

ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Τμήμα: Εφαρμογές Πληροφορικής στην Διοίκηση και την
Οικονομία (Ε.Π.Δ.Ο.)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας:
" ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ
ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ"**

Σπουδαστής:

Μπομπολάκης Ιωσήφ
Α.Μ.: 10704



**Εισηγητής:
Γ. Μπελιγιάννης**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
ΚΥΤΤΑΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΙΔΕΑΣ	7
1.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS (GSM)	11
1.3.1 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	11
1.3.1.1 Η κινητή μονάδα και η κάρτα SIM.....	12
1.3.1.2 Ο Σταθμός Βάσης (ΣΒ).....	12
1.3.1.3 Ο ελεγκτής του σταθμού βάσης (BSC).....	12
1.3.1.4 Το διακοπτικό κέντρο κινητών επικοινωνιών (MSC).....	12
1.3.1.5 Κωδικοποίηση και πιστοποίηση	13
1.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	13
1.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DCS-1800.....	16
1.5 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	20
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	20
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ	20
2.3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (PUBLIC LAND MOBILE NETWORKS PLMN).....	23
2.3.1 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	23
2.3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ.....	25
2.4 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ATM 26	
2.4.1 LOCATION SERVERS ΤΕΧΝΙΚΗ.....	26
2.4.2 LOCATION ADVERTISEMENT ΤΕΧΝΙΚΗ.....	27
2.4.3 TERMINAL PAGING ΤΕΧΝΙΚΗ	29
2.5 ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΚΛΗΣΗΣ.....	30
2.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ	31
2.7 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΑΓΩΓΗΣ.....	32
2.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	34
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	34
3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ.....	35
3.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	35
3.2.2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	36
3.3 ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (FIXED CHANNEL ALLOCATION-FCA)	37
3.3.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	38
3.3.2 ΑΠΛΑ ΣΧΕΔΙΑ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	39
Σύγκριση εκτέλεσης.....	41
3.3.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ.....	41
3.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (DYNAMIC CHANNEL ALLOCATION-DCA).....	

3.4.1	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΑ DCA ΜΟΝΤΕΛΑ	43
3.4.2	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	44
3.4.3	ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ DCA ΜΟΝΤΕΛΑ	45
3.4.3.1	Cell Based κατανεμημένα DCA μοντέλα	46
3.4.3.2	Κατανεμημένα Μοντέλα βασισμένα στη μέτρηση της δύναμης του σήματος	48
3.4.3.3	Μονοδιάστατα κυτταρικά συστήματα	51
3.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ FCA ΚΑΙ DCA	53
3.5.1	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	54
3.6	ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (HYBRID CHANNEL ALLOCATION-HCA).....	55
3.7	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΤΑΓΩΓΩΝ	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	58
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	58
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	58
4.2	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	58
4.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	59
4.4	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	61
4.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή πραγματικότητα, ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με τους συνανθρώπους του σε επίπεδο φωνής, δεδομένων και εικόνας οπουδήποτε κι αν βρίσκονται πάνω στη γη ή στο διάστημα, ακόμα και σε πραγματικό χρόνο. Μάλιστα, η δυνατότητα συνομιλίας και μετάδοσης δεδομένων χαμηλών ρυθμών εξακολουθεί να υπάρχει ακόμα κι αν ο ένας από τους χρήστες ή και οι δύο βρίσκονται σε κίνηση ή σε απροσδιόριστη θέση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών (Mobile Communications Systems). Τα συστήματα αυτά, κατατάσσονται στην ευρύτερη κατηγορία των Ασυρμάτων Επικοινωνιών (Wireless Communication), αφού ένα μεγάλο μέρος της επικοινωνίας, και μάλιστα το πιο δύσκολο στην υλοποίησή του, γίνεται ασύρματα.

Τα πρώτα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, όπου η επικοινωνία ήταν μονόδρομη, χρησιμοποιήθηκαν το 1921 από το αστυνομικό τμήμα του Detroit στις ΗΠΑ. Και μάλιστα μέχρι και το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η χρήση τους γινόταν αποκλειστικά από το στρατό ή την αστυνομία. Κατά τη διάρκεια αυτών των χρόνων (1921-1940) συντελέστηκε η τεχνολογική επανάσταση της FM - διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation) - η οποία ήρθε να αντικαταστήσει την AM διαμόρφωση εύρους με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος από την προκαλούμενη εξασθένηση αυτού, με την εμφάνιση του ηλεκτρικού θορύβου. Επίσης έγιναν προσπάθειες ώστε να κατασκευαστούν πομποδέκτες ικανοί να λειτουργήσουν με τους περιορισμούς χώρου και ισχύος ενός αυτοκινήτου. Τέλος, χαρακτηριστικό αυτής της εποχής ήταν η παντελής έλλειψη ικανότητας διασύνδεσης των κινητών με το σταθερό δίκτυο.

Πραγματικές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή με δυνατότητα διασύνδεσης των συνδρομητών με το PSTN - σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο (Public Switched Telephone Network) - από κινούμενα οχήματα, παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1946 στο St. Louis (USA). Η εκπομπή γινόταν σε FM από ένα μοναδικό ρομπό υψηλής ισχύος που κάλυπτε μια περιοχή 50 έως 100 km χρησιμοποιώντας τρεις ραδιοσυχνότητες στην περιοχή των 150MHz, ενώ η σύνδεση του σταθερού με το ασύρματο δίκτυο γινόταν χειροκίνητα. Το πρώτο αυτοματοποιημένο σύστημα τέθηκε σε λειτουργία το 1948 στο Richmond της Indiana, όμως για αρκετά χρόνια ακόμα τα συστήματα με χειροκίνητη σύνδεση στο PSTN αποτελούσαν την πλειοψηφία.

Όμως, η συνεχόμενη αύξηση των συνδρομητών σε συνδυασμό με την ύπαρξη μικρού αριθμού καναλιών είχε ως αποτέλεσμα την ανικανότητα εξυπηρέτησης όλων

των δρομολογούμενων κλήσεων. Έτσι, με στόχο την καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος, έγινε η σταδιακή διαίρεση του αρχικού εύρους των FM καναλιών (120 KHz) που τελικά έφτασε την τιμή των 25 KHz, ενώ συγχρόνως γίνονταν προσπάθειες ώστε να βελτιωθεί η σχεδίαση των FM πομποδεκτών με αποτέλεσμα την ικανοποιητική λειτουργία σε κανάλια μικρού εύρους συχνοτήτων. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1960 ήταν πλέον δυνατή η χρήση καναλιών μικρού εύρους, η πρόσβαση όλων των χρηστών σε όλα τα διαθέσιμα κανάλια, ο αυτόματος συντονισμός σε ελεύθερο κανάλι (automatic tuning), η αυτόματη σύνδεση με το σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο και η αποκατάσταση αμφίδρομης (duplex) επικοινωνίας. Όλες οι παραπάνω τεχνολογίες ενσωματώθηκαν σε ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας γνωστό ως Improved Mobile Telephone Service (IMTS).

Όμως, παρά τη βελτίωση της φασματικής απόδοσης του FM και τη δυνατότητα επιλογής συχνότητας, τα υπάρχοντα συστήματα εξακολουθούσαν να μην είναι αποδοτικά. Κι αυτό, λόγω της ανεπάρκειας φάσματος, που δεν επέτρεπαι τη χρήση των συστημάτων από πολλούς χρήστες και της λειτουργίας με διαμόρφωση συχνότητας στενής ζώνης (narrow band) στην οποία οφειλόταν η χαμηλή ποιότητα της μεταδιδόμενης φωνής. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970 είχαν παραχωρηθεί στις κινητές επικοινωνίες 33 κανάλια (10 κανάλια στην περιοχή των 40MHz, 11 κανάλια στην περιοχή των 150MHz και 12 κανάλια στην περιοχή των 450MHz). Και μάλιστα, σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές ο αριθμός αυτός ήταν πολύ μικρότερος, ανάλογα με το σύστημα που λειτουργούσε. Για παράδειγμα το 1983 στην Νέα Υόρκη (μια μεγαλούπολη 20 εκατομμυρίων ανθρώπων) αν και υπήρχαν 23 διαθέσιμες ραδιοσυχνότητες για να εξυπηρετήσουν 700 περίπου χρήστες, μόνο 12 απ' αυτούς μπορούσαν να επικοινωνήσουν ταυτόχρονα, ενώ οι περισσότερες συνομιλίες περιείχαν σημαντικό θόρυβο λόγω της ύπαρξης των παρεμβολών.

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα συμβατικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας, παρουσίαζαν τα παρακάτω μειονεκτήματα:

- Μικρή χωρητικότητα δικτύου, εξαιτίας των περιορισμών στο εύρος ζώνης των διαθέσιμων ραδιοσυχνοτήτων, καθώς και της υποβαθμισμένης οργάνωσης του δικτύου.
- Χαμηλός βαθμός ποιότητας επικοινωνίας, λόγω τη χρησιμοποίησης συχνότητας στενής ζώνης, καθώς και της έλλειψης επεξεργασίας της φωνής.
- Ευαισθησία στις υφιστάμενες καιρικές συνθήκες.
- Υψηλό κόστος για τον συνδρομητή.

Όλα αυτά τα μειονεκτήματα δημιούργησαν την απαίτηση για περισσότερο φάσμα κάτι που, και αυτό γινόταν ολοένα και πιο φανερό, όμως δεν θα έλυσε ποτέ οριστικά το πρόβλημα. Ήταν πλέον απαραίτητη η ανάπτυξη καινούργιων τεχνικών. Κάτω από αυτό το πρίσμα, η κρίσιμη καινοτομία ήταν αυτή της Κυψελοειδούς Δομής (Cellular Structure), η οποία αποτελεί μια πολύ διαφορετική προσέγγιση της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου.

Έτσι, αυτή η νέα αρχιτεκτονική δικτύου σε συνδυασμό με τη νέα παραχώρηση συχνοτήτων από την FCC - Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών {ΗΠΑ} (Federal Communications Commission {USA}) - στις αρχές της δεκαετίας του 1970 (115 MHz στην περιοχή των 800MHz), άνοιξαν οριστικά το δρόμο για την ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας. Τα πρώτα συστήματα που λειτούργησαν στη δεκαετία του 1970 ήταν χειροκίνητα. Δηλαδή, οι συνδέσεις γίνονταν με τη βοήθεια χειριστή. Ενώ τελικά, από το 1980 μέχρι το 1990, μελετήθηκαν, υλοποιήθηκαν και λειτούργησαν τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς τα οποία βασίστηκαν στην κυψελοειδή δομή, είχαν αναλογικά ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιούσαν την τεχνική της FDMA - πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνοτήτων (Frequency Division Multiple Access), παρείχαν αμφίδρομη επικοινωνία και ήταν αυτόματα. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών, ήταν ότι διαχειρίζονταν την υπηρεσία φωνής με ρυθμούς μετάδοσης οι οποίοι έφταναν τα 2.4Kbps. Τα σημαντικότερα από αυτά τα συστήματα ήταν:

- Το AMPS (Advanced Mobile Phone Service), το οποίο τυποποιήθηκε στις ΗΠΑ και λειτουργεί στα 800 MHz.
- Το TACS (Total Access Communications System) για το Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο βασίστηκε στο AMPS, αλλά λειτουργεί στα 900 MHz.
- Το NMT (Nordic Mobile Telephone system), το οποίο τυποποιήθηκε στη Σκανδιναβία και λειτουργεί στα 450 MHz και στα 900 MHz.

Όμως, μεταξύ των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς υπήρχε ασυμβατότητα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κάλυψη σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Επίσης, αυτά τα συστήματα δεν παρείχαν τηλεματικές υπηρεσίες, αλλά ούτε και μεγάλη ασφάλεια στο δίκτυο. Τέλος, η ταχύτατη αύξηση του αριθμού των συνδρομητών, είχε ως αποτέλεσμα τη γρήγορη εξάντληση της χωρητικότητάς τους. Αυτοί οι λόγοι μαζί με διάφορες έρευνες με επίκεντρο την κωδικοποίηση φωνής και καναλιού είχαν ως αποτέλεσμα την αναβάθμιση της τεχνολογίας πρώτης γενιάς από την αναλογική στην ψηφιακή της μορφή και τη χρήση νέων ζωνών συχνοτήτων ενώ για τις υπηρεσίες της φωνής και των δεδομένων χρησιμοποιούνται ρυθμοί μετάδοσης οι οποίοι θα προσεγγίσουν τα 2 Mbps. Έτσι, βασιζόμενοι σε τεχνικές πολλαπλής

προσπέλασης με διαίρεση χρόνου TDMA κατορθώσαμε να αυξήσουμε την χωρητικότητα των συστημάτων και να μειώσουμε το κόστος σε επίπεδα προσιτά στο ευρύ κοινό. Έτσι, από το 1990 μέχρι το 2000 λειτουργούν τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς. Αυτά είναι:

- Το GSM - Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας (Global System for Mobile Communication), το οποίο τυποποιήθηκε από το ETSI - Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute) και λειτουργεί στα 900 MHz.
- Το DCS-1800 - Ψηφιακό Κυψελοειδές Σύστημα στα 1800 MHz (Digital Cellular System 1800) το οποίο αποτελεί την επέκταση του GSM στα 1800 MHz.
- Το PCS - Σύστημα Προσωπικής Επικοινωνίας (Personal Communication System), το οποίο τυποποιήθηκε στις ΗΠΑ και λειτουργεί στα 1900 MHz.

Το επόμενο βήμα είναι η έλευση των κυψελοειδών συστημάτων τρίτης γενιάς. Ο στόχος είναι να δημιουργηθούν οι κατάλληλες τεχνικές προδιαγραφές των νέων αυτών συστημάτων, ώστε να καταστεί δυνατή η παροχή υπηρεσιών πολυμέσων αξιόπιστα και σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, θα πρέπει να υποστηρίζουν την ενοποίηση των δικτύων σταθερών και κινητών επικοινωνιών σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο κύριος εκπρόσωπος των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς είναι το UMTS - Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System) για το οποίο προβλέπεται η ενοποίηση με το B-ISDN - Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών ευρείας ζώνης (Broad band Integrated Services Digital Network). Η διαχρονική εξέλιξη αυτών των συστημάτων θα οδηγήσει σε μετάδοση των δεδομένων με ρυθμούς της τάξης των 155 Mbps. Υπολογίζεται ότι οι εκφραστές της νέας γενιάς, δηλ. το UMTS και το IMT-200, θα έχουν τεθεί σε εφαρμογή μέχρι το 2005 στις περισσότερες χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου.

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο αναλύεται η κυτταρική ιδέα και τα συστήματα GSM, DCS-1800 και UMTS. Στο δεύτερο εξετάζονται οι λειτουργικές διαδικασίες των κυτταρικών συστημάτων και στο τρίτο αναφέρονται οι τεχνικές καταχώρησης συχνοτήτων. Στο τέταρτο παρουσιάζεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος για τη βελτιστοποίηση της καταχώρησης των συχνοτήτων και τέλος το πέμπτο περιέχει τα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΥΤΤΑΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

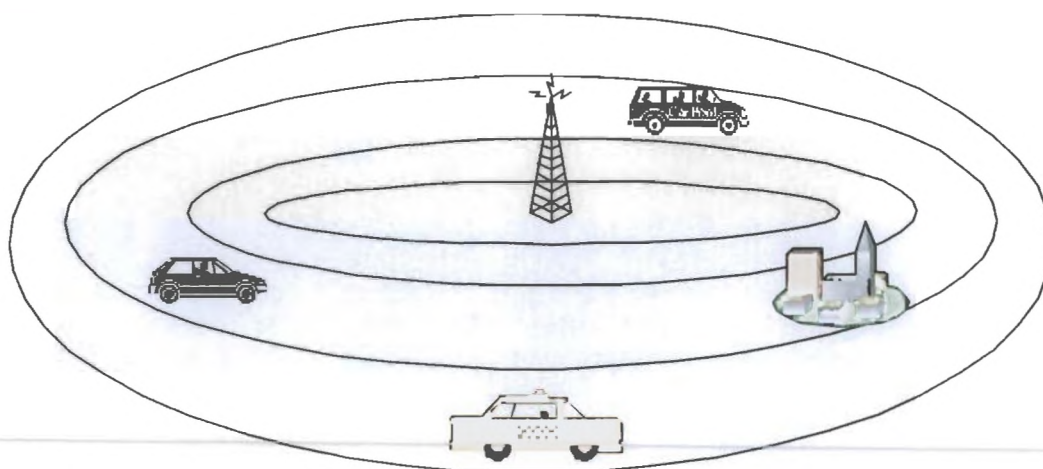
Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τους ορισμούς και τις θεμελιώδεις έννοιες που διέπουν τα Κυτταρικά Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιείται η ανάλυση όλων των παραμέτρων που καθορίζουν τη λειτουργικότητα και τις δυνατότητές τους [1]. Επίσης δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αρχιτεκτονική που έχουν υιοθετήσει τα συστήματα αυτά για να επιτύχουν τις απαιτήσεις για αξιόπιστη και συνεχή παροχή υπηρεσιών. Επιπλέον, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των σύγχρονων συστημάτων GSM, DCS-1800, DECT αλλά και του μελλοντικού UMTS.

1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΙΔΕΑΣ

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των συστημάτων δεύτερης γενιάς, θα αναφέρουμε συνοπτικά την ανάγκη για την ύπαρξη επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων και της κυτταρικής διάσπασης και τα πλεονεκτήματα που πηγάζουν από αυτές.

Σύμφωνα με την τεχνολογία της συμβατικής κινητής τηλεφωνίας, μια γεωγραφική περιοχή καλύπτεται ηλεκτρομαγνητικά από ένα μόνο σταθμό βάσης. Για την επιλογή της συγκεκριμένης θέσης, που θα τοποθετούνται, υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες, όπως η ιδιομορφία του γεωγραφικού αναγλύφου και οι κλιματολογικές συνθήκες. Η χρησιμοποιούμενη κεραία ήταν ιστροπική και εξέπεμπε με μεγάλη ισχύ για να προκύψει στο δέκτη αξιόπιστο σήμα. Επίσης η υψομετρική της στάθμη έπρεπε να είναι τέτοια, ώστε να μπορέσει να καλύψει όλη την υπό εξυπηρέτηση περιοχή. Εάν κατά τη διάρκεια της κλήσης ο χρήστης ξεπερνούσε τα όρια της ζώνης, η κλήση διακοπτόταν και θα έπρεπε να επιχειρηθεί εκ νέου η σύνδεση με το δίκτυο. Ένα ακόμα πιο σοβαρό μειονέκτημα ήταν το γεγονός ότι ο αριθμός των χρηστών που μπορούσαν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από το σύστημα περιοριζόταν στο διαθέσιμο αριθμό καναλιών ή με άλλα λόγια, κάθε στιγμή ένας ραδιοδιαυλος μπορούσε να εξυπηρετήσει μόνο ένα συνδρομητή σε όλη τη γεωγραφική περιοχή κάλυψης. Έτσι, καθώς ο αριθμός των συνδρομητών αυξανόταν συνεχώς, υπήρχε η συνεχής ανάγκη νέας παραχώρησης συχνοτήτων από την FCC. Όμως, αν αναλογιστούμε τον αριθμό των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας που υφίσταται σήμερα, καταλαβαίνουμε ότι όσο μεγάλο κι αν ήταν το φάσμα των συχνοτήτων που

θα παραχωρούταν, δε θα μπορούσε σε καμία περίπτωση να δώσει λύση στο πρόβλημα. Στο σχήμα 1.1 βλέπουμε τα πρώτα κινητά συστήματα επικοινωνίας.



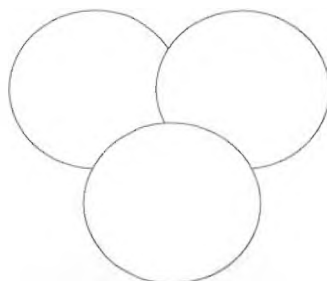
Σχήμα 1.1: Αρχικά Συστήματα Επικοινωνίας

Όλα αυτά τα προβλήματα ξεπεράστηκαν με την ανάπτυξη των συστημάτων επόμενης γενιάς τα οποία βασίστηκαν στην έννοια της κυτταρικής ιδέας (cellular concept), σύμφωνα με την οποία διαιρείται η λειτουργική περιοχή σε ένα συγκεκριμένο αριθμό γειτονικών κυττάρων (cells) εντός των οποίων υπάρχει ένας σταθμός Βάσης. Αυτός περιέχει όλο τον απαραίτητο ραδιο-εξοπλισμό (πομποί, δέκτες, κεραίες και μονάδες ελέγχου), ο οποίος είναι απαραίτητος για τον έλεγχο των επικοινωνιών στην ενεργό περιοχή ενός κυττάρου.

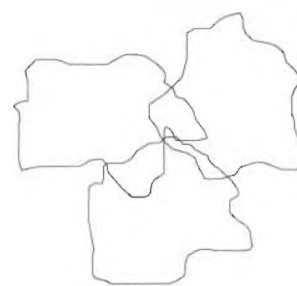
Τα κύτταρα είναι ομοιόμορφα και το καθένα εξυπηρετείται από ένα ΣΒ. Έτσι αφού η κεραία του ΣΒ έχει διάγραμμα ακτινοβολίας παν-κατευθυντικό, η κανονική μορφή τους θα είναι κυκλική. Όμως οι κυκλικές μορφές κυττάρων δεν είναι πρακτικές από σχεδιαστική άποψη και καθιστούν δύσκολο τον προγραμματισμό γιατί εμφανίζουν πολλές επικαλυπτόμενες περιοχές. Έτσι, αφού το εξάγωνο προσεγγίζει περισσότερο από κάθε άλλο γεωμετρικό σχήμα τον κύκλο, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι παρατεταγμένα εξάγωνα ταιριάζουν μεταξύ τους ακριβώς - χωρίς να επικαλύπτονται, αλλά και χωρίς να αφήνουν κενά - δημιουργήθηκε η ιδέα της θεωρητικής αναπαράστασης της περιοχής κάλυψης ενός ΣΒ με εξάγωνο. Στην πραγματικότητα, βέβαια, η περιοχή κάλυψης ενός ΣΒ έχει ασαφές σχήμα και επιπλέον γειτονικές περιοχές κάλυψης, επικαλύπτονται μερικώς στην περιοχή των ορίων τους. Στο σχήμα 1.2 απεικονίζουμε τη θεωρητική, την ιδανική και την πραγματική περιοχή κάλυψης.



ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΥΨΗΣ



ΙΔΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΥΨΗΣ



ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΥΨΗΣ

Σχήμα 1.2: Περιοχή Κάλυψης μιας Κυψέλης

Η καινούρια αυτή αντίληψη των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας χαρακτηρίζεται από την τεχνική της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Η έννοια αυτή αναφέρεται στην δυνατότητα χρησιμοποίησης ραδιο-διαύλων που έχουν τις ονομαστικές συχνότητες φορέα, και είναι καταχωρημένες σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές κάλυψης με επαρκή απόσταση μεταξύ τους, ώστε να μην δημιουργούνται συνθήκες εμφάνισης συγκαναλικής παρεμβολής. Η διαφορά με τα προηγούμενα συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι ότι ο παροχέας τοποθετεί ένα δίκτυο με μικρότερη ισχύ εκπομπής και σε συγκεκριμένες θέσεις, προκειμένου να καλυφθεί ηλεκτρομαγνητικά η ίδια γεωγραφική περιοχή, που πριν καλυπτόταν μόνο από ένα πομποδέκτη υψηλής στάθμης ισχύος. Η διάταξη του δικτύου οργανώνεται σε ομάδες επαναληψιμότητας, κάθε μία από τις οποίες ονομάζεται κυτταρικό συγκρότημα ή υπερκύτταρο (cluster). Αποδεικνύεται ότι ο αριθμός των κυτάρων (N) ανά cluster, είναι [4]:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

όπου i, j : ακέραιοι αριθμοί.

Το μέγεθος των clusters προσδιορίζεται από την ελάχιστη απόσταση που πρέπει να μεσολαβεί μεταξύ κυψελών που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι, ώστε να μην παρουσιάζονται φαινόμενα συγκαναλικής παρεμβολής. Βασικό κριτήριο αποτελεί ο λόγος D/R , όπου [4]:

D : η απόσταση των κέντρων δύο διαδοχικών συγκαναλικών κυψελών

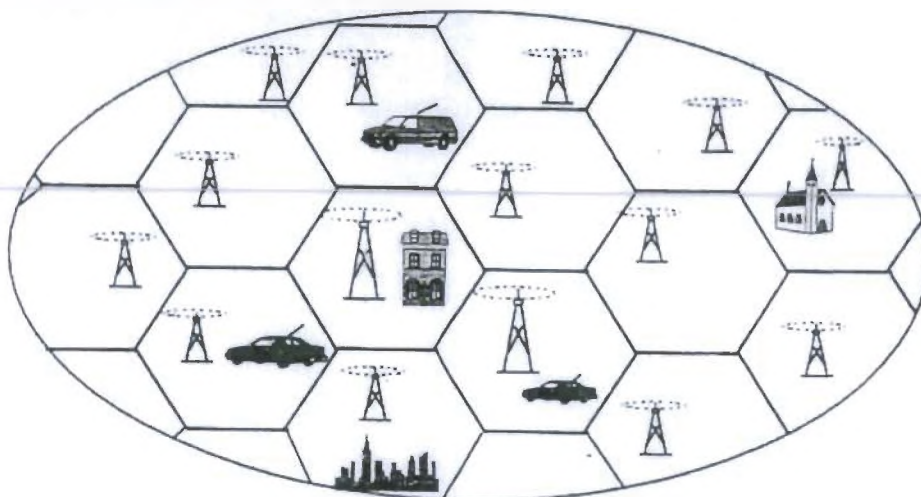
R : η ακτίνα μιας κυψέλης

Ισχύει:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

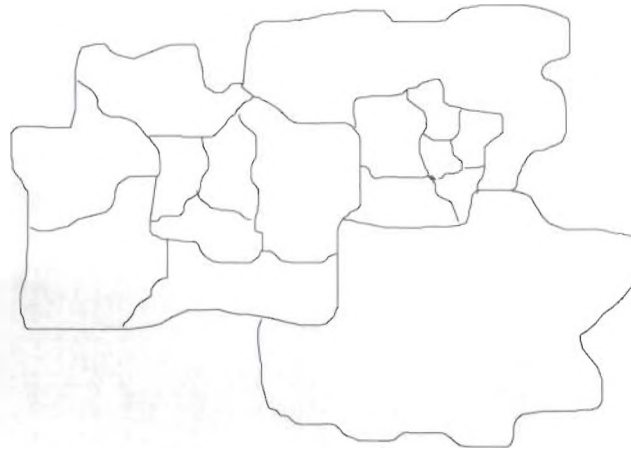
Τέλος, ο υπολογισμός του πλήθους των καναλιών που απαιτείται για μια κυψέλη γίνεται από τα δεδομένα μετρήσεων της κίνησης που διεξάγονται στο δίκτυο.

Μια άλλη θεμελιώδης έννοια των κυτταρικών συστημάτων είναι η κυτταρική διάσπαση. Όταν παρουσιάζεται συμφόρηση σε κάποιο κύτταρο τότε αυτό υποδιαιρείται σε μικρότερα, κάθε ένα από τα οποία έχει το δικό του ΣΒ. Οι νέοι ΣΒ αποτελούνται από κεραιές με μικρότερο ύψος ή/και μικρότερη εκπεμπόμενη ισχύ ή/και μικρότερη κλίση ή/και διαφορετική κατευθυντικότητα ή/και διαφορετικό ορισμό [7].



Σχήμα 1.3: Διάσπαση μιας περιοχής σε κύτταρα

Η υποδιάρθρωση των κυττάρων μας δίνει τη δυνατότητα να αυξάνουμε τη χωρητικότητα του συστήματός μας ανάλογα με τις απαιτήσεις και να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα της αύξησης τηλεπικοινωνιακής κίνησης και της αύξησης των χρηστών σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Έτσι, μπορούμε να εξυπηρετούμε τις αγροτικές περιοχές με μεγάλα κύτταρα, ενώ παράλληλα να χρησιμοποιούμε μικρότερα σε αστικά κέντρα. Και φυσικά αν με την πάροδο του χρόνου κάποια περιοχή απαιτήσει μεγαλύτερη χωρητικότητα, δε θα έχουμε παρά να προβούμε σε περαιτέρω υποδιάρθρωση των υφισταμένων κυττάρων. Αυτή η βαθμιαία ανάπτυξη του συστήματος φαίνεται και στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 1.4: Υποδιαίρεση Κυττάρων

1.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS (GSM)

Το 1982 το ευρωπαϊκό συμβούλιο τηλεπικοινωνιών ενέκρινε την ανάθεση του φάσματος στην περιοχή των 900 MHz αποκλειστικά για τη χρήση κινητών επικοινωνιών δεύτερης γενιάς για όλες τις χώρες της Ευρώπης. Το GSM, είναι το πρώτο διεθνές πρότυπο για παροχή υπηρεσιών το οποίο προσφέρει στους χρήστες πλήρη πρόσβαση σε ανομοιογενή δίκτυα, στις χώρες οι οποίες έχουν αποδεχθεί το πρότυπο αυτό. Επίσης η υιοθέτηση ψηφιακών τεχνικών για τη δρομολόγηση του νέου συστήματος όχι μόνο βελτίωσε τη χωρητικότητα του δικτύου αλλά και πρόσφερε ασφαλή μετάδοση φωνής και νέες δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων.

Το σύστημα GSM παρέχει ταχύτητες 9.6 Kbps, προσφέροντας καλή ποιότητα φωνής με χαμηλό κόστος τόσο της προσφερόμενης υπηρεσίας όσο και του τερματικού εξοπλισμού. Επίσης έχει μεγάλη απόδοση του χρησιμοποιούμενου φάσματος συχνοτήτων, οι οποίες είναι δυνατόν να δρομολογηθούν από ISDN γραμμές. Μια άλλη σπουδαία ιδιότητα αυτού του συστήματος είναι η περιαγωγή, η οποία χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα του χρήστη να εξυπηρετείται έξω από τα γεωγραφικά όρια μιας χώρας, εφόσον η χώρα προορισμού διαθέτει το ίδιο σύστημα.

1.3.1 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Ας δούμε τώρα τα διάφορα τμήματα από τα οποία αποτελείται το σύστημα GSM [2]:

1.3.1.1 Η κινητή μονάδα και η κάρτα SIM

Οι κινητές μονάδες διατίθενται στην αγορά με ένα μεγάλο εύρος επιλογών και τεχνικών χαρακτηριστικών, τα οποία συνεχώς εξελίσσονται. Η συνδρομητική κάρτα ταυτότητας (SIM), είναι μια έξυπνη κάρτα η οποία περιλαμβάνει τον κώδικα ασφαλείας του συνδρομητή και είναι τυποποιημένη για να συνεργάζεται με όλα τα συστήματα GSM. Στην κάρτα αυτή είναι μόνιμα αποθηκευμένα τα δεδομένα του συνδρομητή.

1.3.1.2 Ο Σταθμός Βάσης (ΣΒ)

Ο σταθμός βάσης περιέχει όλο τον εξοπλισμό (πομποί, δέκτες και μονάδες ελέγχου), ο οποίος είναι απαραίτητος για τον έλεγχο των επικοινωνιών στην ενεργό περιοχή ενός κυττάρου. Η λειτουργία του σταθμού βάσης πραγματοποιείται από τον ελεγκτή του ΣΒ (Base Station Controller-BSC), με την απαραίτητη σηματοδότηση, τα κανάλια φωνής και με την βοήθεια της διεπαφής A-bis.

1.3.1.3 Ο ελεγκτής του σταθμού βάσης (BSC)

Η μονάδα BSC ελέγχει τις λειτουργίες διαχείρισης διαφόρων σταθμών βάσης σύμφωνα με το αροκεντρικό σενάριο διεργασιών του GSM, ανακουφίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο το κέντρο BSC. Η μονάδα αυτή συνεργάζεται με το κωδικοποιητικό σύστημα μετατρέποντας τα σήματα φωνής κωδικοποιημένα με ρυθμούς μετάδοσης 13 Kbps σε αντίστοιχα σήματα των 64 Kbps.

1.3.1.4 Το διακοπτικό κέντρο κινητών επικοινωνιών (MSC)

Η κύρια λειτουργία του διακοπτικού κέντρου επικοινωνιών, είναι να αποκαταστήσει την κλήση του συνδρομητή και να παρέχει την κατάλληλη ζεύξη με το σταθερό δίκτυο ή με άλλο κέντρο MSC. Επίσης τα κέντρα MSC ραίζουν τον ρόλο των κόμβων του δικτύου σηματοδότησης. Η βάση δεδομένων εγγραφής επισκέψεως είναι ένα από τα βασικά τμήματα του κέντρου MSC, όπου καταχωρούνται τα προσωρινά δεδομένα του συνδρομητή, κατά την στιγμή εισόδου του στην ενεργό περιοχή του. Μια άλλη σπουδαία μονάδα του κέντρου MSC, είναι η οικεία βάση δεδομένων (HLR), η οποία περιέχει μόνιμα στοιχεία του συνδρομητή καθώς και την νέα διεύθυνση αυτού στην βάση VLR,

οπότε ο συνδρομητής εντοπίζεται αυτόματα όταν καλείται από συνδρομητή του σταθερού τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

1.3.1.5 Κωδικοποίηση και πιστοποίηση

Τα καθήκοντα του κέντρου πιστοποίησης είναι να ελέγχει και να διαχειρίζεται την πληροφορία ασφαλείας του όλου δικτύου του συστήματος. Αυτό γίνεται με μια διαδικασία διαλόγου υπό μορφή ανταλλαγής λογικών σημάτων μεταξύ του κέντρου AC και της κάρτας SIM, τα οποία ελέγχονται από ένα τυχαίο αριθμό. Αν ο συνδρομητής πραγματοποιήσει μια κλήση, τότε η κλήση κωδικοποιείται με έναν κώδικα ο οποίος αλλάζει σε κάθε πραγματοποιούμενη εγγραφή και ο οποίος δεν πρέπει να μεταδίδεται από το καταχωρηθέν κανάλι.

1.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το GSM παρουσιάζει μακροκυτταρική δομή. Οι σταθμοί βάσης έχουν ισχύ εκπομπής των συχνοτήτων λειτουργίας από 20-45W. Ένα κύτταρο φωτίζεται από τρεις κεραίες συμμετρικά κατανεμημένες στα όρια του κυττάρου. Συνεπώς οι συχνότητες ταξινομούνται ομοιόμορφα σε 12 κύτταρα ή τέσσερις τριάδες κυττάρων. Όταν το φορτίο είναι μικρό, η ταξινόμηση γίνεται σε δωδεκάδες κυττάρων. Η δορυφορική κάλυψη του συστήματος γίνεται από το IRIDIUM, που περιλαμβάνει 66 δορυφόρους κινούμενους σε 11 ελλειπτικές, χαμηλές τροχιές (δορυφόροι LEO).

Στον ελλαδικό χώρο, οι ζώνες συχνοτήτων που έχουν παραχωρηθεί στο GSM είναι για την άνω ζεύξη (επικοινωνία συνδρομητή-κεραίας βάσης) 890-960MHz, με ένα εύρος ζώνης 25MHz, και για την κάτω ζεύξη (επικοινωνία κεραίας σταθμού βάσης) 935-960MHz. Η απόσταση των συχνοτήτων είναι 200KHz, οπότε λαμβάνουμε ένα συνολικό αριθμό 124 συχνοτήτων στην ζώνη του GSM. Επειδή η κάθε συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα από 8 κινητούς συνδρομητές συνεπάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων φυσικών καναλιών είναι 992. Μεταξύ των 992 φυσικών καναλιών, υπάρχουν 12 λογικά κανάλια, τα οποία πολυπλέκονται και χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς. Τα κανάλια κίνησης είναι πλήρους ρυθμού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή/λήψη ομιλίας και δεδομένων με ρυθμό της τάξης των 9.6kbps, καθώς και μισού ρυθμού για την μετάδοση ομιλίας και δεδομένων της τάξης των 4.8kbps. Επίσης χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι καναλιών ελέγχου [2]:

- **Κανάλια εκπομπής (Broadcast Channels-BCH)**

- ✓ Κανάλι διόρθωσης συχνότητας (Frequency Correction Channel-FCCCH). Χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της συχνότητας της κάτω ζεύξης της κινητής μονάδας.
- ✓ Κανάλι συγχρονισμού (Synchronisation Channel-SCH). Το κανάλι αυτό μεταφέρει πληροφορία για τον αριθμό του TDMA πλαισίου της κάτω ζεύξης, για την μονάδα εκπομπής/λήψης του σταθμού βάσης. Δηλαδή μεταφέρεται πληροφορία συγχρονισμού του κινητού σταθμού ώστε αυτός να εκπέμπει στην κατάλληλη χρονοθυρίδα
- ✓ Κανάλι ελέγχου εκπομπής (Broadcast Control Channel-BCCH). Με τον BCCH μεταδίδεται ειδική πληροφορία προς την ΚΜ και αναφέρεται στην κάτω ζεύξη.

- **Κανάλια Κοινού Ελέγχου (Common Control Channel-CCCH)**

- ✓ Κανάλι τηλε-ειδοποίησης (Paging Channel-PCH). Το κανάλι αυτό αναφέρεται στην κάτω ζεύξη και χρησιμοποιείται για την τηλε-ειδοποίηση της ΚΜ. Είναι τύπου "ένος προς πολλά σημεία".
- ✓ Κανάλι τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel-RACH). Αναφέρεται στην άνω ζεύξη και χρησιμοποιείται από την ΚΜ για να ζητήσει εκχώρηση ενός Αυτόνομου Καναλιού Ελέγχου SDCCH, προκειμένου να το χρησιμοποιήσει σαν "απάντηση τηλε-ειδοποίησης" ή πρόσβαση σε έναρξη/εγγραφή κλήσης της ΚΜ. Είναι τύπου "σημείο προς σημείο".
- ✓ Κανάλι άμεσου καθορισμού (Access grant Channel-AGCH). Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται για την καταχώρηση ενός SDCCH στην ΚΜ και αναφέρεται μόνο στην κάτω ζεύξη. Είναι τύπου "σημείο προς σημείο".

- **Αφιερωμένα κανάλια ελέγχου (Dedicated Control Channels-DCCH)**

- ✓ Αυτόνομος αφιερωμένο κανάλι ελέγχου (Stand Alone Dedicated Control Channel-SDCCH). Χρησιμοποιείται για την σηματοδότηση του συστήματος κατά την διάρκεια της έναρξης ή εγγραφής της κλήσης. Αναφέρεται τόσο για την κάτω ζεύξη όσο και για την πάνω ζεύξη. Είναι τύπου "σημείο προς σημείο".
- ✓ Αργό συσχετισμένο κανάλι ελέγχου (Slow Associated Control Channel-SACCH). Το κανάλι ελέγχου συσχετίζεται με ένα κανάλι SDCCH, τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Σε αυτό το κανάλι στέλνονται πληροφορίες οι οποίες αφορούν καταμέτρηση μετρήσεων από την ΚΜ

στον BTS. Τα στοιχεία που μεταφέρει είναι απαραίτητα κατά την εναλλαγή όταν η έναρξη διαδικασίας γίνεται από την πλευρά του κινητού. Είναι τύπου "σημείο προς σημείο".

- ✓ Γρήγορο συσχετισμένο κανάλι ελέγχου (Fast Associated Control Channel-FACCH). Το κανάλι είναι συσχετισμένο με ένα TCH, της κάτω ή της άνω ζεύξης. Χρησιμοποιείται όταν κατά τη διάρκεια μετάδοσης ομιλίας χρειάζεται να γίνει ξαφνικά ανταλλαγή σημάτων με το σύστημα με ρυθμούς μεγαλύτερους από εκείνους που διαχειρίζεται το SACCH.

- **Κυτταρικό κανάλι εκπομπής (Cell Broadcast Channel-CBCH)**

Το κανάλι αυτό αναφέρεται μόνο στην κάτω ζεύξη και χρησιμοποιείται για την διεκπεραίωση της Υπηρεσίας Μικρών Μηνυμάτων (SMS).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του GSM είναι ότι η τεχνική FDMA συμπληρώνεται από την TDMA, γιατί επιτυγχάνει μείωση του κόστους των σταθμών βάσης με διαμοιρασμό του ίδιου καναλιού από πολλούς χρήστες. Με την TDMA, κάθε συχνότητα υποδιαιρείται σε time slots, καθένα από τα οποία ανατίθεται σε ένα χρήστη για να μεταδώσει ή να λαμβάνει δεδομένα. Συνάμα, προσφέρει καλύτερη αξιοποίηση του διατιθέμενου φάσματος με την εισαγωγή του πηδήματος στην συχνότητα (frequency hopping). Έτσι το πηδύμα συχνότητας μαζί με την κωδικοποίηση καναλιού εξαλείφουν την επίδραση της αργής σκέδασης Rayleigh και επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

Η χρήση τεχνικών TDMA ευνόησε τη δημιουργία ενός νέου μηχανισμού μεταγωγής, στον οποίο γίνεται μέτρηση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος μιας κινητής μονάδας από γειτονικούς σταθμούς βάσης σε νεκρά χρονικά διαστήματα. Δηλαδή, οι πληροφορίες ελέγχου μεταδίδονται σε κενά ομιλίας με διαδικασίες, όπου λαμβάνουν μέρος οι κινητές μονάδες, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το φόρτο ελέγχου του δικτύου. Έτσι άνοιξε σιγά σιγά ο δρόμος για μικρότερες δομές κυττάρων.

Η χρήση όμως, απλών τεχνικών TDMA δημιούργησε προβλήματα στις αστικές, κυρίως, περιοχές λόγω της καθυστέρησης από τη διάδοση πολλαπλών δρόμων (multipath propagation). Η λύση δόθηκε με προσαρμοζόμενους ισοσταθμιστές, που ελαττώνουν το ρυθμό λαθών και την εξασθένηση του σήματος από την πολλαπλή διάδοση. Με αυτόν τον τρόπο η TDMA στενής ζώνης επικράτησε άλλων τεχνικών, όπως της TDMA ευρείας ζώνης και της πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης κώδικα (CDMA).

Παρά το γεγονός ότι το GSM-900 αποτελεί μια καλή λύση για ασυρματικές υπηρεσίες φωνής, εντούτοις παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα, όπως η έντονη εμφάνιση του φαινομένου των διαλείψεων σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, λόγω των πολλαπλών ανακλάσεων. Επίσης, οι σχετικά χαμηλοί ρυθμοί

μετάδοσης και η μειωμένη χωρητικότητα από πλευράς χρηστών περιορίζουν τη λειτουργικότητα αυτού του συστήματος.

1.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DCS-1800

Το ψηφιακό ΚΣΚΤ DCS-1800 (Digital Cellular System - 1800) είναι ένα σύστημα το οποίο ανήκει στην κατηγορία των Προσωπικών Επικοινωνιακών Δικτύων (Personal Communication Networks - PCN) και βασίζεται στην θεμελιώδη τεχνολογία του GSM. Το σύστημα DCS-1800 είναι μικροκυτταρικής μορφής και αποτελεί μια σπουδαία εναλλακτική ανταγωνιστική λύση για την επικοινωνιακή εξυπηρέτηση των συνδρομητών τόσο του σταθερού δικτύου, όσο και μερικών άλλων ΚΣΚΤ.

Έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίσει υψηλή ποιότητα επικοινωνίας σε συνδρομητές οι οποίοι κινούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και παρέχει υψηλή χωρητικότητα από πλευράς εξυπηρέτησης χρηστών. Το κόστος της ολοκληρωμένης τεχνικής του υποδομής είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος του GSM. Λαμβανομένου όμως της υψηλής χωρητικότητας του στην πλήρη ανάπτυξη του συστήματος και με δεδομένο το προσδωκόμενο πλήθος χρηστών, το υπολογισθέν κόστος ανά συνδρομητή σε ένα ικανό βάθος χρόνου, δίδει θετικές τάσεις απόσβεσης και κέρδους.

Μία από τις βασικές διαφορές των δύο ανταγωνιστικών συστημάτων GSM και DCS-1800 είναι η περιοχή των συχνοτήτων λειτουργίας, οι οποίες επηρεάζουν σε τελική φάση τα χαρακτηριστικά λήψης του ραδιο-σήματος, λόγω των ιδιαιτεροτήτων της αντίστοιχης Η/Μ διάδοσης (ολίσθηση Doppler, χαρακτηριστικά διαλείψεων). Συγκεκριμένα, η εκπομπή σήματος από την Κινητή Μονάδα προς τον Σταθμό Βάσης πραγματοποιείται στο τμήμα του ραδιο-φάσματος από 1710 MHz έως 1785 MHz, ενώ η εκπομπή από έναν Σταθμό Βάσης σε μία Κινητή Μονάδα επιτυγχάνεται στην περιοχή από 1805 MHz έως 1880 MHz. Όπως φαίνεται το εύρος ζώνης είναι 75 MHz και είναι τριπλάσιο από το αντίστοιχο εύρος ζώνης του συστήματος GSM, το οποίο είναι 25 MHz. Επίσης η ελάχιστη απόσταση των διαδοχικών ραδιο-διαύλων είναι 200 KHz και υπάρχει μια απόσταση ασφαλείας εύρους 200 KHz στο κατώτερο όριο της κάθε υποζώνης.

Οι τροποποιήσεις έναντι του GSM, οι οποίες πραγματοποιούνται στον τομέα της σηματοδότησης του DCS αναφέρονται στις παρακάτω λειτουργικές κατηγορίες:

- Περιγραφή ραδιο-διαύλου σε συγκεκριμένο κύτταρο (Cell Channel Description)
- Περιγραφή γειτονικού κυττάρου (Neighbour Cell Description)
- Εντολή καταχώρησης ραδιο-διαύλων (Assignment Command)
- Πληροφορία συστήματος 2 (System Information 2)

- Πληροφορία συστήματος 5 (System Information 5)

Οι παραπάνω τροποποιήσεις δημιουργούν τις παρακάτω μεταβολές:

Το κινητό οφείλει να διαχειρίζεται όλα τα είδη κωδικοποιήσεων ακόμη και αν το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα υποσύνολο αυτών.

Πραγματοποιείται επέκταση των μηνυμάτων bis και υπάρχουν δείκτες, εντός του κυρίως μηνύματος, οι οποίοι δείχνουν ότι τα μηνύματα αυτά ευρίσκονται σε χρήση.

Η ισχύς εκπομπής της ΚΜ στο DCS είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του συστήματος GSM, δηλαδή η μέγιστη ισχύς εκπομπής είναι 1W (30 dBm) και 0.25W (24dBm). Η διαβάθμιση των μέγιστων ισχύων εκπομπής για το GSM είναι 20W (43dBm), 8W (39dBm), 5W (37dBm), 2W (33dBm) και 0.8W (29dBm). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ΚΜ μπορούν να μειώνουν την ισχύ εξόδου των πομπών τους με βήματα των 2dB κατόπιν εντολής του οικείου ΣΒ.

Οι κατηγορίες της ισχύος εκπομπής του ΣΒ του DCS ανήκουν στις κατώτερες κατηγορίες των ισχύων εκπομπής του GSM. Συγκεκριμένα ανάλογα με το μέγεθος του κυττάρου κάλυψης, η διαβάθμιση των μεγίστων ισχύων εκπομπής είναι 20W, 10W, 5W και 2.5W. Η αντίστοιχη διαβάθμιση των μεγίστων ισχύων των ΣΒ του GSM είναι 320W, 160W, 80W, 40W, 20W, 10W, 5W, 2.5W. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος εκπομπής, ώστε να επιτρέπεται η μείωση αυτής από τη μέγιστη στάθμη, με 6 στάθμες των 2dB και με ακρίβεια της τάξης του 1dB. Με τον τρόπο αυτόν υπάρχει δυνατότητα "μικρορύθμισης" της κάλυψης από τον φορέα εκμετάλλευσης για την βέλτιστη λειτουργία του όλου δικτύου.

Τα γενικότερα χαρακτηριστικά των δεκτών του συστήματος των δεκτών του συστήματος DCS περιγράφονται στην σύσταση GSM 05.05-DCS, όπου παρέχονται τα χαρακτηριστικά της, της παρεμβολής ενδοδιαμόρφωσης και της στάθμης των παρασιτικών εκπομπών. Στην προκειμένη περίπτωση, για τους δέκτες των ΣΒ, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις παρακάτω στάθμες:

α) 2nW για την περιοχή των συχνοτήτων από 9KHz ως 1GHz

β) 20nW για την περιοχή των συχνοτήτων από 1GHz ως 12.75GHz

Το κατώφλι ευαισθησίας ενός δέκτη προσδιορίζεται ανάλογα με το ελίδος του ραδιο-διαύλου και τις τοπικές συνθήκες της Η/Μ διάδοσης. Το κατώφλι αυτό για τους κινητούς δέκτες και τους δέκτες των ΣΒ του DCS είναι -100dBm (42dBμV/m) και -104dBm (38dBμV/m) αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα κατώφλια των δεκτών για το σύστημα GSM είναι -102dBm (35dBμV/m) και 33dBμV/m αντίστοιχα.

Ειδικότερα για τις κινητές μονάδες τόσο για το σύστημα DCS όσο και για το GSM, στην αγορά υπάρχουν τρεις τύποι διαθέσιμοι, αυτοκινήτου, μεταφερόμενοι και φορητοί. Το βάρος και ο όγκος των ΚΜ συνεχώς ελαττώνεται με παράλληλη αύξηση της εργονομικότητας του πληκτρολογίου και της συσκευής γενικότερα.

1.5 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS

Το επόμενο βήμα στον τομέα των ασυρματικών τηλεπικοινωνιών είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος, που θα κάνει καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου ραδιοφάσματος, ώστε να μεταδοθούν υπηρεσίες πολυμέσων υψηλών ρυθμών. Η αρχική εκτίμηση είναι ότι το νέο σύστημα θα μπορεί να λειτουργεί σε συχνότητες πάνω από 2 GHz και να υποστηρίξει ταχύτητες πάνω από 384 kbps και 2 Mbps. Απώτερος σκοπός είναι η κάλυψη μεγαλύτερων ταχυτήτων για την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση μιας πλειάδας τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών συμπεριλαμβάνοντας φωνή, βίντεο και εικόνα.

Για την κάλυψη της προς εξυπηρέτηση περιοχής, τα συστήματα τρίτης γενιάς υιοθετούν μια πολυεραρχική δομή με την χρήση κυττάρου τύπου ομπρέλας. Αυτό γίνεται για τη βέλτιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης κατά την μετάδοση και λήψη της πληροφορίας. Το ποιος τύπος κυττάρου θα χρησιμοποιείται κάθε φορά εξαρτάται από τη χωρική ταξινόμηση του συνδρομητή σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Η μεταξύ τους σύνδεση θα είναι δισδιάστατη σε ανοιχτό περιβάλλον (όπως δρόμοι σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και απομακρυσμένα χωριά), ενώ σε κλειστούς χώρους (όπως το εσωτερικό κτιρίων), θα είναι τρισδιάστατη. Για την υλοποίηση αυτής της πολυεπίπεδης δομής έχουν αναπτυχθεί οι ακόλουθες κατηγορίες κυττάρων:

- Κύτταρα μέγιστης κάλυψης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση χρηστών μέσα από τη δορυφορική κινητή τηλεφωνία, όταν αυτοί βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές. Η ακτίνα κάλυψης αυτών των κυττάρων είναι μερικές δεκάδες χιλιόμετρα.
- Υπερκύτταρα με ακτίνα κάλυψης πάνω από 20 Km για την εξυπηρέτηση κινητών συνδρομητών εντός επαρχιακών περιοχών
- Μακροκύτταρα τα οποία φωτίζουν επικοινωνιακά περιοχές πόλεων και εθνικές οδούς. Η ακτίνα κάλυψης αυτών των κυττάρων είναι από 1 Km ως 20 Km.
- Μικροκύτταρα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση κινητών συνδρομητών, που κινούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως το κέντρο μιας πόλης. Η ακτίνα κάλυψης κυμαίνεται από 100m ως 1 Km.
- Πικοκύτταρα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών συνδρομητών εντός κτιριακών μονάδων και ειδικότερα αυτών που βρίσκονται εντός των μέσων μαζικής μεταφοράς. Η ακτίνα κάλυψης δεν υπερβαίνει τα 100m

Η μεγάλη σπουδαιότητα των συστημάτων τρίτης γενιάς είναι εμφανής, αν αναλογιστούμε ότι το Internet γνωρίζει ολοένα και μεγαλύτερη εξάπλωση όπως και ότι για την μετάδοση των δεδομένων απαιτείται ένας ρυθμός της των εκατοντάδων

kbps. Για την ικανοποίηση λοιπόν αυτών των μελλοντικών απαιτήσεων πρέπει να επιτευχθούν υψηλότερες ταχύτητες και μεγαλύτερες χωρητικότητες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση των πόρων ενός δικτύου δεν είναι συνεχής, αλλά υπόκειται στην τυχαιότητα στο χώρο και το χρόνο. Για το λόγο αυτό, πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος αποκατάστασης της επικοινωνίας από και προς τον τερματικό εξοπλισμό του συνδρομητή. Από την άλλη, λόγω της κυψελωειδούς δομής των ασυρματικών δικτύων, είναι απαραίτητο να βρεθεί τρόπος για την ασφαλή εξελισσιμότητα των κλήσεων και τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των επικοινωνιών. Για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων, αναπτύχθηκαν διάφοροι αλγόριθμοί, που συνιστούν τις βασικές λειτουργικές διαδικασίες που υποστηρίζει ένα σύστημα.

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται με τις λειτουργικές διαδικασίες των κυτταρικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς. Δίνεται μία γενική ταξινόμηση των λειτουργιών που εκτελούνται από ένα τέτοιο σύστημα και παρατίθενται τα είδη των χρησιμοποιούμενων ραδιοδιαύλων. Περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα για την επιτυχή αποκατάσταση και τον τερματισμό των κλήσεων και αναλύεται η δρομολόγηση της διαδικασίας της περιαγωγής. Επίσης, γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια της μεταγωγής, η οποία θα αναλυθεί διεξοδικά στο τρίτο κεφάλαιο.

2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται περιληπτικά οι λειτουργικές διαδικασίες που δρομολογούνται σε ένα κυτταρικό σύστημα και δίνεται ένας ορισμός των χρησιμοποιούμενων ραδιοδιαύλων.

Οι βασικές λειτουργίες ελέγχου και σηματοδosisίας είναι [4]:

1. Απλές διαδικασίες διαχείρισης κινητικότητας
2. Διαδικασίες πιστοποίησης και αναγνώρισης
3. Ανίχνευση συνδρομητικής κάρτας αναγνώρισης και ασφάλειας
4. Ειδικές διαδικασίες διαχείρισης κινητικότητας
5. Ενημέρωση της θέσης της κινητής μονάδας κατά περιοδικά διαστήματα
6. Διαχείριση κινητικότητας κατά την αποκατάσταση μίας σύνδεσης
7. Διαχείριση κινητικότητας κατά την μεταφορά της πληροφορίας
8. Διαχείριση κινητικότητας κατά την φάση αποδέσμευσης της σύνδεσης

9. Γενικές διαδικασίες ραδιοεξυπηρέτησης με την χρήση πακέτων (General Packet Radio Service GPRS)

Οι στοιχειώδεις λειτουργίες ενός συστήματος είναι οι ακόλουθες:

1. Αποκατάσταση μίας κλήσης
2. Τερματισμός μίας κλήσης
3. Λειτουργίες σηματοδότησης κατά την ενεργό κατάσταση της κινητής μονάδας
4. Διαδικασίες ενημέρωσης του χρήστη
5. Διαδικασίες επαναδιευθέτησης μίας κλήσης

Οι χρησιμοποιούμενοι ραδιοδίαυλοι ή φυσικοί ραδιοδίαυλοι χωρίζονται στους ραδιοδιαύλους κίνησης, που μεταφέρουν τα δεδομένα και στους λογικούς ραδιοδιαύλους ελέγχου, οι οποίοι πολυπλέκονται και χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς (2 για κίνηση, 9 για έλεγχο σηματοδότησης και 1 για την κατανομή του μηνύματος), όπως μεταφορά σηματοδότησης και συγχρονισμού. Οι τύποι ραδιοδιαύλων ελέγχου είναι οι παρακάτω:

• **Ραδιοδίαυλοι Εκπομπής (Broadcast Channels BCH):**

- i. Ραδιοδίαυλος Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Channel FCCH). Χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της συχνότητας της κάτω ζεύξης της κινητής μονάδας.
- ii. Ραδιοδίαυλος Συγχρονισμού (Synchronization Channel SCH). Ο ραδιοδίαυλος αυτός μεταφέρει πληροφορίες για τον αριθμό του TDMA πλαισίου της κάτω ζεύξης για την μονάδα εκπομπής και λήψης του σταθμού βάσης. Δηλαδή, μεταφέρει πληροφορίες συγχρονισμού του κινητού σταθμού, ώστε αυτός να εκπέμπει στην κατάλληλη χρονοθυρίδα.
- iii. Ραδιοδίαυλος Ελέγχου Εκπομπής (Broadcast Control Channel BCCH). Με αυτόν μεταδίδεται ειδική πληροφορία προς την κινητή μονάδα και αναφέρεται στην κάτω ζεύξη.

• **Ραδιοδίαυλοι Κοινού Ελέγχου (Common Control Channels CCCH):**

- i. Ραδιοδίαυλος Τηλεειδοποίησης (Paging Channel PCH). Αναφέρεται στην κάτω ζεύξη και χρησιμοποιείται για την τηλεειδοποίηση της κινητής μονάδας
- ii. Ραδιοδίαυλος Τυχαίας Πρόσβασης (Random Access Channel RACH). Αναφέρεται στην άνω ζεύξη και χρησιμοποιείται από την κινητή μονάδα για να ζητήσει την εκχώρηση ενός Αυτόνομου Αφιερωμένου Ραδιοδιαύλου Ελέγχου, προκειμένου να το χρησιμοποιήσει σαν απάντηση τηλεειδοποίησης ή πρόσβαση σε έναρξη/εγγραφή κλήσης της κινητής μονάδας
- iii. Ραδιοδίαυλος Άμεσου Καθορισμού (Access Grant Channel AGCH). Χρησιμοποιείται για την καταχώρηση ενός Αυτόνομου Αφιερωμένου Ραδιοδιαύλου Ελέγχου στην κινητή μονάδα και αναφέρεται μόνο στην κάτω ζεύξη

- **Αφιερωμένοι Ραδιοδίαυλοι Ελέγχου (Dedicated Control Channels DCCH):**
 - i. Αυτόνομος Αφιερωμένος Ραδιοδίαυλος Ελέγχου (Standalone Dedicated Control Channel SDCCH). Χρησιμοποιείται για την σηματοδότηση του συστήματος κατά τη διάρκεια της έναρξης ή εγγραφής της κλήσης. Αναφέρεται τόσο για την κάτω όσο και για την άνω ζεύξη.
 - ii. Αργός Συσχετισμένος Ραδιοδίαυλος Ελέγχου (Slow Associated Control Channel SACCH). Ο ραδιοδίαυλος ελέγχου συσχετίζεται με έναν ραδιοδίαυλο SDCCH και αναφέρεται τόσο για την άνω όσο και για την κάτω ζεύξη. Σε αυτόν τον ραδιοδίαυλο στέλνονται πληροφορίες που αφορούν καταγραφή μετρήσεων από την κινητή μονάδα στον σταθμό εκπομπής και λήψης (base transceiver station BTS). Τα στοιχεία που μεταφέρει είναι απαραίτητα κατά την εναλλαγή, όταν η έναρξη της διαδικασίας γίνεται από την πλευρά του κινητού τερματικού.
 - iii. Γρήγορος Συσχετισμένος Ραδιοδίαυλος Ελέγχου (Fast Associated Control Channel FACCH). Ο ραδιοδίαυλος αυτός είναι συσχετισμένος με ένα κανάλι κίνησης της άνω ή της κάτω ζεύξης. Χρησιμοποιείται, όταν κατά τη διάρκεια μετάδοσης ομιλίας χρειάζεται να γίνει ανταλλαγή σημάτων με το σύστημα με ρυθμούς μεγαλύτερους από εκείνους που διαχειρίζεται ο SACCH.

- **Κυτταρικός Ραδιοδίαυλος Εκπομπής (Cell Broadcast Channel CBCH):** Ο ραδιοδίαυλος αυτός αναφέρεται μόνο στην κάτω ζεύξη και χρησιμοποιείται για τη διεκπεραίωση της Υπηρεσίας Μικρών Μηνυμάτων (Short Message Service SMS).

- **Ραδιοδίαυλος Ενημέρωσης (Notification Channel NCH):** Αναφέρεται στην κάτω ζεύξη μόνο και χρησιμοποιείται για να ενημερώνει τις κινητές μονάδες για Υπηρεσίες Εκπομπής Φωνής (Voice Broadcast Service VBS) ή για Υπηρεσίες Φωνής Ομάδας Κλήσεων (Voice Group Call Service VGCS).

Πρέπει να αναφέρουμε ότι τα συστήματα δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούν δύο σημεία πρόσβασης για σηματοδότηση στο δεύτερο επίπεδο που διαχωρίζονται από τα Service Access Point Identifiers (SAPI). Το πρώτο είναι το SAPI 0 που υποστηρίζει την μεταφορά πληροφορίας σηματοδότησης από χρήστη σε χρήστη και το δεύτερο είναι το SAPI 3, που υποστηρίζει την μεταφορά πληροφορίας του χρήστη για μικρά μηνύματα. Το τρίτο επίπεδο επιλέγει το σημείο πρόσβασης στην υπηρεσία, το λογικό κανάλι ελέγχου και την κατάσταση λειτουργίας του δευτέρου επιπέδου. Εδώ, θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι τα συστήματα δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο ATM adaptation layer 2 (AAL 2), το οποίο απαιτεί χρονική συσχέτιση πομπόδεκτη, υποστηρίζει μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης και προσανατολίζεται σε connection oriented σύνδεση.

2.3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (PUBLIC LAND MOBILE NETWORKS PLMN)

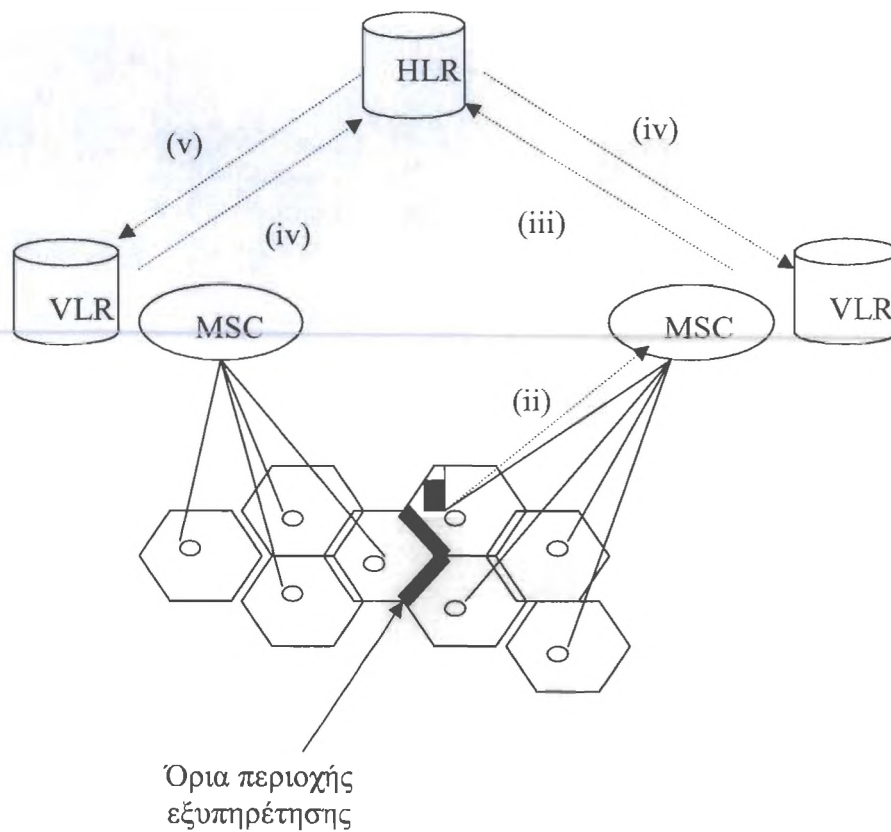
Τα θέματα διαχείρισης της θέσης της κινητής μονάδας μέσα στα ασυρματικά δίκτυα βασίζονται σε δύο τύπους βάσεων δεδομένων, την οικεία βάση δεδομένων (Home Location Register HLR) και τη βάση δεδομένων εγγραφής επισκέψεων (Visitor Location Register VLR). Για κάθε δίκτυο υπάρχει μία HLR και κάθε συνδρομητής είναι εγγεγραμμένος σε αυτήν. Ο αριθμός των VLRs ποικίλλει και κάθε μία από αυτές περιέχει πληροφορίες για τον χρήστη που επισκέπτεται την περιοχή που αυτή εξυπηρετεί.

Η διαχείριση της θέσης της κινητής μονάδας περιλαμβάνει δύο κύριες εργασίες, την καταγραφή της θέσης και την μεταφορά των κλήσεων. Οι διαδικασίες καταγραφής της θέσης ενημερώνουν ανά πάσα στιγμή τις προαναφερθείσες βάσεις δεδομένων και πιστοποιούν την αλλαγή της θέσης της κινητής μονάδας. Οι διαδικασίες μεταφοράς των κλήσεων εντοπίζουν την κινητή μονάδα, με βάση τα στοιχεία που είναι καταγεγραμμένα στις βάσεις δεδομένων, όταν απαιτείται η έναρξη μίας κλήσης για τη δεδομένη κινητή μονάδα.

2.3.1 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Για την επιτυχή μεταφορά των κλήσεων, το δίκτυο πρέπει να καταγράφει το νοητό μονοπάτι σύνδεσης του τερματικού εξοπλισμού του χρήστη με τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Οι πληροφορίες για την σύνδεση αυτή καταγράφονται στις βάσεις δεδομένων HLR και VLR. Επειδή, η κινητή μονάδα συνεχώς αλλάζει θέση μέσα στην περιοχή εξυπηρέτησης, θα πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός για την συνεχή ενημέρωση των HLR και VLR, ώστε οι κλήσεις να είναι επιτυχείς.

Κάθε φορά που η κινητή μονάδα αλλάζει περιοχή εξυπηρέτησης, χρειάζεται να γίνεται ένας έλεγχος για το αν η νέα περιοχή ανήκει στην ίδια VLR ή σε κάποια άλλη. Αν δεν υπάρχει αλλαγή, τότε απλά ενημερώνεται η VLR για την νέα ταυτότητα της περιοχής. Διαφορετικά, απαιτούνται παραπάνω διαδικασίες και συγκεκριμένα εγγραφή του συνδρομητή στην καινούρια VLR, ενημέρωση της HLR για την αλλαγή στην VLR και διαγραφή του συνδρομητή από την παλιά VLR. Τα βήματα κατά την καταγραφή της θέσης του συνδρομητή φαίνονται στο επόμενο σχήμα και περιγράφονται παρακάτω:



Σχήμα 2.1: Βήματα για την καταγραφή της θέσης της κινητής μονάδας

- i. Η κινητή μονάδα εισέρχεται σε μία νέα περιοχή εξυπηρέτησης και στέλνει ένα μήνυμα ενημέρωσης στο νέο σταθμό βάσης.
- ii. Ο σταθμός βάσης προωθεί το μήνυμα προς το κύριο διακοπτικό κέντρο (Mobile Switching Center MSC), το οποίο ξεκινά τις διαδικασίες αναζήτησης στην συμβεβλημένη βάση δεδομένων.
- iii. Η VLR ενημερώνεται για την νέα θέση της μονάδας. Αν απαιτείται εγγραφή σε νέα VLR, τότε ενημερώνεται και η HLR, μέσω ενός πίνακα αντιστοιχίσεων (translation table).
- iv. Αφού πιστοποιηθεί η αλλαγή στην HLR, στέλνεται ένα μήνυμα εγγραφής στην νέα VLR.
- v. Η HLR στέλνει ένα μήνυμα ακύρωσης της εγγραφής στην παλιά VLR

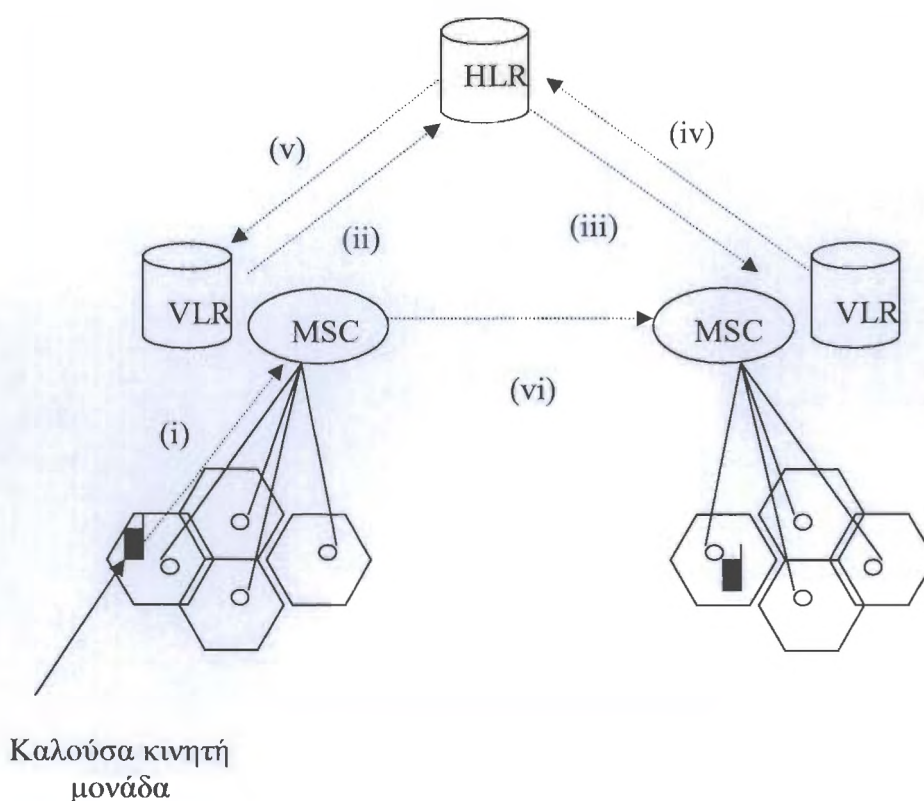
vi. Η παλιά VLR ακυρώνει την εγγραφή και στέλνει πίσω στην HLR το μήνυμα ακύρωσης.

Εδώ, χρειάζεται να επισημάνουμε ένα μειονέκτημα της όλης διαδικασίας. Καθώς η απόσταση μεταξύ της HLR και της κινητής μονάδας μεγαλώνει και καθώς ο αριθμός των συνδρομητών συνεχώς αυξάνει, όλο και περισσότερα σήματα σηματοδότησης μεταδίδονται για την ολοκλήρωση των παραπάνω διεργασιών. Αυτό συνεπάγεται μία αύξηση του επικοινωνιακού φορτίου του συστήματος.

2.3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ

Για την μεταφορά των κλήσεων εμπλέκονται δύο κύρια βήματα, η απόφαση για την VLR εξυπηρέτησης και ο εντοπισμός του κυττάρου, στο οποίο βρίσκεται η κινητή μονάδα. Έχουμε, λοιπόν, τα ακόλουθα βήματα:

- i. Η καλούσα κινητή μονάδα στέλνει ένα σήμα παραγωγής μίας κλήσης στο MSC μέσω του πλησιέστερου σταθμού βάσης
 - ii. Το MSC αναζητά τη διεύθυνση της κινητής μονάδας στην HLR μέσω του translation table και στέλνει ένα μήνυμα αίτησης εντοπισμού στην HLR.
 - iii. Η HLR αποφασίζει για την VLR και της στέλνει ένα μήνυμα αίτησης δρομολόγησης. Κατόπιν, η VLR προωθεί το μήνυμα στο MSC.
 - iv. Το MSC αναθέτει ένα προσωρινό αριθμό διεύθυνσης στην κινητή μονάδα και στέλνει μία απάντηση στην HLR μαζί με τον αριθμό αυτό.
 - v. Η HLR προωθεί αυτήν την πληροφορία στο MSC του καλούντος συνδρομητή.
 - vi. Το καλών MSC κάνει μία αίτηση αποκατάστασης κλήσης στο καλούμενο MSC.
- Σχηματικά η διαδικασία αυτή φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2.2: Βήματα κατά την μεταφορά των κλήσεων

Με τη διαδικασία αυτή αποκαθίσταται η σύνδεση μεταξύ της καλούσας κινητής μονάδας και του MSC του καλούμενου συνδρομητή. Κατόπιν, επειδή κάθε δομικό στοιχείο του συστήματος εξυπηρετεί περισσότερα από ένα κύτταρα, στέλνεται ένα μήνυμα τηλεδοποίησης (paging), το οποίο συλλαμβάνει η καλούμενη κινητή μονάδα και απαντά προς το κέντρο, ώστε να εντοπιστεί το κύτταρο, στο οποίο βρίσκεται.

2.4 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ATM

Η διαχείριση της θέσης της κινητής μονάδας στα ασυρματικά ATM δίκτυα χρησιμοποιεί τρεις τεχνικές, τις location servers, location advertisement και terminal paging.

2.4.1 LOCATION SERVERS ΤΕΧΝΙΚΗ

Location Servers είναι βάσεις δεδομένων, που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και την επανάκτηση μίας εγγραφής από την τρέχουσα θέση του κινητού. Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι είναι δύο. Ο πρώτος χρησιμοποιεί δομή βάσεων δεδομένων παρόμοια με αυτή των HLR και VLR, ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιεί μία ιεραρχία από βάσεις δεδομένων.

α) Διπλής ουράς βάση δεδομένων. Η αρχιτεκτονική αυτή χρησιμοποιεί διεπίπεδες βάσεις δεδομένων HLR και VLR, που κατανέμονται σε ζώνες μέσα στο δίκτυο. Η καταγραφή της θέσης για την μέθοδο αυτή στηρίζεται στην παρούσα ζώνη της κινητής μονάδας. Σε κάθε ζώνη ανατίθεται μία VLR και εξυπηρετεί μόνο τα τερματικά που βρίσκονται σε αυτή τη ζώνη. Τα βήματα, που ακολουθούνται για την εγγραφή είναι:

- i. Η κινητή μονάδα στέλνει ένα μήνυμα αίτησης εγγραφής στη νέα MSCP, που περιέχει τον αριθμό αναγνώρισης του χρήστη, πληροφορίες πιστοποίησης και τον αριθμό αναγνώρισης ή ταυτότητα της προηγούμενης ζώνης.
- ii. Η τρέχουσα MSCP αναγνωρίζει την οικεία ζώνη του χρήστη από την προηγούμενη ζώνη.
- iii. Η τρέχουσα και η οικεία MSCP πιστοποιούν τον χρήστη και ενημερώνουν τα αρχεία του οικείου χρήστη με τις νέες πληροφορίες εντοπισμού.
- iv. Η οικεία ζώνη στέλνει ένα αντίγραφο των αρχείων στην τωρινή ζώνη, η οποία αποθηκεύει τα αρχεία στη θέση VLR της βάσης δεδομένων

- v. Η τρέχουσα MSCP στέλνει ένα μήνυμα ειδοποίησης στην παλιά ζώνη για τη διαγραφή των αρχείων του χρήστη από την VLR της παλιάς ζώνης.

Η μεταφορά των κλήσεων πραγματοποιείται με δρομολόγηση της κλήσης στην τελευταία γνωστή ζώνη. Αν η μονάδα έχει εγκαταλήψει τη ζώνη αυτή, η κλήση μεταφέρεται αυτομάτως στην οικεία ζώνη. Εκεί, στην HLR αναζητείται η τρέχουσα θέση του συνδρομητή και η κλήση προωθείται στον καλούντα διακόπτη. Αυτός αποκαθιστά την σύνδεση με τον τρέχοντα διακόπτη της κινητής μονάδας.

β) Τοπικοί καταχωρητές με ιεραρχική δομή των βάσεων δεδομένων. Η μέθοδος αυτή κατανέμει τους location servers σε μία ιεραρχική δομή επιφάνειας NNI. Η παράταξη αυτή επιτρέπει στο δίκτυο να δρομολογεί συνδέσεις με την κινητή μονάδα, χωρίς να απαιτείται ο γονικός κόμβος να έχει ακριβείς πληροφορίες της θέσεως. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται στην ιεράρχηση του δικτύου σε ομότιμες ομάδες, καθεμία από τις οποίες αποτελείται από μία συλλογή από ATM διακόπτες. Κάθε διακόπτης μπορεί να συνδεθεί με άλλους διακόπτες εντός της ίδιας ομότιμης ομάδας, η οποία διαθέτει τη δική της βάση δεδομένων για να αποθηκεύει πληροφορίες εντοπισμού των κινητών μονάδων που εξυπηρετούνται από την ομότιμη ομάδα. Η ενημέρωση για την νέα θέση της κινητής μονάδας γίνεται ως ακολούθως:

- i. Η κινητή μονάδα στέλνει μήνυμα εγγραφής στο νέο σταθμό βάσης ή διακόπτη.
- ii. Ο νέος διακόπτης αποθηκεύει τον αριθμό της μονάδας στον τοπικό καταχωρητή της ομότιμης ομάδας.
- iii. Η ομότιμη ομάδα μεταδίδει την πληροφορία για τη νέα θέση στο υψηλότερο επίπεδο τοπικών καταχωρητών για δρομολόγηση, μέχρι να βρει ένα κοινό επίπεδο με την προηγούμενη ομότιμη ομάδα.
- iv. Η HLR της κινητής μονάδας ενημερώνεται για το βάθος του καινούριου επιπέδου στη δομή της ιεραρχίας.
- v. Το επόμενο βήμα είναι να στείλει ο καινούριος διακόπτης ένα μήνυμα και να διαγραφεί ο συνδρομητής από τον παλιό τοπικό καταχωρητή.

Η μεταφορά των κλήσεων είναι λιγότερο πολύπλοκη σε αυτή τη μέθοδο, αφού γίνεται χρήση της ιεραρχικής οργάνωσης του δικτύου. Η αίτηση κλήσης μεταφέρεται στην τελευταία γνωστή ομότιμη ομάδα και αν ο συνδρομητής την έχει εγκαταλήψει, τότε ο αντίστοιχος διακόπτης στέλνει ένα μήνυμα εντοπισμού της νέας θέσης.

2.4.2 LOCATION ADVERTISEMENT ΤΕΧΝΙΚΗ

Παρά το γεγονός ότι η προηγούμενη τεχνική είναι απλούστερη και μειώνει το κόστος των υπολογισμών, εντούτοις απαιτεί πρόσθετο φορτίο σηματοδότησης. Γι' αυτό χρησιμοποιείται η advertisement τεχνική, υπό την έννοια ότι έχουμε ενημέρωση των κατάλληλων κόμβων του δικτύου για την τρέχουσα θέση της κινητής μονάδας. Η τεχνική αυτή υλοποιείται με τρεις διαφορετικές μεθόδους, που περιγράφονται παρακάτω:

α) Κινητή επιφάνεια NNI. Κάθε ομότιμη ομάδα περιέχει πληροφορίες για την τοπολογία της ομάδας και το φορτίο που διεκπεραιώνει κάθε ομότιμος διακόπτης. Η διαδικασία της εγγραφής δεν κάνει χρήση βάσεων δεδομένων, αφού η πληροφορία εντοπισμού της θέσεως ενός συνδρομητή περιλαμβάνονται σε πακέτα που ανταλλάσσονται μεταξύ των ομότιμων διακοπών. Οι διαδικασίες εγγραφής και ενημέρωσης εφαρμόζονται σε δύο βήματα. Αρχικά, η κινητή μονάδα στέλνει ένα μήνυμα εγγραφής στον οικείο διακόπτη. Αυτός μαζί με την κύρια τρέχουσα ομότιμη ομάδα μεταδίδουν με πακέτα την πληροφορία για τη νέα θέση. Ο οικείος διακόπτης πρέπει να στείλει ένα μήνυμα στον προηγούμενο διακόπτη για να αρχίσει να προωθεί τα πακέτα. Αν υπάρχει χρόνος για να μεταδοθεί η πληροφορία, ο διακόπτης ενημερώνεται να σταματήσει την προώθηση.

Η μεταφορά των κλήσεων δεν περιλαμβάνει προηγούμενη εγκατάσταση σύνδεσης, αφού κάθε διακόπτης μπορεί να δρομολογήσει την κλήση βασιζόμενος στην πληροφορία που έχει λάβει. Μία κλήση από την ίδια γειτονιά μπορεί άμεσα να δρομολογηθεί προς το σωστό διακόπτη, δεδομένου ότι έχει ενημερωθεί για τις τελευταίες αλλαγές στην χωρική ταξινόμηση των συνδρομητών. Το ίδιο συμβαίνει και για κλήση προς μία μονάδα που βρίσκεται στην οικεία γειτονιά της. Σε κάθε άλλη περίπτωση, ο οικείος διακόπτης πρέπει να δρομολογήσει την κλήση προς τον τρέχοντα διακόπτη.

β) Δέντρο εικονικής σύνδεσης. Η αρχιτεκτονική αυτής της μεθόδου περιλαμβάνει μία συλλογή από φορητούς σταθμούς βάσης, που συνδέονται στα παρεχόμενα εικονικά μονοπάτια σχηματίζοντας ένα δέντρο σύνδεσης. Η μορφή των δέντρων βασίζεται στα δεδομένα κίνησης της μονάδας. Η διαδικασία εγγραφής εκκινεί όταν το τερματικό χρήσης εισέρχεται στο σύστημα ή αποδεσμεύεται από αυτό ή όταν το τερματικό αλλάζει περιοχή εξυπηρέτησης. Κατά τη φάση εισόδου ή εξόδου από το σύστημα, η κινητή μονάδα στέλνει ένα μήνυμα στον αντίστοιχο τοπικό σταθμό βάσης. Αυτός απλά προσθέτει ή διαγράφει τον συνδρομητή από την λίστα εξυπηρέτησης. Κατά τη φάση αλλαγής περιοχής εξυπηρέτησης, απαιτείται ένα μήνυμα για την αποδέσμευση της κινητής μονάδας από τον παλιό σταθμό βάσης. Η μεταφορά των κλήσεων αποτελείται από ενημέρωση των κόμβων για τον αριθμό του τερματικού μέσω ενός μηνύματος εκπομπής από τον σταθμό του καλούντος τερματικού. Ο φορητός σταθμός βάσης αποκρίνεται σε αυτό το μήνυμα και ξεκινά η διαδικασία της σύνδεσης. Αν δεν υπάρξει απόκριση η κλήση απορρίπτεται με την αιτιολογία ότι η κινητή μονάδα δεν είναι εγγεγραμμένη.

γ) Ανάλυση ολοκληρωμένου εντοπισμού. Αυτή η μέθοδος διαμορφώνει τις λειτουργίες σηματοδότησης κατά τη διαδικασία αποκατάστασης των κλήσεων ATM για να περιλάβει ενδείξεις της τρέχουσας θέσης του καλούμενου συνδρομητή. Ένας οικείος διακόπτης ανατίθεται στην κινητή μονάδα, ο οποίος ελέγχει όλες τις πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του τερματικού μέσα στο δίκτυο. Για την μεταφορά των κλήσεων, όλες οι αιτήσεις αποκατάστασης κλήσεων δρομολογούνται στον οικείο διακόπτη με ένα μήνυμα αποκατάστασης σύνδεσης. Επειδή, η κατάσταση του καλούντος τερματικού σημείου, αν, δηλαδή, πρόκειται για

συνδρομητή του σταθερού ή του ασυρματικού δικτύου, δεν είναι σαφής, είναι δυνατόν να υπάρχει μία από τις ακόλουθες καταστάσεις:

- i. Το καλών τερματικό σημείο είναι σταθερό, μονίμως συνδεδεμένο στον οικείο του διακόπτη.
- ii. Το καλών τερματικό είναι κινητό προσωρινά προσκολλημένο στον οικείο του διακόπτη.
- iii. Το καλών τερματικό είναι κινητό προσωρινά αποκολλημένο από τον οικείο του διακόπτη.

Στα όρια NNI και UNI της αρχιτεκτονικής δομής του συστήματος, ο οικείος διακόπτης πρέπει να αποφανθεί για την κατάσταση του συνδρομητή. Αν το καλών τερματικό είναι σταθερό, τότε ο οικείος διακόπτης στέλνει ένα μήνυμα σύνδεσης στον αρχικό διακόπτη. Αν το καλών τερματικό σημείο είναι κινητό και προσωρινά προσκολλημένο στον οικείο διακόπτη, τότε πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία, αλλά, επίσης, αναγνωρίζονται τα μονοπάτια με τους γειτονικούς ATM διακόπτες για πιθανή μελλοντική μεταγωγή. Η μεταφορά των κλήσεων για κινητά τερματικά, τα οποία είναι προσωρινά απομακρυσμένα από τον οικείο διακόπτη, περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- i. Η κινητή μονάδα αποστέλει ένα μήνυμα αποκατάστασης της σύνδεσης στον οικείο διακόπτη.
- ii. Ο διακόπτης αυτός αποφαινεται ότι το τερματικό είναι έξω από το οικείο περιβάλλον.
- iii. Ο οικείος διακόπτης στέλνει ένα μήνυμα απελευθέρωσης του αρχικού διακόπτη.
- iv. Ένας διακόπτης στο αρχικό μονοπάτι σύνδεσης εγκαθιδρύει ένα νέο μονοπάτι για την σύνδεση με την κινητή μονάδα και στέλνει ένα νέο μήνυμα αποκατάστασης κλήσης στη τρέχουσα διεύθυνση της μονάδας. Το μήνυμα αυτό περιλαμβάνει την οικεία διεύθυνση της κινητής μονάδας.
- v. Οι διακόπτες στο νέο μονοπάτι πρέπει να είναι έτοιμοι για πιθανές μελλοντικές μεταγωγές.

2.4.3 TERMINAL PAGING ΤΕΧΝΙΚΗ

Σε αυτή την τεχνική διακρίνουμε την μέθοδο της τηλεειδοποίησης ταχύτητας. Με αυτήν προσπαθούμε να κατατάξουμε την κινητή μονάδα σε μία κλάση ταχύτητας. Για την επιλογή της κλάσης υπάρχουν δύο τρόποι. Ο πρώτος χρησιμοποιεί σαν κριτήριο την απόσταση για να καταγράψει τη θέση της κινητής μονάδας. Κατόπιν, με διάφορους υπολογισμούς γίνεται μία εκτίμηση της μέσης ταχύτητας του τερματικού. Ο άλλος τρόπος εκμεταλλεύεται τις διαδικασίες κίνησης, όπου μετράται ο αριθμός που μία μονάδα διέρχεται από κάποιο κύτταρο.

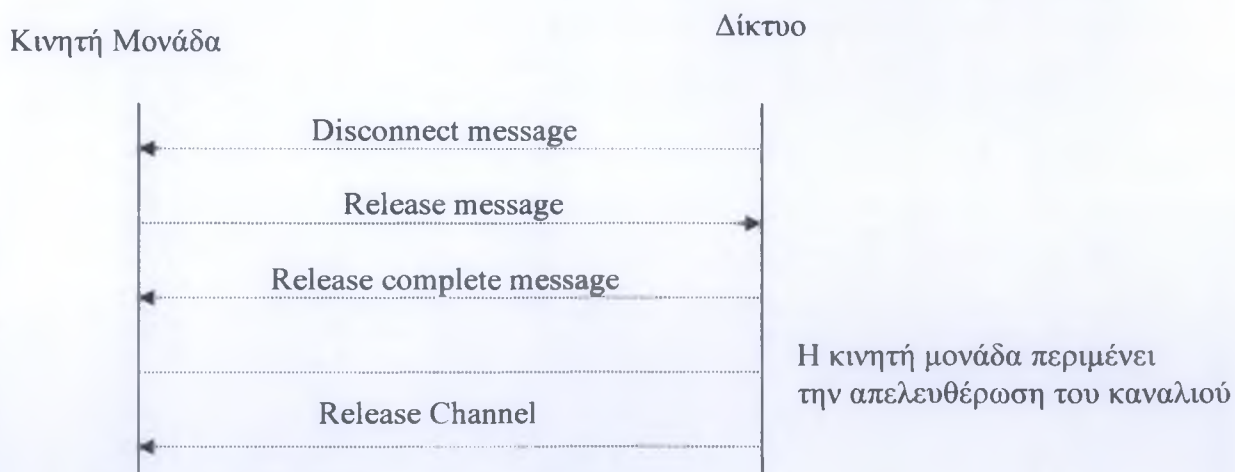
Όταν το σύστημα θέλει να μεταφέρει μία κλήση, αναζητά έναν location server. Επιλέγεται η κλάση ταχύτητας της μονάδας και διαβάζεται ο χρόνος της τελευταίας εγγραφής της μονάδας στο σύστημα. Με αυτά τα στοιχεία, υπολογίζεται η μέγιστη απόσταση που μπορεί να διανύσει η κινητή μονάδα και τα κύτταρα, που

περικλείονται σε αυτήν την απόσταση αποτελούν την πρώτη ομάδα που είναι υποψήφια για paging.

2.5 ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΚΛΗΣΗΣ

Οι διαδικασίες τερματισμού μίας κλήσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το ποιος τις δρομολογεί. Πιο συγκεκριμένα:

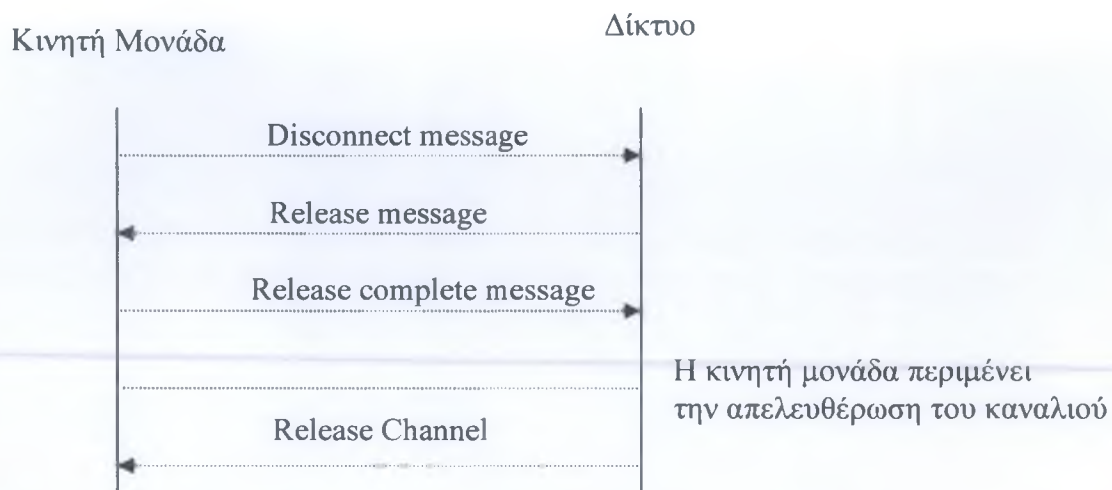
- *Διαδικασίες εκκίνησης από το δίκτυο.* Το δίκτυο ξεκινά τις διαδικασίες για τον τερματισμό μίας κλήσης στέλνοντας ένα μήνυμα αποσύνδεσης (Disconnect message) στην κινητή μονάδα. Αυτή με την σειρά της λαμβάνει το μήνυμα από το δίκτυο και απαντά με ένα μήνυμα απελευθέρωσης (Release message). Κατόπιν, το δίκτυο στέλνει ένα μήνυμα ολοκλήρωσης της διαδικασίας απελευθέρωσης (Release complete message). Η κινητή μονάδα λαμβάνει το μήνυμα αυτό και, αν ο τερματισμός της κλήσης είναι η τελευταία δραστηριότητα του καναλιού, περιμένει για την απελευθέρωση του καναλιού, η οποία εκκινεί πάντα από το δίκτυο. Στην περίπτωση περιβάλλοντος πολλαπλών κλήσεων δεν έχουμε άμεση απελευθέρωση του καναλιού, αλλά εξετάζεται πρώτα η κατάσταση του δικτύου, αν, δηλαδή, υπάρχουν κλήσεις που περιμένουν να εξυπηρετηθούν. Οι διαδικασίες που περιγράφησαν παραπάνω φαίνονται σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 2.3: Διαδικασίες εκκίνησης από το δίκτυο για τον τερματισμό μίας κλήσης

- *Διαδικασίες εκκίνησης από την κινητή μονάδα.* Η διαδικασία ξεκινά με την κινητή μονάδα να στέλνει ένα μήνυμα αποσύνδεσης στο δίκτυο. Αυτό απαντά με ένα μήνυμα απελευθέρωσης. Η κινητή μονάδα λαμβάνει το μήνυμα αυτό και στέλνει ένα μήνυμα επιβεβαίωσης της ολοκλήρωσης της απελευθέρωσης, αν το κανάλι

δεν χρειάζεται πλέον. Στην περίπτωση περιβάλλοντος πολλαπλών κλήσεων ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτή για την περίπτωση εκκίνησης από το δίκτυο. Σχηματικά η διακοπή μίας κλήσης που ξεκινά από την κινητή μονάδα έχει ως εξής:



Σχήμα 2.4: Διαδικασίες εκκίνησης από την κινητή μονάδα για τον τερματισμό μίας κλήσης

2.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Μεταγωγή είναι η αυτόματη μεταφορά των κλήσεων μιας κινητής μονάδας από ένα σταθμό βάσης σε ένα άλλο (Handoff). Διακρίνουμε δύο είδη μεταγωγής :

α) Γνήσια μεταγωγή, η οποία πραγματοποιείται όταν η ένταση του σήματος που λαμβάνεται από την κινητή μονάδα είναι πολύ χαμηλή με κίνδυνο διακοπής της επικοινωνίας

β) Κατευθυνόμενη μεταγωγή, η οποία πραγματοποιείται προκειμένου να επιτευχθεί ισόρροπη κατανομή του επικοινωνιακού φορτίου του συστήματος.

Υπάρχει, επίσης, ένα άλλο είδος μεταγωγής, το οποίο έχει να κάνει με το κανάλι που χρησιμοποιεί η κινητή μονάδα, δηλαδή την περιοχή συχνοτήτων. Όταν η επικοινωνία σε ένα κύτταρο πραγματοποιείται σε συχνότητα f_1 , αλλά λόγω ισχυρής απόσβεσης από φυσικά εμπόδια, παρεμβολές κτλ δεν είναι αποδοτική, είναι δυνατή η πραγματοποίηση μεταγωγής σε μία άλλη συχνότητα f_2 του ίδιου κυττάρου.

Η μεταγωγή πραγματοποιείται στα όρια των κυττάρων. Οι απαιτήσεις για χωρητικότητα επιβάλλουν μια αρχιτεκτονική που βασίζεται στην παράταξη μικροκυττάρων. Όμως, με δεδομένο ένα μικρό μέγεθος κυττάρου, οι ταχέως κινούμενες κινητές μονάδες θα έπρεπε να πραγματοποιούν ένα μεγάλο αριθμό μεταγωγών. Γι' αυτό προτάθηκε η ιδέα των μικροκυτταρικών επικοινωνιακών συστημάτων με ιεραρχική δομή επικαλυπτόμενων μακροκυττάρων, αφού τα

μακροκύτταρα παρέχουν κανάλια υπερχύλησης για μικροκύτταρα ή για περιοχές χαμηλού φορτίου.

Η μεταγωγή αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα αξιολόγησης ενός κυτταρικού συστήματος, καθώς διασφαλίζει την αξιόπιστη συνέχεια των κλήσεων κατά την μετάβαση της κινητής μονάδας από ένα κύτταρο σε ένα άλλο. Οι λεπτομέρειες για την επίτευξη της λειτουργικής διαδικασίας της μεταγωγής αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

2.7 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΑΓΩΓΗΣ

Η διαδικασία της περιαγωγής είναι αναγκαία στην περίπτωση συστημάτων που εξυπηρετούν ένα μεγάλο αριθμό συνδρομητών, οπότε η προς εξυπηρέτηση περιοχή κατατάσσεται λειτουργικά σε πολλά ψηφιακά κέντρα. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η ανάληψη της ευθύνης για τη διεκπεραίωση των κλήσεων από το κατάλληλο ψηφιακό κέντρο κάθε φορά. Έτσι, αυξάνεται η ποιότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας και, παράλληλα, μειώνεται το κόστος της μετάδοσης του σήματος.

Δίνοντας ένα κατάλληλο ορισμό για τη διαδικασία της περιαγωγής, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η περιαγωγή είναι η διαδικασία της μεταγωγής μεταξύ των ψηφιακών κέντρων του ίδιου συστήματος. Οι κανονισμοί που την καθορίζουν είναι πολύ αυστηροί, τόσο σε επίπεδο λειτουργίας των ψηφιακών κέντρων όσο και σε επίπεδο επικοινωνίας μεταξύ τους. Μπορούμε να διακρίνουμε μεταξύ της διεθνούς και της εθνικής περιαγωγής. Η εθνική περιαγωγή πραγματοποιείται στα γεωγραφικά όρια μιας χώρας και συνίσταται από την περιαγωγή μεταξύ των ψηφιακών κέντρων του ίδιου δικτύου ή μεταξύ ψηφιακών κέντρων διαφορετικών δικτύων. Η διεθνής περιαγωγή περιλαμβάνει την εξυπηρέτηση ενός συνδρομητή, που ανήκει σε ένα τοπικό δίκτυο μιας χώρας, από ένα τοπικό δίκτυο μίας άλλης χώρας.

Οι δύο βασικές προϋποθέσεις για την εξασφάλιση της συνέχειας της προσφερόμενης υπηρεσίας είναι η καταγραφή της γεωγραφικής θέσης της κινητής μονάδας και η επιλογή του δικτύου που θα συνεχίσει να εξυπηρετεί την υπηρεσία. Τα τοπικά δίκτυα πρέπει να παρέχουν μία συνάρτηση καταγραφής της γεωγραφικής θέσης του συνδρομητή, έτσι ώστε να επιτρέπεται στους συνδρομητές του σταθερού δικτύου να μπορούν να επικοινωνούν με τους συνδρομητές του ασυρματικού δικτύου, χωρίς να χρειάζεται η γνώση της ακριβούς θέσης της κινητής μονάδας. Από την άλλη, οι κινητοί συνδρομητές θα πρέπει να μπορούν να αναγνωρίζουν την ύπαρξη αλλαγών στην περιοχή εξυπηρέτησης και να έχουν πρόσβαση στο σύστημα, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση.

Η κινητή μονάδα αναλαμβάνει να επιλέξει ένα δίκτυο τη φορά. Αν η διαδικασία επιλογής είναι επιτυχής, τότε καταγράφεται το επιλεγέν δίκτυο στην κάρτα της κινητής μονάδας. Έτσι, ο συνδρομητής έχει πρόσβαση στο δίκτυο και δύναται να παράγει και να λαμβάνει κλήσεις από αυτό. Αν η διαδικασία αποτύχει, τότε

ανιχνεύεται η αιτία της αποτυχίας και ο συνδρομητής δεν γίνεται δεχτός σε κανένα δίκτυο μέχρι την αποκατάσταση της αιτίας αυτής. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, ο συνδρομητής έχει πρόσβαση για την εξυπηρέτηση επειγόντων κλήσεων.

Αν δεν υπάρχει κανένα δίκτυο καταγεγραμμένο στην κάρτα του συνδρομητή ή το επιλεγέν δίκτυο δεν είναι διαθέσιμο, τότε η κινητή μονάδα αναλαμβάνει να εκτελέσει τις λειτουργίες καταγραφής σε ένα τοπικό δίκτυο, ανάλογα με την κατάσταση επιλογής του δικτύου, αν, δηλαδή, είναι αυτόματη ή εξαρτάται από τον χρήστη. Κάθε στιγμή, βέβαια, ο χρήστης διατηρεί το δικαίωμα νέας επιλογής του δικτύου. Στη διαδικασία της επιλογής, όμως, επιβάλλονται κάποιοι περιορισμοί, οι οποίοι έχουν να κάνουν με τη δυνατότητα υποστήριξης ενός δικτύου από τον τρέχοντα τερματικό εξοπλισμό του κινητού συνδρομητή. Οι περιορισμοί αυτοί μπορεί να αφορούν τον μόνιμο αποκλεισμό της μονάδας από ένα δίκτυο, οπότε το δίκτυο αυτό καταγράφεται στην κάρτα σαν απαγορευμένο για την αποφυγή άσκοπων αιτήσεων επιλογής του συγκεκριμένου δικτύου στο μέλλον, ή τον προσωρινό αποκλεισμό, οπότε η κινητή μονάδα διατηρεί τη δυνατότητα να επανεπιλέξει το δίκτυο, όταν, όμως, αλλάξει η κατάσταση του δικτύου εξυπηρέτησης.

2.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύθηκαν οι βασικές λειτουργίες ενός κυτταρικού συστήματος. Αυτές περιλαμβάνουν τις διαδικασίες αποκατάστασης και τερματισμού των κλήσεων και τις διαδικασίες μεταγωγής και περιαγωγής. Από την προηγηθείσα ανάλυση, παρατηρούμε ότι τα συστήματα δεύτερης γενιάς βασίζουν τη δομή τους στα υπάρχοντα συστήματα και προσπαθούν να τα ενοποιήσουν μέσα από τη δημιουργία ενός ενιαίου βάθρου υποστήριξης. Παρά το γεγονός ότι γι' αυτές τις διαδικασίες κάναμε διάκριση μεταξύ των δικτύων, αυτή συνέβαλε στην καλύτερη κατανόηση της ενιαίας δομής που παρουσιάζουν τα υπό μελέτη συστήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογική πρόοδος και η γρήγορη ανάπτυξη των ασύρματων συσκευών έχουν διευκολύνει τη γρήγορη ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών. Παίρνοντας υπ' όψιν εργονομικούς και οικονομικούς παράγοντες και συλογιζόμενοι ότι οι καινούριες τάσεις στην βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών παρέχουν πρόσβαση σε ευρέως διαδεδομένες πληροφορίες, ο αριθμός των χρηστών κινητής τηλεφωνίας θα συνεχίσει να αυξάνεται με έναν τρομακτικό ρυθμό.

Η τεράστια αύξηση του αριθμού των χρηστών μαζί με τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης των εφαρμογών πολυμέσων απαιτεί αποδοτική επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων με μικρή ζήτηση. Αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος είναι επίσης σημαντική από τη ματιά του κόστους παροχής, που ο αριθμός των απαιτούμενων ΣΒ που εξυπηρετούν μια περιοχή είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Μία μείωση του αριθμού των ΣΒ και γι' αυτό το λόγο μια μείωση του κόστους παροχής μπορούν να επιτευχθούν με περισσότερο αποδοτική επαναχρησιμοποίηση του φάσματος. Ο βασικός ανασταλτικός παράγοντας στην επαναχρησιμοποίηση του φάσματος είναι οι παρεμβολές που δημιουργούνται από το περιβάλλον ή άλλα κινητά. Η ανάπτυξη αποδοτικών υποσυστημάτων και η χρήση των τεχνικών καταχώρησης καναλιών μπορεί να μειώσει τις παρεμβολές.

Στα υποσυστήματα ασύρματης εκπομπής, λήψης και μετάδοσης, τεχνικές όπως ανάπτυξη χρόνου και ποικιλία χώρου, χρήση χαμηλοπερατών φίλτρων, αποδοτικών εξισωτών, και ανάπτυξης μεθόδων διαμόρφωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξαφανίσουν τις παρεμβολές και να εξάγουν το επιθυμητό σήμα. Ωστόσο η συγκαναλική παρεμβολή που προκαλείται από την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων είναι ο πιο περιοριστικός παράγοντας στην χωρητικότητα του ολικού συστήματος στα ασύρματα δίκτυα και η κύρια ιδέα των αλγόριθμων καταχώρησης συχνοτήτων είναι να γίνει χρήση των χαρακτηριστικών των απωλειών διάδοσης για να ελαχιστοποιήσει το λόγο φορτίου προς παρεμβολή και για να αυξήσει το αποδοτικότητα του επαναχρησιμοποιούμενου φάσματος.

3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

3.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Ένα δοσμένο φάσμα συχνοτήτων μπορεί να διαιρεθεί σε μια ομάδα ασύνδετων ή μη παρεμβολικών καναλιών [6]. Όλα αυτά τα κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα καθώς διατηρούν ένα αποδεκτά λαμβανόμενο σήμα. Για να χωρισθεί το φάσμα σε τέτοια κανάλια πολλές τεχνικές όπως διαίρεση συχνότητας (FD), διαίρεση χρόνου (TD) ή διαίρεση κώδικα (CD) μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στην διαίρεση συχνότητας το φάσμα χωρίζεται σε ασύνδectes ζώνες συχνοτήτων, ενώ στην διαίρεση χρόνου ο χωρισμός καναλιών επιτυγχάνεται με χωρισμό της χρήσης των καναλιών σε ασύνδectes χρονικές περιόδους, τα επονομαζόμενα time-slots. Στην διαίρεση κώδικα ο χωρισμός επιτυγχάνεται με χρησιμοποίηση διαφορετικών κωδικών μορφοποίησης.

Έστω ότι δηλώνουμε σαν $S_i(k)$ την ομάδα i των ασύρματων συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι k . Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα πλεονεκτήματα των χαρακτηριστικών του ραδιο περιβάλλοντος, το ίδιο κανάλι k μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα από μια άλλη ομάδα j , αν τα μέλη της ομάδας i και k μπορούν να χωριστούν κατά μέρος επαρκώς. Όλες αυτές οι ομάδες που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι αναφέρονται σαν συγκαναλικές ομάδες. Η ελάχιστη απόσταση κατά την οποία οι συγκαναλικές ομάδες μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν με αποδεκτή παρεμβολή λέγεται "συγκαναλική απόσταση επαναχρησιμοποίησης" σ .

Αυτό είναι πιθανό γιατί εξαιτίας των απωλειών διάδοσης, η μέγιστη λαμβανόμενη ισχύς από ένα πομπό σε μια απόσταση d είναι ανάλογη του $P_T d^{-a}$, όπου a είναι ένας αριθμός μεταξύ 3 και 5 εξαρτώμενος από το φυσικό περιβάλλον και P_T είναι μέση ισχύς του πομπού. Για παράδειγμα για ένα εσωτερικό χώρο με $a=3.5$ η μέση ισχύς σε μια απόσταση $2d$ είναι περίπου 9% της μέσης λαμβανόμενης ισχύος από ότι σε απόσταση d . Έτσι προσαρμόζοντας την ισχύ του πομπού και την απόσταση μεταξύ των συγκαναλικών ομάδων, ένα κανάλι - συχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί από ένα αριθμό συγκαναλικών ομάδων αν ο λόγος φορέα προς παρεμβολή (CIR) σε κάθε κανάλι είναι πάνω από την απαιτούμενη τιμή CIR_{min} . Εδώ ο φορέας αναπαριστά τη ισχύ του λαμβανόμενου σήματος σε ένα κανάλι και η παρεμβολή το άθροισμα των ισχύων των λαμβανόμενων σημάτων όλων των συγκαναλικών ομάδων.

3.2.2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Τα σχήματα κατανομής συχνοτήτων μπορούν να χωριστούν σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τη βάση σύγκρισης. Για παράδειγμα όταν οι αλγόριθμοι καταχώρησης συχνοτήτων που συγκρίνονται βασίζονται στον τρόπο με τον οποίο οι συγκαναλικές ομάδες χωρίζονται, μπορούν να διαχωρισθούν στην Σταθερή Καταχώρηση Καναλιών (Fixed Channel Allocation-FCA), στην Δυναμική Καταχώρηση Καναλιών (Dynamic Channel Allocation-DCA) και στην Υβριδική Καταχώρηση Καναλιών (Hybrid Channel Allocation-HCA).

Στην Σταθερή Καταχώρηση Καναλιών (FCA) η περιοχή διαιρείται σε έναν αριθμό κυττάρων και ένας αριθμός καναλιών καταχωρείται σε κάθε κύτταρο με κάποιο πρότυπο επαναχρησιμοποίησης βασισμένο στην απαιτούμενη ποιότητα του σήματος. Η τεχνική FCA είναι πολύ απλή, ωστόσο δεν προσαρμόζεται στις αλλαγές της επικοινωνιακής κίνησης και στην διανομή χρηστών και χρήσης. Αυτές οι ατέλειες του FCA μοντέλου ξεπερνιούνται με την Δυναμική Κατανομή Συχνοτήτων (DCA).

Στο DCA μοντέλο όλα τα κανάλια τοποθετούνται σε ένα συγκεντρωτή και κατανέμονται στις καινούριες κλήσεις όπου χρειάζεται έτσι ώστε να ικανοποιείται το κριτήριο CIR_{min} . Το DCA είναι πιο πολύπλοκο αλλά όμως παρουσιάζει μεγαλύτερη ευκαμψία και προσαρμοστικότητα επικοινωνιακής κίνησης. Ωστόσο το DCA είναι λιγότερο αποδοτικό από το FCA σε συνθήκες υψηλού φορτίου. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα στις συνθήκες μεγάλου φορτίου σχεδιάστηκε με συνδυασμό του FCA και του DCA η τεχνική της Υβριδικής Κατανομής Καναλιών (HCA).

Τα μοντέλα της καταχώρησης καναλιών μπορούν να εκτελεστούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα, ένα κανάλι μπορεί να καταχωρηθεί σε ένα κύτταρο βασισμένο στην περιοχή κάλυψης του κυττάρου και των γειτονικών του έτσι ώστε το CIR_{min} να διατηρείται με μεγάλη πιθανότητα σε όλα τα κύτταρα. Τα κανάλια μπορούν να κατανεμηθούν επίσης λαμβάνοντας υπ' όψιν τις τοπικές CIR_{min} μετρήσεις των δεκτών των κινητών και των ΣΒ.

Τα μοντέλα της καταχώρησης καναλιών μπορούν να εκτελεστούν με συγκεντρωτικό ή κατανεμημένο τρόπο. Στα συγκεντρωτικά μοντέλα το κανάλι καταχωρείται από έναν κεντρικό ελεγκτή ενώ στα κατανεμημένα μοντέλα ένα κανάλι επιλέγεται είτε από τον τοπικό ΣΒ του κυττάρου από τον οποίο η κλήση ξεκίνησε ή αυτόνομα από το κινητό. Σε ένα σύστημα με έλεγχο βασισμένο στα κύτταρα κάθε ΣΒ συλλέγει πληροφορίες για τα διαθέσιμα κανάλια στην περιοχή του. Εδώ η πληροφορία διαθεσιμότητας καναλιών ενημερώνεται από ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ΣΒ. Τελικά στα αυτόνομα οργανωμένα κατανεμημένα μοντέλα το κινητό διαλέγει ένα κανάλι βασισμένο στις τοπικές CIR μετρήσεις χωρίς την ανάμειξη της

καταχώρησης κεντρικής κλήσης. Προφανώς αυτό το μοντέλο έχει πολύ μικρότερη πολυπλοκότητα σε βάρος όμως της αποδοτικότητας του που είναι μικρότερη. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η κατανομή καναλιών η βασισμένη στην τοπική κατανομή μπορεί να γίνει και για το FCA και για το DCA μοντέλο.

3.3 ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (FIXED CHANNEL ALLOCATION-FCA)

Στο FCA μοντέλο μια ομάδα καναλιών είναι μόνιμα τοποθετημένα σε κάθε κανάλι για αποκλειστική του χρήση. Εδώ υπάρχει μια ξεκάθαρη σχέση μεταξύ κάθε καναλιού και κάθε κυττάρου. Ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων καναλιών στο σύστημα (C) χωρίζεται σε ομάδες και ο ελάχιστος αριθμός των απαιτούμενων ομάδων καναλιών για να εξυπηρετήσουν ολόκληρη την περιοχή κάλυψης σχετίζεται με την απόσταση επαναχρησιμοποίησης σ [5]:

$$N=(1/3)\sigma^2, \text{ για εξαγωνικά κύτταρα}$$

Το σ ορίζεται σαν D/R_a , όπου R_a είναι η ακτίνα του κυττάρου και D είναι η φυσική απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο κυττάρων. Το N μπορεί να παριστάνει μόνο τις ακέραιες τιμές 3,4,7,9,...,όπως γενικά παρουσιάζονται από τις σειρές, $(i+j)^2-ij$, με τα i και j να είναι ακέραιοι.

Στο απλό FCA μοντέλο, ο ίδιος αριθμός ονομαστικών καναλιών είναι κατανομημένα σε κάθε κύτταρο. Αυτή η αμετάβλητη κατανομή είναι αποδοτική αν η κατανομή της επικοινωνιακής κίνησης είναι επίσης αμετάβλητη. Σ' αυτή την περίπτωση, η μέση συνολική πιθανότητα μπλοκαρίσματος του κινητού συστήματος είναι η ίδια με την πιθανότητα μπλοκαρίσματος της κλήσης σε ένα κύτταρο. Αφού η κίνηση στα κυτταρικά συστήματα μπορεί να είναι μεταβαλλόμενη με χρονικές και χωροταξικές αυξομειώσεις, μία αμετάβλητη κατανομή στα κύτταρα μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλο μπλοκάρισμα σε μερικά κύτταρα ενώ σε άλλα να υπάρχει ένας αξιοσημείωτος αριθμός ελεύθερων καναλιών. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα μια φτωχή αξιοποίηση των καναλιών. Επομένως, είναι κατάλληλο να φτιάξουμε τον αριθμό των καναλιών σε ένα κύτταρο για να εναρμονιστεί το φορτίο με τη *Μεταβαλλόμενη Καταχώρηση Καναλιών (Nonuniform Channel Allocation)* ή με τον *Στατικό Δανεισμό (Static Borrowing)*.

Στην *Μεταβαλλόμενη Κατανομή Καναλιών* ο αριθμός των ονομαστικών καναλιών που είναι καταχωρημένα σε κάθε κύτταρο εξαρτάται από την αναμενόμενη κίνηση στο συγκεκριμένο κύτταρο. Συνεπώς σε κύτταρα με μεγάλη κίνηση

καταχωρούνται περισσότερα κανάλια. Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή ενός αλγόριθμου για την καταχώρηση των καναλιών στα κύτταρα σύμφωνα με την κατανομή της κίνησης σε αυτά. Η προτεινόμενη τεχνική επιχειρεί να καταχωρήσει τα κανάλια στα κύτταρα με τέτοιο τρόπο ώστε η μέση πιθανότητα μπλοκαρίσματος στο σύστημα να ελαχιστοποιηθεί. Έστω ότι υπάρχουν N κύτταρα και M κανάλια στο σύστημα. Η καταχώρηση ενός καναλιού στην ομάδα των συγκαναλικών κυττάρων σχηματίζει ένα πρότυπο το οποίο αναφέρεται σαν *Πρότυπο Καταχώρησης (Allocation Pattern)*. Άλλωστε το Πρότυπο Καταχώρησης ενός καναλιού ορίζεται σαν το πρότυπο με την ελάχιστη μέση απόσταση μεταξύ των κυττάρων. Δοθέντος του φορτίου κίνησης σε κάθε ένα από τα N κύτταρα και του πιθανού προτύπου καταχώρησης για τα M κανάλια, ο αλγόριθμος του *Μεταβαλλόμενου Πρότυπου Μεταγωγής (Nonuniform Compact Pattern Allocation)* επιχειρεί να βρει το συμβατό πρότυπο που να ελαχιστοποιεί τη μέση πιθανότητα μπλοκαρίσματος στο σύστημα καθώς τα ονομαστικά κανάλια καταχωρούνται ένα κάθε φορά. Μ' αυτόν τον τρόπο η πιθανότητα μπλοκαρίσματος χρησιμοποιώντας το παραπάνω πρότυπο είναι πάντα μικρότερη από την μέση πιθανότητα μπλοκαρίσματος της αμετάβλητης καταχώρησης καναλιών.

Στον Στατικό Δανεισμό αχρησιμοποίητα κανάλια από ελαφρά φορτισμένα κύτταρα ξανακαταχωρούνται στα βαριά φορτισμένα σε αποστάσεις μεγαλύτερες ή ίσες από την ελάχιστη απόσταση επαναχρησιμοποίησης σ . Αν και στον Στατικό Δανεισμό τα κανάλια είναι μόνιμα τοποθετημένα σε κάθε κύτταρο, ο αριθμός των καταχωρημένων ονομαστικών καναλιών σε κάθε κύτταρο μπορεί να ξανακαταχωρηθεί περιοδικά σύμφωνα με τις χωροταξικές αδικίες στο φορτίο.

3.3.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Σε ένα μοντέλο δανεισμού καναλιών, ένα κύτταρο δέκτης που έχει χρησιμοποιήσει όλα τα ονομαστικά του κανάλια μπορεί να δανειστεί ελεύθερα κανάλια από τα γειτονικά του κανάλια (δότες) για να εξυπηρετήσει νέες κλήσεις. Ένα κανάλι μπορεί να δανειστεί από ένα κύτταρο, αν το δανειζόμενο κανάλι δεν δημιουργεί παρεμβολές με τις υπάρχουσες κλήσεις. Όταν ένα κανάλι δανείζεται, διάφορα άλλα κύτταρα απαγορεύεται να το χρησιμοποιήσουν. Αυτό λέγεται *κλείδωμα καναλιού*. Ο αριθμός τέτοιων κυττάρων εξαρτάται από την διάταξη των κυττάρων και τον τύπο της αρχικής κατανομής των καναλιών στα κύτταρα. Για παράδειγμα για μια εξαγωνική δισδιάστατη διάταξη με απόσταση επαναχρησιμοποίησης ενός κυττάρου ($\sigma=3$), ένα δανειζόμενο κανάλι δεν μπορεί να δοθεί στα τρία επιπλέον γειτονικά κανάλια καθώς για μονοδιάστατη διάταξη ή ένα εξαγωνικό δισδιάστατο πλέγμα με

απόσταση επαναχρησιμοποίησης δύο κύτταρα, δεν μπορεί να δοθεί σε δύο γειτονικά κανάλια.

Σε αντίθεση με τον *Στατικό Δανεισμό* οι στρατηγικές δανεισμού των καναλιών έχουν να κάνουν με σύντομης διάρκειας καταχώρηση των δανειζόμενων καναλιών στα κύτταρα και καθώς μία κλήση ολοκληρώνεται το δανειζόμενο κανάλι επιστρέφει στο ονομαστικό του κύτταρο. Το προτεινόμενο σχέδιο *Δανεισμού Καναλιών* διαφέρει στον τρόπο που ένα ελεύθερο κανάλι επιλέγεται από ένα κύτταρο δότη για να δανειστεί σε ένα κύτταρο δέκτη.

Τα σχέδια δανεισμού καναλιών μπορούν να χωριστούν σε απλά και υβριδικά. Στον *Απλό Δανεισμό Καναλιών (Simple Channel Borrowing)* κάθε ονομαστικό κανάλι μπορεί να δανειστεί από ένα γειτονικό κύτταρο για προσωρινή χρήση. Στον *Υβριδικό Δανεισμό Καναλιών (Hybrid Channel Borrowing)* η ομάδα των καναλιών που καταχωρούνται σε κάθε κύτταρο χωρίζεται σε δύο υποσύνολα Α (κανονικά ή τοπικά κανάλια) και Β (μη κανονικά ή δανειζόμενα κανάλια). Το υποσύνολο Α είναι μόνο για χρήση στα ονομαστικά εκχωρούμενα κύτταρα, καθώς το υποσύνολο Β επιτρέπεται να δανειστεί στα γειτονικά κύτταρα.

3.3.2 ΑΠΛΑ ΣΧΕΔΙΑ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Στην στρατηγική του *Απλού Δανεισμού*, μια ομάδα ονομαστικών καναλιών καταχωρείται σε ένα κύτταρο όπως στην FCA περίπτωση. Αφού όλα τα ονομαστικά κανάλια χρησιμοποιηθούν, ένα διαθέσιμο κανάλι από ένα γειτονικό κύτταρο δανείζεται. Για να είναι διαθέσιμο για δανεισμό το κανάλι δεν πρέπει να δημιουργεί παρεμβολές με τις υπάρχουσες κλήσεις. Αν και ο δανεισμός καναλιών μπορεί να μειώσει το μπλοκάρισμα των κλήσεων, μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στα κύτταρα δότες από τα οποία δανείζονται τα κανάλια και να εμποδίσει μελλοντικές κλήσεις σ' αυτά τα κύτταρα να ολοκληρωθούν.

Η στρατηγική αυτή δίνει μικρότερη πιθανότητα μπλοκαρίσματος από την στατική FCA κάτω από μικρή και μέτρια κίνηση αλλά η FCA αποδίδει καλύτερα σε μεγάλη κίνηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε μικρή και μέτρια κίνηση ο δανεισμός των καναλιών παρέχει τα μέσα για να εξυπηρετήσει τις αυξομειώσεις της κίνησης και όσο η ένταση της κίνησης είναι χαμηλή ο αριθμός των κυττάρων δοτών είναι μικρός. Σε μεγάλη κίνηση ο δανεισμός καναλιών μπορεί να αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό, εξαιτίας του κλειδώματος καναλιών, ώστε η αποδοτικότητα της χρήσης των καναλιών πέφτει δραστικά προκαλώντας μια αύξηση στην πιθανότητα μπλοκαρίσματος και μια μείωση στην αξιοποίηση των καναλιών.

Αφού μια ομάδα δανειζόμενων καναλιών μπορεί να περιέχει περισσότερα από ένα υποψήφια κανάλια, ο τρόπος που ένα κανάλι επιλέγεται από μια ομάδα παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην εκτέλεση του μοντέλου δανεισμού καναλιών. Ο αντικειμενικός σκοπός όλων των μοντέλων είναι να μειωθεί ο αριθμός των κλειδωμένων καναλιών που προκαλείται από τον δανεισμό καναλιών. Η διαφορά ανάμεσα σ' αυτά είναι ένας ειδικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για να την επιλογή ενός από τα υποψήφια κανάλια για δανεισμό. Παρακάτω αναλύουμε σύντομα κάθε ένα από τα προτεινόμενα σχέδια [5].

Δανεισμός από το πιο γεμάτο (Borrow from the Richest-SBR): Σ' αυτό το σχέδιο τα κανάλια τα οποία είναι υποψήφια για δανεισμό, είναι διαθέσιμα κανάλια ονομαστικά καταχωρημένα σε ένα από τα γειτονικά κύτταρα του κυττάρου δέκτη. Αν περισσότερα από ένα γειτονικά κύτταρα έχουν κανάλια διαθέσιμα για δανεισμό, ένα κανάλι δανειζεται από το κύτταρο με τον μεγαλύτερο αριθμό διαθέσιμων καναλιών για δανεισμό. Όπως ειπώθηκε προηγουμένως ο δανεισμός καναλιών μπορεί να προκαλέσει κλείδωμα καναλιού. Το σχέδιο SBR δεν παίρνει υπ' όψιν του το κλείδωμα των καναλιών όταν επιλέγει ένα υποψήφιο κανάλι.

Βασικός αλγόριθμος (Basic Algorithm-BA): Αυτή είναι μια βελτιωμένη έκδοση της στρατηγικής SBR η οποία λαμβάνει υπ' όψιν της το κλείδωμα των καναλιών όταν επιλέγει ένα υποψήφιο κανάλι για δανεισμό. Αυτό το σχέδιο προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την μελλοντική πιθανότητα μπλοκαρίσματος των κλήσεων στο κύτταρο που επηρεάζεται περισσότερο από τον δανεισμό καναλιών. Όπως στο σχέδιο SBR τα κανάλια που είναι υποψήφια για δανεισμό είναι διαθέσιμα κανάλια καταχωρημένα ονομαστικά σε ένα από τα γειτονικά κύτταρα του κυττάρου δέκτη. Ο αλγόριθμος διαλέγει τα υποψήφια κανάλια που μεγιστοποιούν τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών στην χειρότερη περίπτωση ονομαστικών καναλιών σε απόσταση σ στο κύτταρο δέκτη.

Βασικός αλγόριθμος με επανακαταχώρηση (Basic Algorithm with Reassignment-BAR): Αυτό το σχέδιο κατοχυρώνει την μεταφορά της κλήσης από ένα δανειζόμενο κανάλι σε ένα ονομαστικό κανάλι όποτε ένα κανάλι γίνεται διαθέσιμο. Η επιλογή του συγκεκριμένου δανειζόμενου καναλιού για να ελευθερωθεί γίνεται ξανά με έναν τρόπο που ελαχιστοποιεί τη μέγιστη μελλοντική πιθανότητα μπλοκαρίσματος των κλήσεων στο κύτταρο που επηρεάζεται περισσότερο από τον δανεισμό όπως στο σχέδιο BA.

Δανεισμός του πρώτου διαθέσιμου (Borrow First Available-BFA): Αντί να προσπαθεί να βελτιστοποιήσει όταν δανίζεται αυτός ο αλγόριθμος επιλέγει το πρώτο υποψήφιο κανάλι που βρίσκει. Εδώ η φιλοσοφία της καταχώρησης των ονομαστικών καναλιών είναι επίσης διαφορετική. Αντί να καταχωρούνται κανάλια κατευθείαν στα κύτταρα, τα κανάλια χωρίζονται σε ομάδες και τότε κάθε ομάδα κατανέμεται σε κύτταρα σε απόσταση επαναχρησιμοποίησης σ . Αυτές οι ομάδες αριθμούνται διαδοχικά. Όταν ξεκινάει μια κλήση, οι ομάδες καναλιών ψάχνονται σε μια καθορισμένη σειρά για να βρουν ένα υποψήφιο κανάλι.

Σύγκριση εκτέλεσης

Ένα γενικό συμπέρασμα στη σύγκριση εκτέλεσης των προηγούμενων μοντέλων είναι ότι υιοθετώντας έναν απλό έλεγχο για τον δανεισμό αποδίδει τα αποτελέσματα της εκτέλεσης σχεδόν εφάμιλλα με άλλων συστημάτων που εκτελούν μια διεξοδική και σύνθετη έρευνα για να βρουν ένα υποψήφιο κανάλι. Το BFA έχει ένα πλεονέκτημα έναντι των SBR και BA στο ότι η προσπάθεια υπολογισμού και η πολυπλοκότητα είναι σημαντικά μικρότερη. Εδώ η πολυπλοκότητα κάθε αλγόριθμου καθορίζεται βασισμένη στον μέσο αριθμό ελέγχων καναλιών για κάθε κλήση ψάχνοντας για ένα υποψήφιο κανάλι να δανιστεί.

3.3.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Παρακάτω περιγράφουμε διαφορετικά υβριδικά σχέδια δανεισμού καναλιών [5].

Απλή στρατηγική υβριδικού δανεισμού καναλιών (Simple Hybrid Channel Borrowing Strategy-SHCB): Σε αυτή την στρατηγική η ομάδα καναλιών που καταχωρείται σε κάθε κύτταρο χωρίζεται σε δύο υποσύνολα, *A κανονικά* και *B δανειζόμενα* κανάλια. Το υποσύνολο *A* είναι ονομαστικά καταχωρημένο σε κάθε κύτταρο, καθώς το υποσύνολο *B* επιτρέπεται να δανιστεί σε γειτονικά κύτταρα. Η αναλογία $|A|:|B|$ είναι αποφασισμένη εκ των προτέρων, βασισμένη σε μια εκτίμηση των συνθηκών κίνησης και μπορεί να προσαρμοστεί δυναμικά σε ένα προγραμματισμένο ή σε ένα προβλεπόμενο τρόπο.

Δανεισμός με διαρρύθμιση καναλιών (Borrowing with Channel Ordering-BCO): Αυτός ο τρόπος υπερτερεί του SHCB αλλάζοντας δυναμικά την αναλογία τοπικού προς δανειζόμενου καναλιού σύμφωνα με τις αλλαγές στις συνθήκες κίνησης. Στην BCO στρατηγική όλα τα ονομαστικά κανάλια ρυθμίζονται έτσι ώστε το πρώτο κανάλι να έχει την μεγαλύτερη προτεραιότητα να καταχωρηθεί στην επόμενη τοπική κλήση και στο τελευταίο κανάλι δίνεται η μεγαλύτερη προτεραιότητα να δανειστεί από τα γειτονικά κανάλια.

Δανεισμός με κατευθυντικό κλείδωμα καναλιού (Borrowing with Directional Channel Locking-BDCL): Στην BCO στρατηγική ένα κανάλι είναι διαθέσιμο για δανεισμό μόνο αν είναι ταυτοχρόνως ελεύθερο σε τρία κοντινά συγκαναλικά κύτταρα. Αυτή η απαίτηση είναι αρκετά αυστηρή και μειώνει τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών για δανεισμό. Στην BDCL στρατηγική το κλείδωμα των καναλιών στα συγκαναλικά κύτταρα είναι περιορισμένο σε αυτές τις κατευθύνσεις που επηρεάζονται από τον δανεισμό. Έτσι ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών για δανεισμό είναι μεγαλύτερος από αυτόν στη BCO στρατηγική. Για να καθοριστεί σε ποια περίπτωση ένα κλειδωμένο κανάλι μπορεί να δανειστεί, "κατευθύνσεις κλειδώματος" καθορίζονται για κάθε κλειδωμένο κανάλι. Το μοντέλο επίσης ενσωματώνει επανακαταχώρηση των κλήσεων από τα δανειζόμενα στα ονομαστικά κανάλια και μεταξύ των δανειζόμενων καναλιών για να ελαχιστοποιήσει τον δανεισμό καναλιών των μελλοντικών κλήσεων, και ειδικά τον πολλαπλό δανεισμό καναλιών που παρατηρείται κάτω από μεγάλη κίνηση.

Σύγκριση εκτέλεσης

Το BDCL δίνει τη χαμηλότερη πιθανότητα μπλοκαρίσματος και μετά ακολουθεί το BCO και το FCA για αμετάβλητη και για μεταβαλλόμενη κίνηση. Όσον αφορά τη χωρητικότητα της κίνησης, αυτή είναι μεγαλύτερη στο FCA και μετά ακολουθεί το BDO και το BCDL.

3.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (DYNAMIC CHANNEL ALLOCATION-DCA)

Εξαιτίας των γρήγορων χρονικών και χωροταξικών αλλαγών της κίνησης στα κυτταρικά συστήματα το FCA μοντέλο δεν είναι ικανό να επιτύχει μια υψηλή αποδοτικότητα των καναλιών. Για να ξεπεραστεί αυτό, το FCA μοντέλο αναπτύχθηκε τα τελευταία είκοσι χρόνια. Σε αντίθεση με το FCA δεν υπάρχει καμία σταθερή σχέση

μεταξύ των καναλιών και των κυττάρων στο DCA. Όλα τα κανάλια συγκεντρώνονται σε ένα κεντρικό συγκεντρωτή και καταχωρούνται δυναμικά στα κύτταρα καθώς καινούριες κλήσεις φτάνουν στο σύστημα. Αφού μια κλήση ολοκληρωθεί, το κανάλι επιστρέφει στον κεντρικό συγκεντρωτή.

Στο DCA ένα κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε κύτταρο αρκεί να ικανοποιούνται οι περιορισμοί για την παρεμβολή καναλιού. Από τη στιγμή που περισσότερα από ένα κανάλια μπορεί να είναι διαθέσιμα στον κεντρικό συγκεντρωτή για να κατανεμηθούν σε ένα κύτταρο που χρειάζεται ένα κανάλι κάποια τεχνική πρέπει να εφαρμοσθεί για να εκλεγεί το καταχωρούμενο κανάλι. Η κύρια ιδέα όλων των DCA μοντέλων είναι να αποτιμήσουν το κόστος της χρήσης ενός υποψήφιου καναλιού και να επιλέξουν αυτό με το ελάχιστο κόστος λαμβάνοντας υπ' όψιν του περιορισμούς για τις παρεμβολές. Η επιλογή του κόστους λειτουργίας είναι αυτό που διαφοροποιεί το DCA μοντέλο.

Το επιλεγμένο κόστος λειτουργίας μπορεί να εξαρτάται από την μελλοντική πιθανότητα μπλοκαρίσματος στην γύρω περιοχή του κυττάρου, τη χρήση της συχνότητας του υποψήφιου καναλιού, την απόσταση επαναχρησιμοποίησης ή τη μέση πιθανότητα μπλοκαρίσματος του συστήματος.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πληροφορίες για την καταχώρηση συχνοτήτων, τα DCA μοντέλα μπορούν να ταξινομηθούν είτε στο *Κλήση προς Κλήση (Call by Call)* DCA μοντέλο ή στο *Προσαρμόσιμο (Adaptive)* DCA μοντέλο. Στο *Κλήση προς Κλήση* DCA η κατανομή των καναλιών βασίζεται μόνο στις τρέχουσες συνθήκες χρήσης των καναλιών στην περιοχή που εξυπηρετείται, καθώς στο *Προσαρμόσιμο* DCA η κατανομή καναλιών εκτελείται προσαρμόσιμα χρησιμοποιώντας πληροφορίες για τις συνθήκες χρήσης του προηγούμενου όπως επίσης και του παρόντος καναλιού. Τέλος, το DCA μοντέλο μπορεί επίσης να χωριστεί σε συγκεντρωμένα και κατανεμημένα μοντέλα ανάλογα με τον τύπο του ελέγχου που υιοθετούν.

3.4.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΑ DCA ΜΟΝΤΕΛΑ

Στα συγκεντρωμένα DCA μοντέλα ένα κανάλι από τον κεντρικό συγκεντρωτή καταχωρείται σε μια κλήση για προσωρινή χρήση από ένα συγκεντρωμένο ελεγκτή. Η διαφορά μεταξύ αυτών των μοντέλων είναι το ιδιαίτερο κόστος λειτουργίας που χρησιμοποιείται για να ελέγξει ένα από τα υποψήφια κανάλια για καταχώρηση.

Πρώτο διαθέσιμο (First Available-FA): Είναι το πιο απλό μεταξύ των DCA μοντέλων. Στο FA το πρώτο διαθέσιμο κανάλι μέσα στην απόσταση

επαναχρησιμοποίησης σ που συναντάται κατά τη διάρκεια μιας έρευνας καναλιού καταχωρείται στην κλήση. Το FA μοντέλο ελαχιστοποιεί τον υπολογιστικό χρόνο του συστήματος και για ένα κυτταρικό κινητό σύστημα παρέχει μια αύξηση της τάξης του 20% στην συνολική κίνηση συγκρινόμενο με το FCA για χαμηλά και μέτρια φορτία.

Τοπικά βελτιστοποιημένη δυναμική καταχώρηση (Locally Optimized Dynamic Assignment-LODA): Στο LODA μοντέλο το επιλεγμένο κόστος λειτουργίας βασίζεται στην μελλοντική πιθανότητα μπλοκαρίσματος στην γειτονική περιοχή του κυττάρου όπου μια κλήση ξεκινάει.

3.4.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Ο αντικειμενικός σκοπός κάθε κινητού συστήματος είναι να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα του συστήματος. Η μέγιστη αποδοτικότητα είναι ισοδύναμη με την μέγιστη εκμετάλλευση κάθε καναλιού στο σύστημα. Είναι φανερό ότι η όσο μικρότερη είναι η απόσταση επαναχρησιμοποίησης καναλιού τόσο μεγαλύτερη είναι η επαναχρησιμοποίηση καναλιού σε όλη την περιοχή που εξυπηρετείται. Το επιλεγμένο κόστος λειτουργίας στα επόμενα μοντέλα επιχειρεί να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα του συστήματος βελτιστοποιώντας την επαναχρησιμοποίηση του καναλιού στην περιοχή του συστήματος.

Επιλογή με μέγιστη χρήση στην περιοχή επαναχρησιμοποίησης (Selection with Maximum Usage on the Reuse Ring-RING): Στο RING μοντέλο επιλέγεται ένα υποψήφιο κανάλι το οποίο χρησιμοποιείται στα περισσότερα κύτταρα στην συγκαναλική ομάδα. Αν περισσότερα από ένα κανάλια έχουν τη μέγιστη χρήση γίνεται μια αυθαίρετη επιλογή μεταξύ αυτών των καναλιών για να εξυπηρετηθεί η κλήση. Αν κανένα δεν είναι διαθέσιμο τότε η επιλογή γίνεται βασισμένη στο FCA μοντέλο.

Κοντινότερο γειτονικό (Nearest Neighbor-NN), Κοντινότερο γειτονικό συν ένα (Nearest Neighbor plus one-NN+1): Η ιδέα (NN) επιλέγει το διαθέσιμο κατειλημμένο κανάλι στο κοντινότερο κύτταρο σε απόσταση μεγαλύτερη ή ίση από σ καθώς το (NN+1) επιλέγει ένα κατειλημμένο κανάλι στο κοντινότερο κύτταρο μέσα σε

απόσταση μεγαλύτερη ή ίση από $\sigma+1$ ή σε απόσταση σ αν ένα διαθέσιμο κανάλι δεν βρίσκεται σε απόσταση $\sigma+1$.

Σύγκριση απόδοσης

Διάφορες προσομοιώσεις έχουν δείξει ότι κάτω από συνθήκες μικρής κίνησης το NN παρουσιάζει το μικρότερο ρυθμό μπλοκαρίσματος, ακολουθούμενο από τα FA και το NN+1. Επίσης το NN+1 όταν απευθύνεται σε ένα μικροκυτταρικό σύστημα οδηγεί σε μικρότερο ποσοστό αναγκαστικής διακοπής κλήσης και αλλαγής καναλιού αφού η κινητή μονάδα είναι περισσότερο πιθανό να κρατήσει το ίδιο κανάλι όταν μετακινείται σε ένα γειτονικό κύτταρο.

3.4.3 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ DCA ΜΟΝΤΕΛΑ

Τα μικροκυτταρικά συστήματα έχουν δείξει μια μεγάλη δυναμική για βελτίωση της χωρητικότητας σε υψηλής πυκνότητας επικοινωνιακά δίκτυα. Ωστόσο τα χαρακτηριστικά μετάδοσης θα είναι λιγότερο προβλέψιμα και οι απαιτήσεις ελέγχου των δικτύων θα είναι περισσότερο έντονες από ότι στα παρόντα συστήματα. Διάφορες προσομοιώσεις έχουν δείξει ότι τα κατανεμημένα DCA μοντέλα μπορούν να παράγουν σχεδόν βέλτιστη καταχώρηση καναλιών. Επομένως τα κατανεμημένα μοντέλα είναι περισσότερο ελκυστικά για την υλοποίηση στα μικροκυτταρικά συστήματα λόγω της απλότητας του αλγόριθμου καταχώρησης σε κάθε ΣΒ.

Τα προτεινόμενα κατανεμημένα DCA μοντέλα χρησιμοποιούν τόσο τοπική πληροφόρηση για τα τρέχοντα διαθέσιμα κανάλια στη γειτονική περιοχή του κυττάρου (*Cell based* μοντέλα) ή μέτρηση της έντασης του σήματος.

Στα *Cell based* μοντέλα ένα κανάλι καταχωρείται σε μια κλήση από το ΣΒ που η κλήση ξεκίνησε. Η διαφορά με την συγκεντρωμένη προσέγγιση είναι ότι κάθε ΣΒ κρατάει την πληροφορία για τα διαθέσιμα κανάλια στην γειτονική του περιοχή. Το σχέδιο πληροφόρησης για τα κανάλια ανανεώνεται με ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των ΣΒ. Το *Cell based* μοντέλο παρέχει σχεδόν βέλτιστη καταχώρηση καναλιών εις βάρος όμως της υπερβολικής ανταλλαγής της πληροφορίας μεταξύ των ΣΒ, ειδικά κάτω από μεγάλη κίνηση.

Ιδιαίτερα ευχάριστα είναι τα DCA μοντέλα προσαρμογής παρεμβολής που βασίζονται στις μετρήσεις της έντασης του σήματος. Σ' αυτά τα μοντέλα, ένας ΣΒ χρησιμοποιεί μόνο τοπική πληροφόρηση χωρίς την ανάγκη να επικοινωνεί με

οποιονδήποτε άλλο ΣΒ στο δίκτυο. Έτσι το σύστημα είναι οργανωμένο αυτόνομα και τα κανάλια μπορούν να τοποθετηθούν ή να προστεθούν οπουδήποτε χρειάζεται για να αυξηθεί η χωρητικότητα ή για να βελτιωθεί η κάλυψη.

3.4.3.1 Cell Based καταναμημένα DCA μοντέλα

Τοπικό στοιβαγμα δυναμικής καταναμημένης καταχώρησης συχνοτήτων (Local Packing Dynamic Distributed Channel Assignment-LP-DDCA) : Στο LP-DDCA μοντέλο κάθε ΣΒ καταχωρεί κανάλια στις κλήσεις χρησιμοποιώντας τον Αυξανόμενο Πίνακα Κατοχής Καναλιών (Augmented Channel Occurance Matrix-ACO), που περιέχει την απαραίτητη και επαρκή πληροφορία για το ΣΒ για να κάνει την επιλογή καταχώρησης του καναλιού. Έστω ότι M είναι ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων καναλιών στο σύστημα και k_i ο αριθμός των γειτονικών κυττάρων στο κύτταρο i μέσα στην απόσταση συγκαταληκής παρεμβολής. Ο πίνακας ACO έχει $M+1$ στήλες και k_i σειρές. Οι πρώτες M στήλες αντιστοιχούν στα M κανάλια. Η πρώτη σειρά δείχνει την κατοχή καναλιών στο κύτταρο i οι υπόλοιπες k_i σειρές δείχνουν την κατοχή καναλιών στα γειτονικά κύτταρα του i , όπως ελήφθησαν από τους γειτονικούς ΣΒ. Η τελευταία στήλη του πίνακα αντιστοιχεί στον αριθμό των τρεχόντων διαθέσιμων καναλιών για κάθε ένα από τα k_i+1 συγκαταληκά κύτταρα. Έτσι μια άδεια στήλη φανερώνει αδρανές κανάλι που μπορεί να καταχωρηθεί στο κύτταρο i . Όταν μια κλήση απαιτεί να εξυπηρετηθεί από το κύτταρο i , ο ΣΒ χρησιμοποιεί τον πίνακα ACO και καταχωρεί το πρώτο κανάλι που έχει μια άδεια στήλη. Το περιεχόμενο του πίνακα ανανεώνεται συλλέγοντας την πληροφορία για την κατοχή καναλιών από τα παρεμβαλλόμενα κανάλια. Όταν συμβαίνει μια αλλαγή στην κατοχή καναλιών σε ένα κύτταρο ο ΣΒ του κυττάρου πληροφορεί τους ΣΒ όλων των παρεμβαλλόμενων κυττάρων να παρακολουθήσουν την αλλαγή για να αναβαθμίσουν την πληροφορία στους τοπικούς ACO πίνακες.

Περιορισμός παρεμβολής γειτονικών καναλιών

Εξάλλου για να περιοριστεί η συγκαταληκή παρεμβολή, ο σχεδιασμός ενός ασύρματου κυτταρικού συστήματος πρέπει επίσης να περιέχει μετρήσεις για να περιορίσει την παρεμβολή γειτονικών καναλιών (adjacent channel interference-ACI). Βλάβες καναλιών όπως παρεμβολές, πρόωρες μεταγωγές και πτώσης της γραμμής μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα από παρεμβολές στα γειτονικά κανάλια μέχρι υποβάθμιση της ποιότητας. Αν και τα φίλτρα των καναλιών και στους ΣΒ και στους

δέκτες των κινητών μονάδων εξασθενούν σημαντικά το σήμα από τα γειτονικά κανάλια, σημαντικές παρεμβολές μπορούν να συμβούν σε περιπτώσεις που το επίπεδο του λαμβανόμενου σήματος ενός γειτονικού καναλιού υπερβαίνει αυτό του επιθυμητού καναλιού. Αυτή η περίπτωση προκύπτει συχνά στα κινητά κυτταρικά περιβάλλοντα στις διαφορές αποστάσεων των κινητών μονάδων και των ΣΒ. Για να μειώσουν το ACI τα τυπικά κυτταρικά συστήματα υιοθετούν το FCA αποφεύγοντας τη χρήση των γειτονικών καναλιών στον ίδιο ΣΒ.

Όλα τα DCA μοντέλα που αναφέρθηκαν μέχρι εδώ καταχωρούν κανάλια σε κλήσεις που βασίζονται στον απαιτούμενο περιορισμό μόνο της συγκαναλικής παρεμβολής, παραβλέποντας τον ACI περιορισμό. Καθένα από τα DCA μοντέλα που περιγράφηκαν προηγουμένως θα μπορούσε να τροποποιηθεί έτσι ώστε να καταχωρούν κανάλια σε κλήσεις προσέχοντας τόσο την ελάχιστη συγκαναλική παρεμβολή όσο και τους περιορισμούς ACI σε βάρος μιας μείωσης της συνολικής μεταφερόμενης κίνησης.

LP-DDCA με ACI περιορισμό (LP-DDCA with ACI constraint): Μια τροποποιημένη έκδοση του μοντέλου προτάθηκε ενσωματώνοντας τον ACI περιορισμό.

Η παραλλαγή του LP-DDCA απαιτεί επιπλέον όρους στην επιλογή των καναλιών από τον πίνακα ACO. Αν ο απαιτούμενος διαχωρισμός καναλιών μεταξύ των καναλιών για να αποφύγουν την ACI παρεμβολή είναι N_{adj} , οι $N_{adj}-1$ στήλες αριστερά και δεξιά αυτού του καναλιού πρέπει να έχουν άδειες καταχωρήσεις στην πρώτη σειρά του ACO πίνακα. Όταν μια κλήση ζητάει να εξυπηρετηθεί από το κύτταρο i , ο ΣΒ της ψάχνει στην πρώτη σειρά του ACO πίνακα για ομάδα από $2N_{adj}-1$ συνεχόμενες άδειες καταχωρήσεις στην πρώτη σειρά, όπου οι κεντρικές στήλες έχουν μόνο μία ενδειξη. Αν ένα κανάλι βρεθεί, ελέγχει να δει αν το κύτταρο που χρησιμοποιεί το κανάλι έχει επιπλέον διαθέσιμα κανάλια. Σ' αυτή την περίπτωση στέλνει ένα μήνυμα στο αντίστοιχο κύτταρο και ο ΣΒ αυτού του κυττάρου αλλάζει την κλήση χρησιμοποιώντας το κανάλι i για μια νέα. Έτσι ο ΣΒ του κυττάρου i μπορεί να χρησιμοποιήσει το κανάλι. Αλλιώς η κλήση μπλοκάρεται.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του τροποποιημένου LP-DDCA έχουν δείξει ότι όταν ο συγκαναλικός διαχωρισμός είναι μικρότερος από τέσσερα, που είναι η περίπτωση στα περισσότερα πραγματικά συστήματα, η επίδραση του επιπλέον περιορισμού στην πολυπλοκότητα του διαδικασίας επιλογής καναλιού είναι ασήμαντη. Επίσης το γεγονός ότι το τροποποιημένο LP-DDCA είναι δυνατό απέναντι

στην ACI παρεμβολή κυρίως λόγω της ικανότητας του να παρέχει ευέλικτο στοιβαγμα επαναχρησιμοποίησης των καναλιών αφήνοντας σε μια τοπική επανακαταχώρηση να προσαρμόσει μια νέα κλήση.

Κατεύθυνση κίνησης (Moving Direction-MD): Η ιδέα MD προτάθηκε για μονοδιάστατα μικροκυτταρικά συστήματα. Σ' αυτά τα συστήματα συμβαίνουν συχνά αναγκαστικές διακοπές και αλλαγές καναλιών εξαιτίας του μικρού μεγέθους των κυττάρων. Η MD τεχνική χρησιμοποιεί την πληροφορία των κατευθύνσεων κίνησης των κινητών μονάδων για να μειώσει τόσο την πιθανότητα της αναγκαστικής διακοπής των κλήσεων όσο και την αλλαγή καναλιών. Ένα διαθέσιμο κανάλι επιλέγεται μεταξύ εκείνων που έχουν καταχωρηθεί στις κινητές μονάδες που είναι αλλού στην περιοχή εξυπηρέτησης και μετακινούνται στην ίδια κατεύθυνση όπως η MS προκειμένου. Η αναζήτηση για ένα τέτοιο κανάλι αρχίζει από το κοντινότερο όχι παρεμβαλλόμενο κύτταρο σε εκείνο που άρχισε η κλήση και σταματάει σ' αυτό που είναι a αποστάσεις επαναχρησιμοποίησης μακριά, όπου a είναι μια παράμετρος.

Οι ομάδες των κινητών που κινούνται στην ίδια κατεύθυνση και καταχωρήθηκαν στο ίδιο κανάλι είναι έτσι σχηματισμένα. Έτσι, όταν ένα κινητό από μια ομάδα διασχίζει το όριο του κυττάρου είναι πιθανό ότι μια ίδια ομάδα κινητών έχει ήδη περάσει από αυτό το κύτταρο στο επόμενο. Μ' αυτόν τον τρόπο ένα κινητό μπορεί να χρησιμοποιήσει το ίδιο κανάλι μετά τη μεταγωγή με την ίδια πιθανότητα. Αυτό μειώνει την πιθανότητα τόσο της αλλαγής καναλιών όσο και της αναγκαστικής διακοπής κλήσης. Η ιδέα αυτή είναι αποδοτική σε συστήματα που οι κινητές μονάδες μετακινούνται με περίπου την ίδια ταχύτητα μέσα στα κύτταρα και για μονοδιάστατα μικροκυτταρικά συστήματα.

Τα αποτελέσματα προσομοιώσεων για ένα μονοδιάστατο σύστημα δείχνει ότι η MD τεχνική παρέχει μικρότερη πιθανότητα αναγκαστικών διακοπών κλήσεων συγκριτικά με τα NN, NN+1 και FCA μοντέλα. Αν και το MD έχει ελκυστικά χαρακτηριστικά δεν είναι σίγουρο πως θα μπορούσε να εξαπλωθεί σε διδιάστατα συστήματα.

3.4.3.2 Κατανεμημένα Μοντέλα βασισμένα στη μέτρηση της δύναμης του σήματος

Σ' όλα αυτά τα μοντέλα τα κανάλια καταχωρούνται στα κύτταρα βάση της αξίωσης ότι το κινητό μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε μέσα στα όρια του

κυττάρου. Έτσι το στοιβαγμα των κυττάρων δεν είναι το μέγιστο. Αυτά τα μοντέλα πάσχουν από το γεγονός ότι η σταθερά επιλεγμένη απόσταση επαναχρησιμοποίησης μπορεί να είναι αρκετά πεισιμιστική.

Στα μοντέλα προσαρμογής παρεμβολής τα κινητά μετρούν το ποσό της συγκαναλικής παρεμβολής για να προσδιορίσουν την επαναχρησιμοποίηση του καναλιού. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχει ένας μηχανισμός με τον οποίο τα κινητά και οι ΣΒ μπορούν να μετρήσουν το ποσό της παρεμβολής, τότε το μέγιστο στοιβαγμα καναλιών μπορεί να επιτευχθεί.

Ωστόσο, οι τοπικές αποφάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε κάπως καταλληλότερη καταχώρηση. Στα DCA μοντέλα προσαρμογής παρεμβολής τα κινητά και οι ΣΒ εκτιμούν το λόγο σήμα προς παρεμβολή (CIR) και καταχωρούν ένα κανάλι σε μια κλήση όταν τα προβλεπόμενα CIR είναι πάνω από ένα κατώφλι. Είναι πιθανό ότι αυτή η κατανομή θα προκαλέσει τη μείωση του CIR των κλήσεων. Σ' αυτή την περίπτωση μια διακοπή στην εξυπηρέτηση συμβαίνει. Αν η διακοπτόμενη κλήση δεν μπορεί να βρει ένα αποδεκτό καινούριο κανάλι αμέσως το αποτέλεσμα είναι μια πρόωρη διακοπή της εξυπηρέτησης αναφερόμενη σαν deadlock. Ακόμα και αν η διακοπτόμενη κλήση βρει ένα αποδεκτό κανάλι, σχηματίζοντας μια καινούρια σύνδεση που να χρησιμοποιεί το καινούριο κανάλι μπορεί να προκαλέσει διακοπή σε μια άλλη εγκαθιδρυμένη σύνδεση. Αυτές οι διαδοχικές διακοπές αναφέρονται σαν αστάθεια. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο κανάλι για την αρχική κλήση τότε η κλήση μπλοκάρεται.

Διαδοχική αναζήτηση καναλιού (Sequential Channel Search-SCS): Η πιο απλή ιδέα μεταξύ των DCA μοντέλων προσαρμογής παρεμβολής είναι το SCS, όπου όλα τα ζευγάρια κινητών και ΣΒ εξετάζουν τα κανάλια στην ίδια σειρά και διαλέγουν το πρώτο διαθέσιμο με αποδεκτό CIR. Είναι αναμενόμενο ότι το SCS θα υποστηρίξει μια ποσότητα κίνησης με κάπως καταλληλότερο στοιβαγμα καναλιών εις βάρος της πρόκλησης πολλών παρεμβολών.

MSIR: Στο MSIR ένας ΣΒ αναζητάει το κανάλι με τον ελάχιστο λόγο παρεμβολής στην πάνω σύνδεση. Επειδή στην αρχή καταχωρεί αχρησιμοποίητα ή ελαφρά φορτισμένα κανάλια στις νέες κλήσεις, το MSIR έχει μια σχετικά μικρότερη πιθανότητα διακοπής από το SCS. Από την άλλη πλευρά είναι περισσότερο ευαίσθητο στο μπλοκάρισμα από το SCS. Είναι γενικά παρατηρημένο από τα

αποτελέσματα της προσομοίωσης ότι υπάρχει μια εξισορρόπηση μεταξύ του σκοπού αποφυγής του μπλοκαρίσματος της κλήσης και του σκοπού της αποφυγής διακοπών.

Δυναμική επιλογή καναλιών (Dynamic Channel Selection-DCS): Το DCS είναι ένας κατανεμημένος αλγόριθμος για ευέλικτα κινητά κυτταρικά συστήματα βασισμένα στην αξίωση ότι τα κινητά είναι ικανά να μετρήσουν το ποσό της παρεμβολής που βιώνουν σε κάθε κανάλι. Στο DCS κάθε κινητός σταθμός εκτιμάει την πιθανότητα παρεμβολής και επιλέγει το ΣΒ που ελαχιστοποιεί την τιμή της. Η πιθανότητα παρεμβολής είναι μια λειτουργία ενός αριθμού παραμέτρων όπως η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος από τους ΣΒ, η διαθεσιμότητα των καναλιών και η συγκαναλική παρεμβολή. Για να αποτιμηθεί η πιθανότητα παρεμβολής, ειδικά μοντέλα για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους έχουν αναπτυχθεί. Τα μοντέλα αυτά έχουν αναπτυχθεί για να υπολογίζουν την πιθανότητα της διαθεσιμότητας καναλιών, την επιθυμητή ισχύ του φορέα και το λόγο φορέα προς παρεμβολή για σταθερό φορτίο κίνησης.

Διαχωρισμός καναλιών (Channel Segregation): Η τεχνική του *διαχωρισμού καναλιών* είναι ένα αυτόνομο οργανωμένο δυναμικό μοντέλο καταχώρησης καναλιών. Ερευνώντας όλα τα κανάλια κάθε κύτταρο επιλέγει ένα άδειο κανάλι με ένα αποδεκτό επίπεδο συγκαναλικής παρεμβολής. Η σειρά σαρώματος είναι σχηματισμένη ανεξάρτητα για κάθε κύτταρο σε συμφωνία με την πιθανότητα επιλεξιμότητας του καναλιού $P(i)$ η οποία ανανεώνεται με τη γνώση. Για κάθε κανάλι i στο σύστημα, κάθε κύτταρο κρατάει την τρέχουσα τιμή του $P(i)$. Όταν μια απαίτηση κλήσης φτάσει στο ΣΒ, το κανάλι του ΣΒ με την μεγαλύτερη παρατηρούμενη τιμή $P(i)$ επιλέγεται. Μετέπειτα το λαμβανόμενο επίπεδο ισχύος του επιλεγμένου καναλιού μετριέται για να καθοριστεί αν το κανάλι χρησιμοποιείται ή όχι. Αν το μετρούμενο επίπεδο ισχύος είναι κάτω (ή πάνω) από ένα κατώφλι, το κανάλι καθορίζεται αν είναι αδρανές (ή απασχολημένο). Αν το κανάλι είναι αδρανές ο ΣΒ αρχίζει επικοινωνία χρησιμοποιώντας το κανάλι και η προτεραιότητα του αυξάνεται. Αν το κανάλι είναι απασχολημένο η προτεραιότητα του καναλιού μειώνεται και το επόμενο κανάλι υψηλής προτεραιότητας δοκιμάζεται. Αν όλα τα κανάλια είναι απασχολημένα τότε η κλήση μπλοκάρεται. Η τιμή του $P(i)$ και ο μηχανισμός αναβάθμισης καθορίζουν την εκτέλεση του αλγόριθμου. Το $P(i)$ αναβαθμίζεται για να δείξει την επιτυχημένη πιθανότητα μεταφοράς στο κανάλι i όπως δείχνεται παρακάτω:

$$P(i)=[P(i)N(i)+1]/[N(i)+1] \text{ και}$$

$$N(i)= N(i)+1 \text{ αν το κανάλι είναι αδρανές}$$

$$P(i)=[P(i)N(i)]/[N(i)+1] \text{ και}$$

$$N(i)= N(i)+1 \text{ αν το κανάλι είναι απασχολημένο}$$

Εδώ $N(i)$ είναι ο αριθμός των φορών που το κανάλι i είναι προσβάσιμο. Ο μηχανισμός αναβάθμισης για το $P(i)$ ορίζεται σαν $P(i)=N_s(i)/N(i)$, όπου $N_s(i)$ είναι ο αριθμός των επιτυχημένων χρήσεων του καναλιού i .

Αφού κανένα κανάλι δεν είναι σταθερό σε κανένα συγκεκριμένο κύτταρο, ο *διαχωρισμός καναλιών* είναι μια δυναμική μέθοδος καταχώρησης καναλιών. Είναι επίσης αυτόνομη, αφού κανένας σχεδιασμός επαναχρησιμοποίησης καναλιών δεν απαιτείται, και προσαρμόσιμη στις αλλαγές του κινητού περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν ότι ο *διαχωρισμός καναλιών* χρησιμοποιεί τα κανάλια αποδοτικά και μειώνει τον αριθμό των ενδοκυτταρικών μεταγωγών. Επίσης μειώνει το φορτίο του συστήματος μεταγωγής και μειώνει την ποιότητα του διαχωρισμού κατά τη διάρκεια μιας περιόδου μεταγωγής. Επίσης η πιθανότητα μπλοκαρίσματος μειώνεται πολύ συγκρινόμενη με τα FCA και τα DCA μοντέλα. Η ταχύτητα σύγκλισης στη βέλτιστη γενική καταχώρηση καναλιών είναι ένα σημαντικός παράγοντας για να εφαρμοστεί ο διαχωρισμός των καναλιών. Ο διαχωρισμός καναλιών φτάνει γρήγορα σε κάποια βέλτιστη καταχώρηση καναλιών αλλά η σύγκλιση στη βέλτιστη γενική καταχώρηση παίρνει ένα απαγορευτικά μεγάλο ποσό χρόνου επειδή μπορεί να υπάρχουν τοπικές βέλτιστες καταχωρήσεις.

Ο διαχωρισμός καναλιών μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε ένα TDMA/FDMA σύστημα ή σε ένα TDMA σύστημα με πολλούς φορείς. Η διαφορά στην απόδοση του FDMA και του TDMA/FDMA συστήματος είναι μικρή και το σύστημα TDMA ενός φορέα και το FDMA έχουν παρόμοια απόδοση.

3.4.3.3 Μονοδιάστατα κυτταρικά συστήματα

Όλα τα DDCA μοντέλα που περιγράφονται σ' αυτή την ενότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μονοδιάστατα κυτταρικά κινητά συστήματα. Μονοδιάστατες

δομές μπορούν να αναγνωριστούν σε περιπτώσεις όπως δρόμοι με ψηλά κτήρια που καλυπτουν την παρεμβολή σ' όλες τις πλευρές [5].

Ελάχιστη παρεμβολή (Minimum Interference-MI): Η ιδέα της ελάχιστης παρεμβολής είναι από τις πιο απλές για μονοδιάστατα κυτταρικά. Σε ένα MI μοντέλο ένα κινητό δίνει σήμα για την ανάγκη του για κανάλι στον κοντινότερο ΣΒ. Ο ΣΒ τότε μετράει την ισχύ του σήματος παρεμβολής σε όλα τα κανάλια που δεν είναι ήδη καταχωρημένα σε άλλα κινητά. Στο κινητό καταχωρείται ένα κανάλι που έχει την μικρότερη παρεμβολή. Η σειρά με την οποία τα κινητά καταχωρούνται στα κανάλια επηρεάζει την αποδοτικότητα της επαναχρησιμοποίησης καναλιών. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη σειρά της εξυπηρέτησης αναλύουμε τρεις παραλλαγές του MI μοντέλου:

- **Τυχαία ελάχιστη παρεμβολή (Random Minimum Interference-RMI):** Στο RMI μοντέλο τα κινητά εξυπηρετούνται σύμφωνα με την MI ιδέα σε μια τυχαία σειρά, ή ισοδύναμα, στην σειρά με την οποία φτάνουν οι κλήσεις στο σύστημα.

- **Τυχαία ελάχιστη παρεμβολή με επανακαταχώρηση (Random Minimum Interference with Reassignment-RMIR):** Στο RMIR μοντέλο τα κινητά πρώτα εξυπηρετούνται σύμφωνα με το RMI. Σε κάθε κινητό ξανακαταχωρείται ένα κανάλι από το ΣΒ του σύμφωνα με το MI μοντέλο. Αυτά τα κινητά που αρνούνται να εξυπηρετηθούν από το αρχικό RMI μοντέλο επίσης προσπαθούν να αποκτήσουν ένα κανάλι ξανά. Η σειρά με την οποία τα κινητά ξανακαταχωρούνται είναι τυχαία. Ο αριθμός των επαναλήψεων εκτέλεσης αυτής της διαδικασίας ονομάζεται αριθμός επανακαταχωρήσεων R.

- **Διαδοχική ελάχιστη παρεμβολή (Sequential Minimum Interference-SMI):** Στο SMI μοντέλο τα κινητά καταχωρούνται στα κανάλια σύμφωνα με το MI μοντέλο με μια διαδοχική σειρά. Αυτή η διαδικασία απαιτεί κάποιο συντονισμό μεταξύ των ΣΒ εξαιτίας της διαδοχικής σειράς εξυπηρέτησης.

MINMAX: Μια άλλη τεχνική εφαρμόσιμη για μονοδιάστατα κυτταρικά συστήματα είναι το MINMAX μοντέλο. Στο MINMAX ένα κινητό καταχωρείται σε ένα κανάλι που μεγιστοποιεί το ελάχιστο των CIR όλων των κινητών που εξυπηρετούνται από το σύστημα εκείνη τη στιγμή. Ένα κινητό εξυπηρετείται μόνο μετά αφού όλα τα κινητά στα αριστερά του είχαν την ευκαιρία να εξυπηρετηθούν. Αυτή η διαδοχική σειρά εξυπηρέτησης (αριστερά προς τα δεξιά) επιλέγεται επειδή φαίνεται να είναι ο καλύτερος τρόπος για να ξαναχρησιμοποιηθεί ένα κανάλι. Το κινητό που είναι αμέσως στα δεξιά μιας δοσμένης ομάδας κινητών με καταχωρημένα κανάλια είναι αυτό που θα προκαλέσει τη μεγαλύτερη παρεμβολή στο ΣΒ που εξυπηρετεί τη δοθείσα ομάδα καναλιών.

Σύγκριση απόδοσης

Τα RMI, RMIR και SMI συγκρίνονται για ένα μονοδιάστατο μικροκυτταρικό σύστημα. Επίσης η απόδοση τους συγκρίνεται με το MINMAX που δίνει ανώτερο οριο στην απόδοση των κατανεμημένων μοντέλων καταχώρησης καναλιών για μονοδιάστατα συστήματα. Η απόδοση του συστήματος ορίζεται σαν η πιθανότητα μπλοκαρίσματος της κλήσης. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έχουν δείξει ότι η πιθανότητα μπλοκαρίσματος της κλήσης μειώνεται για τα FCA, RMI, RMIR, SMI και MINMAX με αυτή τη σειρά.

Θα περιμέναμε ότι η παρόμοια συμπεριφορά του RMI, RMIR, SMI και του MINMAX δεν θα αλλάζει πολύ σε ένα δισδιάστατο σύστημα. Ωστόσο δεν είναι φανερό πως θα μπορούσαν να εφαρμοστούν αυτά τα μοντέλα αφού μια σειρά εξυπηρέτησης είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί σε ένα δισδιάστατο σύστημα.

3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ FCA ΚΑΙ DCA

Γενικά υπάρχει μια ανταλλαγή μεταξύ της ποιότητας της εξυπηρέτησης, της πολυπλοκότητας υλοποίησης, των αλγόριθμων καταχώρησης καναλιών και της αποδοτικής αξιοποίησης του φάσματος.

Το DCA αποδίδει καλύτερα κάτω από χαμηλή ένταση κίνησης. Ωστόσο το FCA είναι ανώτερο κάτω από μεγάλη κίνηση, ειδικά στην περίπτωση αμετάβλητης κίνησης. Στην περίπτωση μεταβλητής κίνησης και ελαφρών προς μέτριων φορτίων πιστεύεται ότι η δυναμική καταχώρηση αποδίδει καλύτερα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάτω από χαμηλή κίνηση το DCA χρησιμοποιεί κανάλια περισσότερο αποδοτικά από το FCA. Στην περίπτωση του FCA τα κανάλια καταχωρούνται από πριν στα κύτταρα και έτσι υπάρχουν περιπτώσεις που λόγω αυξομείωσης στην κίνηση οι κλήσεις μπλοκάρονται αν και υπάρχουν κανάλια διαθέσιμα σε γειτονικά κύτταρα. Επιπλέον ένα βασικό δεδομένο στην μηχανική της τηλεφωνικής κίνησης είναι ότι ένας παροχέας με χωρητικότητα C είναι περισσότερο αποδοτικός από έναν αριθμό πολλών μικρών με την ίδια συνολική χωρητικότητα. Αυτό σημαίνει ότι για την ίδια μέση πιθανότητα μπλοκαρίσματος ένα σύστημα με υψηλή χωρητικότητα έχει μεγαλύτερη εκμετάλλευση.

Η έναρξη των αιτήσεων για εξυπηρέτηση από κύτταρο σε κύτταρο είναι μια τυχαία διαδικασία και επομένως όταν χρησιμοποιείται δυναμική καταχώρηση, διαφορετικά κανάλια καταχωρούνται τυχαία για να εξυπηρετήσουν τις κλήσεις. Εξαιτίας αυτής της

τυχαιότητας βρέθηκε ότι κύτταρα που έχουν δανειστεί το ίδιο κύτταρο για χρήση είναι κατα μέσο ορο σε μια μεγαλύτερη απόσταση από την ελάχιστη απόσταση επαναχρησιμοποίησης. Συνεπώς τα μοντέλα δυναμικής καταχώρησης δεν έχουν πάντα επιτυχία στην ξαναχρησιμοποίηση καναλιών τον μέγιστο δυνατό αριθμό φορών. Απ' την άλλη μεριά στο FCA ένα συγκεκριμένο κανάλι μπορεί να καταχωρηθεί στα κύτταρα που είναι από την ελάχιστη απόσταση έτσι ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές. Η καταχώρηση γίνεται με έναν τρόπο έτσι ώστε η μέγιστη επαναχρησιμοποίηση επιτυγχάνεται. Αυτός είναι ο λόγος που το FCA παρουσιάζει ανώτερη απόδοση συγκρινόμενο με το DCA κάτω από συνθήκες μεγάλου φορτίου.

Γενικά για την ίδια τιμή μπλοκαρίσματος το DCA έχει μικρότερη τιμή αναγκαστικά διακοπτόμενων κλήσεων από το FCA. Στο FCA μία κλήση πρέπει να μεταγεται σε άλλο κανάλι σε κάθε μεταγωγή επειδή το ίδιο κανάλι δεν είναι διαθέσιμο σε γειτονικά κύτταρα. Στο DCA το ίδιο κανάλι μπορεί να καταχωρηθεί σε ένα καινούριο κύτταρο αν δεν υπάρχει συγκαναλική παρεμβολή. Σε μικροκυτταρικά συστήματα τα κινητά διασχίζουν τα όρια των κυττάρων συχνά και η κίνηση κάθε κυττάρου διαφέρει δραστικά. Έτσι απαιτείται μεγάλος έλεγχος της καταχώρησης των καναλιών που έχει σαν αποτέλεσμα τη συχνή επίκληση των λειτουργιών ελέγχου του δικτύου. Τα DCA μοντέλα σ' αυτά τα συστήματα επωφελη στην επίλυση των παραπάνω προβλημάτων της ευκαμψίας τους στην καταχώρηση καναλιών. Επίσης η απόδοση της κίνησης του FCA πέφτει όταν τα κύτταρα μικρά καθώς το DCA παρέχει περισσότερο σταθερή απόδοση. Αν προσθέσουμε επίσης τις γεωγραφικές μεταβολές του φορτίου το κέρδος του DCA έναντι του FCA θα αυξηθεί δραστικά.

3.5.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο FCA ο έλεγχος της καταχώρησης γίνεται ανεξάρτητα σε κάθε κύτταρο ελέγχοντας ένα άδειο κανάλι μεταξύ αυτών που είναι καταχωρημένα σ' αυτό το αρχικά. Στο DCA η γνώση των κατειλημμένων καναλιών σε άλλα κύτταρα όπως επίσης και στο προκείμενο είναι απαραίτητη. Το ποσο του ελεγχου είναι διαφορετικό σε κάθε DCA μοντέλο. Αν το DCA απαιτεί πολύ επεξεργασία και πλήρη γνώση της κατάστασης ολόκληρου του συστήματος, η καθυστέρηση αποκατάστασης της κλήσης θα ήταν σημαντικά μεγάλη χωρίς μεγάλη ταχύτητα υπολογισμού και σηματοδοσίας. Η πολυπλοκότητα υλοποίησης του DCA είναι μεγαλύτερη από αυτή του FCA. Η φυσική υλοποίηση του DCA απαιτεί μεγάλη αποτελεσματικότητα επεξεργασίας για να καθορίσει τις βέλτιστες καταχωρήσεις και επίσης ένα βαρύ φορτίο σηματοδοσίας.

Όσον αφορά τον τύπο του ελέγχου το FCA είναι κατάλληλο για ένα συγκεντρωμένο σύστημα ελέγχου καθώς το DCA είναι κατάλληλο για ένα αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου. Ένα συγκεντρωμένο σύστημα ελέγχου δημιουργεί ένα τεράστιο όγκο ελέγχου σε ένα μικροκυτταρικό σύστημα που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση. Μία λύση είναι να χωριστεί η περιοχή ελέγχου σε διάφορες υποπεριοχές κατάλληλου μεγέθους.

3.6 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (HYBRID CHANNEL ALLOCATION-HCA)

Η *Υβριδική Καταχώρηση Καναλιών (HCA)* είναι ανάμειξη των τεχνικών FCA και DCA. Στο HCA ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων καναλιών χωρίζεται σε σταθερές και δυναμικές ομάδες. Η σταθερή ομάδα περιέχει ένα αριθμό ονομαστικών καναλιών που καταχωρούνται στα κύτταρα όπως στα FCA μοντέλα και σε όλες τις περιπτώσεις προτιμούνται για χρήση στα αντίστοιχα κύτταρα τους. Η δεύτερη ομάδα καναλιών διανέμονται σε όλους τους χρήστες για να αυξήσουν την ευλυγισία. Όταν μια κλήση απαιτεί εξυπηρέτηση από ένα κύτταρο και όλα τα ονομαστικά του κανάλια είναι απασχολημένα, τότε ένα κανάλι από τη δυναμική ομάδα καταχωρείται στην κλήση. Η διαδικασία της καταχώρησης καναλιών από τη δυναμική ομάδα ακολουθεί κάποια από τα DCA μοντέλα που περιγράφηκαν παραπάνω. Παραλλαγές του HCA περιλαμβάνουν το HCA με αναδιάταξη καναλιών και τα HCA μοντέλα όπου οι κλήσεις που δεν μπορούν να βρουν ένα διαθέσιμο κανάλι περιμένουν στην αναμονή αντί να μπλοκαριστούν. Η πιθανότητα μπλοκαρίσματος του HCA ορίζεται σαν η πιθανότητα μια κλήση που φτάνει σε ένα κύτταρο να βρίσκει τόσο τα σταθερά όσο και τα δυναμικά κανάλια απασχολημένα.

Η αναλογία των σταθερών προς τα δυναμικά κανάλια είναι ένας σημαντικός παράγοντας που ορίζει την απόδοση του συστήματος. Ένας ενδιαφερόμενος θα μπορούσε να βρει τη βέλτιστη αναλογία για να πετύχει καλύτερη απόδοση. Γενικά ο λόγος των σταθερών προς τα δυναμικά κανάλια είναι συνάρτηση του φορτίου κίνησης και θα διαφέρει κάθε χρονική στιγμή σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της κατανομής προσφερόμενο φορτίο.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έχουν δείξει ότι συστήματα με περισσότερα δυναμικά κανάλια δίνουν την μικρότερη πιθανότητα αναμονής για αύξηση του φορτίου μέχρι 15% πάνω από το βασικό φορτίο. Για αύξηση φορτίου από 15-32%, συστήματα με μέτρια δυναμικά κανάλια δίνουν την καλύτερη απόδοση. Τελικά συστήματα πάνω από 40% και με λίγα δυναμικά κανάλια δίνουν την καλύτερη απόδοση. Όπως αναφέραμε παραπάνω η δυναμική καταχώρηση καναλιών αποδίδει καλύτερα σε

χαμηλό φορτίο. Όταν το φορτίο αυξάνεται, η σταθερή καταχώρηση αποδίδει καλύτερα εξαιτίας της βελτιστοποιημένης επαναχρησιμοποίησης του καναλιού. Η υβριδική καταχώρηση σε φορτία κοντά στο βασικό φορτίο συμπεριφέρεται σαν το προσφερόμενο φορτίο στα δυναμικά κανάλια να είναι χαμηλό. Αυτό συμβαίνει γιατί η προσφερόμενη κίνηση μοιράζεται, αν και όχι ίσα, μεταξύ των σταθερών και των δυναμικών καναλιών. Επομένως δεν υπάρχει αρκετό μπλοκάρισμα στις χαμηλές επί τοις εκατό αυξήσεις φορτίου. Αλλά όπως το φορτίο αυξάνεται περισσότερο από ένα σταθερό ποσοστό επί τοις εκατό πάνω από το βασικό φορτίο τα συστήματα με πολλά δυναμικά κανάλια έχουν μεγάλη πιθανότητα να αρχίσουν να μπλοκάρουν τις κλήσεις. Αυτό το φαινόμενο είναι πάλι ένα χαρακτηριστικό της Δυναμικής Καταχώρησης Καναλιών. Στην περίπτωση της μεταβλητής κατανομής κίνησης μια παρόμοια τάση απόδοσης αναμένεται όταν το HCA χρησιμοποιείται. Υπάρχει η αντίληψη ότι το HCA θα δείξει την ανώτερη απόδοση του με μεταβλητή κίνηση αφού περιλαμβάνει δυναμικά κανάλια που θα μπορούσαν να μετακινηθούν για να εξυπηρετήσουν την τυχαία αυξομείωση στο προσφερόμενο φορτίο.

Τελικά, τα HCA μοντέλα έχουν παραλλαγές που προσθέτουν αναδιάταξη καναλιών αλλάζοντας καταχωρημένα κανάλια σε μερικές από τις κλήσεις σε εξέλιξη για να εξασφαλίσουν ένα βέλτιστο διαχωρισμό μεταξύ των περιοχών κάλυψης με ταυτόχρονη χρήση του ίδιου καναλιού για να μειώσουν την ανικανότητα σε μεγάλο φορτίο. Όπως στην υβριδική στρατηγική δανεισμού, η αναδιάταξη των καναλιών γίνεται όταν τα ονομαστικά(σταθερά) κανάλια αδειάζουν. Δηλαδή ένα ονομαστικό κανάλι καταχωρείται αντί για το δυναμικό κανάλι. Αυτό απαιτεί μεταγωγές καναλιών μεταξύ κατειλημμένων καναλιών για να επιτευχθεί μια βέλτιστη καταχώρηση. Αυτό βελτιώνει την απόδοση περισσότερο δημιουργώντας μια σημαντική αύξηση στην κατάληψη καναλιών αλλά μια τεράστια ποσότητα υπολογισμών απαιτείται για την επανακαταχώρηση των καναλιών σε ένα μεγάλο σύστημα.

3.7 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΤΑΓΩΓΩΝ

Όλα τα συστήματα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως δεν λαμβάνουν υπ' όψιν την επίδραση των μεταγωγών στην απόδοση του συστήματος. Η μεταγωγή ορίζεται σαν η αλλαγή του καναλιού που χρησιμοποιείται από ένα ασύρματο τερματικό. Το καινούριο κανάλι μπορεί να είναι με τον ίδιο ΣΒ (ενδοκυτταρική μεταγωγή) ή με ένα καινούριο ΣΒ (μεταξύ των ορίων του κυττάρου μεταγωγή).

Γενικά το γεγονός της μεταγωγής προκαλείται από την υποβάθμιση της σύνδεσης ή ξεκινάει από το σύστημα που ξανάτακτοποιεί τα κανάλια για να αποφύγει τη συμφόρηση. Εδώ ασχολούμαστε με το πρώτο είδος των μεταγωγών όπου η αιτία της

μεταγωγής είναι μια κακή ποιότητα που προκαλείται από μια αλλαγή στο περιβάλλον ή από την κίνηση του ασύρματου τερματικού. Για παράδειγμα ο κινητός συνδρομητής ίσως να περάσει τα όρια του κυττάρου και να μετακινηθεί σε ένα γειτονικό κύτταρο καθώς η κλήση είναι σε εξέλιξη. Σ' αυτή την περίπτωση η κλήση πρέπει να περάσει στο γειτονικό κύτταρο για να παρέχει συνεχή εξυπηρέτηση στον κινητό συνδρομητή. Αν τα γειτονικά κύτταρα δεν έχουν αρκετά κανάλια για να υποστηρίξουν την μεταγωγή τότε η κλήση είναι αναγκασμένη να μπλοκαρισθεί. Στα μικροκυτταρικά συστήματα η διαδικασία της μεταγωγής έχει μια σημαντική επίδραση στην απόδοση του συστήματος. Εδώ ένας σημαντικός παράγοντας είναι να περιοριστεί η πιθανότητα της αναγκαστικής διακοπής μιας κλήσης αφού από τη μεριά του κινητού χρήστη η αναγκαστική διακοπή μιας κλήσης που λαμβάνει χώρα είναι λιγότερο επιθυμητή από το μπλοκάρισμα μιας καινούριας κλήσης. Επομένως το σύστημα πρέπει να μειώσει τις ευκαιρίες ανεπιτυχών μεταγωγών χρησιμοποιώντας μερικά κανάλια μόνο για κλήσεις μεταγωγών. Για παράδειγμα, τα μοντέλα που δίνουν προτεραιότητα στις μεταγωγές είναι στρατηγικές καταχώρησης καναλιών που καταχωρούν κανάλια σε απαιτήσεις μεταγωγών περισσότερο πρόθυμα από τις καινούριες κλήσεις.

Τα συστήματα που δίνουν προτεραιότητα στην μεταγωγή βελτιώνουν με κόστος μια μείωση στην συνολική κίνηση και μια αύξηση στην πιθανότητα μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων. Πρόσφατα ένας αριθμός μοντέλων ελέγχου εισόδου ασύρματων κλήσεων έχει παρουσιαστεί και μελετηθεί που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιορίσει την πιθανότητα μπλοκαρίσματος της μεταγωγής σε προκαθορισμένο επίπεδο.

Ο απλούστερος τρόπος για να δοθεί προτεραιότητα σε κλήσεις μεταγωγής είναι η χρησιμοποίηση μερικών καναλιών μόνο για κλήσεις μεταγωγών σε κάθε κύτταρο. Άλλα μοντέλα προτεραιότητας επιτρέπουν ή στις κλήσεις μεταγωγής να μένουν στην αναμονή ή στις νέες κλήσεις μέχρι να εξασφαλισθούν καινούρια κανάλια στο κύτταρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται μια περιγραφή του προτεινόμενου υβριδικού αλγόριθμου για την καταχώρηση συχνοτήτων στα κύτταρα. Η πρόθεση μας είναι να μειώσουμε την πιθανότητα μπλοκαρίσματος του συστήματος χρησιμοποιώντας παράλληλα τον ελάχιστο αριθμό συχνοτήτων. Η προσομοίωση αυτού του αλγόριθμου δείχνει μια επαρκή μείωση στην πιθανότητα μπλοκαρίσματος των κλήσεων και στον αριθμό των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων. Σημειώνουμε το γεγονός ότι η υλοποίηση του αλγόριθμου πραγματοποιήθηκε στο μαθηματικό πακέτο λογισμικού Matlab.

4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν προτείνεται ένας υβριδικός αλγόριθμος καταχώρησης συχνοτήτων που είναι ένας συνδυασμός του FCA και του DCA. Αυτό το μοντέλο μπορεί να προσαρμοστεί δυναμικά στην κίνηση, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μικρότερη πιθανότητα μπλοκαρίσματος και ο ελάχιστος αριθμός ενεργοποιούμενων συχνοτήτων. Η γεωγραφική περιοχή σε ένα κινητό κυτταρικό δίκτυο χωρίζεται σε εξαγωνικά κύτταρα, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Η υπό εξέταση περιοχή που θα καλυφθεί από το δίκτυο περιλαμβάνει M clusters. Κάθε cluster περιλαμβάνει N κύτταρα. Κάθε κύτταρο του κυτταρικού δικτύου περιλαμβάνει ένα συγκεκριμένο αριθμό πομποδεκτών (TRX). Κάθε πομποδέκτης, που λαμβάνει ή εκπέμπει σε μια συχνότητα, περιλαμβάνει οχτώ timeslots (time-division-multiple-access technique). Ένα timeslot χρησιμοποιείται για σηματοδοσία και τα άλλα σαν κανάλια ήχου. Ο αριθμός των συχνοτήτων σε κάθε κύτταρο αποφασίζεται από κάποιους συγκεκριμένους παράγοντες, όπως η κίνηση του φορτίου στη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή που το κύτταρο καλύπτει.

Σε κάθε κύτταρο είναι σταθερά καταχωρημένες F_c συχνότητες (Fixed Frequencies). Κάθε κύτταρο έχει ένα συγκεντρωτή (pool), στον οποίο είναι ομαδοποιημένες οι F_p συχνότητες (Dynamic Frequencies) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κάθε κύτταρο του cluster. F_{max} είναι ο μέγιστος αριθμός

συχνοτήτων που μπορούν να καταχωρηθούν σε κάθε κύτταρο. Στο δικό μας μοντέλο καταχώρησης κάθε δυναμική συχνότητα μπορεί να καταχωρηθεί σε κάθε κύτταρο του cluster. Όταν μια δυναμική συχνότητα καταχωρηθεί σε ένα κύτταρο δεν μπορεί να καταχωρηθεί σε άλλο κύτταρο του cluster. Ωστόσο αυτή η συχνότητα μπορεί να καταχωρηθεί σε άλλο κύτταρο μόνο όταν αποδεσμευθεί από το πρώτο κύτταρο.

4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Ο αλγόριθμος καταχώρησης συχνοτήτων καταχωρεί τις συχνότητες στα κύτταρα και σε ένα συγκεντρωτή του cluster με ένα τρόπο που λαμβάνει υπ' όψιν του τη πιθανότητα μπλοκαρίσματος του κάθε κυττάρου. Λαμβάνουμε υπ' όψιν μας ότι μια συχνότητα μπορεί να καταληφθεί είτε από μια κλήση που παράγεται εντός του κυττάρου (μία νέα κλήση), είτε από μία κλήση, η οποία ενώ ξεκίνησε σε κάποιο άλλο κύτταρο, πραγματοποίησε μία μεταγωγή στο εν λόγω κύτταρο (μία κλήση μεταγωγής). Ο αλγόριθμος λοιπόν πρώτα καταχωρεί τις F_c συχνότητες σε κάθε κύτταρο οι οποίες καταχωρούνται στα κύτταρα όπως στα FCA μοντέλα και χρησιμοποιούνται συνέχεια από το κύτταρο στο οποίο έχουν καταχωρηθεί. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι F_c συχνότητες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις $F_{c_{new}}$ (Fixed Frequencies για νέες κλήσεις) και τις F_{chand} (Dynamic Frequencies για κλήσεις μεταγωγής). Έτσι κάθε κύτταρο περιέχει m $F_{c_{new}}$ συχνότητες και n F_{chand} συχνότητες.

Στη συνέχεια ακολουθεί η καταχώρηση των F_p συχνοτήτων στα κύτταρα, αφού όμως πρώτα ορισθεί ο μέγιστος αριθμός συχνοτήτων F_{max} που μπορεί να έχει κάθε κύτταρο. Οι F_p συχνότητες χωρίζονται όπως και οι F_c σε δύο κατηγορίες, τις $F_{p_{new}}$ (Dynamic Frequencies για νέες κλήσεις) και στις $F_{p_{hand}}$ (Dynamic Frequencies κλήσεις μεταγωγής). Το κριτήριο για τον αριθμό των $F_{p_{new}}$ και $F_{p_{hand}}$ κάθε χρονική στιγμή αποτελεί ο λόγος του φορτίου κίνησης των νέων κλήσεων προς το φορτίο των κλήσεων μεταγωγής σε συνδυασμό με τον αριθμό των διαθέσιμων συχνοτήτων για καταχώρηση. Έτσι αποφασίζεται ο αριθμός των συχνοτήτων που θα διατεθούν για τις νέες κλήσεις και για τις κλήσεις μεταγωγής.

Αφού λοιπόν αποφασιστεί ο αριθμός των $F_{p_{new}}$ και $F_{p_{hand}}$ πρέπει να καταχωρηθούν αυτές οι συχνότητες στα κύτταρα. Η καταχώρηση τους θα γίνει με βάση την πιθανότητα μπλοκαρίσματος του κάθε κυττάρου, η οποία εξαρτάται από το φορτίο κίνησης. Ο υπολογισμός της πιθανότητας μπλοκαρίσματος γίνεται από ένα ελεγκτή που υπάρχει σε κάθε cluster, ο οποίος ελέγχει συνέχεια το φορτίο κίνησης και τον αριθμό των συχνοτήτων στα κύτταρα του cluster. Η πιθανότητα

μπλοκαρίσματος σε κάθε κύτταρο κάθε χρονική στιγμή λοιπόν υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο Erlang B:

$$\text{Pr}[blocking] = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}}$$

όπου C είναι ο αριθμός των trunked καναλιών σε ένα κύτταρο και A είναι η προσφερόμενη κίνηση στο κύτταρο. Η συνολική πιθανότητα μπλοκαρίσματος του cluster υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\text{Pr}_{Total} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Pr}_i \cdot l_i}{l_{total}}$$

όπου l_i είναι το προσφερόμενο φορτίο στο κύτταρο i , Pr_i η πιθανότητα μπλοκαρίσματος στο κύτταρο i , N ο αριθμός των κυττάρων του cluster και l_{total} το συνολικό προσφερόμενο φορτίο σε όλα τα κύτταρα.

Οπότε όπως καταλαβαίνουμε η βασική ιδέα αυτού του αλγόριθμου είναι ότι μια δυναμική συχνότητα (ομάδα καναλιών) καταχωρείται ή αποδεσμεύεται από ένα κύτταρο ανάλογα με το προσφερόμενο φορτίο κίνησης. Πιο συγκεκριμένα μια δυναμική συχνότητα που διατίθεται για τις νέες κλήσεις καταχωρείται σε ένα κύτταρο όταν η πιθανότητα μπλοκαρίσματος ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο (Pr_{nmax}). Ομοίως μια καταχωρημένη δυναμική συχνότητα αποδεσμεύεται από ένα κύτταρο όταν η πιθανότητα μπλοκαρίσματος γίνει μικρότερη από μια συγκεκριμένη τιμή (Pr_{nmin}). Η καταχώρηση συχνοτήτων αρχίζει από το κύτταρο με την μεγαλύτερη πιθανότητα μπλοκαρίσματος και συνεχίζει με τα υπόλοιπα, (proposed) πιθανότητα μπλοκαρίσματος της κλήσης.

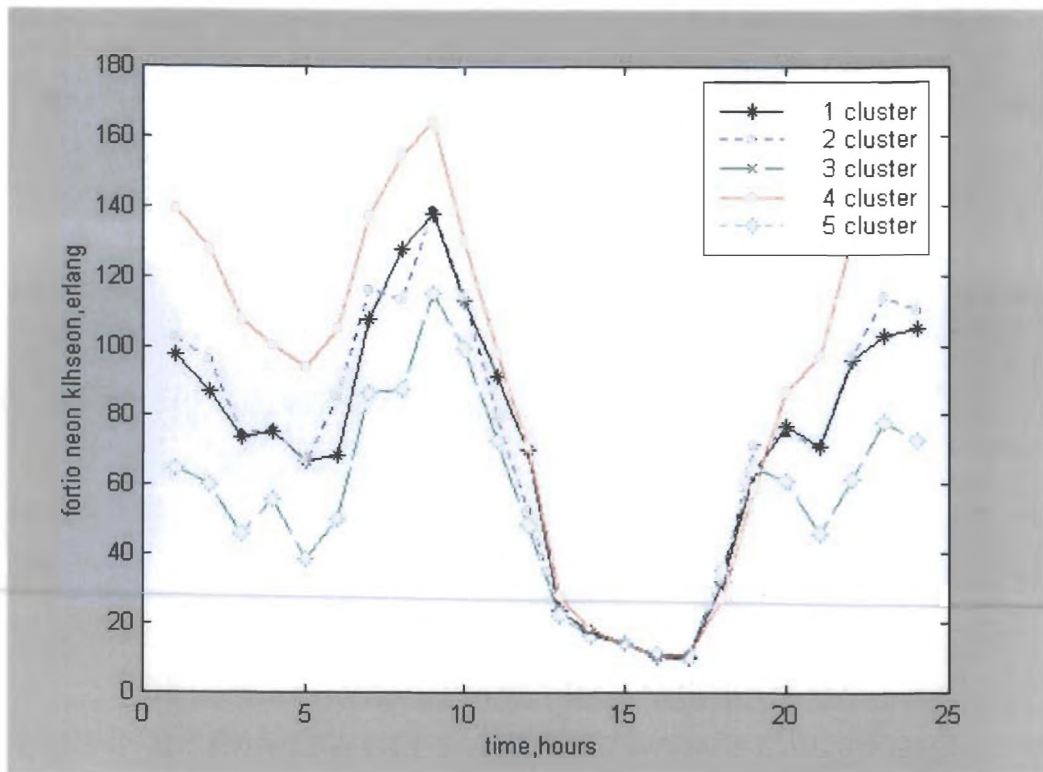
Πρώτα εξετάζεται αν η πιθανότητα μπλοκαρίσματος σε κάθε κύτταρο είναι μεγαλύτερη από Pr_{nmax} . Αν είναι, καταχωρείται μια συχνότητα στο κύτταρο με τη μεγαλύτερη πιθανότητα μπλοκαρίσματος. Η πιθανότητα μπλοκαρίσματος υπολογίζεται ξανά και ο αλγόριθμος συνεχίζει με αυτή την διαδικασία μέχρι η πιθανότητα μπλοκαρίσματος όλων των κυττάρων να γίνει μικρότερη από Pr_{nmax} ή μέχρι να καταχωρηθούν όλες οι δυναμικές συχνότητες του cluster στα κύτταρα. Αν η πιθανότητα μπλοκαρίσματος ενός κυττάρου είναι ή γίνει μικρότερη από Pr_{nmin} και μία δυναμική συχνότητα είναι καταχωρημένη σ' αυτό το κύτταρο αυτή η συχνότητα αποδεσμεύεται από αυτό το κύτταρο και η πιθανότητα μπλοκαρίσματος υπολογίζεται ξανά. Γίνεται κατανοητό ότι αν κάποια χρονική στιγμή το φορτίο κίνησης είναι αρκετά μικρό τότε καμία ή λιγότερες συχνότητες από αυτές που είναι αρχικά προγραμματισμένες να καταχωρηθούν χρησιμοποιούνται. Ακριβώς η ίδια διαδικασία

καταχώρησης ακολουθείται και για τις συχνότητες που διατίθενται για τις κλήσεις μεταγωγής με τη διαφορά ότι τα όρια $P_{r_{\max}}$ και $P_{r_{\min}}$ είναι διαφορετικά (μικρότερα γιατί το φορτίο μεταγωγής είναι συνήθως μικρότερο απ' αυτό των νέων κλήσεων και γι' αυτό το λόγο καταχωρούνται λιγότερες σταθερές συχνότητες για τις κλήσεις μεταγωγής). Η διαδικασία για την καταχώρηση των δυναμικών συχνοτήτων συνεχίζεται και την επόμενη χρονική στιγμή με τον ίδιο τρόπο ξεκινώντας τον έλεγχο σύμφωνα με την προηγούμενη καταχώρηση συχνοτήτων στα κύτταρα.

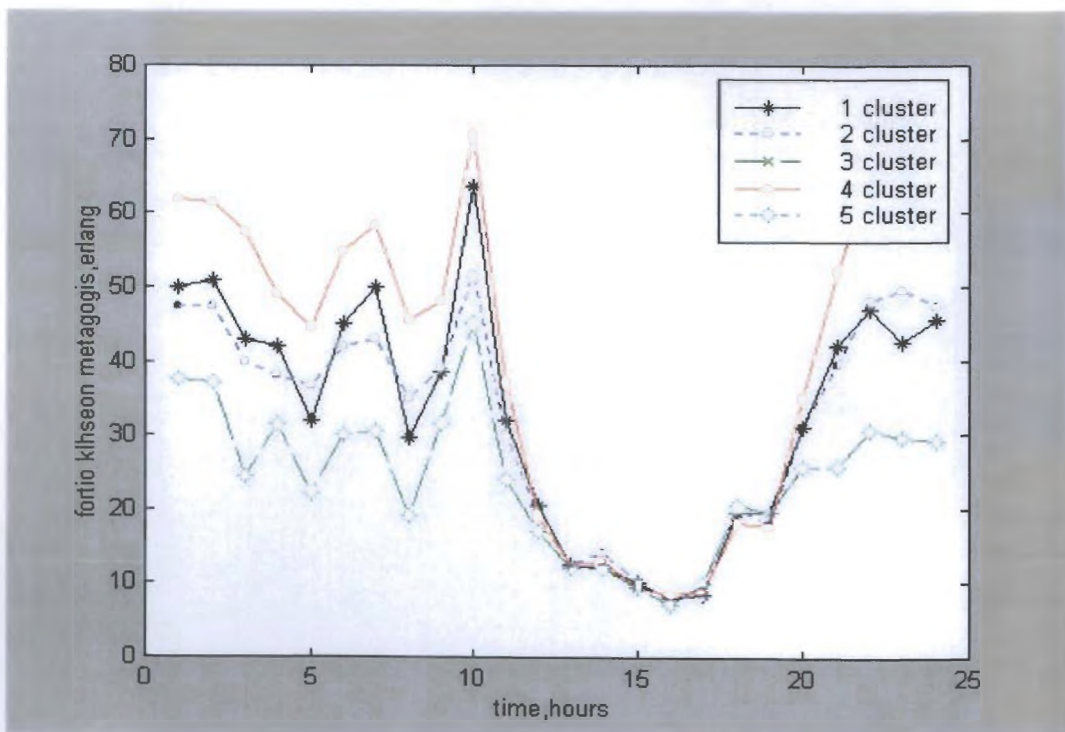
4.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του προτεινόμενου αλγόριθμου για να συγκρίνουμε την απόδοση του σε σχέση με το FCA μοντέλο, που όλοι οι Κινητοί Προμηθευτές χρησιμοποιούν σήμερα. Επίσης παρουσιάζονται μερικές γραφικές παραστάσεις που βοηθούν στην σύγκριση των δύο μοντέλων, όπως το φορτίο των νέων κλήσεων και των κλήσεων μεταγωγής, ο αριθμός των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων και η πιθανότητα μπλοκαρίσματος του προτεινόμενου και του FCA μοντέλου ως προς την κάθε χρονική στιγμή. Έτσι θα γίνει καλύτερη αξιολόγηση του προτεινόμενου μοντέλου και θα δούμε αν αυτό τελικά ικανοποιεί τις προδιαγραφές που εμείς θέλουμε να έχει.

Η περιοχή που εξετάζουμε είναι αστική και υπεραστική και καλύπτεται από 5 clusters των 7 κυττάρων ($N=7$). Τρία από τα 7 κύτταρα κάθε cluster καλύπτουν την αστική και τα υπόλοιπα την υπεραστική. Στο fixed μοντέλο καταχωρούμε 3 συχνότητες σε κάθε κύτταρο για τις νέες κλήσεις και 1 συχνότητα για τις κλήσεις μεταγωγής έτσι ώστε ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων συχνοτήτων για τις νέες κλήσεις να είναι 21, για τις κλήσεις μεταγωγής να είναι 7 και ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων συχνοτήτων να είναι 28. Στο προτεινόμενο μοντέλο καταχωρούμε σταθερά 2 συχνότητες σε κάθε κύτταρο για τις νέες κλήσεις και μία συχνότητα για τις κλήσεις μεταγωγής ($F_{\text{cnew}}=2$ και $F_{\text{chand}}=1$). Ο συγκεντρωτής του κάθε cluster περιέχει 7 συχνότητες ($F_p=7$) από τις οποίες οι F_{pnew} χρησιμοποιούνται για τις νέες κλήσεις και οι F_{phand} καταχωρούνται για τις κλήσεις μεταγωγής ανάλογα με το λόγο του φορτίου των νέων κλήσεων προς το φορτίο των κλήσεων μεταγωγής όπως είπαμε και παραπάνω. Έτσι πάλι ο συνολικός αριθμός των συχνοτήτων είναι 28, αν φυσικά χρησιμοποιηθούν όλες. Το συνολικό προσφερόμενο φορτίο όλων των κυττάρων κάθε χρονική στιγμή για κάθε cluster για τις νέες κλήσεις δίνεται στο Σχήμα 4.1 και για τις κλήσεις μεταγωγής στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.1



Σχήμα 4.2

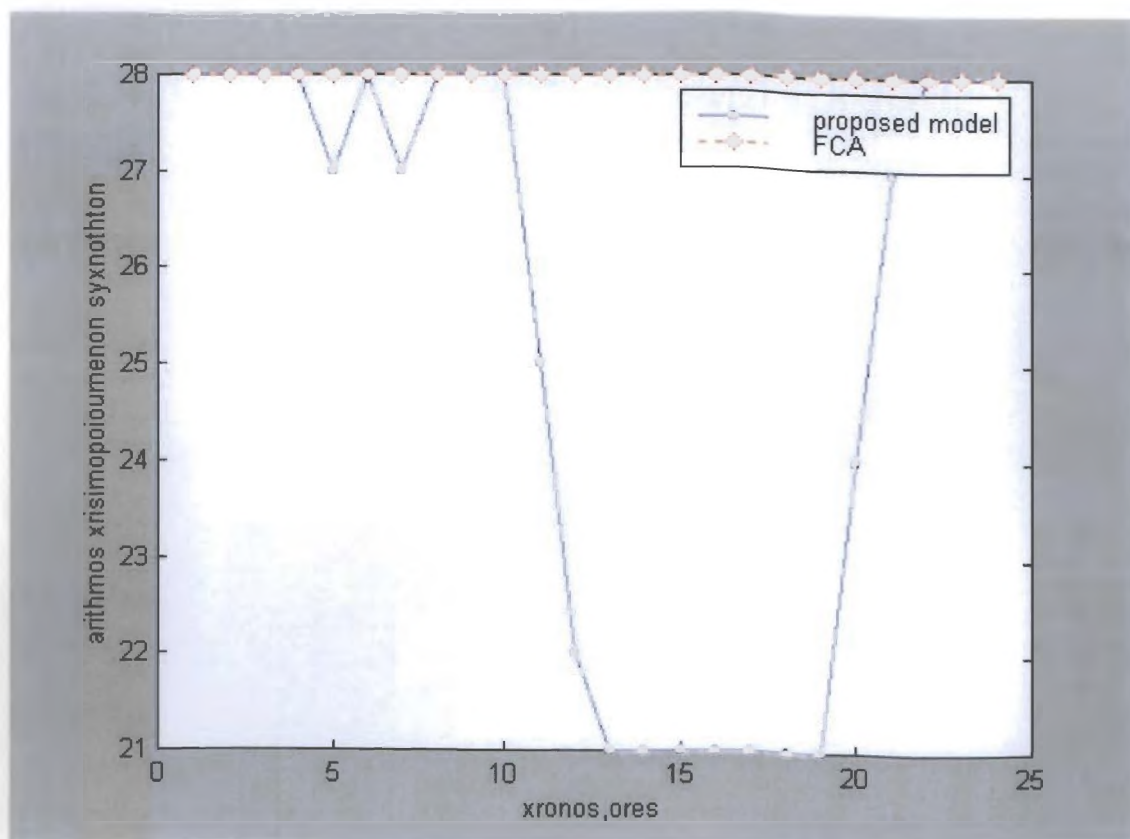
Το όριο για να καταχωρηθεί μια δυναμική συχνότητα που διατίθεται για νέες κλήσεις σε ένα κύτταρο είναι $Pr_{max}=0.3$ και το όριο για να απελευθερωθεί μια

δυναμική συχνότητα είναι $Pr_{nmin}=0.13$. Τα αντίστοιχα όρια για τις κλήσεις μεταγωγής είναι για να καταχωρηθεί μια συχνότητα $Pr_{hmax}=\quad$ και για να απελευθερωθεί μια συχνότητα $Pr_{hmin}=\quad$. Τέλος ο μέγιστος αριθμός συχνοτήτων που μπορούν να καταχωρηθούν σ' ένα κύτταρο κάθε χρονική στιγμή για τις νέες κλήσεις είναι $F_{nmax}=6$ και για τις κλήσεις μεταγωγής είναι $F_{hmax}=3$.

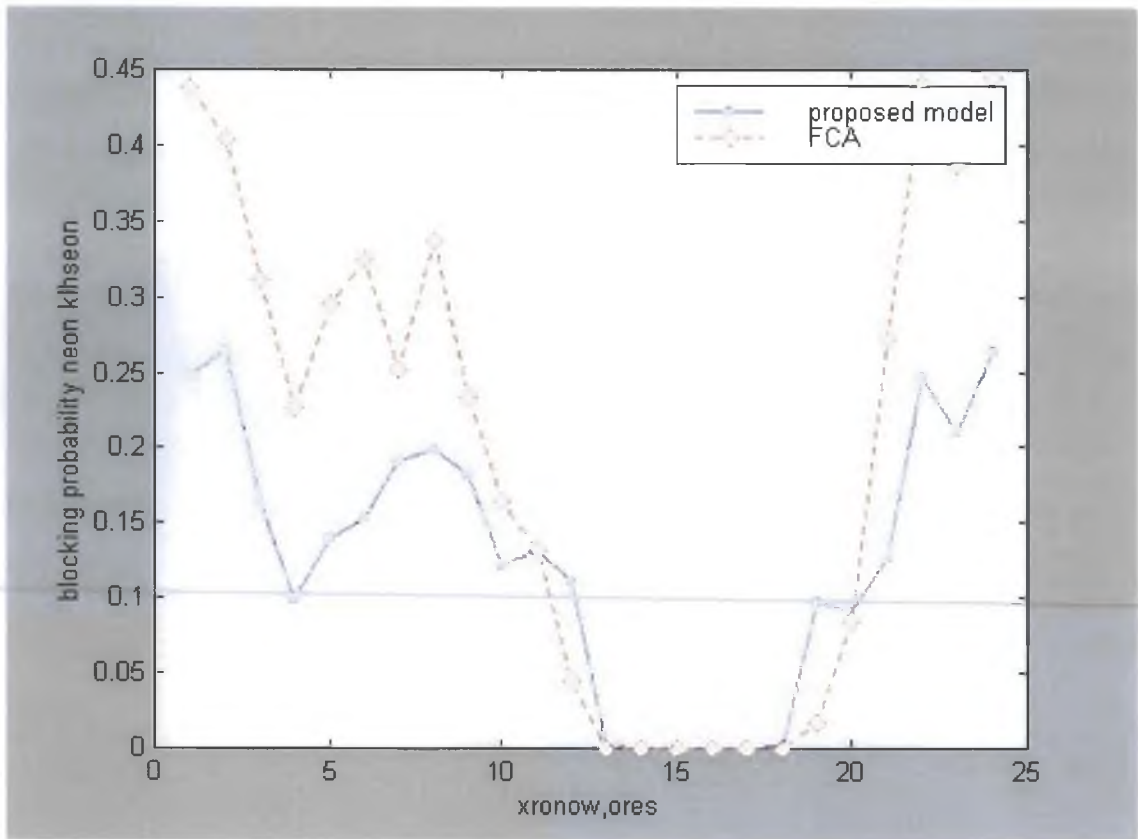
Παρακάτω εξετάζουμε για κάθε cluster την πιθανότητα μπλοκαρίσματος και τον αριθμό των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων κάθε χρονική στιγμή του προτεινόμενου μοντέλου σε σχέση με το fixed μοντέλο. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται γραφικά και αναλύονται.

1^ο Cluster

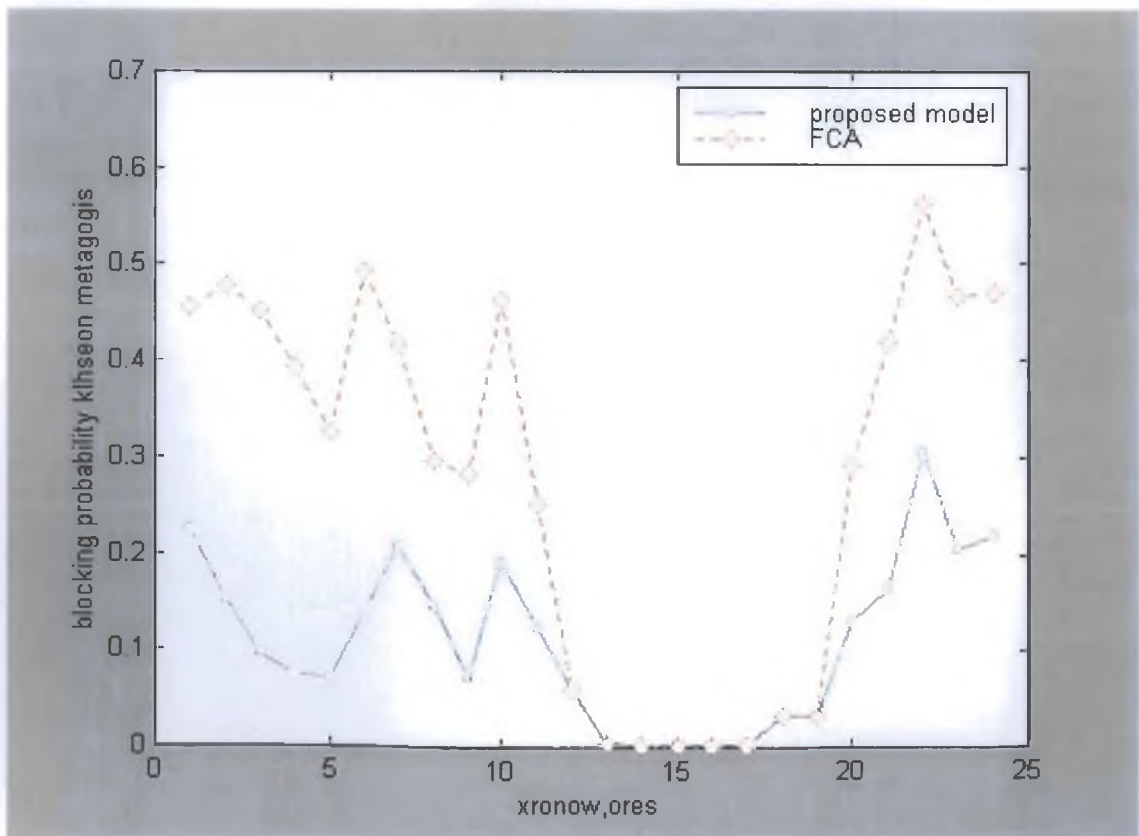
Η γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του προτεινόμενου αλγόριθμου για το πρώτο cluster όσον αφορά τις συνολικά ενεργοποιούμενες συχνότητες, τις ενεργοποιούμενες συχνότητες για τις νέες κλήσεις και για τις κλήσεις μεταγωγής και την πιθανότητα μπλοκαρίσματος για τις νέες κλήσεις και για τις κλήσεις μεταγωγής φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.3



Σχήμα 4.4



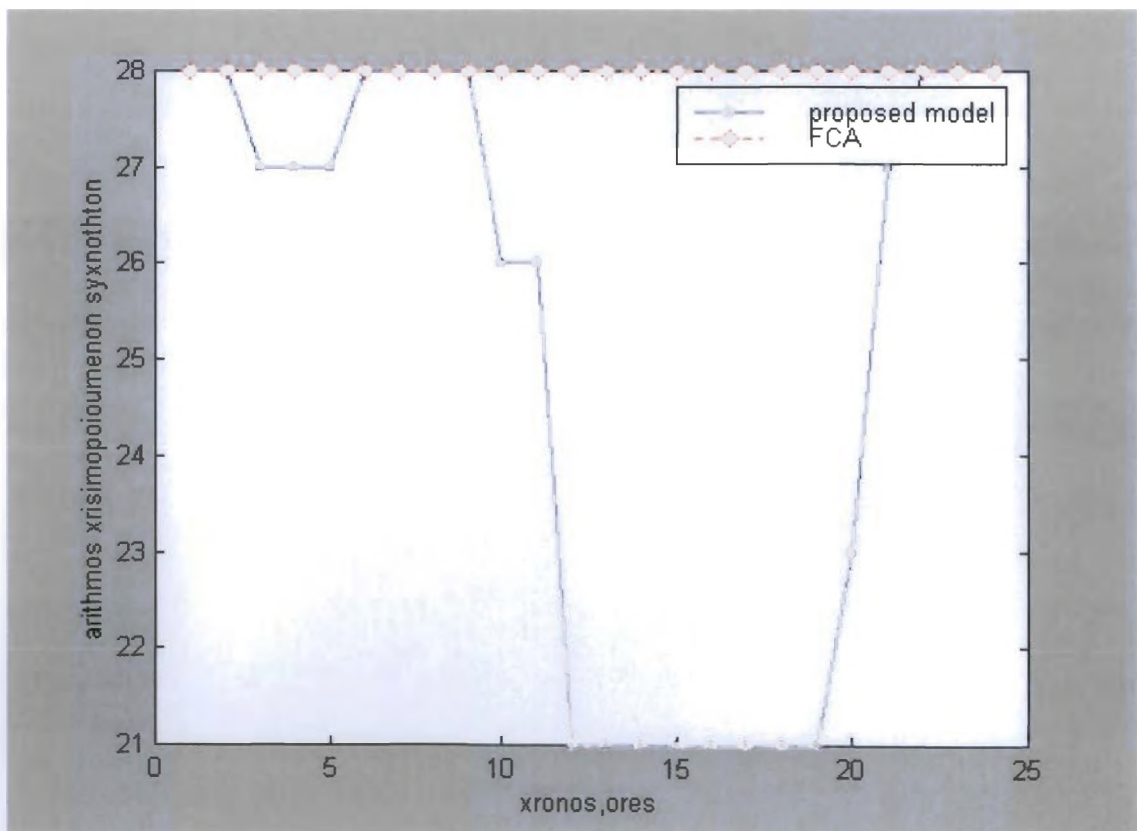
Σχήμα 4.5

Όπως βλέπουμε από τα παραπάνω σχήματα χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη τεχνική η βελτίωση στην πιθανότητα μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων φτάνει μέχρι και 75,6% και στην κλήσεων μεταγωγής μέχρι και 72%. Αντίστοιχα η μείωση του συνολικού αριθμού των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων φτάνει μέχρι και 25%.

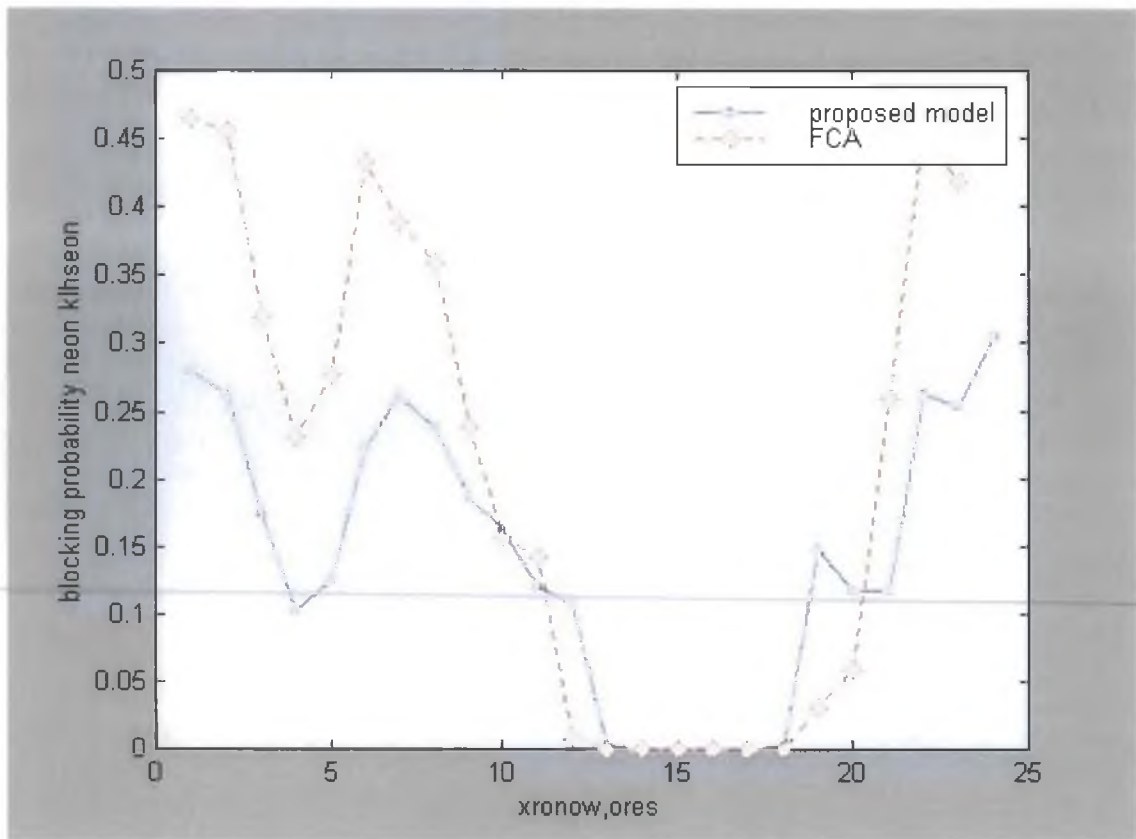
2^ο Cluster

Όπως και στο πρώτο cluster έτσι και εδώ παραθέτουμε τις κατανομές των φορτίων κίνησης για τις νέες κλήσεις και για τις κλήσεις μεταγωγής οι οποίες φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.

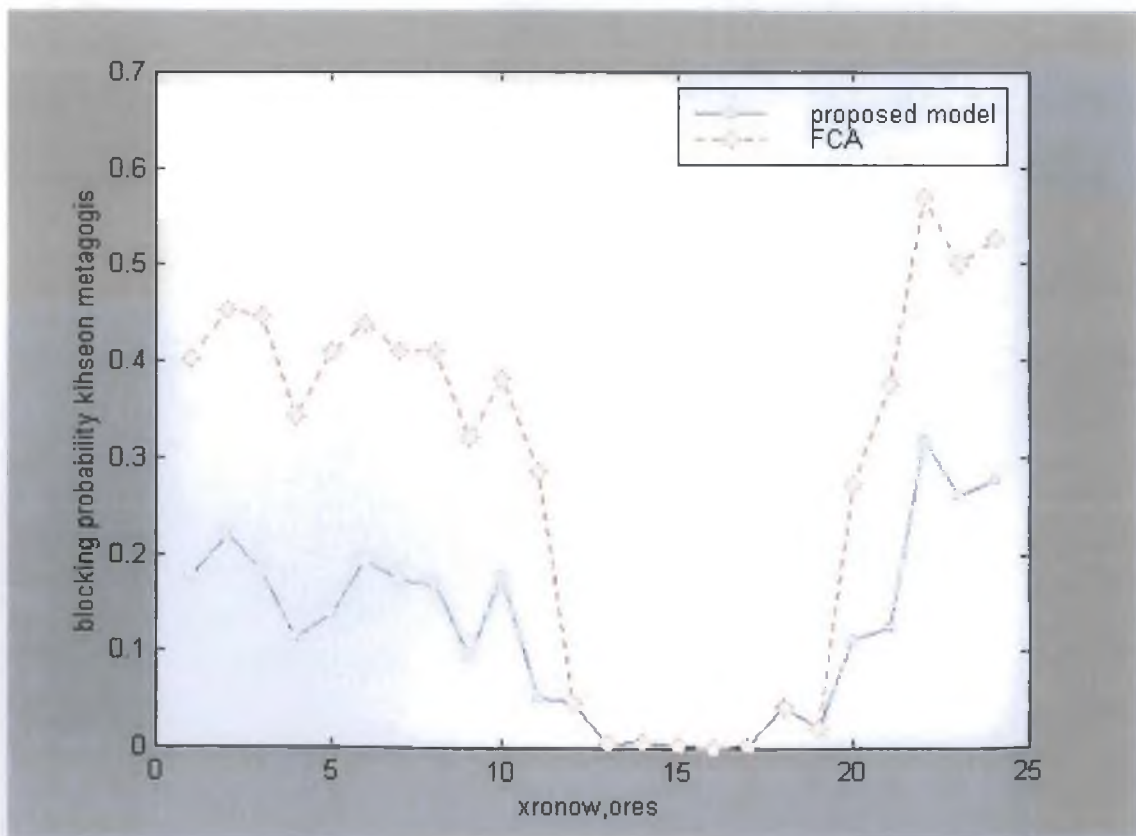
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το δεύτερο cluster μας έδωσαν τις παρακάτω γραφικές παραστάσεις για τον αριθμό των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων και για την πιθανότητα μπλοκαρίσματος κάθε χρονική στιγμή.



Σχήμα 4.6



Σχήμα 4.7



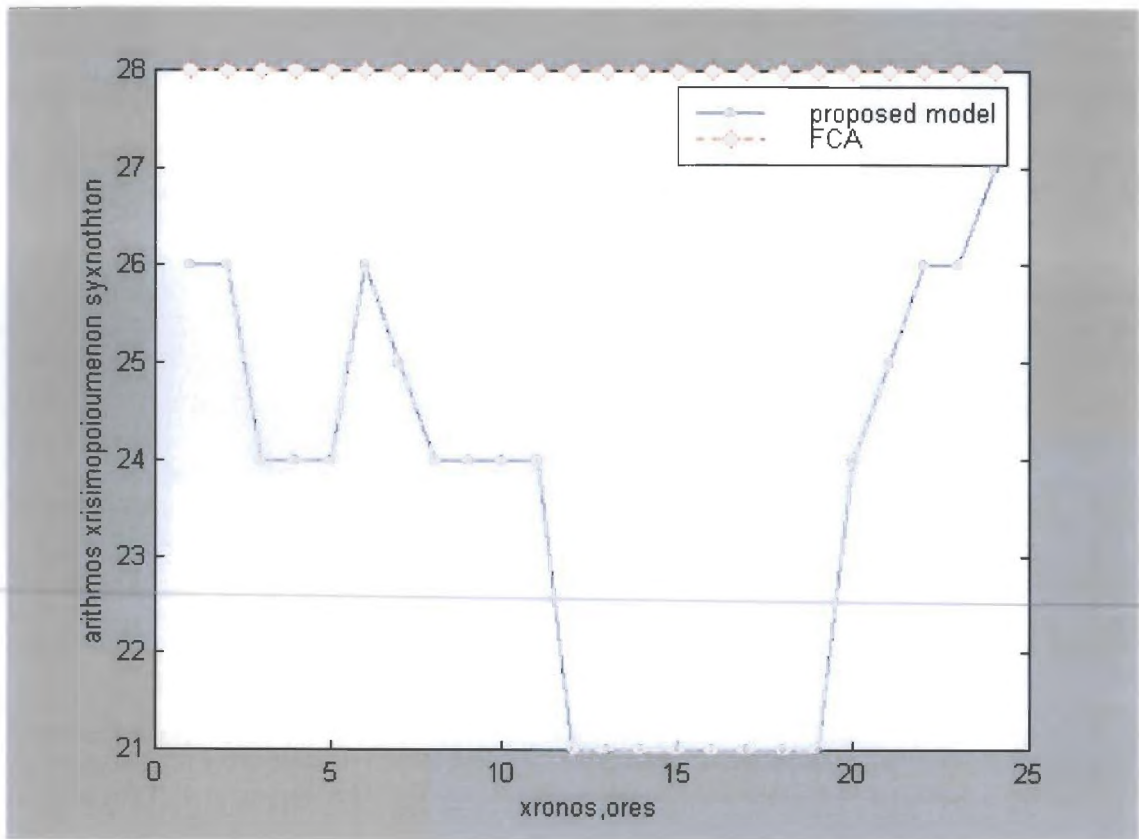
Σχήμα 4.8

Παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα βλέπουμε ότι όσον αφορά τον αριθμό των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων υπάρχει μια μείωση η οποία ποικίλει από 3,57% σε ώρες με μεγάλη επικοινωνιακή κίνηση ως και 25% σε ώρες με μικρή κίνηση. Για την πιθανότητα μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων παρατηρείται μια μείωση από 22,76% μέχρι 54,5% εκτός από μερικές χρονικές στιγμές που υπάρχει μια μικρή αύξηση από 1% ως 3,2%, γεγονός που δεν μας επηρεάζει γιατί και πάλι η πιθανότητα μπλοκαρίσματος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Για τις κλήσεις μεταγωγής παρατηρείται μια μείωση στην πιθανότητα μπλοκαρίσματος από 44,32% ως και 81,75%, εκτός από τις χρονικές στιγμές που δεν ενεργοποιείται καμία δυναμική συχνότητα και όλα τα κύτταρα και στο fixed και στο προτεινόμενο μοντέλο έχουν τις ίδιες συχνότητες, δηλαδή μία.

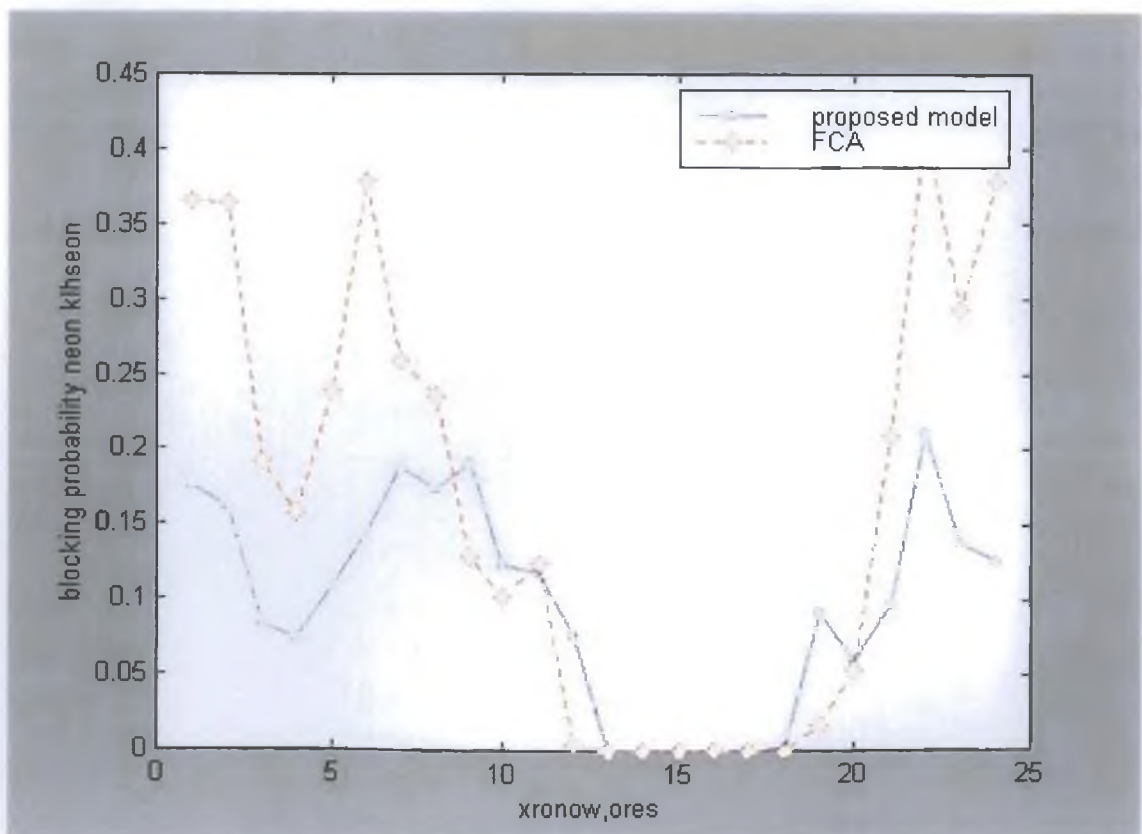
3^ο Cluster

Όπως και στα προηγούμενα έτσι και εδώ παραθέτουμε τις κατανομές των φορτίων για τις νέες κλήσεις και για τις κλήσεις και για τις κλήσεις μεταγωγής.

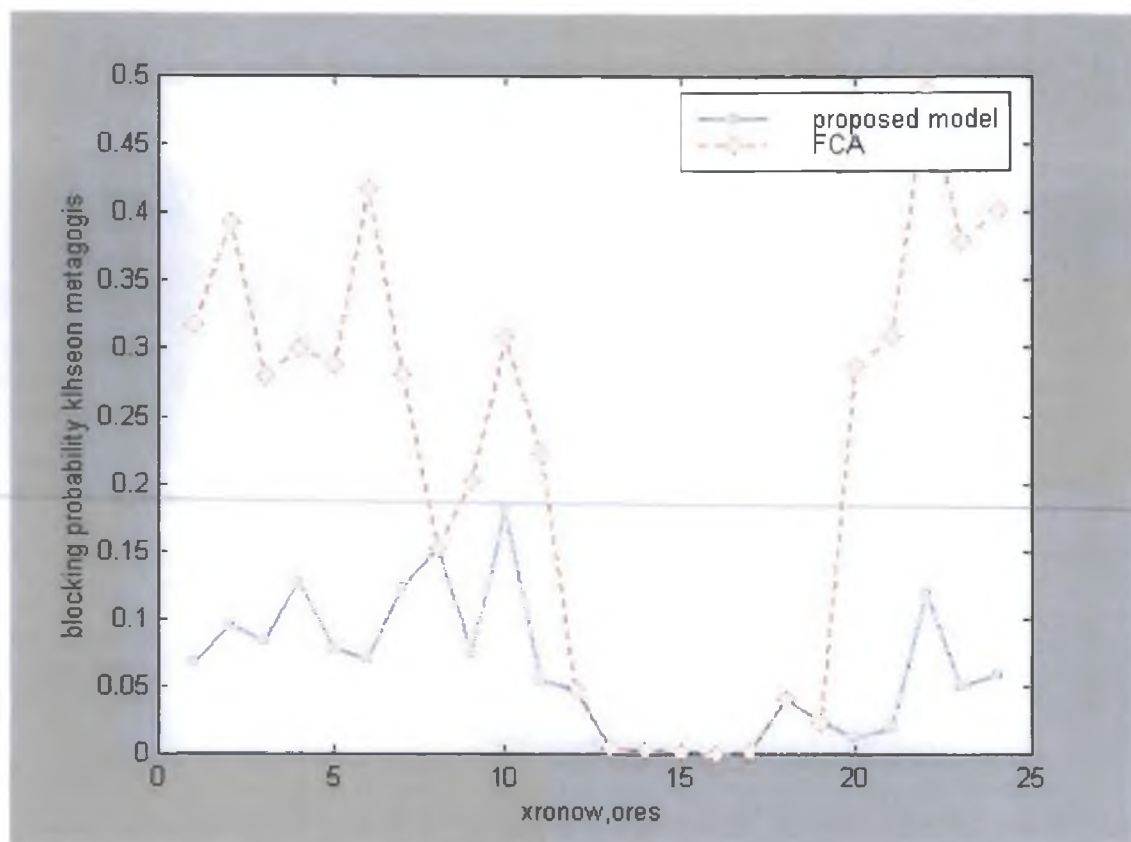
Οι γραφικές αναπαραστάσεις για τον αριθμό των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων και για τις πιθανότητες μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων και των κλήσεων μεταγωγής κάθε χρονική στιγμή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.9



Σχήμα 4.10



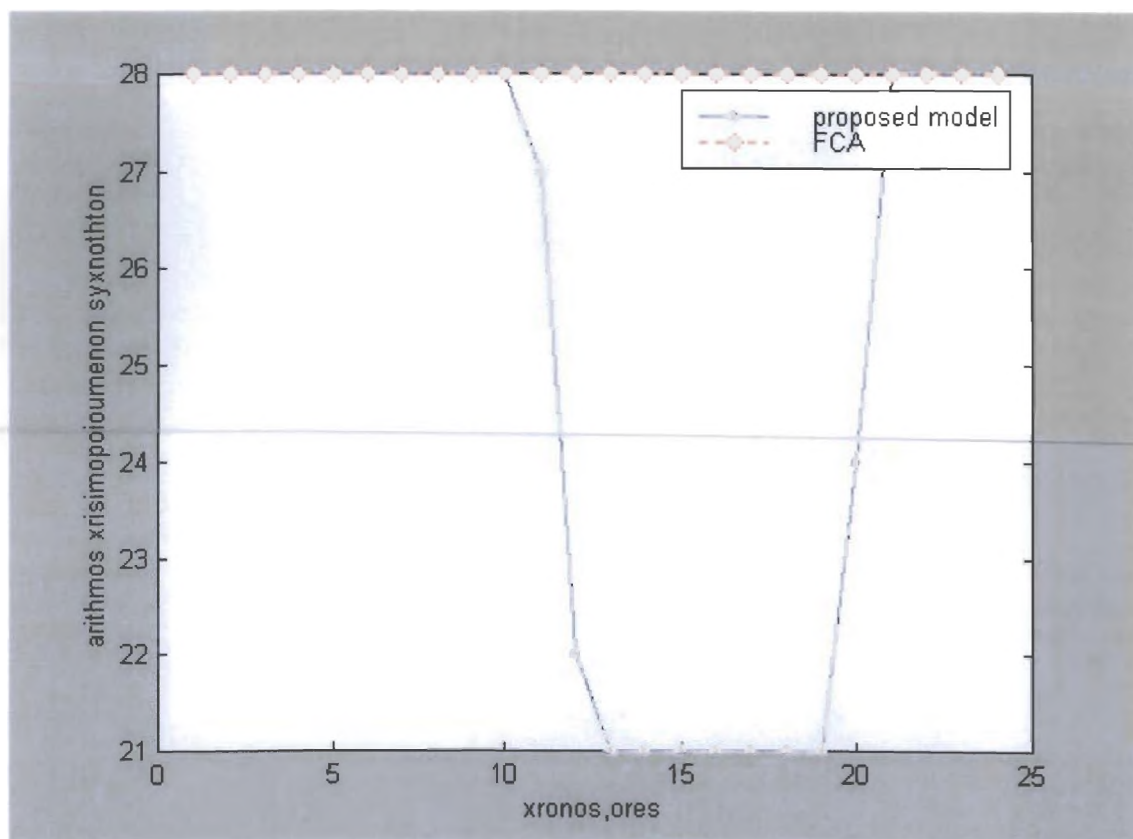
Σχήμα 4.11

Όπως φαίνεται από τις γραφικές το χαρακτηριστικό σ' αυτό το cluster είναι ότι καμια χρονική στιγμή δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν όλες οι συχνότητες στο προτεινόμενο μοντέλο, δηλαδή και οι 28. Η μείωση που παρατηρείται είναι πάλι της τάξης του 3,57% σε ώρες με μεγάλη κίνηση ως και 25% σε ώρες με μικρή κίνηση. Όσον αφορά την πιθανότητα μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων παρατηρείται μια μείωση μέχρι και 66,6%. Μερικές στιγμές βέβαια έχουμε αυξήσεις που ναι μεν φτάνουν σε επίπεδα του 53% αλλά η τιμή της πιθανότητας μπλοκαρίσματος παραμένει πολύ μικρή. Στην πιθανότητα μπλοκαρίσματος των κλήσεων μεταγωγής παρατήρουνται μεγάλες μειώσεις τις περισσότερες χρονικές στιγμές που φτάνουν μέχρι και 89,45% εκτός από κάποιες στιγμές που το φορτίο κίνησης είναι πολύ μικρό.

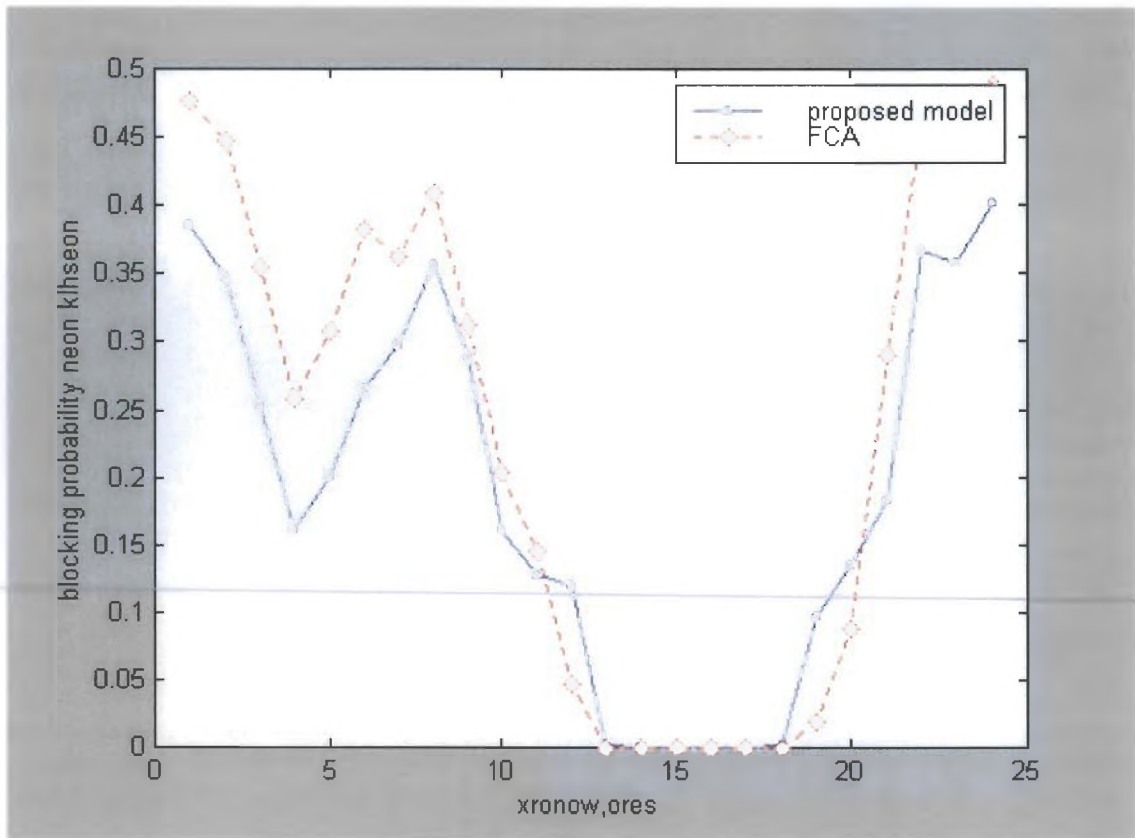
4^ο Cluster

Παρακάτω βλέπουμε τις γραφικές παραστάσεις που μας έδωσαν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τον αριθμό των ενεργοποιούμενων

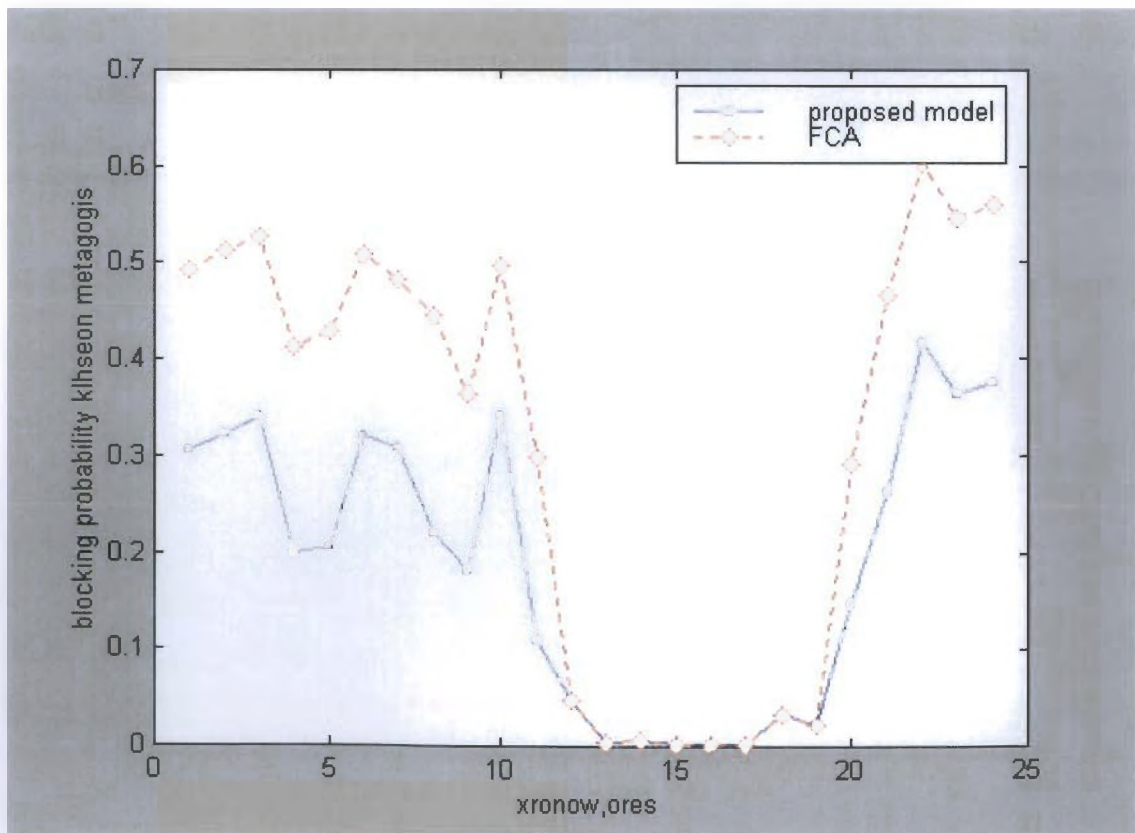
συχνοτήτων και για τις πιθανότητες μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων και των κλήσεων μεταγωγής.



Σχήμα 4.12



Σχήμα 4.13

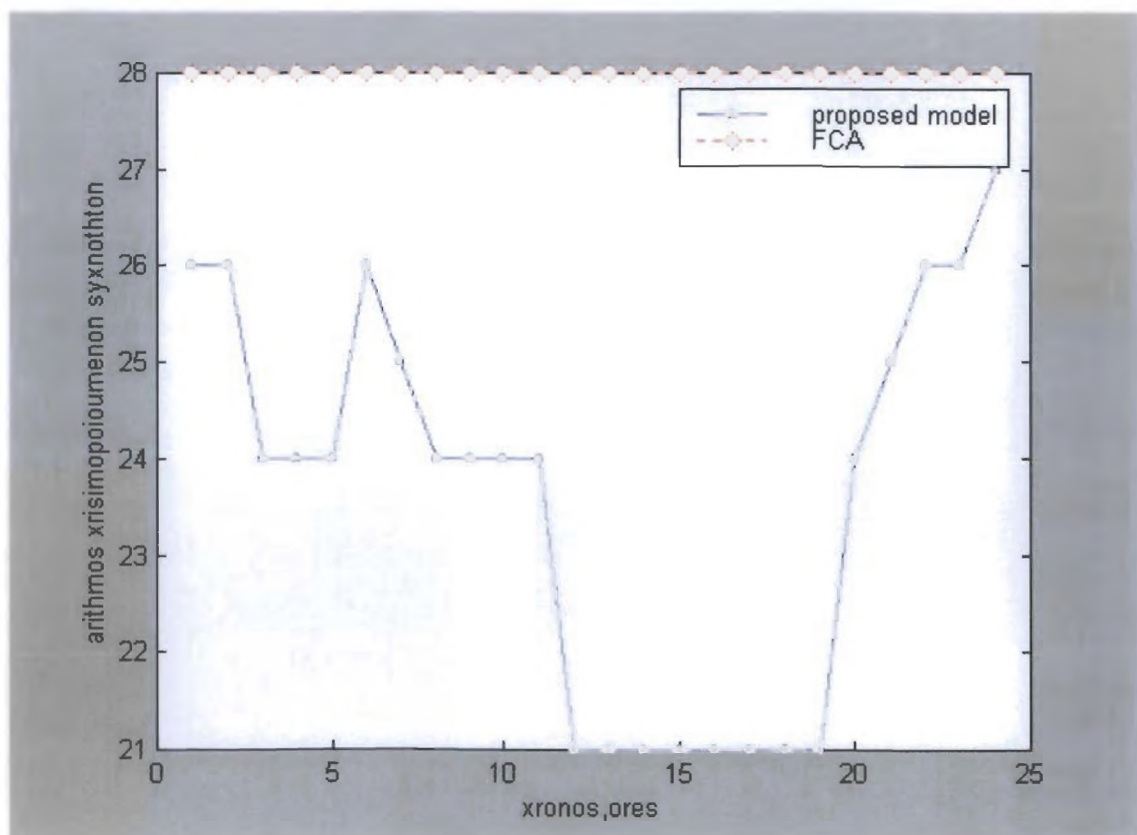


Σχήμα 4.14

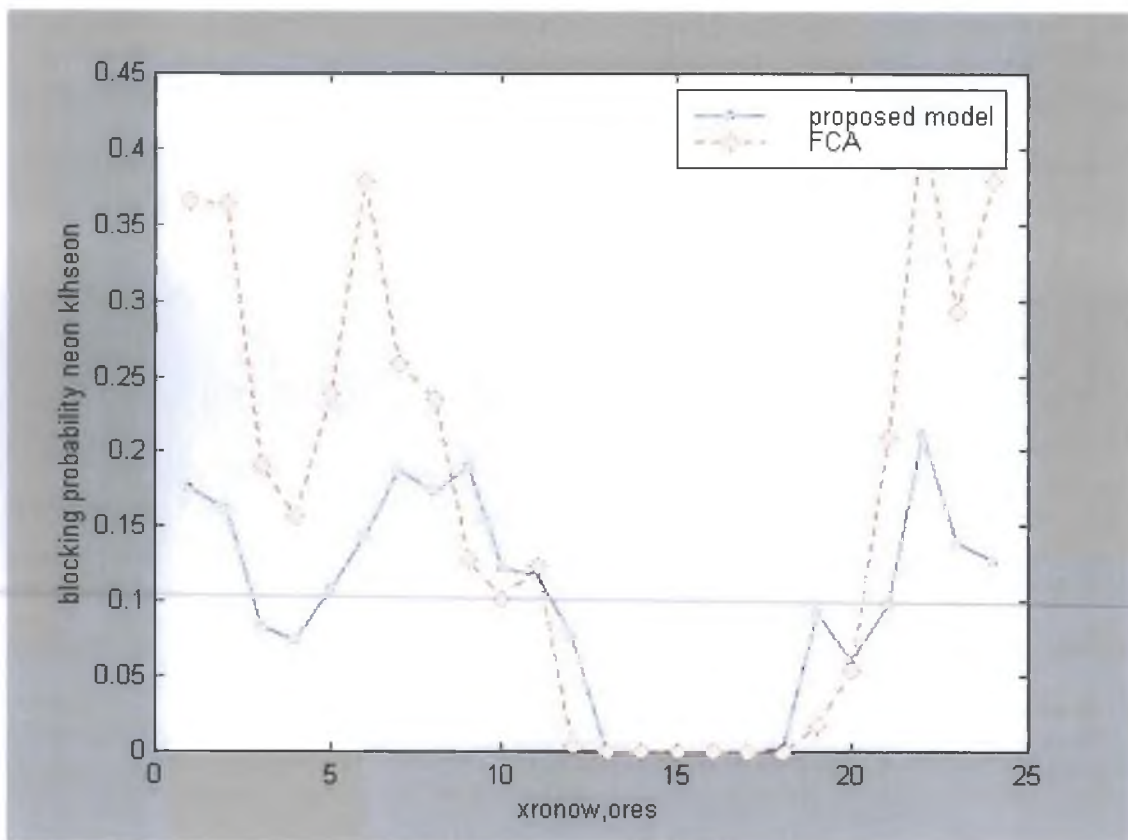
Παρατηρώντας αυτές τις γραφικές βλέπουμε ότι για τη μείωση του αριθμού των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων ισχύει ότι και στα προηγούμενα clusters. Για την πιθανότητα μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων παρατηρούνται μειώσεις από 7,12% ως και 36,6%, οι οποίες είναι μικρότερες από τα προηγούμενα clusters πράγμα το οποίο οφείλεται στο στην αύξηση του φορτίου κίνησης. Το ίδιο ισχύει και τις κλήσεις μεταγωγής που παρατηρούνται μειώσεις στην πιθανότητα μπλοκαρίσματος από 33,42% μέχρι και 63,42%.

5^ο Cluster

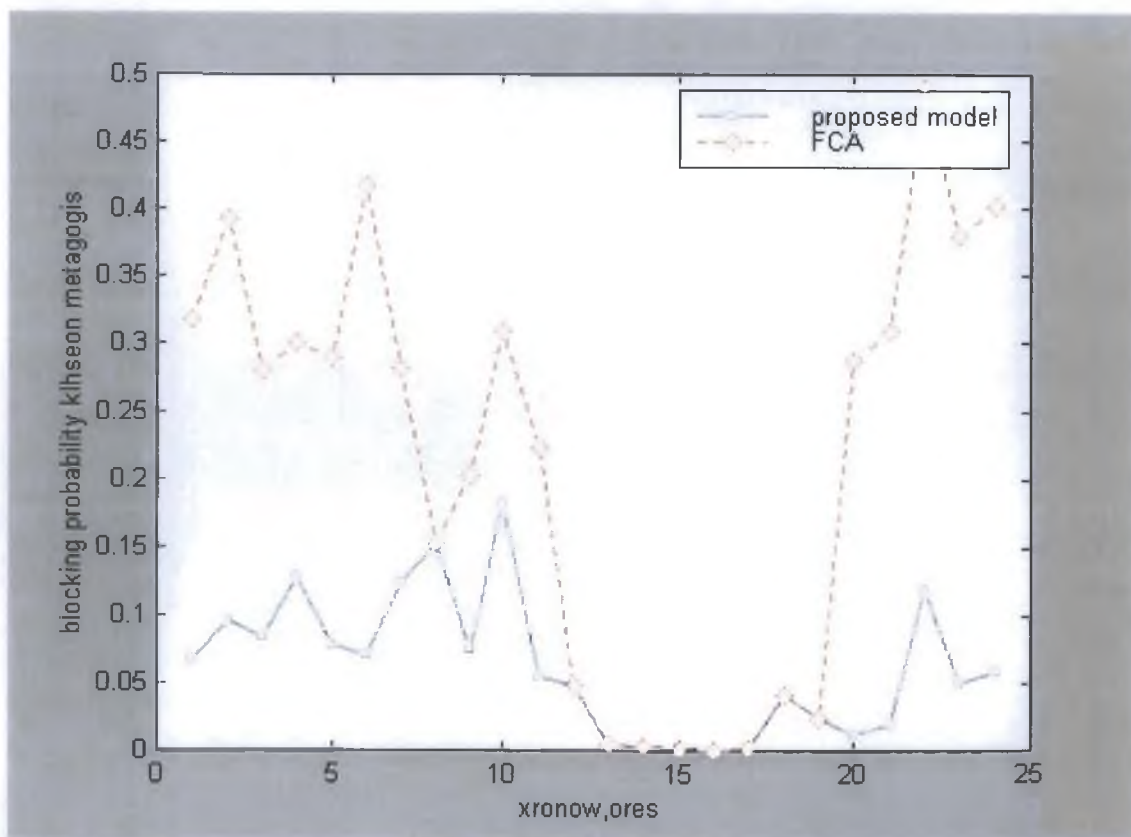
Παρακάτω βλέπουμε τις γραφικές παραστάσεις που μας έδωσαν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τον αριθμό των ενεργοποιούμενων συχνοτήτων και για τις πιθανότητες μπλοκαρίσματος των νέων κλήσεων και των κλήσεων μεταγωγής του πέμπτου cluster.



Σχήμα 4.15



Σχήμα 4.16



Σχήμα 4.17

Όπως βλέπουμε το φορτίο κίνησης αυτού του cluster είναι ίδιο με το φορτίο του τρίτου cluster. Οπότε τα συμπεράσματα είναι τα ίδια με αυτά του τρίτου cluster.

4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του προτεινόμενου αλγόριθμου για τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς. Εφαρμόζοντας αυτή την τεχνική για τα κυτταρικά συστήματα επιτυγχάνουμε καλύτερη απόδοση και βελτίωση της συνολικής πιθανότητας μπλοκαρίσματος από την τεχνική FCA κάτω από συνθήκες μεγάλης επικοινωνιακής κίνησης . Επίσης επιτυγχάνουμε μία μειωμένη πολυπλοκότητα του συστήματος κάτω από μικρή επικοινωνιακή κίνηση και μια πιο αποδοτική χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κωτσόπουλος Στ. και Καραγιαννίδης Γ.: 'Κινητή Τηλεφωνία', Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1997
2. Κωτσόπουλος Στ.: Σημειώσεις για το μάθημα 'Δορυφορικές και Κινητές Επικοινωνίες', 1999-2000
3. William C Jakes. 'Microwave Mobile Communications' IEEE Press
4. Theodore S. Rappaport: 'Wireless Communications-Principles and Practice', Prentice Hall, PTR, 1996
5. R. Beck and H. Panzer 'Strategies for Handover and Dynamic Channel Allocation in Micro-Cellular Mobile Radio Telephone Systems' IEEE VTC, 1989
6. D. C. Cox and D. O. Reudink ' Dynamic Channel Assignment in High-Capacity Mobile Communications Systems' The Bell System Technical Journal , 1971
7. W. C. Y. Lee 'Mobile Cellular Communication Systems' 1989

Σημείωση: Οι γραφικές παραστάσεις στο κεφάλαιο 4 έχουν προέλθει από την βιβλιογραφία του Theodore S. Rappaport με τίτλο 'Wireless Communications-Principles and Practice'.