναμεταδοτών από τον σταθμό βάσης, N είναι ο αριθμός των κινητών τερματικών στο σύστημα και x_{ijk} είναι η μεταβλητή απόφασης για την σύνδεση των κινητών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους (Mobile Association).

Αν το κινητό τερματικό i συνδεθεί με τον αναμεταδότη j μέσα στην κυψέλη k τότε $x_{ijk} = 1$. Σε όποια άλλη περίπτωση $x_{ijk} = 0$. Θεωρητικά κάθε κινητό τερματικό έχει $M_c * (M_r + 1)$ επιλογές/ δυνατότητες σύνδεσης. Το κινητό τερματικό μπορεί να συνδεθεί, είτε με τον σταθμό βάσης k , είτε με τον αναμεταδότη j μέσα στην κυψέλη k , $j = 1, \dots, M_r$ και $k = 1, \dots, M_c$. Ο στόχος της βέλτιστης σύνδεσης των κινητών τερματικών και της εξισορρόπησης φορτίου είναι να συνδεθεί το κάθε κινητό τερματικό με τον καλύτερο εξυπηρετητή κόμβο ώστε να μεγιστοποιηθεί τη

χωρητικότητα του συστήματος: $Max(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk})$ ενώ ταυτόχρονα να

ελαχιστοποιηθεί η συνολική, υποθετική κατανάλωση πόρων:

$$Min(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} \Omega_{ijk}).$$

Στο σημείο αυτό δίδονται οι εξισώσεις όπου αποτελούν τους περιορισμούς του συστήματος μας:

$$\Psi_{10\kappa} = \sum_{i=1}^N C_{i0\kappa} * \chi_{i0\kappa}, \quad \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\Psi_{2j\kappa} = \sum_{i=1}^N C_{ij\kappa} * \chi_{ij\kappa}, \quad j = 1, \dots, M_r \text{ και } \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\Psi_{3jk} = \sum_{i=1}^N C_{ijk}^b * x_{ijk}, \quad j = 1, \dots, M_r \text{ και } \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk} = 1, \text{ Εφόσον το κινητό } i \text{ έγινε αποδεκτό, } i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk} = 0, \text{ Εφόσον το κινητό } i \text{ δεν συνδέθηκε, } i = 1, \dots, N$$

Ορίζουμε τη σύνθετη, βοηθητική συνάρτηση γ ως εξής:

$$\gamma = \text{Max} \left(-\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} \Omega_{ijk} + \varepsilon * \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk} \right)$$

Η utility function γ βελτιστοποιείται υπό την συνθήκη ότι η συνολική κατανάλωση πόρων δεν θα υπερβεί τους διαθέσιμους πόρους των αναμεταδοτών και του σταθμού

βάσης. Ο όρος $\varepsilon * \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk}$ μεγιστοποιεί την αποδοχή των κινητών

τερματικών ενώ ο όρος $-\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} \Omega_{ijk}$ ελαχιστοποιεί την υποθετική

χρησιμοποίηση των πόρων του συστήματος. Η τιμή του ε μπορεί να επιλεγεί έτσι ώστε να ρυθμιστεί η σχετική σημασία μεταξύ των δύο αντικειμενικών αυτών στόχων, δηλαδή, της μεγιστοποίησης της χωρητικότητας του συστήματος και της ελαχιστοποίησης της χρησιμοποίησης πόρων (Resource Utilization). Κατά συνέπεια σε ένα υπερφορτωμένο σύστημα μπορούμε να θέσουμε το $\varepsilon \ll 1$ ώστε να δοθεί στην αποδοχή κινητών τερματικών μία χαμηλή προτεραιότητα και να δοθεί έμφαση στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης πόρων. Σε ένα λιγότερο φορτωμένο σύστημα μπορούμε να θέσουμε το $\varepsilon \gg 1$ ώστε να μπορούν να εισέλθουν περισσότερα κινητά τερματικά στο σύστημα. Αν ο μέγιστος αριθμός διαθέσιμων πόρων του σταθμού βάσης είναι c , η συνολική κατανάλωση πόρων από την άμεση ζεύξη και από την ασύρματη οπισθοζεύξη σε κάθε σταθμό βάσης δεν πρέπει να υπερβεί το c .

Παρομοίως για κάθε αναμεταδότη η συνολική κατανάλωση πόρων και από τη ζεύξη πρόσβασης και από την ασύρματη οπισθοζεύξη δεν πρέπει να υπερβεί το c .

Ένα κινητό τερματικό μπορεί να συνδεθεί με $Y_i = \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk}$ κόμβους.

- Αν $Y_i \leq 1$ για όλα τα i , τότε, τα κινητά τερματικά μπορούν να συνδεθούν με έναν μόνο κόμβο.
- Αν $Y_i \leq 2$ για όλα τα i , τότε, τα κινητά τερματικά μπορούν να συνδεθούν με δύο ή με λιγότερους κόμβους.

Ο ένας κόμβος θα λειτουργεί ως anchor serving Node και ο άλλος ως συνεργατικός κόμβος. Οι συνεργατικοί κόμβοι μπορεί να είναι δύο διαφορετικοί αναμεταδότες, δύο διαφορετικοί σταθμοί βάσης ή ένας αναμεταδότης και ένας σταθμός βάσης.

Αν λάβουμε υπόψιν την σύνθετη, βοηθητική συνάρτηση γ και τους περιορισμούς του συστήματος μας (1), τότε, η συνολική διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης για τη σύνδεση των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και της εξισορρόπησης φορτίου των τηλεπικοινωνιακών κόμβων θα είναι η εξής:

$$\text{Objective } \gamma = \text{Max} \left(-\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} \Omega_{ijk} + \varepsilon * \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk} \right)$$

Subject to:

$$\Psi_{10\kappa} = \sum_{i=1}^N C_{i0\kappa} * \chi_{i0\kappa}, \quad \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\Psi_{2jk} = \sum_{i=1}^N C_{ijk} * \chi_{ijk}, \quad j = 1, \dots, M_r \text{ και } \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\Psi_{3jk} = \sum_{i=1}^N C_{ijk}^b * x_{ijk}, \quad j = 1, \dots, M_r \text{ και } \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\Psi_{10\kappa} + \sum_{j=1}^{M_r} \Psi_{3jk} \leq C, \quad \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\Psi_{3jk} + \Psi_{2jk} \leq C, \quad j = 1, \dots, M_r \text{ και } \kappa = 1, \dots, M_c$$

$$\sum_{j=0}^{M_r} \sum_{k=1}^{M_c} x_{ijk} = 1 \text{ ή } 0, \quad i = 1, \dots, N$$

Το πρόβλημα όπως διατυπώθηκε, αποτελεί ένα 0-1 Knapsack problem και είναι NP-hard. Κατά συνέπεια είναι δύσκολο να πάρουμε μία βέλτιστη λύση σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον παρά το γεγονός ότι το πρόβλημα της βελτιστοποίησης (optimal problem) έχει ως στόχο να ελαχιστοποιήσει την φραγή κλήσεων και την κατανάλωση πόρων (resource consumption), η συνεχής άφιξη και αναχώρηση κινητών τερματικών έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται συνεχής επαναβελτιστοποίηση. Τα κινητά τερματικά είναι πιθανόν να χρειαστεί να συνδεθούν με άλλους κόμβους εξαιτίας των αιτήσεων πρόσβασης στο δίκτυο άλλων κινητών τερματικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται συχνά διακοπή στην εξυπηρέτηση των κινητών.

Η ανάγκη για γρήγορη ανταπόκριση στα αιτήματα πρόσβασης των κινητών τερματικών στο δίκτυο καθώς και η ανάγκη για αποφυγή διακοπών στην εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών, μας ωθεί στην αναγκαιότητα εισαγωγής ενός ευριστικού αλγορίθμου (Heuristic Algorithm). [1], [4], [6]

6. Αλγορίθμοι για τη βέλτιστη σύνδεση κινητών τερματικών

6.1 Περιγραφή Ευριστικού Αλγορίθμου

Το πρόβλημα που εξετάζουμε αφορά τη βέλτιστη ανάθεση γνωστού εκ των προτέρων πλήθους κινητών τερματικών σε υφιστάμενους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, σταθμό βάσης ή σταθμούς αναμετάδοσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης των διαθέσιμων πόρων και τη μεγιστοποίηση της πιθανότητας αποδοχής των κινητών τερματικών στο σύστημα.

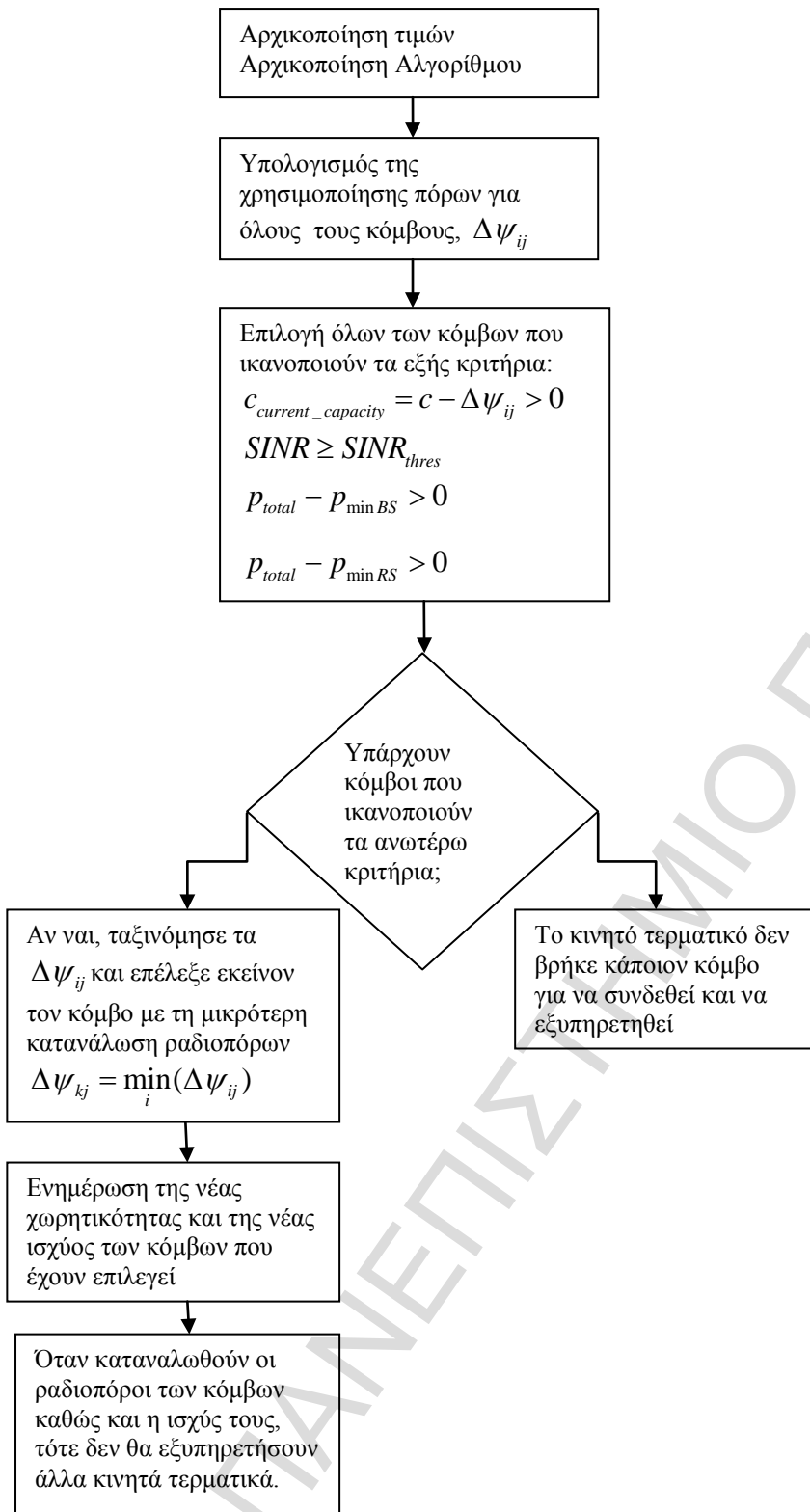
Με τη βοήθεια ενός ευριστικού άπληστου αλγορίθμου (Greedy Algorithm) γίνεται η απόφαση σύνδεσης των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Ο ευριστικός αλγόριθμος ενεργοποιείται κάθε φορά που ένας αριθμός κινητών τερματικών προσπαθούν να έχουν πρόσβαση στην κυψέλη. Κάθε κινητό τερματικό θα εξυπηρετηθεί από τον καλύτερο κόμβο και η απόφαση σύνδεσης βασίζεται στη γνώση των ραδιοπόρων που είναι διαθέσιμοι. Η ευριστική προσέγγιση θεωρείται ως λύση τοπική και βέλτιστη. Η ευριστική προσέγγιση μπορεί να δουλέψει και σε υπαρκτό σύστημα, σε πραγματικό χρόνο που οι αφίξεις, οι αναχωρήσεις και οι μεταπομπές των κινητών τερματικών θα γίνονται δυναμικά. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπάρξει μια γρήγορη απόφαση σύνδεσης των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους.

Εξετάζονται όλα τα υποψήφια για σύνδεση κινητά τερματικά. Για κάθε κινητό τερματικό υπολογίζονται οι απαιτούμενοι ραδιοπόροι για κάθε δυνατή σύνδεση με τους υφιστάμενους τηλεπικοινωνιακούς πόρους, που έχουν υπολειπόμενους ραδιοπόρους.

Πιο συγκεκριμένα για την περιγραφή του ευριστικού αλγορίθμου θα χρησιμοποιηθούν οι όροι I , J , i , j , $\Delta\psi_{ij}$, $\Delta\psi_{kj}$, c , $c_{current_capacity}$, $SINR$, $SINR_{thres}$. Όπου I είναι οι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι (Σταθμός βάσης και αναμεταδότες), J ο αριθμός των κινητών τερματικών, $\Delta\psi_{ij}$ οι ραδιοπόροι που απαιτούνται για την ανάθεση του κινητού j στον κόμβο i , c είναι οι ραδιοπόροι/ χωρητικότητα κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου. Το $c_{current_capacity}$ είναι οι ραδιοπόροι που απομένουν

εφόσον ένα κινητό τερματικό j συνδεθεί με έναν τηλεπικοινωνιακό κόμβο i και αποσπάσει από αυτόν ποσότητα ραδιοπόρων $\Delta\psi_{ij}$. Για παράδειγμα εφόσον ένα κινητό τερματικό j συνδεθεί με τον σταθμό βάσης και αποσπάσει από αυτόν ραδιοπόρους $\Delta\psi_{ij}$, τότε, $c_{current_capacity} = c - \Delta\psi_{ij}$. Γίνεται ταξινόμηση των ραδιοπόρων $\Delta\psi_{ij}$ που απαιτούνται για την σύνδεση του κινητού τερματικού j με κάθε τηλεπικοινωνιακό κόμβο i (Σταθμό βάσης ή αναμεταδότη) και επιλέγεται εκείνος ο τηλεπικοινωνιακός κόμβος k για τον οποίο ισχύει $\Delta\psi_{kj} = \min_i(\Delta\psi_{ij})$. Κάθε τηλεπικοινωνιακός κόμβος έχει επίσης μία συνολική ισχύ p_{total} . Ο σταθμός βάσης εξυπηρετεί κάθε κινητό τερματικό με μία ελάχιστη ισχύ, p_{minBS} ενώ οι ανεμεταδότες εξυπηρετούν κάθε κινητό τερματικό με μία ελάχιστη ισχύ, p_{minRS} . Όταν τελειώσουν οι ραδιοπόροι και η ισχύς ενός κόμβου δεν θα μπορεί να εξυπηρετήσει άλλα κινητά τερματικά. Κάθε κινητό τερματικό θα συνδεθεί με τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο με την μικρότερη συνολικά κατανάλωση πόρων και με αποδεκτή ποιότητα σήματος.

Το ευριστικό σενάριο έχει ως στόχο να γίνει μία γρήγορη απόφαση για τη σύνδεση των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους ώστε να πραγματοποιηθεί εξισορρόπηση φορτίου και να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος. Στο σχήμα. 6. φαίνεται αναλυτικά ο ευριστικός αλγόριθμος.



Σχήμα 6. Flow Chart του ευριστικού Αλγορίθμου

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6. Υπολογίζεται η κατανάλωση ραδιοπόρων για όλους τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους της κυψέλης.

Πιο συγκεκριμένα τα βήματα του ευριστικού αλγόριθμου είναι τα εξής:

1. Έχουμε I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους (Σταθμό βάσης και αναμεταδότες) και J κινητά τερματικά που θέλουμε να συνδέσουμε στους I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Εξετάζουμε τα κινητά τερματικά με τυχαία σειρά.
2. Βρίσκουμε όλους τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους i που ικανοποιούν τα εξής τρία κριτήρια:
 - $c_{current_capacity} = c - \Delta\psi_{ij} > 0$, όπου c η αρχική χωρητικότητα κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου και $\Delta\psi_{ij}$ η κατανάλωση ραδιοπόρων για την σύνδεση του κινητού τερματικού j με τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο i
 - $SINR \geq SINR_{thres}$ Το κατώφλι $SINR$ στην περιπτωσή μας αφορά υπηρεσία VoIP.
 - $p_{total} - p_{minBS} > 0$ και $p_{total} - p_{minRS} > 0$, Όπου p_{total} η συνολική ισχύς κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου (Σταθμού βάσης ή αναμεταδότη). p_{minBS} η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετεί ο σταθμός βάσης κάθε κινητό τερματικό. p_{minRS} η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετούν οι αναμεταδότες κάθε κινητό τερματικό
3. Αν βρεθούν κάποιοι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι που ικανοποιούν τα ανωτέρω κριτήρια, τότε, Για το τερματικό j :

A. Υπολογίζουμε τους ραδιοπόρους $\Delta\psi_{ij}$ για την ανάθεση στον κόμβο i .

Στην περίπτωση που ο κόμβος i είναι αναμεταδότης στο $\Delta\psi_{ij}$

συμπεριλαμβάνονται, τόσο οι ραδιοπόροι της ζεύξης από τον αναμεταδότη i στο κινητό τερματικό j , όσο και της οπισθοζεύξης μεταξύ του σταθμού βάσης και του αναμεταδότη i

B. Ταξινομούμε τα $\Delta\psi_{ij}$ ως προς j σε αύξουσα σειρά. Έστω k ο

τηλεπικοινωνιακός κόμβος για τον οποίο $\Delta\psi_{kj} = \min_i(\Delta\psi_{ij})$, τότε, αναθέτω το

κινητό τερματικό j στον κόμβο k

Γ. Ενημερώνω τις νέες χωρητικότητες. Αν έχουμε άμεση σύνδεση του

κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης αφαιρούμε την σπατάλη πόρων μόνο από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, ειδικά, αφαιρούμε και από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης και από την

χωρητικότητα του αναμεταδότη $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, $c_{RS} = c - \Delta\psi_{ij}$. Το ίδιο ισχύει

και για την ισχύ. Εφόσον έχουμε άμεση σύνδεση του κινητού τερματικού με

τον σταθμό βάσης, αφαιρούμε την $p_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ p_{total} του

σταθμού βάσης $p_{BS} = p_{total} - p_{\min BS}$. Αν το κινητό τερματικό συνδεθεί με τον

σταθμό βάσης μέσω αναμεταδότη, τότε, αφαιρούμε $p_{\min RS}$ από την συνολική

ισχύ του αναμεταδότη, και $p_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ του σταθμού βάσης:

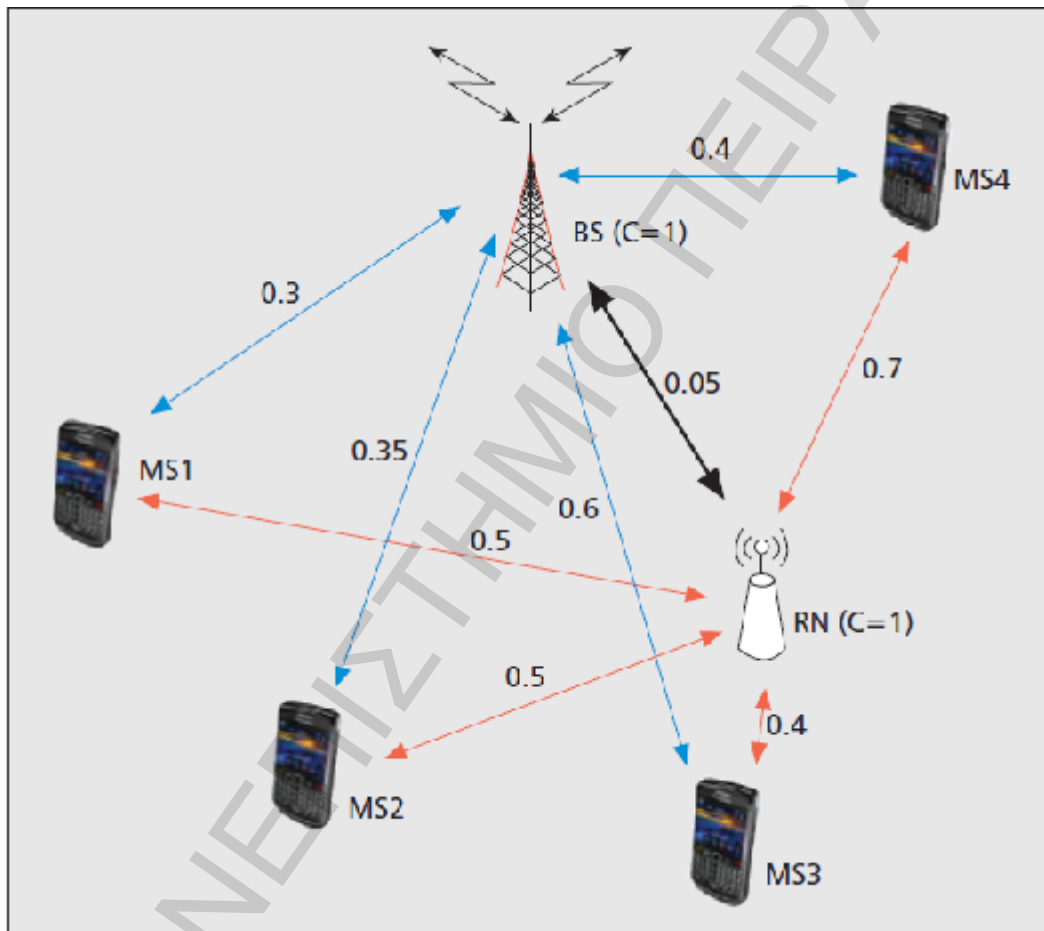
$$p_{RS} = P_{total} - p_{\min RS}, p_{BS} = P_{total} - p_{\min BS}$$

4. Αν δεν βρεθεί κάποιος τηλεπικοινωνιακός κόμβος, που να ικανοποιεί τα ανωτέρω κριτήρια δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί το κινητό τερματικό.

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία κάθε φορά που εξετάζεται ένα επόμενο κινητό τερματικό.

Στο σχήμα 7 δίνεται ένα σχηματικό παράδειγμα με έναν σταθμό βάσης, έναν αναμεταδότη και τέσσερα κινητά τερματικά. Αν, για παράδειγμα, το κινητό τερματικό MS1 συνδεθεί με τον σταθμό βάσης θα αποσπάσει από αυτόν 0.3 πόρους.

Αν συνδεθεί μέσω αναμεταδότη θα αποσπάσει 0.5 πόρους από τον αναμεταδότη και 0.05 πόρους από τον σταθμό βάσης. Άρα συνολικά 0.55 πόρους. Κατά συνέπεια ο καλύτερος τηλεπικοινωνιακός κόμβος, όπου και θα συνδεθεί το MS1 είναι ο σταθμός βάσης κόκ. Επιπλέον, αφού το MS1 θα συνδεθεί με τον σταθμό βάσης, θα του αποσπάσει 0.1Watt ισχύ. Όταν εξαντληθούν οι ραδιοπόροι κάποιου τηλεπικοινωνιακού κόμβου ή η συνολική ισχύς του, τότε δεν μπορεί να εξυπηρετήσει άλλα κινητά τερματικά. [1].



Σχήμα 7 Εξισορρόπηση φορτίου στο συνεργατικό σενάριο

Εν κατακλείδι, στο συνεργατικό, ευριστικό αλγόριθμο τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο με την μικρότερη κατανάλωση υποθετικών πόρων. Στο συνεργατικό αλγόριθμο κάθε κινητό τερματικό θα συνδεθεί με εκείνον τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο, σταθμό βάσης ή αναμεταδότη, από τον οποίο θα αποσπάσει τον μικρότερο αριθμό πόρων. Τόσο ο σταθμός βάσης, όσο και οι αναμεταδότες θα έχουν ίσο αριθμό πόρων. Ο καλύτερος τηλεπικοινωνιακός κόμβος (Best Node) θα

είναι εκείνος που θα παρέχει στο κινητό τερματικό τους λιγότερους πόρους. Αν ένα κινητό τερματικό συνδεθεί κατευθείαν με τον σταθμό βάσης θα αποσπάσει μόνο από αυτόν πόρους. Αν συνδεθεί με τον σταθμό βάσης, μέσω αναμεταδότη, τότε, θα αποσπάσει πόρους και από τον αναμεταδότη και από τον σταθμό βάσης. Στην περίπτωση που ένα κινητό τερματικό συνδεθεί μέσω αναμεταδότη, με τον σταθμό βάσης τότε θα αποσπάσει περισσότερους πόρους από τον αναμεταδότη και πολύ λιγότερους από τον σταθμό βάσης. [1].

6.2 Σύνδεση στον κόμβο με τις μικρότερες απώλειες διαδρομής

Στον συμβατικό αλγόριθμο που τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον κόμβο με τις μικρότερες απώλειες διαδρομής, πρώτα θα εξυπηρετήσουν οι αναμεταδότες και αν δεν βρεθεί κατάλληλος αναμεταδότης ή αν εξαντληθούν οι ραδιοπόροι των αναμεταδοτών, τότε, θα εξυπηρετήσει η βάση.

Ο εν λόγω συμβατικός αλγόριθμος βασίζεται στην εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών πρώτα από τους αναμεταδότες, που εξυπηρετούν με χαμηλή ισχύ και έπειτα από τον σταθμό βάσης, που εξυπηρετεί με υψηλότερη ισχύ.

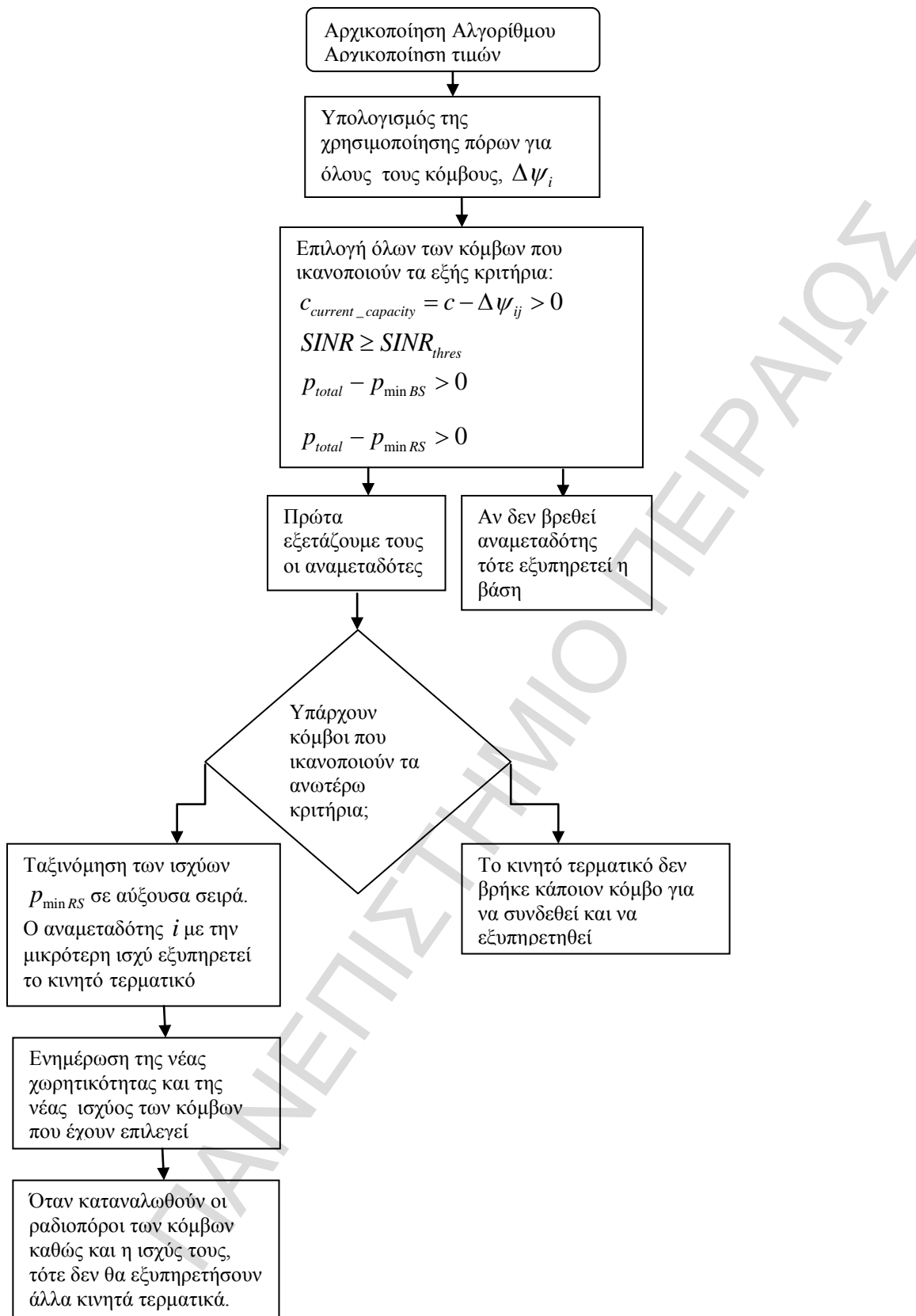
Τα κινητά τερματικά θα συνδεθούν πρώτα με τους αναμεταδότες και όταν τελειώσουν οι ραδιοπόροι τους καθώς και η συνολική τους ισχύ, τότε, θα συνδεθούν με τον σταθμό βάσης. Ουσιαστικά θα εξυπηρετούν τα κινητά τερματικά πρώτα οι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι με την μικρότερη ισχύ και έπειτα ο σταθμός βάσης, που έχει μεγαλύτερη ισχύ. Τόσο ο σταθμός βάσης, όσο και οι αναμεταδότες θα έχουν ίσο αριθμό ραδιοπόρων. Αν ένα κινητό τερματικό συνδεθεί κατευθείαν με τον σταθμό βάσης θα αποσπάσει μόνο από αυτόν πόρους. Αν συνδεθεί με τον σταθμό βάσης, μέσω αναμεταδότη, τότε, θα αποσπάσει πόρους και από τον αναμεταδότη και από τον σταθμό βάσης. Στην περίπτωση που ένα κινητό τερματικό συνδεθεί μέσω αναμεταδότη, με τον σταθμό βάσης τότε θα αποσπάσει περισσότερους πόρους από τον αναμεταδότη και πολύ λιγότερους από τον σταθμό βάσης.

Όπως στον συνεργατικό αλγόριθμο έτσι και στον εν λόγω συμβατικό, εξετάζονται όλα τα υποψήφια για σύνδεση κινητά τερματικά. Για κάθε κινητό τερματικό υπολογίζονται οι απαιτούμενοι ραδιοπόροι για κάθε δυνατή σύνδεση με τους υφιστάμενους τηλεπικοινωνιακούς πόρους, που έχουν υπολειπόμενους ραδιοπόρους.

Πιο συγκεκριμένα για την περιγραφή του ευριστικού αλγορίθμου θα χρησιμοποιηθούν οι όροι I , J , i , j , $\Delta\psi_{ij}$, $\Delta\psi_{kj}$, c , $c_{current_capacity}$, $SINR$, $SINR_{thres}$, όπως και στον συνεργατικό αλγόριθμο.

Στο σχήμα 8. Φαίνονται αναλυτικά τα βήματα του εν λόγω συμβατικού αλγορίθμου.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



Σχήμα 8. Flow Chart του συμβατικού αλγορίθμου που τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον κόμβο με τις μικρότερες απώλειες διαδρομής

Όπως βλέπουμε από το σχήμα 8. Αναλυτικά τα βήματα του συμβατικού αυτού αλγορίθμου είναι τα εξής:

1. Έχουμε I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους (Σταθμό βάσης και αναμεταδότες) και J κινητά τερματικά που θέλουμε να συνδέσουμε στους I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Εξετάζουμε τα κινητά τερματικά με τυχαία σειρά.

2. Βρίσκουμε όλους τους κόμβους που ικανοποιούν τα εξής τρία κριτήρια:

- $C_{current_capacity} = c - \Delta\psi_{ij} > 0$, όπου c η αρχική χωρητικότητα κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου i και $\Delta\psi_{ij}$ η κατανάλωση ραδιοπόρων για την ανάθεση του κινητού τερματικού j στον τηλεπικοινωνιακό κόμβο i (Σταθμό βάσης ή αναμεταδότη).
- $SINR \geq SINR_{thres}$ Το κατώφλι $SINR$ στην περιπτωσή μας αφορά υπηρεσία VoIP.
- $p_{total} - p_{minBS} > 0$ και $p_{total} - p_{minRS} > 0$, Όπου p_{total} η συνολική ισχύς κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου (Σταθμού βάσης ή αναμεταδότη). p_{minBS} η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετεί ο σταθμός βάσης κάθε κινητό τερματικό. p_{minRS} η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετούν οι αναμεταδότες κάθε κινητό τερματικό

3. Αν βρεθούν κάποιοι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι που ικανοποιούν τα ανωτέρω κριτήρια, τότε, Για το τερματικό j :

Πρώτα εξετάζουμε αν οι αναμεταδότες πληρούν τα ανωτέρω κριτήρια. Αν βρεθούν αναμεταδότες που ικανοποιούν τα ανωτέρω κριτήρια, τότε, γίνεται

ταξινόμηση των $p_{\min RS}$ σε αύξουσα σειρά και το κινητό τερματικό συνδέεται με τον αναμεταδότη με τη μικρότερη ισχύ εξυπηρέτησης $p_{\min RS}$.

4. Αν δεν βρεθεί αναμεταδότης για την εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών, τότε, εξυπηρετεί η βάση.
5. Κατόπιν θέτουμε τις νέες χωρητικότητες. Αν έχουμε άμεση σύνδεση του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης αφαιρούμε την σπατάλη πόρων μόνο από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, ειδικά, αφαιρούμε και από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης και από την χωρητικότητα του αναμεταδότη $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, $c_{RS} = c - \Delta\psi_{ij}$. Το ίδιο ισχύει και για την ισχύ. Εφόσον έχουμε άμεση σύνδεση του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης, αφαιρούμε την $p_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ p_{total} του σταθμού βάσης $p_{BS} = p_{total} - p_{\min BS}$. Αν το κινητό τερματικό συνδεθεί με τον σταθμό βάσης μέσω αναμεταδότη, τότε, αφαιρούμε $p_{\min RS}$ από την συνολική ισχύ του αναμεταδότη, και $p_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ του σταθμού βάσης:

$$p_{RS} = P_{total} - p_{\min RS}, p_{BS} = P_{total} - p_{\min BS}$$

6. Αν δεν βρεθεί κάποιος τηλεπικοινωνιακός κόμβος, που να ικανοποιεί τα ανωτέρω κριτήρια δεν μπορεί να εξυπηρευτεί το κινητό τερματικό.

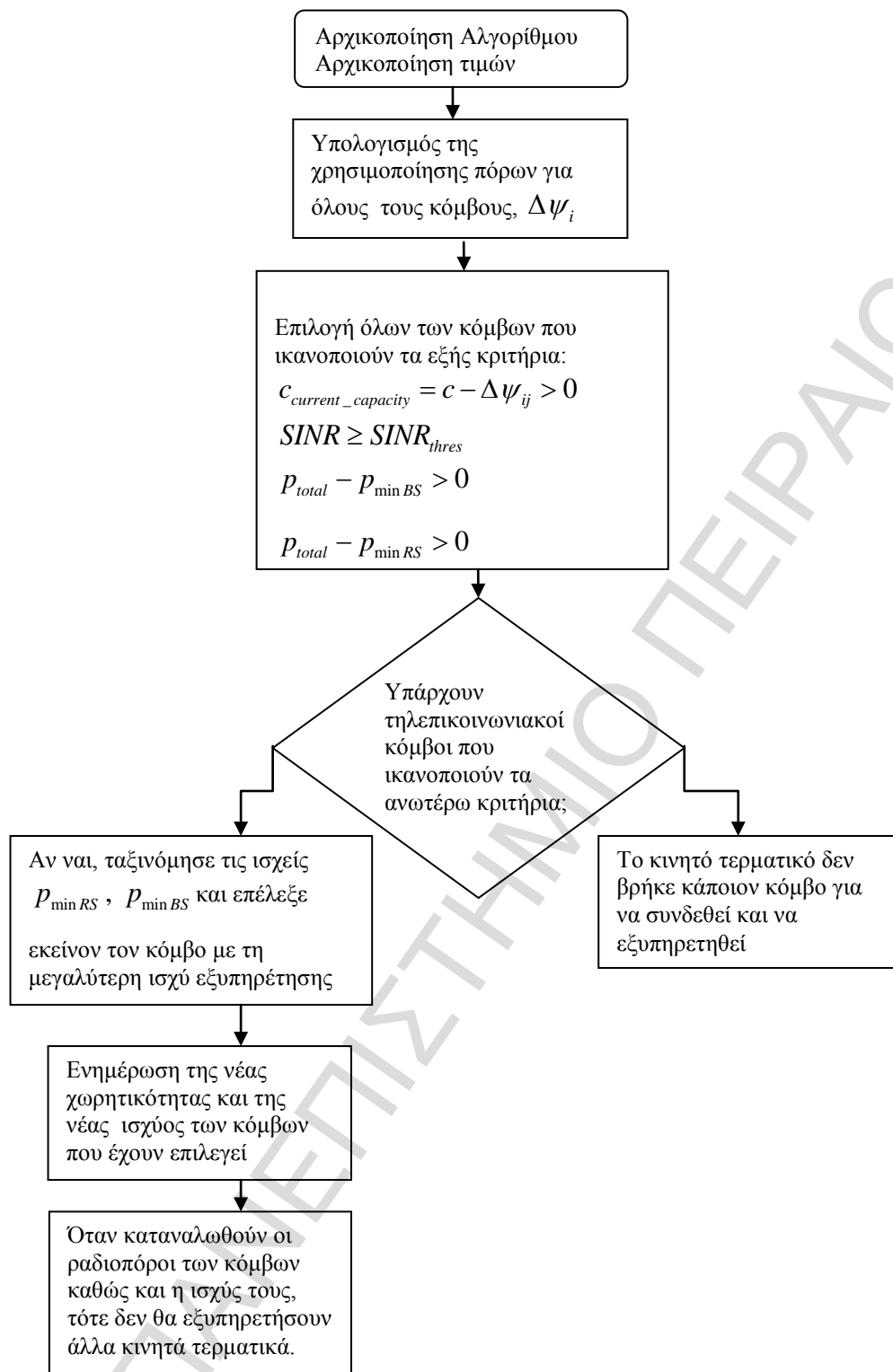
Επαναλαμβάνεται η διαδικασία κάθε φορά που περισσότερα κινητά τερματικά κάνουν αίτηση πρόσβασης στην κυψέλη [1], [4].

6.3 Σύνδεση στον κόμβο με την υψηλότερη ισχύ

Ο συμβατικός αλγόριθμος που τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον κόμβο, σταθμό βάσης ή συνεργατικούς κόμβους, με την υψηλότερη ισχύ βασίζεται στην πιο υψηλή ισχύ μετάδοσης κατά την κατερχόμενη ζεύξη. Στον εν λόγω συμβατικό αλγόριθμο κάθε κινητό τερματικό θα συνδεθεί με τον πιο ισχυρό τηλεπικοινωνιακό κόμβο. Κατά συνέπεια ο καλύτερος τηλεπικοινωνιακός κόμβος θα είναι ο σταθμός βάσης έως ότου να τελειώσουν οι ραδιοπόροι του καθώς και/ ή η συνολική ισχύς του. Έπειτα τα κινητά τερματικά θα συνδεθούν με τους αναμεταδότες. Τόσο ο σταθμός βάσης, όσο και οι αναμεταδότες θα έχουν ίσο αριθμό ραδιοπόρων. Αν ένα κινητό τερματικό συνδεθεί κατευθείαν με τον σταθμό βάσης θα αποσπάσει μόνο από αυτόν πόρους. Αν συνδεθεί με τον σταθμό βάσης, μέσω αναμεταδότη, τότε, θα αποσπάσει πόρους και από τον αναμεταδότη και από τον σταθμό βάσης. Στην περίπτωση που ένα κινητό τερματικό συνδεθεί μέσω αναμεταδότη, με τον σταθμό βάσης τότε θα αποσπάσει περισσότερους πόρους από τον αναμεταδότη και πολύ λιγότερους από τον σταθμό βάσης. Όπως στον συνεργατικό αλγόριθμο έτσι και στον εν λόγω συμβατικό, εξετάζονται όλα τα υποψήφια για σύνδεση κινητά τερματικά. Για κάθε κινητό τερματικό υπολογίζονται οι απαιτούμενοι ραδιοπόροι για κάθε δυνατή σύνδεση με τους υφιστάμενους τηλεπικοινωνιακούς πόρους, που έχουν υπολειπόμενους ραδιοπόρους.

Πιο συγκεκριμένα για την περιγραφή του ευριστικού αλγορίθμου θα χρησιμοποιηθούν οι όροι $I, J, i, j, \Delta\psi_{ij}, \Delta\psi_{kj}, c, c_{current_capacity}, SINR, SINR_{thres}$, όπως και στον συνεργατικό αλγόριθμο.

Τα βήματα του εν λόγω συμβατικού αλγορίθμου περιγράφονται αναλυτικά στο σχήμα 9.



Σχήμα 9. Flow Chart του συμβατικού αλγορίθμου στον οποίο τα κινητά τερματικά εξυπηρετούνται από τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο με τη μεγαλύτερη ισχύ εξυπηρέτησης

Πιο αναλυτικά τα βήματα του συμβατικού αυτού αλγορίθμου είναι τα εξής:

1. Έχουμε I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους (Σταθμό βάσης και αναμεταδότες) και J κινητά τερματικά που θέλουμε να συνδέσουμε στους I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Εξετάζουμε τα κινητά τερματικά με τυχαία σειρά.
2. Βρίσκουμε όλους τους κόμβους που ικανοποιούν τα εξής τρία κριτήρια:
 - $c_{current_capacity} = c - \Delta\psi_{ij} > 0$, όπου c η αρχική χωρητικότητα κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου και $\Delta\psi_{ij}$ η κατανάλωση ραδιοπόρων για την ανάθεση του κινητού τερματικού j στον τηλεπικοινωνιακό κόμβο i (Σταθμό βάσης ή αναμεταδότη).
 - $SINR \geq SINR_{thres}$ Το κατώφλι $SINR$ στην περιπτωσή μας αφορά υπηρεσία VoIP.
 - $P_{total} - P_{min\ BS} > 0$ και $P_{total} - P_{min\ RS} > 0$, Όπου P_{total} η συνολική ισχύς κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου (Σταθμού βάσης ή αναμεταδότη). $P_{min\ BS}$ η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετεί ο σταθμός βάσης κάθε κινητό τερματικό. $P_{min\ RS}$ η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετούν οι αναμεταδότες κάθε κινητό τερματικό
3. Εξετάζουμε αν οι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι (Σταθμός βάσης και αναμεταδότες) πληρούν τα ανωτέρω κριτήρια.
4. Αν βρεθούν τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι που ικανοποιούν τα ανωτέρω κριτήρια, τότε, για το τερματικό j γίνεται ταξινόμηση βάσει της ισχύος τους. Η ταξινόμηση γίνεται από τη μικρότερη στη μεγαλύτερη ισχύ και επιλέγεται

εκείνος ο τηλεπικοινωνιακός κόμβος που έχει τη μεγαλύτερη ισχύ εξυπηρέτησης.

5. Κατόπιν θέτουμε τις νέες χωρητικότητες. Αν έχουμε άμεση σύνδεση του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης αφαιρούμε την σπατάλη πόρων μόνο από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, ειδικά, αφαιρούμε και από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης και από την χωρητικότητα του αναμεταδότη $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, $c_{RS} = c - \Delta\psi_{ij}$. Το ίδιο ισχύει και για την ισχύ. Εφόσον έχουμε άμεση σύνδεση του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης, αφαιρούμε την $P_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ P_{total} του σταθμού βάσης $P_{BS} = P_{total} - P_{\min BS}$. Αν το κινητό τερματικό συνδεθεί με τον σταθμό βάσης μέσω αναμεταδότη, τότε, αφαιρούμε $P_{\min RS}$ από την συνολική ισχύ του αναμεταδότη, και $P_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ του σταθμού βάσης:

$$P_{RS} = P_{total} - P_{\min RS}, P_{BS} = P_{total} - P_{\min BS}$$

6. Αν δεν βρεθεί κάποιος τηλεπικοινωνιακός κόμβος, που να ικανοποιεί τα ανωτέρω κριτήρια δεν μπορεί να εξυπηρευτεί το κινητό τερματικό.

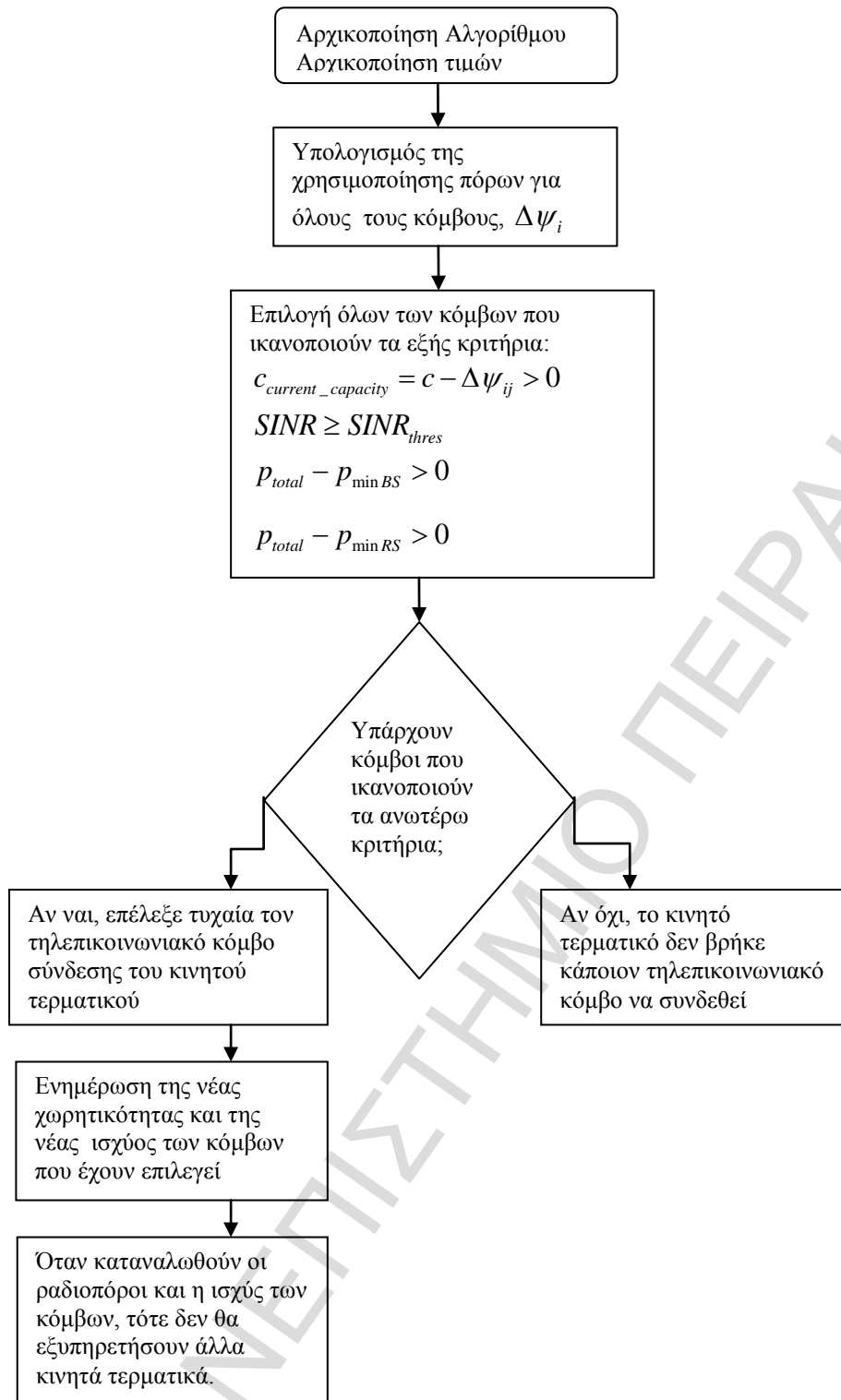
Επαναλαμβάνεται η διαδικασία κάθε φορά που περισσότερα κινητά τερματικά κάνουν αίτηση πρόσβασης στην κυψέλη [1], [4]

6.4 Σύνδεση σε κόμβο με τυχαίο τρόπο

Στο συμβατικό αλγόριθμο όπου η σύνδεση των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους γίνεται τυχαία, κάθε κινητό τερματικό θα συνδεθεί τυχαία με έναν τηλεπικοινωνιακό κόμβο, είτε σταθμό βάσης, είτε αναμεταδότη. Όταν τελειώσουν οι ραδιοπόροι κάποιου τηλεπικοινωνιακού κόμβου ή η συνολική του ισχύ, τότε δεν θα μπορεί να εξυπηρετήσει άλλα κινητά τερματικά. Αν ένα κινητό τερματικό συνδεθεί κατευθείαν με τον σταθμό βάσης θα αποσπάσει μόνο από αυτόν ραδιοπόρους. Αν συνδεθεί με τον σταθμό βάσης, μέσω αναμεταδότη, τότε, θα αποσπάσει ραδιοπόρους και από τον αναμεταδότη και από τον σταθμό βάσης. Στην περίπτωση που ένα κινητό τερματικό συνδεθεί μέσω αναμεταδότη, με τον σταθμό βάσης τότε θα αποσπάσει περισσότερους ραδιοπόρους από τον αναμεταδότη και πολύ λιγότερους από τον σταθμό βάσης.

Όπως στον συνεργατικό αλγόριθμο έτσι και στον εν λόγω συμβατικό, εξετάζονται όλα τα υποψήφια για σύνδεση κινητά τερματικά. Για κάθε κινητό τερματικό υπολογίζονται οι απαιτούμενοι ραδιοπόροι για κάθε δυνατή σύνδεση με τους υφιστάμενους τηλεπικοινωνιακούς πόρους, που έχουν υπολειπόμενους ραδιοπόρους. Πιο συγκεκριμένα για την περιγραφή του ευριστικού αλγορίθμου θα χρησιμοποιηθούν οι όροι I , J , i , j , $\Delta\psi_{ij}$, $\Delta\psi_{kj}$, c , $c_{current_capacity}$, $SINR$, $SINR_{thres}$, όπως και στον συνεργατικό αλγόριθμο.

Στο σχήμα 10. Παρουσιάζεται ο εν λόγω συμβατικός αλγόριθμος



Σχήμα 10. Flow Chart του συμβατικού αλγορίθμου στον οποίο τα κινητά τερματικά συνδέονται τυχαία στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους

Πιο αναλυτικά τα βήματα του συμβατικού αυτού αλγορίθμου δίδονται παρακάτω:

1. Έχουμε I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους (Σταθμό βάσης και αναμεταδότες) και J κινητά τερματικά που θέλουμε να συνδέσουμε στους I τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Εξετάζουμε τα κινητά τερματικά με τυχαία σειρά.
2. Βρίσκουμε όλους τους κόμβους που ικανοποιούν τα εξής τρία κριτήρια:
 - $c_{current_capacity} = c - \Delta\psi_{ij} > 0$, όπου c η αρχική χωρητικότητα κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου και $\Delta\psi_{ij}$ η κατανάλωση ραδιοπόρων για την ανάθεση του κινητού τερματικού j στον τηλεπικοινωνιακό κόμβο i (Σταθμό βάσης ή αναμεταδότη).
 - $SINR \geq SINR_{thres}$ Το κατώφλι $SINR$ στην περιπτωσή μας αφορά υπηρεσία VoIP.
 - $p_{total} - p_{minBS} > 0$ και $p_{total} - p_{minRS} > 0$, Όπου p_{total} η συνολική ισχύς κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου (Σταθμού βάσης ή αναμεταδότη). p_{minBS} η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετεί ο σταθμός βάσης κάθε κινητό τερματικό. p_{minRS} η ελάχιστη ισχύ με την οποία εξυπηρετούν οι αναμεταδότες κάθε κινητό τερματικό
3. Αν υπάρχουν τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι που πληρούν τα ανωτέρω κριτήρια, τότε, για το κινητό τερματικό j επιλέγεται τυχαία ο κόμβος που θα το εξυπηρετήσει

4. Κατόπιν θέτουμε τις νέες χωρητικότητες. Αν έχουμε άμεση σύνδεση του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης αφαιρούμε την σπατάλη πόρων μόνο από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, ειδικά, αφαιρούμε και από την χωρητικότητα του σταθμού βάσης και από την χωρητικότητα του αναμεταδότη $c_{BS} = c - \Delta\psi_{ij}$, $c_{RS} = c - \Delta\psi_{ij}$. Το ίδιο ισχύει και για την ισχύ. Εφόσον έχουμε άμεση σύνδεση του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης, αφαιρούμε την $p_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ p_{total} του σταθμού βάσης $p_{BS} = p_{total} - p_{\min BS}$. Αν το κινητό τερματικό συνδεθεί με τον σταθμό βάσης μέσω αναμεταδότη, τότε, αφαιρούμε $p_{\min RS}$ από την συνολική ισχύ του αναμεταδότη, και $p_{\min BS}$ από τη συνολική ισχύ του σταθμού βάσης:

$$p_{RS} = P_{total} - p_{\min RS}, \quad p_{BS} = P_{total} - p_{\min BS}$$

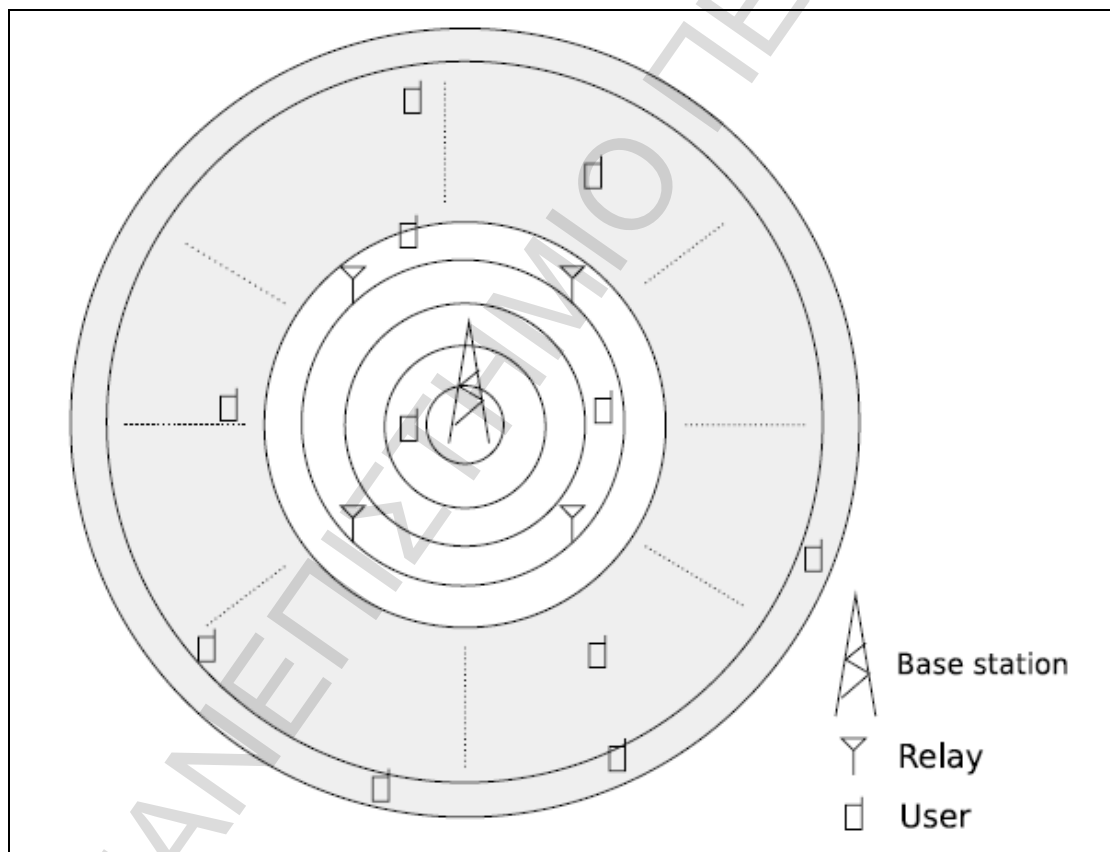
5. Αν δεν βρεθεί κάποιος τηλεπικοινωνιακός κόμβος, που να ικανοποιεί τα ανωτέρω κριτήρια δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί το κινητό τερματικό.

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία κάθε φορά που περισσότερα κινητά τερματικά κάνουν αίτηση πρόσβασης στην κυψέλη [1], [4].

7. Μοντέλο Προσομοίωσης και αποτελέσματα

7.1 Περιγραφή Μοντέλου

Το σύστημα που προσομοιώθηκε είναι ένα κυψελωτό, ετερογενές δίκτυο και αποτελείται από έναν σταθμό βάσης που βρίσκεται στο κέντρο της κυψέλης, από έναν αριθμό αναμεταδοτών, οι οποίοι είναι σταθεροί (Fixed) και βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις, ομοιόμορφα κατανομημένοι στα άκρα της κυψέλης και από έναν αριθμό χρηστών, που είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι στην κυψέλη. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι Lte-Advanced και αφορά VoIP εφαρμογές. Σχήμα.11.



Σχήμα 11. Ένα ετερογενές δίκτυο με ένα σταθμό βάσης και αναμεταδότες

Για την διευκόλυνση του σεναρίου μας κάνουμε κάποιες παραδοχές:

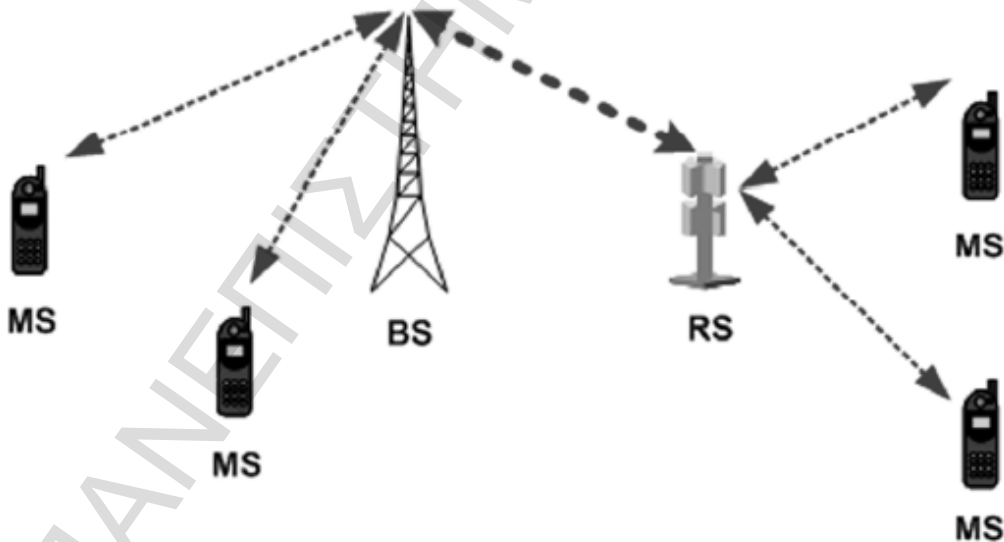
Οι αναμεταδότες που χρησιμοποιούμε στο σύστημα μας είναι αναμεταδότες επιπέδου 3 όπου μία ασύρματη οπισθοζεύξη συνδέει τους αναμεταδότες με το ραδιοδίκτυο πρόσβασης δια μέσω του δότη σταθμού βάσης. Οι αναμεταδότες στο σύστημά μας τοποθετούνται σε απόσταση μεταξύ τους και ειδικότερα αντιδιαμετρικά και στα άκρα της κυψέλης ώστε να αποφευχθούν επιπλέον παρεμβολές μεταξύ τους. [2], [5], [12].

Επιπλέον χρησιμοποιούνται ορθογώνια κανάλια (Time/ Frequency slots) και οι σταθμοί αναμετάδοσης βοηθούν τον σταθμό βάσης στην εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών (Users/ Mobile Stations). Επίσης, το συνεργατικό σύστημα χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας OFDMA (Orthogonal Frequency Division Modulation Access) ώστε να αποφεύγεται ο αυστηρός συγχρονισμός ανάμεσα στις μεταδόσεις των αναμεταδοτών. Τόσο ο σταθμός βάσης, όσο και οι σταθμοί αναμετάδοσης έχουν περιορισμένη ισχύ και μία ποσότητα ραδιοπόρων, για παράδειγμα subchannels. Η ισχύς του σταθμού βάσης είναι μεγαλύτερη από αυτή των σταθμών αναμετάδοσης. Κατά συνέπεια στο σύστημα μας ο σταθμός βάσης θα μπορεί να επικοινωνεί με k users και θα τον βοηθούν j αναμεταδότες. Τέλος, σε κάθε κινητό τερματικό (User/ Mobile Station) αποδίδεται ένα ορθογώνιο κανάλι, πάνω στο οποίο μπορούν να υπάρχουν οι εξής επικοινωνίες: Σταθμός βάσης-Με-Κινητό τερματικό, Αναμεταδότης-Με-Κινητό τερματικό. Οι αναμεταδότες στο σύστημα μας θα είναι σταθερά ασύρματα τερματικά, όπου εγκαθίστανται αποκλειστικά για να ενισχύουν και να βοηθούν την επικοινωνία του σταθμού βάσης με τα κινητά τερματικά. [1], [5], [17].

Στο υπό μελέτη σύστημα αναφερόμαστε στην κατερχόμενη ζεύξη. Επίσης ο σταθμός βάσης είναι Macro σταθμός βάσης, με μία μέγιστη συνολική ισχύ $P_{TotalBS}$ ενώ οι σταθμοί αναμετάδοσης είναι Micro σταθμοί αναμετάδοσης, με μία μέγιστη συνολική ισχύ ο καθένας $P_{TotalRS}$. Σε κάθε κατερχόμενη ζεύξη ο σταθμός βάσης εξυπηρετεί κάθε κινητό τερματικό με ισχύ P_{minBS} ενώ οι σταθμοί αναμετάδοσης με ισχύ P_{minRS} . Επιπλέον όλοι οι τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι έχουν ίσο αριθμό ραδιοπόρων. Η ελάχιστη ισχύς που δίδεται σε κάθε ζεύξη επιλέγεται ώστε να είναι επαρκής και να

εξυπηρετεί όλους τους χρήστες αποδοτικά, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) ακόμη και στους χρήστες που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης. Επιπλέον, η ισχύς P_{\min} της κάθε ζεύξης, επιλέγεται αριθμητικά ώστε να είναι επαρκής για την υποστήριξη της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσίας. Όταν ένα κινητό τερματικό συνδεθεί με τον σταθμό βάσης θα αποσπάσει από αυτόν μία ποσότητα ραδιοπόρων ενώ όταν συνδεθεί με τον σταθμό βάσης, μέσω αναμεταδότη, τότε, θα αποσπάσει ραδιοπόρους και από τον αναμεταδότη και από τον σταθμό βάσης. Όταν εξαντληθούν οι ραδιοπόροι και/ ή η ισχύς των τηλεπικοινωνιακών κόμβων δεν θα μπορούν να εξυπηρετηθούν άλλα κινητά. [1], [17].

Στο σχήμα.12 παρατηρούμε τις συνδέσεις/ ζεύξεις σε ένα ετερογενές δίκτυο. Κάποια κινητά τερματικά συνδέονται απευθείας με τον σταθμό βάσης ενώ κάποια άλλα συνδέονται με τον σταθμό βάσης, μέσω αναμεταδότη. Στη ζεύξη ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στους αναμεταδότες υπάρχουν καλές συνθήκες καναλιού, για παράδειγμα συνθήκες οπτικής επαφής (Line-Of-Sight). Κάθε αναμεταδότης μπορεί να εξυπηρετεί περισσότερους από έναν χρήστες.



Σχήμα 12. Συνδεσιμότητα των κινητών τερματικών με τον σταθμό βάσης ή με τον αναμεταδότη σε ένα κυψελωτό δίκτυο

Η μετάδοση του σταθμού βάσης και των αναμεταδοτών στην κατερχόμενη ζεύξη γίνεται στο πεδίο του χρόνου χρησιμοποιώντας διαφορετικές χρονοθυρίδες ή πλαίσια

ελέγχου πρόσβασης (Access Control Frames) ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές ανάμεσα στους αναμεταδότες. Κατά συνέπεια στο σύστημα μας έχουμε πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM/ Time Division Multiplexing). Στο σύστημα μας εφαρμόζεται Orthogonal frequency-division multiple access OFDMA ώστε ο κάθε κόμβος να λειτουργεί σε διαφορετικό τόνο συχνοτήτων και έτσι να ελαττώνεται η παρεμβολή καθώς και να αποφευχθεί ο αυστηρός συγχρονισμός συχνοτήτων ανάμεσα στους αναμεταδότες και στα κινητά τερματικά.

Επιπλέον στο εν λόγω σύστημα αναφερόμαστε σε ένα συνεργατικό δίκτυο όπου ο προορισμός (Κινητά τερματικά) συνδυάζει συνεργατικά τα σήματα, που στέλνονται από την πηγή (Σταθμό Βάσης) και από τους αναμεταδότες. [5], [12].

Η επιλογή του $SINR$ κατωφλιού για το σύστημα μας καθώς και η επιλογή των τύπων για τις απώλειες διαδρομής γίνεται βάσει του παρακάτω μοντέλου:

Εφόσον για κάποιο κινητό τερματικό το λαμβανόμενο $SINR$ είναι μικρότερο από ένα κατώφλι (Threshold) η σύνδεση δεν είναι εφικτή. Στην κατερχόμενη ζεύξη το $SINR$ κάθε τηλεπικοινωνιακού κόμβου με κάθε χρήστη συγκρίνεται με μία προκαθορισμένη τιμή $SINR$ κατωφλιού ($SINR_{thres}$). Εφόσον η τιμή του εκάστοτε $SINR$ είναι μεγαλύτερη της τιμής $SINR_{thres}$, η σύνδεση γίνεται αποδεκτή. Επιπλέον το $SINR_{thres}$ πρέπει να είναι μεγαλύτερο της τιμής $SINR_{min}$, όπου $SINR_{min}$ είναι η ελάχιστη τιμή του $SINR$ ώστε να έχω αποδεκτή ποιότητα σήματος (Signal Quality). Πάραυτα εάν η τιμή $SINR_{thres}$ είναι υψηλή θα έχω καλή ποιότητα σήματος αλλά ταυτόχρονα αύξηση της πιθανότητας φραγής κλήσεων. Κατά συνέπεια μείωση της χρησιμοποίησης/ αξιοποίησης δικτύου (Network utilization). Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί στην εξυπηρέτηση λιγότερων κινητών τερματικών. [13], [15].

Στο σύστημα μας επιλέγουμε τον καλύτερο κόμβο που θα εξυπηρετήσει κάθε φορά ένα κινητό τερματικό βάσει κάποιων κριτηρίων. Για να εξυπηρετηθεί ένα κινητό τερματικό θα πρέπει να υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι καθώς και διαθέσιμη ισχύς ειδάλλως δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί. Επιπλέον για να υπάρξει υπηρεσία VoIP πρέπει το $SINR$ του κάθε κινητού τερματικού, με τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο που θα το εξυπηρετήσει να έχει μεγαλύτερη τιμή από το $SINR$ κατωφλιού. Στο σύστημα

μας και σε όλα τα σενάρια, συνεργατικό σενάριο και συμβατικά σενάρια, το $SINR$ κατωφλιού έχει την ίδια τιμή.

Στο σύστημα μας παρουσιάζονται και τρεις συμβατικοί αλγόριθμοι και συγκρίνονται με τον συνεργατικό αλγόριθμο βάσει δύο παραγόντων, της χρησιμοποίησης πόρων και της πιθανότητας φραγής κλήσεων. Κατά συνέπεια Συγκρίνουμε τέσσερις διαφορετικούς αλγορίθμους σύνδεσης των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους για εξισορρόπηση φορτίου:

- I. Ο συμβατικός αλγόριθμος που βασίζεται στην πιο υψηλή ισχύ μετάδοσης κατά την κατερχόμενη ζεύξη.
- II. Ο συμβατικός αλγόριθμος που βασίζεται στην εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών πρώτα από τους αναμεταδότες και έπειτα από τον σταθμό βάσης.
- III. Στον τυχαίο συμβατικό αλγόριθμο όπου τα κινητά τερματικά συνδέονται τυχαία στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους
- IV. Ο συνεργατικός, ευριστικός αλγόριθμος που τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο με την μικρότερη κατανάλωση υποθετικών πόρων.

Στους αλγόριθμους του συστήματος μας εξετάζουμε μία κυψέλη, με έναν αριθμό αναμεταδοτών και έναν αριθμό κινητών τερματικών. Οι αναμεταδότες βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης ενώ οι χρήστες είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε όλη την κυψέλη.

Επειδή και στους τέσσερις αλγόριθμους γίνεται αναφορά στον καλύτερο τηλεπικοινωνιακό κόμβο πρέπει να σημειωθεί το εξής συμπέρασμα:

Η απόφαση για τον καλύτερο αναμεταδότη είναι πολύπλοκη γιατί κάθε αναμεταδότης εξυπηρετεί έναν αριθμό κινητών τερματικών και η διαθέσιμη ισχύς του καθώς και οι ραδιοπόροι του μοιράζονται ανάμεσα σε αυτά τα κινητά τερματικά. Κατά συνέπεια, ενδεχομένως, ένας αναμεταδότης να είναι ο καλύτερος για μία ζεύξη αλλά να μην είναι ο καλύτερος συνολικά, όσον αφορά την επίδοση του συστήματος. Γι αυτό η επιλογή του καλύτερου αναμεταδότη είναι μία συνάρτηση πολλών παραγόντων. [17].

7.2 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Οι προσομοιώσεις έγιναν σε περιβάλλον Windows 7, 64 bit και σε περιβάλλον NetBeans IDE 7.2, με υλοποίηση σε java 1.7.0 64 bit.

Το σύστημά μας είναι ένα στατικό μοντέλο. Μελετήσαμε τέσσερις αλγόριθμους, τον συνεργατικό, τον συμβατικό όπου τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο με την χαμηλότερη ισχύ, τον συμβατικό όπου τα κινητά τερματικά συνδέονται με τον τηλεπικοινωνιακό κόμβο με την υψηλότερη ισχύ, τον συμβατικό όπου τα κινητά τερματικά συνδέονται στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους με τυχαίο τρόπο. Σε όλους τους αλγόριθμους μελετήθηκε ένα ασύρματο, κυψελωτό δίκτυο με μία κυψέλη, έναν σταθμό βάσης και έναν αριθμό αναμεταδοτών. Η διαφορά των αλγορίθμων έγκειται στο κριτήριο απόφασης σύνδεσης των κινητών τερματικών με τον κατάλληλο τηλεπικοινωνιακό κόμβο. Δηλαδή, με ποιον τηλεπικοινωνιακό κόμβο θα συνδεθεί το κάθε κινητό τερματικό σε κάθε έναν από τους τέσσερις αλγορίθμους. Στο σύστημα μας κάναμε τις εξής παραδοχές:

- Ο σταθμός βάσης βρίσκεται στο κέντρο της κυψέλης και οι αναμεταδότες στα άκρα της κυψέλης.
- Τα κινητά τερματικά βρίσκονται ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο της κυψέλης και δημιουργούνται στην αρχή της προσομοίωσης.
- Τα κινητά τερματικά εξυπηρετούνται έως ότου να εξαντληθούν οι ραδιοπόροι καθώς και η συνολική ισχύς των τηλεπικοινωνιακών κόμβων.
- Τα κινητά τερματικά αντιπροσωπεύουν χρήστες VoIP με χωρητικότητα $12.2kb/s$ και εύρος ζώνης $20MHz$ (Bandwidth). Αναφερόμαστε σε σύστημα Lte- Advanced.
- Τόσο στο συνεργατικό, όσο και στα συμβατικά μας σενάρια το $SINR$ κατωφλιού θα είναι $SINR_{thres} = -15dB$ ώστε να υπάρξει υπηρεσία VoIP. Το $SINR$ κατωφλιού επιλέγει ως η ελάχιστη τιμή του $SINR$ ώστε να διατηρείται η πιθανότητα φραγής κλήσεων κάτω από μία μέγιστη τιμή πιθανότητας φραγής των κλήσεων ($blocking\ probability_{max}$)

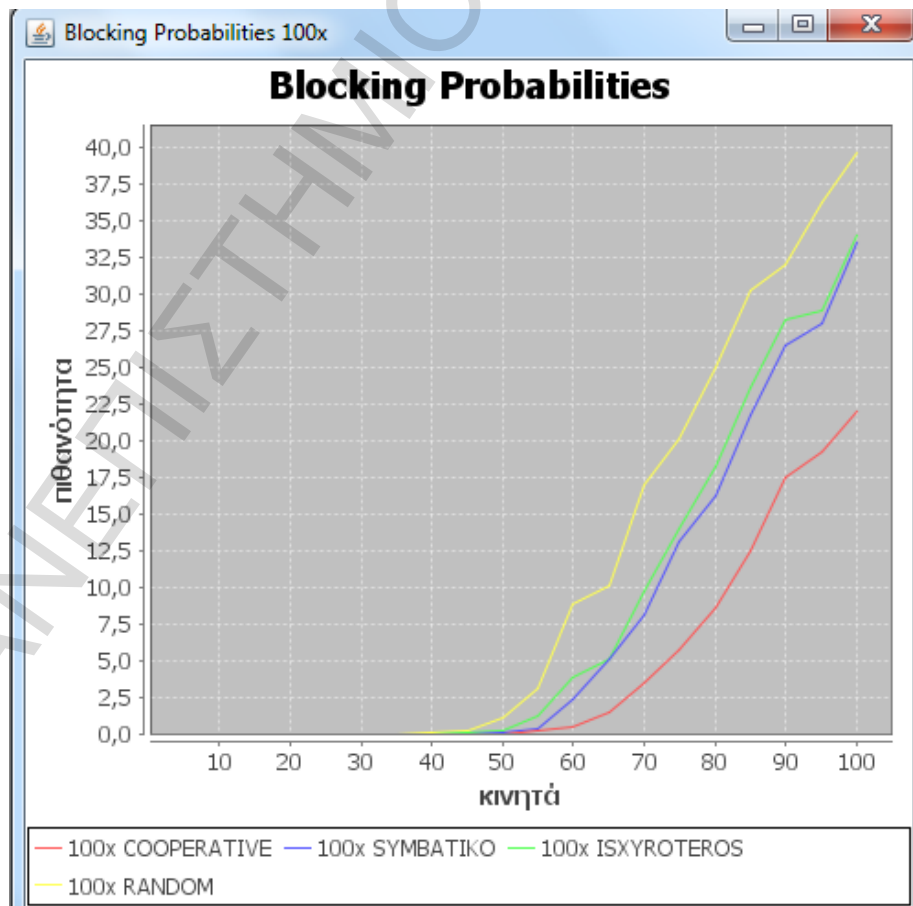
- Οι απώλειες διαδρομής του σταθμού βάσης από κάθε κινητό τερματικό. (Macro Σταθμός βάσης) θα δίδονται από την μαθηματική σχέση: $PathLoss_{Bs-Ms} = 138.5 + 32.23 * \log(distance)$.
- Οι απώλειες διαδρομής των αναμεταδοτών από κάθε κινητό τερματικό. (Micro αναμεταδότες) θα δίδονται από την μαθηματική σχέση: $PathLoss_{Rs-Ms} = 127.0 + 30 * \log(distance)$.
- Ο αριθμός ραδιοπόρων του σταθμού βάσης και του κάθε αναμεταδότη είναι ίσος με 1.
- Κάθε φορά που ένα κινητό τερματικό θα συνδεθεί με τον σταθμό βάσης, θα αποσπά από αυτόν τυχαία ραδιοπόρους από 0.01 έως 0.05. Κάθε φορά που ένα κινητό τερματικό θα συνδεθεί με τον σταθμό βάσης μέσω αναμεταδότη, τότε, αποσπά τυχαία από 0.01 έως 0.05 ραδιοπόρους, από τον αναμεταδότη και τυχαία από 0.001 έως 0.02 ραδιοπόρους από τον σταθμό βάσης. Ο αριθμός των ραδιοπόρων που αποσπώνται από τον σταθμό βάσης και από τους αναμεταδότες δίδονται ως ένα ποσοστό ραδιοπόρων σύνδεσης του κάθε κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης ή με τον αναμεταδότη και με τον σταθμό βάσης.
- Ο σταθμός βάσης θα εξυπηρετεί κάθε ζεύξη με ισχύ, $P_{min} = 0.1Watt$ και θα έχει συνολική ισχύ $P_{total} = 20Watt$. Ο κάθε αναμεταδότης θα εξυπηρετεί κάθε ζεύξη με ισχύ, $P_{min} = 0.01Watt$ και θα έχει συνολική ισχύ $P_{total} = 1Watt$. Επιλέγουμε για την κάθε ζεύξη μία ελάχιστη τιμή ισχύος ώστε να εξυπηρετούνται αποδοτικά οι χρήστες, τόσο στο κέντρο, όσο και στα άκρα της κυψέλης.

7.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

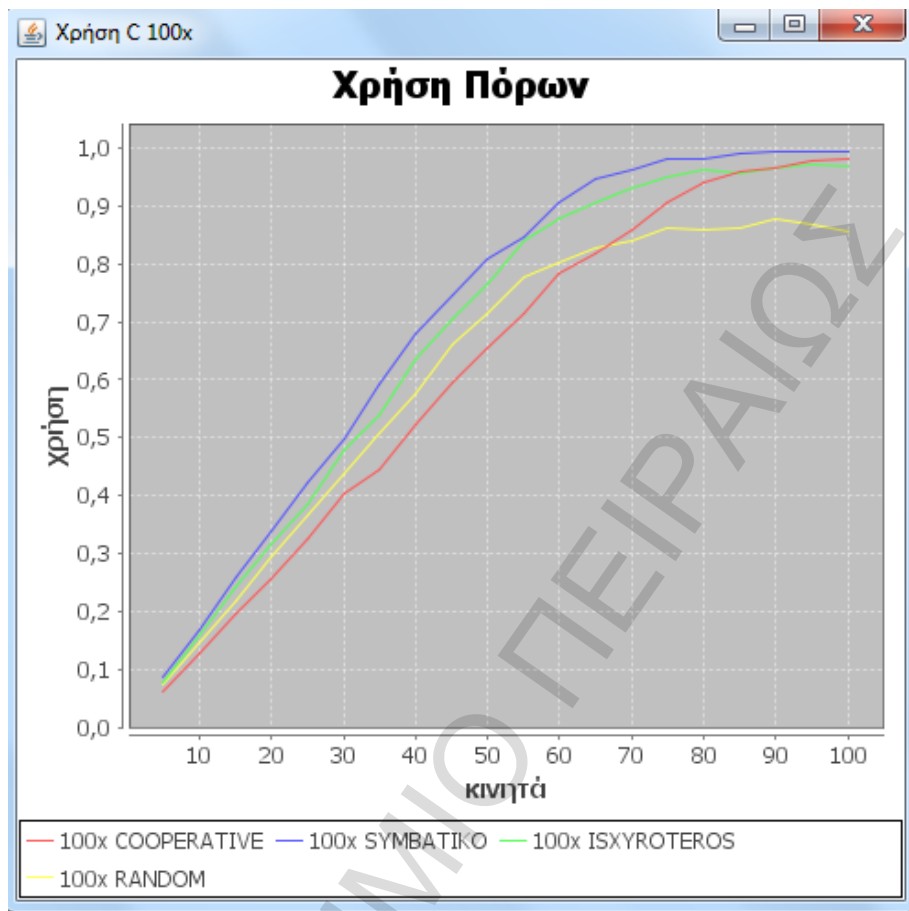
Μελετήθηκε στο σύστημα η πιθανότητα φραγής κλήσεων βάσει του αριθμού κινητών τερματικών καθώς και η χρησιμοποίηση πόρων βάσει του αριθμού των κινητών τερματικών. Μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές αποστάσεις των αναμεταδοτών από το σταθμό βάσης 353 μέτρα, 420 μέτρα, 494 μέτρα και για κάθε κυψέλη μελετήθηκαν οι προσομοιώσεις για δύο και τέσσερις τηλεπικοινωνιακούς κόμβους αναμετάδοσης αντιστοίχως. Ο αριθμός των κινητών τερματικών που εισέρχονται στην κυψέλη ξεκινάει από πέντε και φτάνει στους εκατό. Τα γραφήματα σε κάθε μία περίπτωση δίδονται παρακάτω.

➤ **Για απόσταση του σταθμού βάσης από τους αναμεταδότες 353 μέτρα**

1. Με τον σταθμό βάσης στη θέση (250, 250). Με δύο αναμεταδότες στις θέσεις: (12, 13), (423, 424).

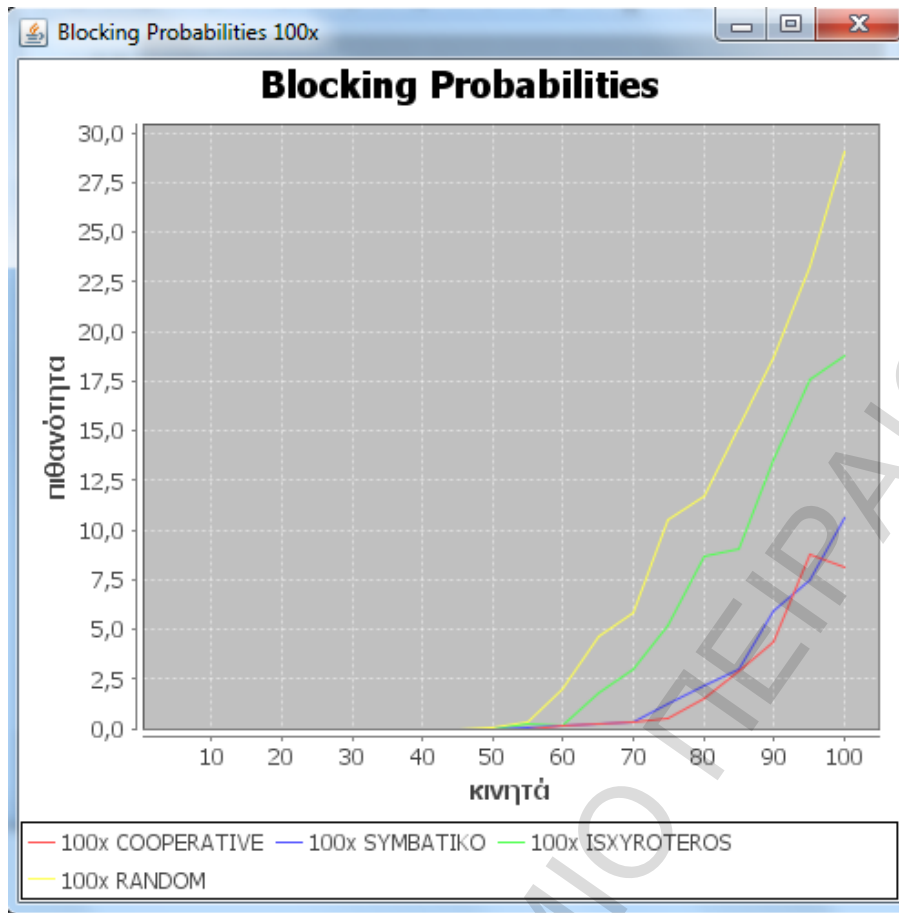


Γράφημα 1. Πιθανότητα φραγής κλήσεων vs #κινητών 1

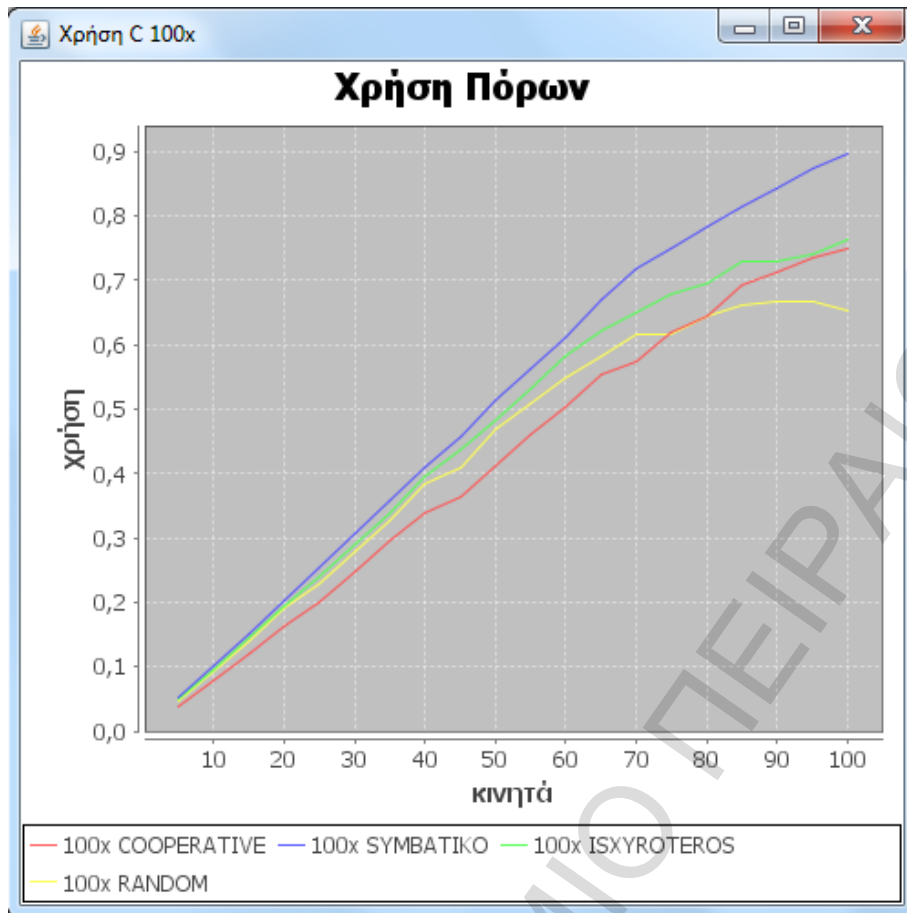


Γράφημα 2. Χρησιμοποίηση πόρων vs#Κινητών

2. Με τον σταθμό βάσης στη θέση (250, 250). Με τέσσερις αναμεταδότες στις θέσεις: (12, 13), (423, 424), (12, 424), (423, 13).

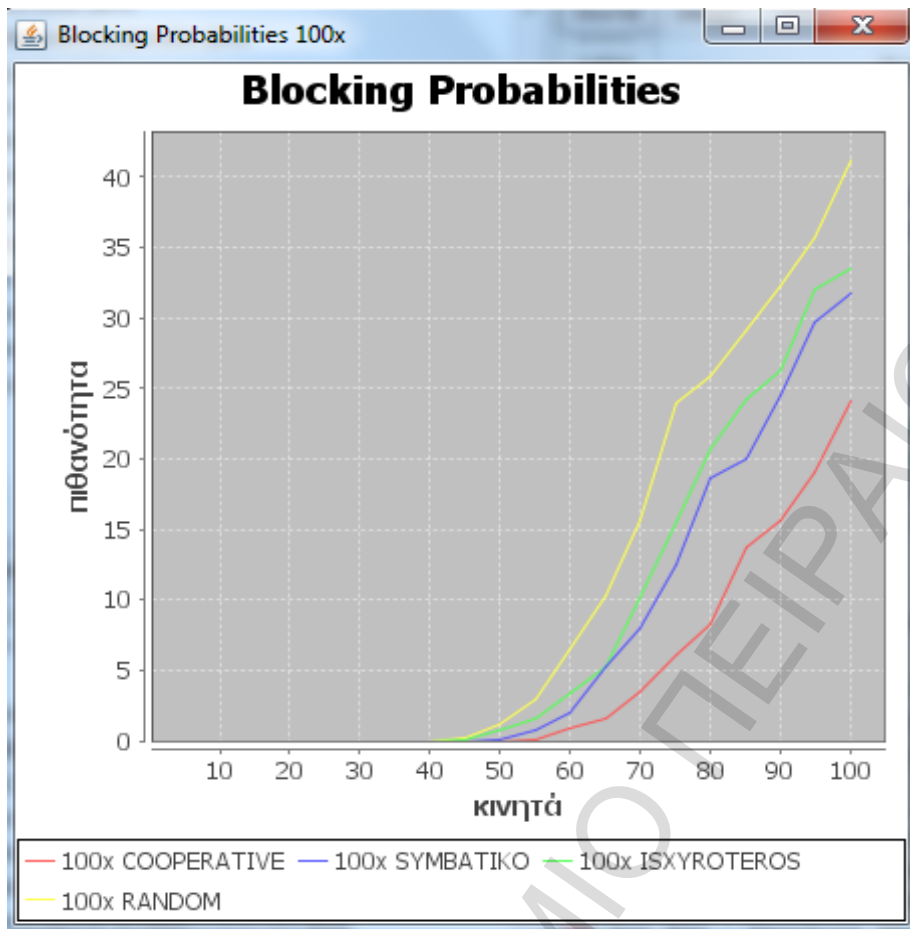


Γράφημα 3. Πιθανότητα φραγής κλήσεων vs #κινητών

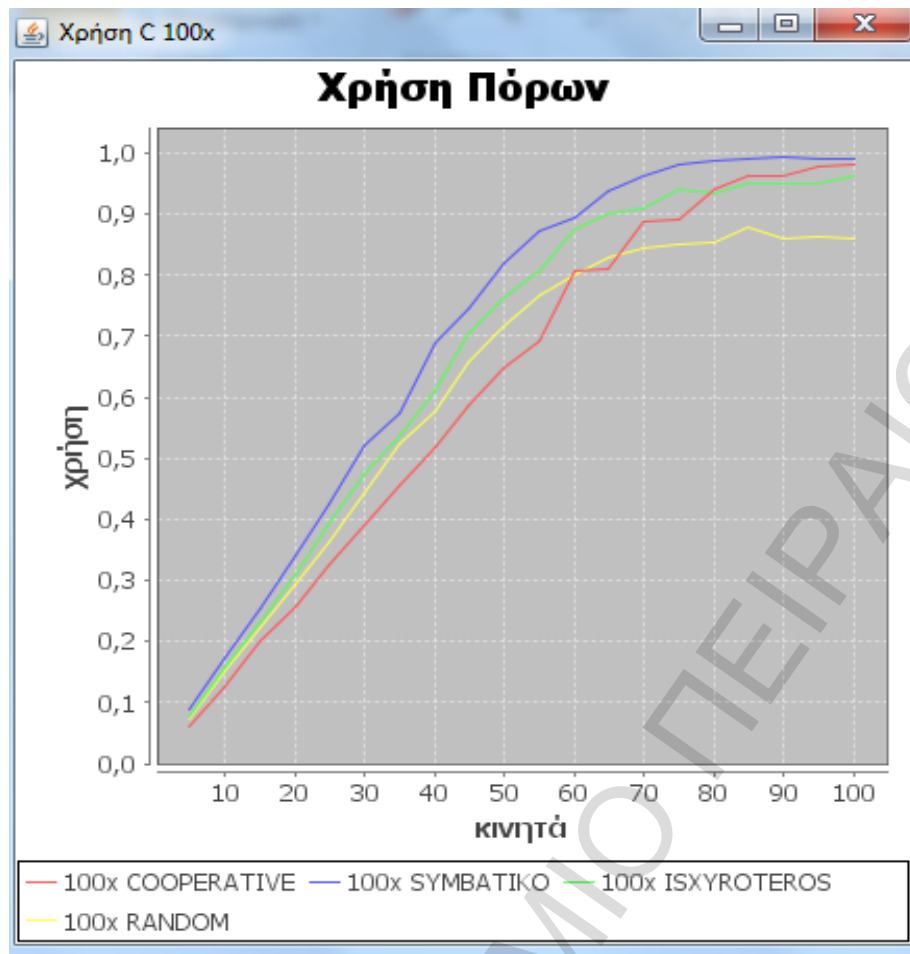


Γράφημα 4. Χρησιμοποίηση πόρων vs#Κινητών

- Για απόσταση του σταθμού βάσης από τους αναμεταδότες 420 μέτρα
 1. Με τον σταθμό βάσης στη θέση (300, 300). Με δύο αναμεταδότες στις θέσεις: (6, 7), (592, 593).

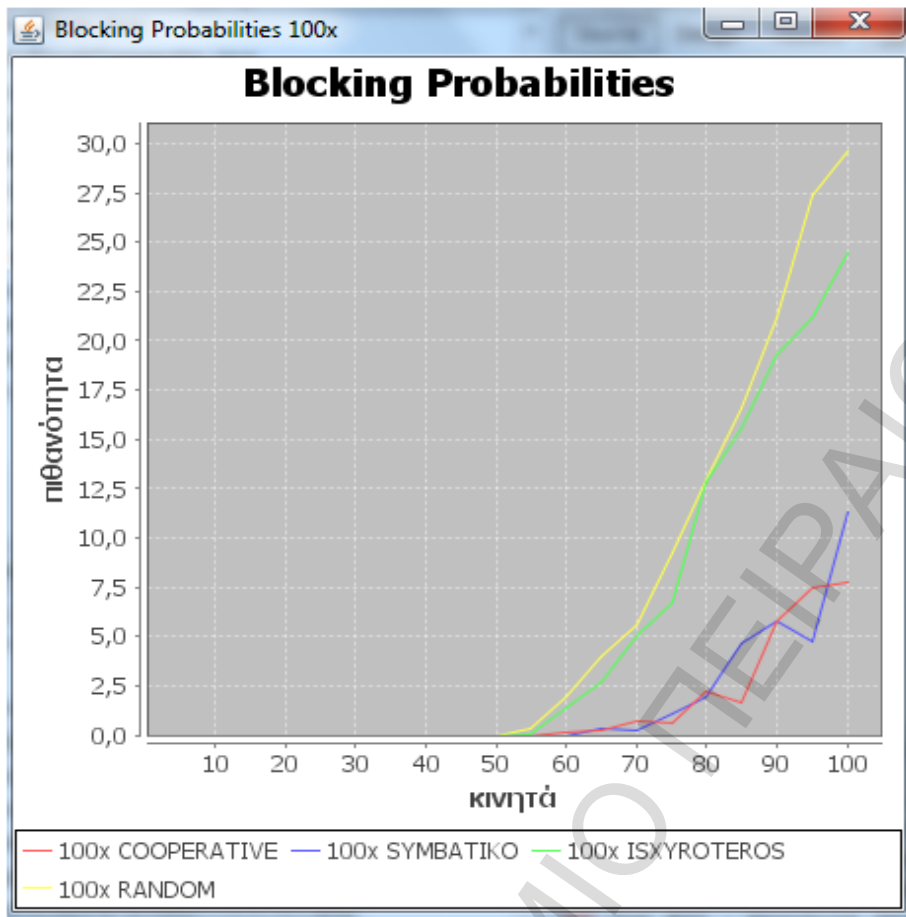


Γράφημα 5. Πιθανότητα φραγής κλήσεων vs #κινητών

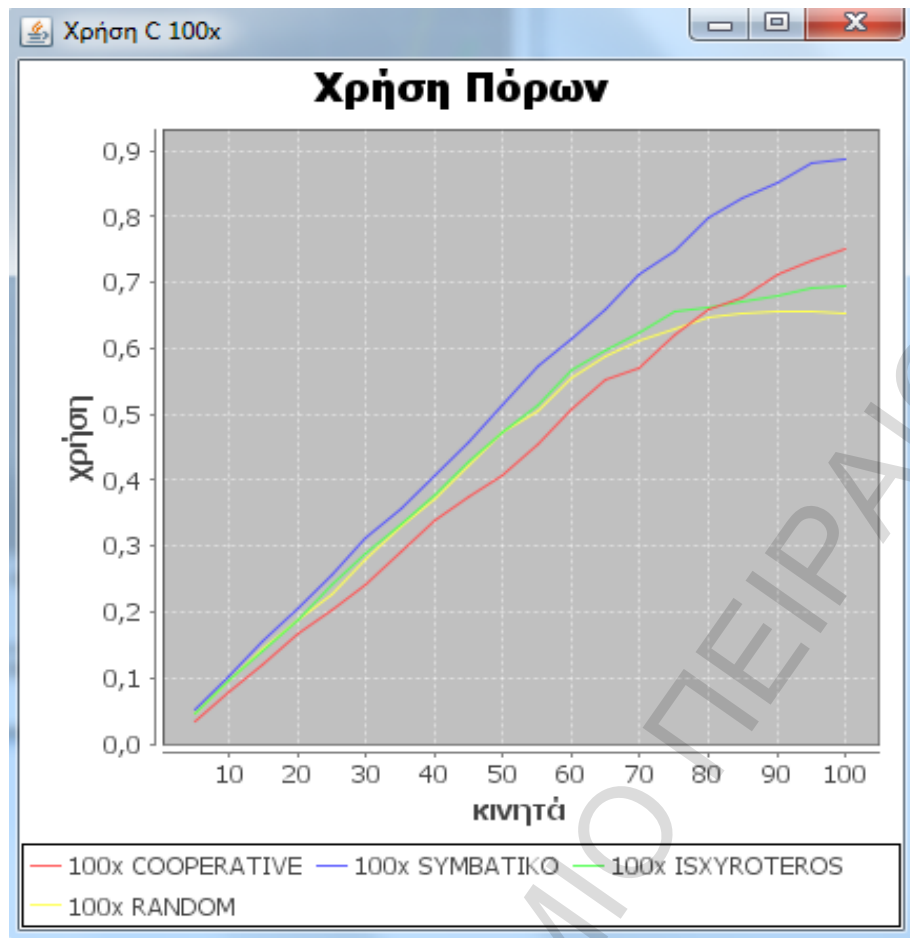


Γράφημα 6. Χρησιμοποίηση πόρων vs#Κινητών

2. Με τον σταθμό βάσης στη θέση (300, 300). Με τέσσερις αναμεταδότες στις θέσεις: (6, 7), (592, 593), (6, 593), (592, 7).

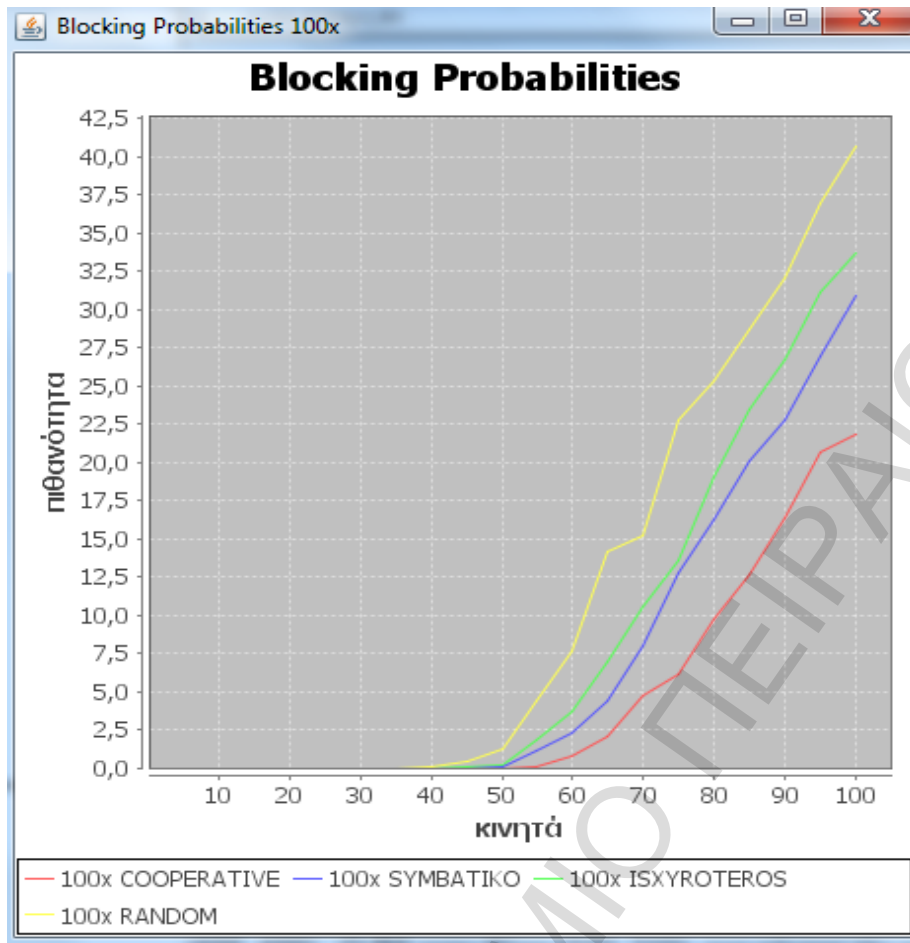


Γράφημα 7. Πιθανότητα φραγής κλήσεων vs #κινητών

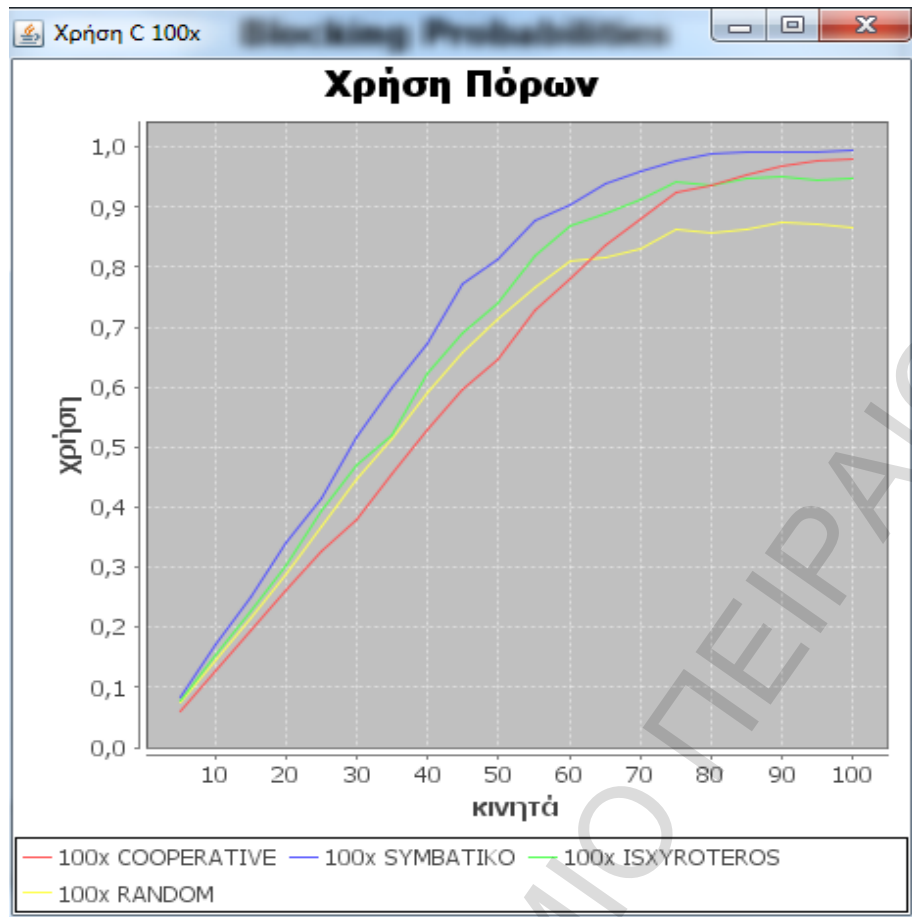


Γράφημα 8. Χρησιμοποίηση πόρων vs#Κινητών

- Για απόσταση του σταθμού βάσης από τους αναμεταδότες 494 μέτρα
 3. Με τον σταθμό βάσης στη θέση (350, 350). Με δύο αναμεταδότες στις θέσεις: (1, 2), (698, 699).

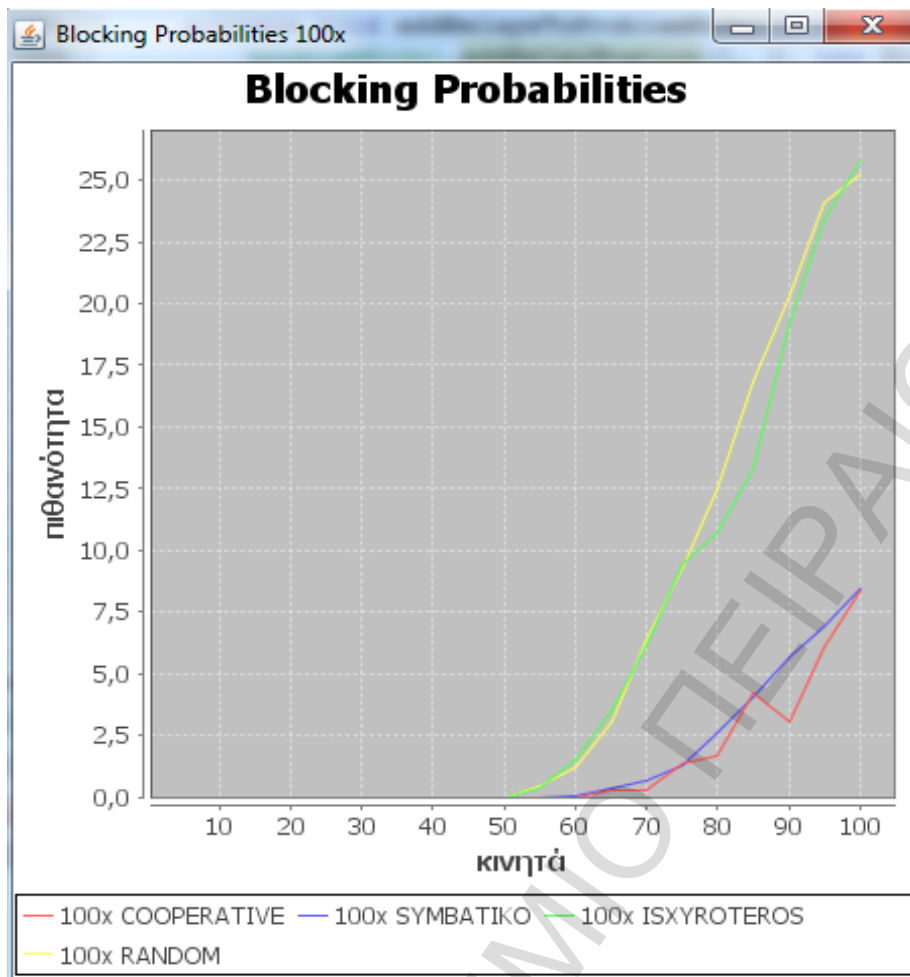


Γράφημα 9. Πιθανότητα φραγής κλήσεων vs #κινητών

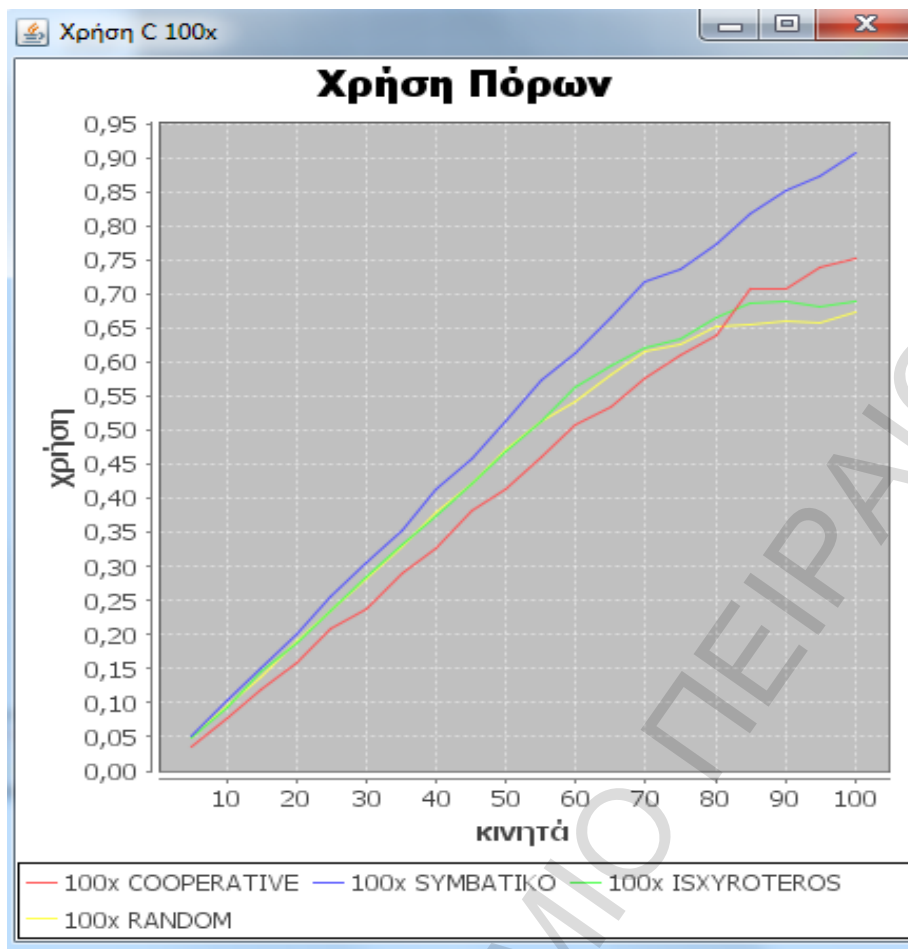


Γράφημα 10. Χρησιμοποίηση πόρων vs#Κινητών

4. Με τον σταθμό βάσης στη θέση (350, 350). Με τέσσερις αναμεταδότες στις θέσεις: (1, 2), (698, 699), (1, 699), (698, 2).



Γράφημα 11. Πιθανότητα φραγής κλήσεων vs #κινητών



Γράφημα 12. Χρησιμοποίηση πόρων vs#Κινητών

Στα γραφήματα συγκρίνεται η πιθανότητα φραγής κλήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό των κινητών που κάνουν αίτημα πρόσβασης στο σύστημα καθώς και η χρησιμοποίηση των πόρων σε συνάρτηση με τον αριθμό των κινητών που κάνουν αίτημα πρόσβασης στο σύστημα και για τους τέσσερις αλγορίθμους, για αποστάσεις του σταθμού βάσης από τους αναμεταδότες 353 μέτρα, 420 μέτρα, 494 μέτρα.

Εν γένει η απόφαση σύνδεσης των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους πρέπει να οδηγεί το σύστημα σε υψηλή χωρητικότητα και ταυτόχρονα σε αποδοτική χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων. Όταν κάποιος αλγόριθμος οδηγεί σε χαμηλή χωρητικότητα και σε χαμηλή χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων, τότε δεν υπάρχει ισορροπία φορτίου ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στους αναμεταδότες. Από την άλλη πλευρά, όταν πολλά κινητά τερματικά συνδέονται με τους αναμεταδότες το σύστημα έχει υψηλή χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων αλλά χαμηλή χωρητικότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί ο σταθμός βάσης προκαλεί υψηλά επίπεδα παρεμβολών στους αναμεταδότες.

Στον συνεργατικό, ευριστικό αλγόριθμο κάθε κινητό τερματικό συνδέεται με τον καλύτερο τηλεπικοινωνιακό κόμβο με την μικρότερη, υποθετική κατανάλωση ραδιοπόρων. Κατά συνέπεια, ο συνεργατικός αλγόριθμος έχει την καλύτερη χρησιμοποίηση των πόρων όπως φαίνεται και στα γραφήματα. Επειδή τα κινητά τερματικά συνδέονται και με τον σταθμό βάσης και με τους αναμεταδότες, ο συνεργατικός αλγόριθμος οδηγεί το σύστημα σε καλύτερη κατανομή φορτίου στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Κατά συνέπεια σε αυξανόμενη χωρητικότητα του συστήματος. [1], [4]

Στον συμβατικό αλγόριθμο, που αρχικά εξυπηρετούν οι αναμεταδότες τα κινητά τερματικά και όταν εξαντληθούν οι ραδιοπόροι τους, τότε, εξυπηρετεί ο σταθμός βάσης έχει εξίσου καλή χρησιμοποίηση των πόρων αλλά αυξημένη πιθανότητα φραγής των κλήσεων. Κατά συνέπεια, καλύτερη συνολική επίδοση έχει το συνεργατικό σενάριο. Στον συμβατικό αλγόριθμο, όπου εξυπηρετεί τα κινητά τερματικά ο πιο ισχυρός κόμβος, τα περισσότερα κινητά τερματικά συνδέονται με τον σταθμό βάσης και έτσι δεν έχουμε εξισορρόπηση του φορτίου στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Επίσης έχουμε χαμηλή αξιοποίηση των ραδιοπόρων των αναμεταδοτών. Κατά συνέπεια οδηγούμαστε σε χαμηλή χωρητικότητα του συστήματος. [1], [4]

Επιπλέον, από τα γραφήματα παρατηρούμε ότι ο συνεργατικός αλγόριθμος οδηγεί σε μικρότερη πιθανότητα φραγής των κλήσεων. Κατά συνέπεια εισέρχονται στο σύστημα και εξυπηρετούνται περισσότερα κινητά τερματικά. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των αναμεταδοτών ο συνεργατικός αλγόριθμος παραμένει συνολικά καλύτερος αλλά βελτιώνεται και η επίδοση του συμβατικού αλγόριθμου στον οποίο τα κινητά τερματικά εξυπηρετούνται από τον κόμβο με τις μικρότερες απώλειες διαδρομής. Αυτό είναι λογικό γιατί αυξάνονται οι ραδιοπόροι των αναμεταδοτών και δεν εξαντλούνται γρήγορα. Επίσης όσο αυξάνεται η περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης, εξυπηρετείται περίπου ο ίδιος αριθμός κινητών τερματικών.

Συνολικά, ο συνεργατικός αλγόριθμος έχει την καλύτερη επίδοση και όσον αφορά την πιθανότητα φραγής των κλήσεων και όσον αφορά την χρησιμοποίηση των ραδιοπόρων. Την χειρότερη επίδοση έχει ο συμβατικός αλγόριθμος, στον οποίο επιλέγονται τυχαία οι συνδέσεις των κινητών τερματικών με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους.

8. Συμπεράσματα

Κάποιοι σημαντικοί παράγοντες για την αξιολόγηση της επίδοσης ενός ασύρματου, κυψελωτού δικτύου, με την χρησιμοποίηση της τεχνικής της συνεργατικής αναμετάδοσης, είναι η ρυθμαπόδοση, η πιθανότητα φραγής κλήσεων (Blocking probability), η ποιότητα υπηρεσίας, ο αριθμός των μεταπομπών των κινητών τερματικών σε άλλη κυψέλη (Hand Off) και η αποδοτική χρησιμοποίηση των πόρων (Resource Utilization). [13].

Η τεχνική της συνεργατικής αναμετάδοσης σε ένα ετερογενές δίκτυο διαμέσου της έξυπνης σύνδεσης των κινητών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και της εξισορρόπησης φορτίου ανάμεσα στους διαφορετικούς σε ισχύ και σε κάλυψη τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, οδηγεί στην πλήρη εκμετάλλευση της χωρητικότητας (Capacity Gain) του δικτύου. Η ύπαρξη αναμεταδοτών σε ένα κυψελωτό, ετερογενές δίκτυο προσφέρει μία επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας, υψηλή χωρητικότητα συστήματος και αποδοτική αξιοποίηση των ραδιοπόρων. Η εισαγωγή των αναμεταδοτών και η τεχνική της συνεργατικής αναμετάδοσης οδηγούν σε μία αποδοτική χρησιμοποίηση των επιπλέον ραδιοπόρων, που προέρχονται από την εισαγωγή των αναμεταδοτών. Επιπλέον η συνεργατική αναμετάδοση, εν συγκρίσει, με την συμβατική αναμετάδοση οδηγεί σε μία συνολική βελτίωση της χωρητικότητας του συστήματος ενώ αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Επίσης με την εισαγωγή κόμβων αναμετάδοσης και με το προτεινόμενο θέμα της συνεργατικής αναμετάδοσης, μειώνεται η πιθανότητα φραγής των κινητών τερματικών στο δίκτυο μιας και δίδονται νέοι πόροι και με την επιλογή του καλύτερου τηλεπικοινωνιακού κόμβου κάθε φορά για κάθε κινητό τερματικό. Τέλος, εξυπηρετούνται περισσότερα κινητά τερματικά ενώ ταυτόχρονα γίνεται αποδοτική αξιοποίηση των ραδιοπόρων. [1], [4], [12].

Στον συνεργατικό, ευριστικό αλγόριθμο με την εισαγωγή αναμεταδοτών, με την έξυπνη σύνδεση των κινητών τερματικών στους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και με την εξισορρόπηση του φορτίου των τηλεπικοινωνιακών κόμβων οδηγούμαστε σε αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος. Επίσης, εν συγκρίσει με τους συμβατικούς αλγορίθμους, ο συνεργατικός αλγόριθμος οδηγεί στην βελτίωση της

χρησιμοποίησης των πόρων, στην μείωση της πιθανότητας φραγής κλήσεων και στην εξισορρόπηση του φορτίου των τηλεπικοινωνιακών κόμβων κατά την κατερχόμενη ζεύξη. [4]

Η εισαγωγή νέων τηλεπικοινωνιακών κόμβων, αναμεταδοτών, προσφέρει επιπλέον ραδιοπόρους στο σύστημα. Ο συνεργατικός αλγόριθμος βελτιώνει την εκμετάλλευση των έξτρα ραδιοπόρων συγκριτικά με τους συμβατικούς αλγόριθμους. Κατά συνέπεια οδηγούμαστε σε αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος και στην εξυπηρέτηση περισσότερων κινητών τερματικών. Επιπλέον, έχουμε αποδοτικότερη εξισορρόπηση του φορτίου των ετερογενών τηλεπικοινωνιακών κόμβων. Στο συνεργατικό σενάριο κατά την κατερχόμενη ζεύξη επιλέγεται πάντα ο καλύτερος τηλεπικοινωνιακός κόμβος για την εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών. Η επιλογή του καλύτερου τηλεπικοινωνιακού κόμβου οδηγεί στη συνολική βελτίωση του συστήματος. [5], [6]

9. Μελλοντική Έρευνα

Στο σύστημα που περιγράφηκε μελετήθηκε ένα μονοκυψελικό δίκτυο με έναν σταθμό βάσης, έναν αριθμό αναμεταδοτών και έναν αριθμό κινητών τερματικών ομοιόμορφα καταναμημένων στην κυψέλη. Το μοντέλο που μελετήθηκε είναι στατικό. Η μελλοντική έρευνα εστιάζεται σε ένα δυναμικό μοντέλο σε πραγματικό χρόνο, όπου νέα κινητά τερματικά θα εισέρχονται στο σύστημα, κινητά τερματικά θα αποχωρούν από το σύστημα και κάποια κινητά τερματικά θα κάνουν μεταπομπές σε άλλες κυψέλες. Σε ένα δυναμικό σύστημα κάθε φορά που θα υπάρχει αίτημα πρόσβασης στο δίκτυο από ένα νέο κινητό τερματικό θα πρέπει να γίνεται εκ νέου μία γρήγορη απόφαση σύνδεσης όλων των κινητών τερματικών, με τους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Επίσης η μελλοντική έρευνα μπορεί να γίνει σε ένα πολυκυψελικό δίκτυο, με περισσότερους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους κατά συνέπεια με υψηλότερες παρεμβολές. Η μελέτη του συστήματος μπορεί να επεκταθεί για ένα δυναμικό σύστημα σε πραγματικό χρόνο ώστε η τεχνική της αναμετάδοσης να προσφέρει στα κινητά τερματικά ποιότητα υπηρεσίας και υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων. Επειδή ο αριθμός των κινητών τερματικών που εισέρχονται σε ένα κυψελωτό σύστημα αυξάνεται εκθετικά και τα κινητά τερματικά απαιτούν μεγαλύτερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, μελλοντικά, θα υπάρξουν κυψελωτές δομές (Αναμεταδότες, Micro και Pico δομές) ώστε οι μεταπομπές των κινητών τερματικών να οδηγούν σε αύξηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων.

10. Βιβλιογραφία

- [1] Yi Yu, Rose Qingyang Hu, Utah State University
Chandra S. Bontu and Zhijun Cai, “Mobile Association and Load Balancing in a Cooperative Relay Cellular Network”, IEEE Communications Magazine • May 2011
- [2] Yijie Wang, Gang Feng, Yide Zhang, ” Cost-efficient Deployment of Relays for LTE-Advanced Cellular Networks”, This full text paper was peer reviewed at the direction of IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the IEEE ICC 2011 proceedings
- [3] Yang Yang, Honglin Hu and Jing Xu,
Guoqiang Mao, “Relay Technologies for WiMax and LTE-Advanced Mobile Systems,” IEEE Commun. Mag., vol. 47, no. 10, Oct. 2009, pp. 100–05.
- [4] Yi Yu¹, Rose Qingyang Hu², Zhijun Cai¹., “Optimal Load Balancing and Its Heuristic Implementation in a Heterogeneous Relay Network”, IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the IEEE Globecom 2011 proceedings.
- [5] Truman Chiu-Yam Ng and Wei Yu, “Joint Optimization of Relay Strategies and Resource Allocations in Cooperative Cellular Networks”, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 25, NO. 2, FEBRUARY 2007
- [6] R. Q. Hu et al., “Mobile Association in a Heterogeneous Network,” IEEE ICC, May 2010.
- [7] Mohamed Salem, Abdulkareem Adinoyi, Mahmudur Rahman, Halim Yanikomeroglu, David Falconer, and Young-Doo Kim, “Fairness-Aware Radio Resource Management in Downlink OFDMA Cellular Relay Networks”, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 9, NO. 5, MAY 2010
- [8] Sangkook Lee, Weifeng Su, Member, Stella Batalama and John D. Matyjas, “Cooperative Decode-and-Forward ARQ Relaying: Performance Analysis and Power Optimization”, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 9, NO. 8, AUGUST 2010

- [9]Yi Zhao, Raviraj Adve and Teng Joon Lim, “Improving Amplify-and-Forward Relay Networks: Optimal Power Allocation versus Selection”, ISIT 2006, Seattle, USA, July 9 14, 2006
- [10]Sangkook Lee, Weifeng Su, Stella Batalama and John D. Matyjas, Member, IEEE, “Cooperative Decode-and-Forward ARQ Relaying: Performance Analysis and Power Optimization”, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 9, NO. 8, AUGUST 2010
- [11] Qian Zhang, Juncheng Jia, and Jin Zhang, Hong Kong University of Science and Technology, “Cooperative Relay to Improve Diversity in Cognitive Radio Networks”, IEEE Communications Magazine • February 2009
- [12]Y. Liu, R. Hoshyar, X. Yang, and R. Tafazolli, “Integrated Radio Resource Allocation for Multihop Cellular Networks With Fixed Relay Stations”, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 24, NO. 11, NOVEMBER 2006
- [13]Moses Ekpenyong and Joseph Isabona, “AN ENHANCED SINR-BASED CALL ADMISSION CONTROL IN 3G NETWORKS”, International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 3, No. 5, October 2011
- [14]ALEKSANDAR DAMNJANOVIC, JUAN MONTOJO, YONGBIN WEI, TINGFANG JI, TAO LUO, MADHAVAN VAJAPEYAM, TAESANG YOO, OSOK SONG, AND DURGA MALLADI, QUALCOMM INC. “A SURVEY ON 3GPP HETEROGENEOUS NETWORKS”, IEEE Wireless Communications • June 2011
- [15]Mohamed H. Ahmed, “SINR Threshold Lower Bound for SINR-based Call Admission Control in CDMA Networks with Imperfect Power Control”, IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, VOL. 9, NO. 4, APRIL 2005
- [16]By C. E. SHANNON, “A Mathematical Theory of Communication”, Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948.
- [17]Sachin Kadloor and Raviraj Adve, Relay Selection and Power Allocation in Cooperative Cellular Networks, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 9, NO. 5, MAY 2010.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ