

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ ΜΕΓΙΣΣΟΠΟΛΙΟΥ



ΤΕΛΕΙΟΛΟΓΗΘΗ
ΣΧΟΛΙΚΟΙ
J.J. Εμπόσιου 343

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Κινητή Τηλεφωνία 2ης Γενιάς
Εισηγητής: Δρ. Λορέντος Δρόσος

Γιαβρούτα Ιωάννα ΑΜ: 10096
Καραμάνου Θεοδώρα ΑΜ: 8715

Περιεχόμενα

| | |
|------------------|---|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 4 |
|------------------|---|

| | |
|--|---|
| ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ | 4 |
|--|---|

| | |
|--|----|
| 1.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 4 |
| 1.2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ | 4 |
| 1.3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ..... | 7 |
| 1.4: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ..... | 9 |
| 1.5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GSM..... | 10 |
| 1.6.1.1.1 : Η ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟ-ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΙ Η ΕΞΥΠΝΗ ΚΑΡΤΑ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ..... | 16 |
| Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η βασική δομή ενός κινητού σταθμού GSM : | 16 |
| 1.6.1.1.2: Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΑΣΗΣ..... | 17 |
| 1.6.1.1.3: ΤΟ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ..... | 18 |
| 1.6.1.1: ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ..... | 19 |
| 1.6.1.2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 20 |
| 1.6.1.3: ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ..... | 22 |

| | |
|-----------------|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2..... | 24 |
|-----------------|----|

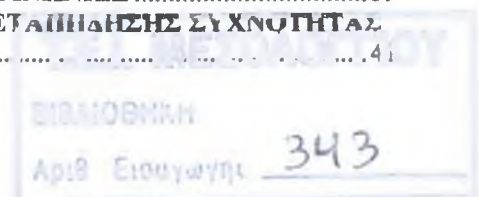
| | |
|---|----|
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ..... | 24 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 2.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 24 |
| 2.2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ..... | 25 |
| 2.2.1 : ΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΙΝΗΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΤΟΥ ΙΔΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 25 |
| 2.2.2 : ΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΙΝΗΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΟΥ ΑΝΗΚΟΥΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ | 26 |
| 2.2.3 : ΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ..... | 27 |
| 2.3: ΑΡΧΙΚΗ ΕΓΓΡΑΦΗ ΚΙΝΗΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ | 28 |
| 2.4: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΚΥΤΤΑΡΟ ΣΕ ΚΥΤΤΑΡΟ-ΜΕΤΑΓΩΓΗ | 29 |
| 2.4.1: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ | 30 |
| 2.4.2: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΜΕΤΑΓΩΓΩΝ..... | 31 |
| 2.4.3: ΠΕΡΙΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ..... | 32 |

| | |
|-----------------|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3..... | 37 |
|-----------------|----|

| | |
|--|----|
| ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ..... | 37 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.5: ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 37 |
| 3.2: ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ..... | 37 |
| 3.3: Η ΔΙΑΧΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ | 39 |
| 3.4: ΘΕΜΕΛΕΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ..... | 41 |



| | |
|---|----|
| 3.5: ΨΕΥΔΟΥΧΑΙΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ | 44 |
| 3.5.1: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΕΥΔΟΥΧΑΙΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ | 45 |
| 3.5.1.1: ΟΙ ΑΣΑΦΕΙΣ ΚΑΝΟΝΕΣ | 51 |
| 3.5.1.2: Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ | 52 |
| 3.5.1.3: ΤΟ ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΝΟΛΟ ΕΞΟΔΟΥ | 53 |
| 3.5.1.4: Η ΑΠΟΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ | 54 |
| 3.5.1.5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ | 57 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....59

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ Σ/Δ.....59

| | |
|---|----|
| 4.1: Η ΡΑΔΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ | 59 |
| 4.2: ΕΝΔΟΚΑΝΑΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ | 60 |
| 4.3: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ | 61 |
| 4.4: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΝΔΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ | 61 |
| 4.5: ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ | 62 |
| 4.6: Η ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ | 64 |
| 4.7: Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 65 |
| 4.8: ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ | 66 |
| 4.9: Η ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΑΠΟ ΕΝΑ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ | 67 |
| 4.9.1: ΑΤΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ | 67 |
| 4.9.2: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ | 69 |
| 4.9.3: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΙΣΧΥΟΣ | 70 |
| 4.9.4: LEIGH ΑΠΟΣΒΕΣΗ: RAY | 71 |
| 4.9.5: ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ ΡΑΔΙΟΣΚΙΩΝ | 71 |
| 4.9.6: ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΙΣΧΥΟΣ | 72 |
| 4.9.7: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΓΚΑΟΥΣΙΑΝΩΝ ΤΥΧΑΙΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ | 74 |
| 4.9.8: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ | 74 |
| 4.9.9: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΘΕΩΡΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΟΡΙΟΥ | 74 |
| 4.9.10: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ RAYLEIGH | 75 |
| 4.10: ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΑΠΟ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΚΥΤΤΑΡΑ | 75 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....77

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....77

| | |
|--|----|
| 5.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 77 |
| 5.2: ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ | 78 |
| 5.3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ | 78 |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

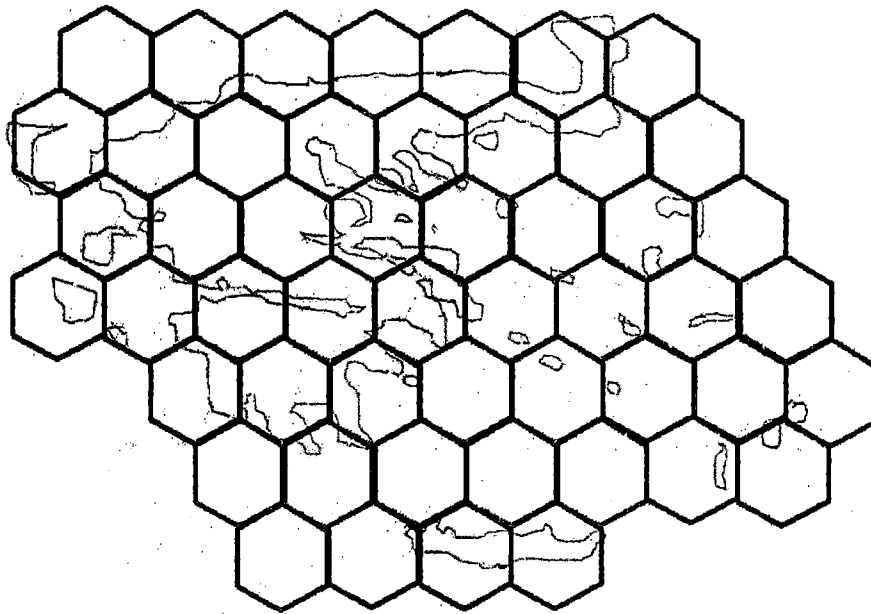
1.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι ορισμοί και οι θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τα κυτταρικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Περιγράφεται η κυτταρική ιδέα για την ραδιοκάλυψη συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών και πραγματοποιείται διερεύνηση των βασικών στοιχείων της (π.χ. επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, κυτταρική διάσπαση σε περιπτώσεις αυξημένου επικοινωνιακού φορτίου, κ.λ.π.). Γίνεται εκτενής αναφορά σε συστήματα κινητής τηλεφωνίας πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς και συγκρίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους.

1.2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Η βασική ιδέα πάνω στην οποία βασίστηκε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των κυτταρικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας είναι η νοητή τεμαχιοποίηση της γεωγραφικής περιοχής που θέλουμε να καλύψουμε ηλεκτρομαγνητικά σε μικρές ζώνες ή τμήματα που ονομάζονται κύτταρα. Κάθε κύτταρο χρησιμοποιεί τις δικές του συχνότητες τις οποίες και αναθέτει στους συνδρομητές που κινούνται εντός της γεωγραφικής περιοχής του. Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι οι συνολικές διαθέσιμες συχνότητες του φορέα της υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας κατανέμονται μεταξύ των κυττάρων κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να δημιουργηθούν συμπαγείς ομάδες κυττάρων που χρησιμοποιούν τον ίδιο κατάλογο συχνοτήτων. Οι συμπαγείς αυτές ομάδες χαρακτηρίζονται ως υπερκύτταρα (clusters) και μας παρέχουν την δυνατότητα να καλύψουμε με το διαθέσιμο περιορισμένο ράδιο-φάσμα μία μεγάλη γεωγραφική περιοχή (π.χ. όλη την Ελλάδα) χρησιμοποιώντας ως κύρια τεχνική την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων σε διάφορα τμήματα της περιοχής. Ο σχεδιασμός των υπερκυττάρων απαιτεί υπολογισμό της επιφάνειας του κάθε κυττάρου καθώς και του αριθμού των κυττάρων που θα σχηματίζουν ένα υπερκύτταρο. Στο σημείο αυτό οι σχεδιαστές των κυτταρικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας έρχονται αντιμέτωποι με δύο μεγάλα και αντικρουόμενα ζητήματα, την ανάγκη για αποφυγή της συγκαταλικής παρεμβολής (στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται εκτενώς η παρεμβολή αυτή) έτσι ώστε η επικοινωνία των συνδρομητών να κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα ποιότητας και την ανάγκη για βέλτιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου ράδιο-φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, εάν αυξήσουμε το μέγεθος των κυττάρων και παράλληλα διατηρήσουμε σταθερό τον αριθμό τους, θα έχουμε δώσει μία σημαντική λύση στο πρόβλημα της συγκαταλικής παρεμβολής αλλά η αποδοτικότητα του φάσματος θα μειωθεί δεδομένου ότι οι ίδιες συχνότητες θα πρέπει να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερο αριθμό συνδρομητών. Όπως γίνεται αντιληπτό, στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε σημαντική αύξηση της πιθανότητας μία κινητή μονάδα που έχει συμβληθεί με το υπάρχον σύστημα κινητής τηλεφωνίας να μην μπορέσει να βρει ελεύθερο ράδιο-διάυλο για την πραγματοποίηση κλήσης. Από την άλλη πλευρά, εάν αυξήσουμε τον αριθμό των κυττάρων και διατηρήσουμε την έκταση τους οδηγούμαστε πάλι στο ίδιο αδιέξοδο που βρεθήκαμε και προηγουμένως, λαμβάνοντας υπόψη ότι τώρα μειώνονται οι συχνότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα κύτταρο και κατά συνέπεια υποβαθμίζεται η ικανότητα του να εξυπηρετήσει μεγάλο επικοινωνιακό φορτίο. Είναι προφανές ότι πρέπει να γίνει συμβιβασμός στις απαιτήσεις για χαμηλή συγκαταλική παρεμβολή και υψηλή απόδοση του φάσματος και παράλληλα να υιοθετηθούν τεχνικές από τους

μηχανικούς-σχεδιαστές που θα οδηγήσουν σε περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων (π.χ. μετάδοση DTX, υλοποίηση της μεταπήδησης συχνότητας).



Σχήμα 1.1 : Κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής ή χώρας με σύστημα κυψελών. Στο ίδιο σχέδιο το μέγεθος των κυψελών σχεδιάστηκε πολύ μεγαλύτερο από την πραγματικότητα για να σχηματισθεί η εικόνα της κάλυψης με τον τρόπο αυτό.

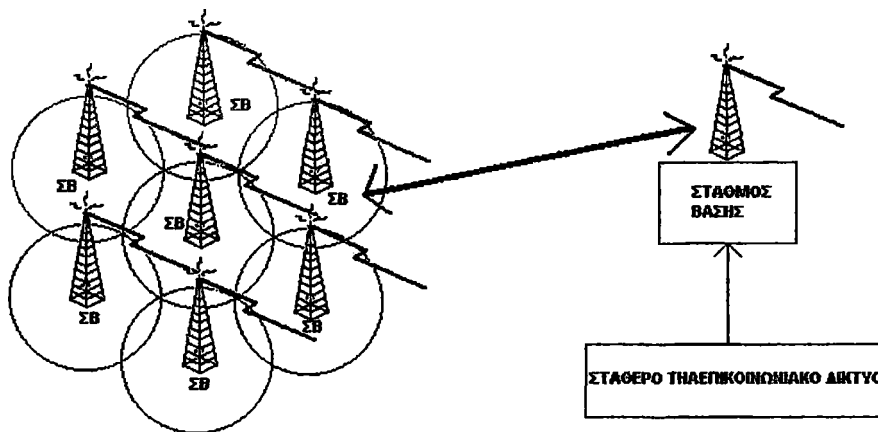
Η ανομοιογένεια που παρουσιάζει το επικοινωνιακό φορτίο κατά μήκος μιας γεωγραφικής περιοχής καθιστά μη αποδοτική την χρησιμοποίηση κυττάρων σταθερής επιφάνειας. Στην πραγματικότητα, ανάλογα με το είδος της περιοχής που θέλουμε να καλύψουμε (εσωτερικό κτιρίων, πόλη, υπαίθριος χώρος, προάσιο, εξοχική περιοχή, επίπεδη ανοικτή επιφάνεια χωρίς εμπόδια) χρησιμοποιούμε τα κύτταρα με την κατάλληλη έκταση. Επίσης το επικοινωνιακό φορτίο παρουσιάζει αυξομειώσεις μέσα στην ίδια περιοχή στην διάρκεια ενός 24ώρου. Για να αντιμετωπίσουμε μία σημαντική αύξηση του φορτίου επιστρατεύεται η τεχνική της κυτταρικής διάσπασης που μαζί με την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων αποτελούν τις δύο θεμελιώδεις έννοιες της κυτταρικής ιδέας. Πιο συγκεκριμένα, τα κύτταρα μίας δομής διασπώνται στο επόμενο επίπεδο που αποτελείται από μικρότερα κύτταρα (μισής επιφάνειας) με το ίδιο όμως πλήθος καναλιών σε κάθε μικρό κύτταρο όπως και το αρχικό. Το κάθε μικρό κύτταρο έχει την δυνατότητα να εξυπηρετήσει το ίδιο πλήθος συνδρομητών που εξυπηρετούνται από το αρχικό μεγάλο κύτταρο χωρίς να υπάρχει ανάγκη επαύξησης του διατιθέμενου φάσματος. Ωστόσο για την μείωση της εμβέλειας απαιτείται ελάττωση της ισχύος εκπομπής της κεραίας ενώ παράλληλα για την κάλυψη της περιοχής χρειάζεται να εγκατασταθούν περισσότεροι σταθμοί βάσης. Καθώς τα μικρά κύτταρα με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της περιοχής φθάνουν και αυτά με την σειρά τους σε επίπεδα κόρου, είναι δυνατόν να διαιρεθούν πάλι αν οικονομικοί και άλλοι τεχνικοί παράγοντες το επιτρέπουν.

Μετά από τον σχεδιασμό των υπερκυττάρων ακολουθεί ο καθορισμός της διάταξης που θα έχουν οι σταθμοί βάσης. Κάθε σταθμός βάσης αποτελείται από ένα σύνολο πομποδεκτών, κεραιών και είναι υπεύθυνος για την διεκπεραίωση του επικοινωνιακού φορτίου εντός της περιοχής που ελέγχει. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους τοποθετούνται οι σταθμοί βάσης σε ένα κυτταρικό πλέγμα, καθένας

στα οποία συνδέονται οι μονάδες ελέγχου. Τα κέντρα αυτά συνδέονται τόσο μεταξύ τους όσο και με το δημόσιο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο (PSTN) έτσι ώστε να είναι δυνατή η δρομολόγηση κλήσεων από κινητούς συνδρομητές σε σταθερούς και αντιστρόφως.

1.3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Ένα ερώτημα που προκύπτει είναι τι σχήμα πρέπει να έχουν τα κύτταρα σε ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Αν θεωρήσουμε ότι οι κεραίες που χρησιμοποιούνται έχουν παν-κατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας τότε η κανονική γεωμετρική τους μορφή θα πρέπει να είναι κυκλική. Δεδομένου της ομοιομορφίας των κυττάρων, όλοι οι πομποδέκτες των σταθμών βάσης εκπέμπουν τα σήματα με την ίδια ισχύ με αποτέλεσμα ολόκληρη η γεωγραφική περιοχή που εξυπηρετείται να καλύπτεται από ισομεταβαστικούς κύκλους. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η κυκλική κυτταρική κάλυψη μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Όπως παρατηρούμε η υιοθέτηση του κυκλικού σχήματος δεν είναι πρακτική από σχεδιαστικής πλευράς εξαιτίας της ύπαρξης επικαλυπτόμενων περιοχών. Για τον λόγο αυτό έχει απορριφθεί η χρησιμοποίηση κυκλικού σχήματος από τους σχεδιαστές των συστημάτων.

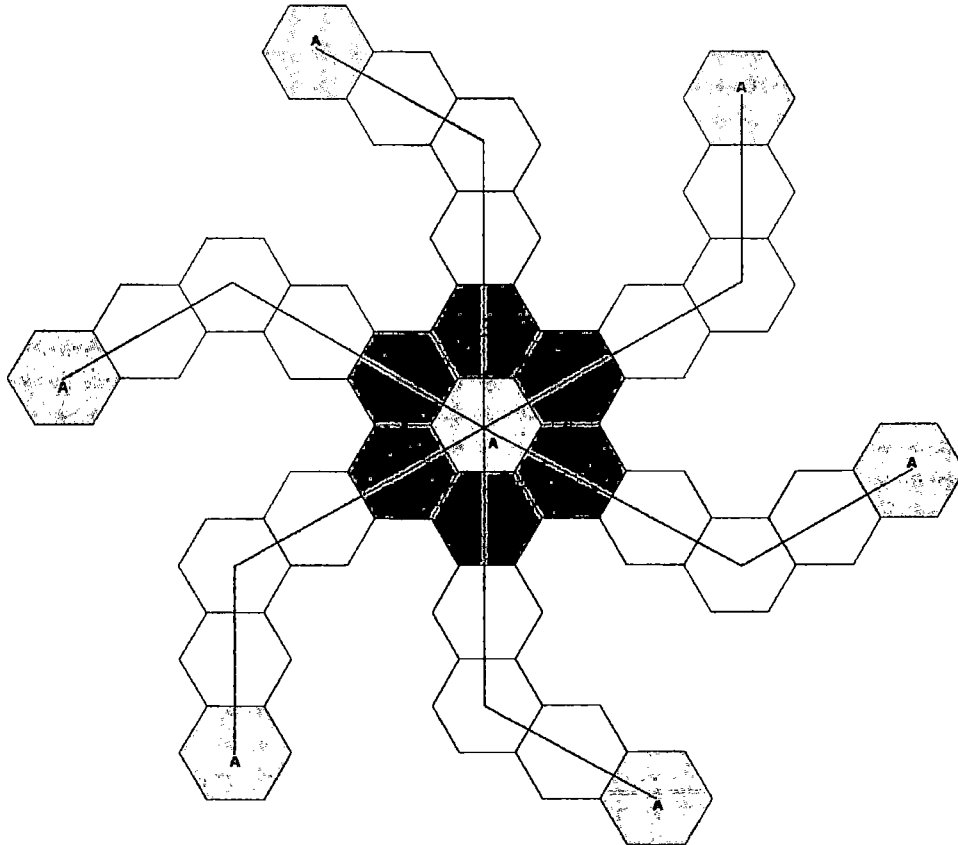


Σχήμα 1.3 : Κυκλική κυτταρική κάλυψη γεωγραφικής περιοχής.

Τα κανονικά πολύγωνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ραδιοκάλυψη μιας περιοχής και τα οποία προσεγγίζουν τον κύκλο, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα κενών και επικαλύψεων, είναι το ισόπλευρο τρίγωνο, το τετράγωνο και το κανονικό εξάγωνο. Το κανονικό πολύγωνο που επικράτησε από τους σχεδιαστές και μηχανικούς των συστημάτων αυτών είναι το κανονικό εξάγωνο αφού :

- Προσεγγίζει την επιφάνεια του κύκλου.
- Δεν εμφανίζει κενά και επικαλυπτόμενες περιοχές.
- Ο χρησιμοποιούμενος συνολικός αριθμός των σταθμών βάσης είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο στην περίπτωση της τετραγωνικής κυτταρικής κάλυψης και κατά πολύ μικρότερος από αυτόν της τριγωνικής κυτταρικής κάλυψης.

Λαμβάνοντας ως βάση εξαγωνική κυτταρική κάλυψη, το ζήτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι η καταχώρηση του συνόλου των συχνοτήτων λειτουργίας του συστήματος σε κάθε κύτταρο με τέτοιο τρόπο ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα από την συγκαναλική παρεμβολή. Με άλλα λόγια, η απόσταση δύο κυττάρων που χρησιμοποιούν τον ίδιο κατάλογο συχνοτήτων πρέπει να είναι ικανοποιητική. Η αλγοριθμική διαδικασία καταχώρησης των συχνοτήτων ξεκινά με την χρήση δύο προκαθορισμένων ακέραιων αριθμών οι οποίοι καλούνται παράμετροι μετατόπισης. Λαμβάνοντας υπόψη το κυτταρικό πλέγμα του σχήματος 1.4 παρατηρούμε ότι 6 αλυσίδες εξαγώνων εκκινούν από κάθε εξαγώνο σε διαφορετικές κατευθύνσεις.

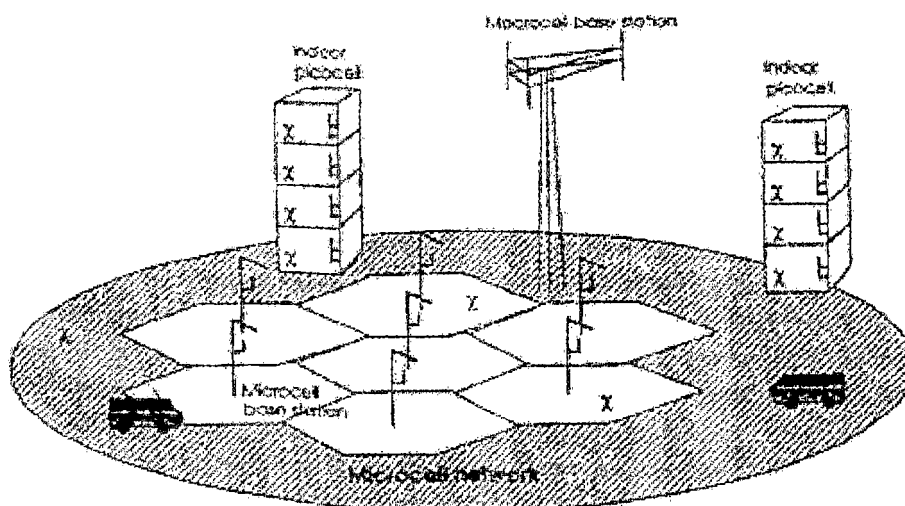


Σχήμα 1.4 : Διαδικασία προσδιορισμού των συγκαναλικών κυττάρων.

Αφού οριστεί το κύτταρο αναφοράς (A) προσδιορίζονται τα πλησιέστερα συγκαναλικά κύτταρα, τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιήσουν τα ίδια σύνολα συχνοτήτων. Ο προσδιορισμός αυτός επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο τρόπο: Μετακινούμαστε κατά i κύτταρα κατά μήκος οποιασδήποτε αλυσίδας εξαγώνων. Στο ιστό κύτταρο πραγματοποιούμε στροφή 60° με κατεύθυνση αντίθετη από την κίνηση των δεικτών του ωρολογίου. Μετακινούμαστε κατά κύτταρα κατά μήκος της νέας αλυσίδας εξαγώνων. Το κύτταρο είναι το ζητούμενο συγκαναλικό κύτταρο, δηλαδή το κύτταρο στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο σύνολο συχνοτήτων με το σύνολο συχνοτήτων του κυττάρου αναφοράς. Ο ίδιος τρόπος ακολουθείται για την ανεύρεση των υπολοίπων συγκαναλικών κυττάρων, λαμβάνοντας σαν αφετηρία άλλα κύτταρα αναφοράς μέχρις ότου καλυφθεί ολόκληρη η γεωγραφική περιοχή υπό επικοινωνιακή εξυπηρέτηση.

1.4: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Τα πρώτα συστήματα κινητής τηλεφωνίας ανήκαν στο χώρο της αναλογικής συμβατικής ασύρματης επικοινωνίας. Τα συστήματα αυτά ήταν απλής μορφής και δεν είχαν την δυνατότητα ελαχιστοποίησης των παρεμβολών, δυναμικής τροποποίησής τους σε περιπτώσεις σημαντικής αλλαγής του επικοινωνιακού φορτίου με παράλληλη μείωση της πιθανότητας ολικής κατάληψης ράδιο-διαύλων σε ώρες αιχμής. Στην περίπτωση αυτή υπήρχε μόνο ένας σταθμός βάσης στην υπό κάλυψη γεωγραφική περιοχή ο οποίος συνοδευόταν από διάφορους αναμεταδότες. Στη συνέχεια ακολούθησαν τα συστήματα πρώτης γενιάς, βασιζόμενα στην κυτταρική δομή που περιγράφηκε στα προηγούμενα υποκεφάλαια, τα οποία είχαν αναλογικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Ανάμεσα στα συστήματα αυτά ήταν το TACS και το AMPS. Για την υπηρεσία φωνής οι ρυθμοί μετάδοσης αυτών των συστημάτων έφτασαν τελικά τα 2.4 kbps. Ως αποτέλεσμα της αναβάθμισης της τεχνολογίας των συστημάτων της πρώτης γενιάς, άρχισαν να λειτουργούν τα κυτταρικά συστήματα δεύτερης γενιάς. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους, όπως είδαμε και προηγουμένως, είναι η ιεραρχική δομή, η δυναμική διαχείριση του ράδιο-φάσματος (στο κεφάλαιο 3 υπάρχουν περισσότερες λεπτομέρειες πάνω στο θέμα αυτό), η μεγάλη χωρητικότητα και το κυτταρικό πρότυπο επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Ανάμεσά τους είναι το TETRA, το GSM και το DCS-1800. Τα συστήματα της δεύτερης γενιάς λειτουργούν σε συχνότητες υψηλότερες από αυτές των συστημάτων της πρώτης γενιάς. Οι ρυθμοί μετάδοσης φθάνουν μέχρι και τα 2 Mbps. Την σκυτάλη από τα συστήματα δεύτερης γενιάς θα πάρουν τα κυτταρικά συστήματα τρίτης γενιάς. Τα νέα αυτά συστήματα είναι το UMTS και τα WLANs. Η διαχρονική εξέλιξή τους θα οδηγήσει σε μετάδοση των δεδομένων σε ρυθμούς της τάξης των 155 Mbps. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών είναι ότι θα βασίζονται σε μικροκυτταρική και πικνοκυτταρική δομή ενώ οι τελικές συχνότητες λειτουργίας των συστημάτων αυτών θα ανήκουν στην φασματική περιοχή των 50-60 GHz προκειμένου να επιτευχθούν οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.



Σχήμα 1.5 : Δομή ενός κυτταρικού συστήματος κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς.

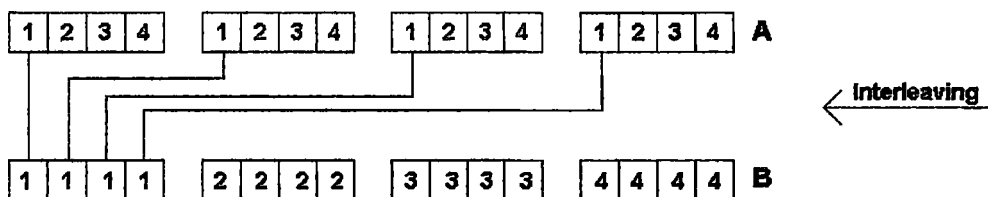
Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5 τα μελλοντικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας θα χρησιμοποιούν πολλούς τύπους κυττάρων ανάλογα με την στιγμιαία τους θέση. Η σύνδεσή τους θα είναι δισδιάστατη στις περισσότερες περιοχές (π.χ. εθνικές οδοί, πυκνοκατοικημένες περιοχές) και τρισδιάστατη (π.χ. εντός κτιρίων). Οι κατηγορίες των κυττάρων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής παρακάτω :

- κύτταρα μέγιστης κάλυψης
- υπερκύτταρα
- μακροκύτταρα
- μικροκύτταρα
- πικνοκύτταρα

1.5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GSM

Το νέο πανευρωπαϊκό πρότυπο GSM, το οποίο λειτουργεί στην ζώνη των 900 MHz του ενεργού ράδιο-φάσματος, έχει τυποποιηθεί από την ειδική συσταθείσα επιστημονική ομάδα για θέματα κινητών επικοινωνιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, γνωστής με την ονομασία Groupe Special Mobile. Το σύστημα GSM χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό πολυπλεξίας σήματος TDMA και FDMA. Με την πολυπλεξία TDMA, οκτώ συνδιαλέξεις που η κάθε μία καταλαμβάνει μια χρονοθυρίδα (time slot) συνδυάζονται πάνω στο ίδιο ραδιοκανάλι (RF channel) συνολικού εύρους 200 KHz. Υπάρχουν 124 τέτοια ραδιοκανάλια για την εκπομπή (890-915 MHz, εκπομπή κινητού και λήψη SB) και 124 για τη λήψη (935-960 MHz εκπομπή SB και λήψη κινητού). Αυτά μπορούν να καταλάβουν συνολικά όλη τη ζώνη των 25 MHz που διατίθεται. Κατά συνέπεια το μέγιστο πλήθος των διαθέσιμων καναλιών ομιλίας στο GSM για μια γεωγραφική περιοχή είναι $124 \times 8 = 992$ κανάλια. Με την ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνεται αύξηση της χωρητικότητας του διαθέσιμου φάσματος, λόγω του ειδικού τρόπου που κωδικοποιείται η φωνή. Όπως γνωρίζουμε, για να μετατραπεί ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακό ο συνήθης ρυθμός δειγματοληψίας είναι 8.000 δείγματα ανά δευτερόλεπτο. Με αυτή τη δειγματοληψία και αν λάβουμε υπόψη ότι κάθε δείγμα παριστάνεται με 8 δυαδικά ψηφία (bits) η ταχύτητα της κάθε PCM ομιλίας είναι 64 Kbit/sec, γεγονός όμως που αντιστοιχεί σε ασύμφορα μεγάλο εύρος ζώνης. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρειάζεται να μειωθεί ο ρυθμός δειγματοληψίας και να μη χρησιμοποιηθούν μερικά από τα δείγματα που λαμβάνονται. Αυτό ακριβώς είναι που γίνεται και στην κατεύθυνση αυτή βοηθάει το γεγονός ότι η ομιλία σαν πληροφορία διαθέτει αρκετό βαθμό εφεδρείας μέσα της. Με τη μείωση του αριθμού των δειγμάτων η ταχύτητα τελικά φθάνει να γίνει μόνο 270 Kbit/sec (αντί για 512) και για τις οκτώ ομιλίες. Αυτό επιτυγχάνεται με ανεπτυγμένη διάταξη ειδικά για το GSM, που είναι γνωστή σαν κωδικοποιητής φωνής (Voice Coder ή συντομότερα Vocoder). Φυσικά αν η μείωση του πλήθους των δειγμάτων κατέλθει και πέραν των 12 kbit/sec, η υποβάθμιση που σημειώνεται είναι τόσο μεγάλη(ιδιαίτερα στη χροιά του ήχου), ώστε δεν είναι πια δυνατή η αναπαραγωγή του σήματος στο δέκτη. Η περιγραφή του κωδικοποιητή γίνεται με τη σειρά συστάσεων GSM 06.XX και ιδιαίτερα με την 06.03. Ο κωδικοποιητής φωνής ή Vocoder βασίζεται στην απομίμηση της φωνητικής χορδής και την ανασύνθεση του λόγου. Η πρόβλεψη κατά την αναπαραγωγή είναι δυνατή και στηρίζεται στην αρχή ότι η φωνή δεν υφίσταται μεγάλες διακυμάνσεις κατά την διάρκεια λίγων χιλιοστών του δευτερολέπτου. Επομένως η κωδικοποιημένη φωνή δεν μεταδίδεται όλη αλλά ελλιπής. Διαβιβάζονται όμως και οι παράμετροί της, π.χ. η ταχύτητα που πρέπει να ακούγεται, οι συχνότητες που της λείπουν κλπ. Ο Vocoder έχει το πλεονέκτημα ότι αποδίδει ικανοποιητικά και σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, μικρότερες ακόμη και από 3 Kbit/sec. Ο λαμβανόμενος ήχος είναι κατανοητός αλλά μειονεκτούμε πλέον σε πιστότητα. Η αδυναμία του Vocoder συμπληρώνεται από τον κωδικοποιητή

κυματομορφής ο οποίος είναι το γνωστό PCM. Με αυτόν στέλνεται η πληροφορία για το σχήμα και τις ιδιότητες της κυματομορφής που μεταβιβάζεται η οποία είναι απαραίτητη κατά την αναπαραγωγή. Στο GSM χρησιμοποιείται ο υβριδικός κωδικοποιητής γραμμικής πρόβλεψης που είναι ένας συνδυασμός κωδικοποιητού φωνής και παλμοκωδικού κωδικοποιητή PCM. Η κωδικοποίηση εφαρμόζεται σε μικρές φέτες της ομιλίας διάρκειας 20 msec, κάθε μία από τις οποίες αντιπροσωπεύεται από 260 bits, τα οποία χωρίζονται σε τρεις ομάδες. Η πρώτη έχει 50 bits, η δεύτερη 132 και η τρίτη 78. Με την κωδικοποίηση αυτή παράγεται ο ρυθμός 13 Kbit/sec ($260 \text{ bits}/20 \text{ msec}=13 \text{ Kbit/sec}$). Ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται περιγράφεται στη σύσταση 06.10. Η κατάταξη σε ομάδες των 260 bit γίνεται ανάλογα με το πόσο σημαντικά είναι αυτά από απόψεως πληροφορίας. Οι πρώτες δύο ομάδες περιέχουν τα 50+132 σημαντικά bits και η τελευταία τα 78 λιγότερα σημαντικά. Στα 50 πιο σημαντικά δυαδικά ψηφία προστίθενται 3 bits ισοτιμίας για ανίχνευση λάθους και μετά ακολουθούν τα 132 bits. Στα 185 bits εφαρμόζεται ένας ημίρρυθμος συνελκτικός κώδικας προστασίας που οδηγεί σε μετάδοση $185+130+3 \text{ bits}=378 \text{ bits}$ για κάθε φέτα κωδικοποιημένου λόγου 20 msec. Αν υπολογισθούν και τα 78 λιγότερο σημαντικά δυαδικά ψηφία, τότε καταλήγει να μεταδίδονται 456 bits. Με την προσθήκη δυαδικών ψηφίων διόρθωσης λάθους και τη συνελκτική κωδικοποίηση κάθε φέτα λόγου φθάνει να εκπέμπεται με ρυθμό $456 \text{ bits}/20 \text{ msec}$ δηλαδή 22.8 Kbits/sec. Σε κάθε χρονοθυρίδα προστίθεται επίσης μία εκπαιδευτική σειρά, γνωστή και ως ακολουθία ισοστάθμισης, από 26 bits γνωστής μορφής και αλληλουχίας που χρησιμοποιείται από τον εξισωτή του δέκτη για τη σωστή αναπαραγωγή του σήματος. Στο σημείο εφαρμόζεται η τεχνική της ενδιάμεσης διασποράς η οποία αποτελεί και μία μορφή πολυπλεξίας. Ας εξετάσουμε στο επόμενο σχήμα πώς υλοποιείται.



Έστω ότι έχουμε να στείλουμε τα τέσσερα κωδικοποιημένα μπλοκ από bits της πρώτης σειράς A του σχήματος, που το καθένα περιέχει τα ψηφία 1234. Για να μη διατρέξουμε τον κίνδυνο να χάσουμε από μία διαταραχή ένα ολόκληρο μπλοκ, πολυπλέκουμε τα τέσσερα μπλοκ μεταξύ τους. Παίρνουμε δηλαδή το πρώτο ψηφίο από όλα τα μπλοκ και δημιουργούμε έτσι ένα νέο (σειρά B). Έπειτα δημιουργούμε ένα δεύτερο μπλοκ από τα ψηφία 2 που προέρχονται επίσης από τα μπλοκ της σειράς A κλπ. Με την εφαρμογή της διασποράς εξασφαλίζεται περισσότερο η ορθή εκπομπή. Αν για παράδειγμα συμβεί να χαθεί ένα από τα μπλόκ που έχουν διαγώνια διεμπλοκή όπως πχ το 3333, η μοναδική δυσμενής εξ αυτού συνέπεια, θα είναι να χαθεί απλώς bit από κάθε μπλοκ της αρχικής πληροφορίας (επιμερισμός της απώλειας) και όχι ολόκληρη.

Από λειτουργικής πλευράς το πλήρες δίκτυο GSM χωρίζεται σε δύο τμήματα :

- Το τμήμα μεταγωγής (Switching System – SS) Περιλαμβάνει τα κέντρα και την μεταγωγική πλευρά των σταθμών βάσεως, δηλ. τον ελεγκτήρα τους.

- Το ραδιοηλεκτρικό τμήμα (Radio System-RS) με τη σειρά του περιλαμβάνει τις ομάδες πομποδεκτών των σταθμών βάσεως και τα τερματικά των συνδρομητών.

Τα κέντρα και οι σταθμοί βάσεως αποτελούν τη βασική υποδομή (Infrastructure) ενώ τα τερματικά (Terminal s) των συνδρομητών αποτελούν το κινητό μέρος.

Το τμήμα μεταγωγής αποτελείται από τις εξής επί μέρους ενότητες :

1. Το κέντρο ΚΤ (Mobile Services, ή Switching Center-MSC), Αυτό φέρει εις πέρας όλες τις λειτουργίες που συναρτώνται με την παροχή κινητής τηλεφωνίας εντός μιας γεωγραφικής περιοχής που εποπτεύει και καλείται περιοχή καλύψεως του εν λόγω κέντρου (MSC area). Μεταξύ των κυρίων λειτουργιών του κέντρου ΚΤ περιλαμβάνονται :
 - Διεκπεραίωση των κλήσεων και συνεργασία με άλλα κέντρα ή δίκτυα.
 - Διαχείριση των μονάδων εκπομπής κατά τη διάρκεια μιας κλήσεως.
 - Εγγραφή της θέσεως του συνδρομητή και συνεργασία με τη βάση δεδομένων επισκέψεως.
 - Έλεγχος της διαδικασίας εναλλαγής ή μεταπομπής (Hand-over procedure) και ανάληψη της ευθύνης παρακολούθησεως του κινητού.
 - Έρευνα στα αρχεία της οικείας βάσεως για την εξακρίβωση του αριθμού περιαγωγής και της θέσεως του κινητού συνδρομητή.
2. Τις δύο βάσεις δεδομένων εγγραφής, την οικεία βάση (Home Location Register – HLR) και τη βάση επισκέψεως (Visited Location Register – VLR)
3. Το κέντρο πιστοποίησης συνδρομητών (Authentication Center – AUC) .Είναι το σημείο μέσω του οποίου γίνεται ο έλεγχος των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την ασφάλεια προσπελάσεως στο σύστημα καθώς και η εξακρίβωση της ταυτότητας.
4. Το κέντρο τεκμηρίωσης κινητών σταθμών (Equipment Register-EIR). Η βασική λειτουργία του είναι η εποπτεία των κινητών σταθμών και το μπλοκάρισμα όσων δεν έχουν το δικαίωμα να εξυπηρετούνται. Τα περιεχόμενα του κέντρου αυτού μπορούν να μεταβάλλονται μέσω εντολών από το κέντρο εποπτείας και συντηρήσεως.
5. Τα κέντρα εποπτείας και συντήρησης (OMC). Είναι η λειτουργική μονάδα δια της οποίας ο Φορέας παροχής της ΚΤ εποπτεύει και ελέγχει το σύστημα. Το ραδιοηλεκτρικό σύστημα αποτελείται από τα εξής ειδικότερα μέρη.
 - Τους σταθμούς βάσεως (BSS). Ο σταθμός βάσεως είναι η φυσική διάταξη που χρησιμοποιείται για να δώσει P/H κάλυψη σε κάποια προσδιορισμένη γεωγραφική ζώνη η οποία αποτελείται από μία ή περισσότερες κυψέλες. Εκτελεί όλες τις λειτουργίες που χρειάζονται για την P/H επικοινωνία με εκείνους

τους κινητούς σταθμούς που ανήκουν στην επίδρασή του. Το πλήθος των σταθμών βάσεως που θα χρησιμοποιηθούν στο διαδίκτυο και η συγκρότηση του καθενός εξαρτάται από τις απαιτήσεις μεταγωγής που υπάρχουν.

- Τους κινητούς σταθμούς ή τερματικά, δηλαδή τις συσκευές που χρησιμοποιούνται από το συνδρομητή του GSM για να επιτύχει πρόσβαση στο δίκτυο. Λειτουργικά, ο κινητός σταθμός αποτελείται από την κινητή τερματική διάταξη (Mobile Termination) και ανάλογα με τις υπηρεσίες για τις οποίες έχει εγγραφεί ο συνδρομητής περιλαμβάνει ένα συνδυασμό προσθέτων λειτουργικών μονάδων (Terminal Equipment) ή τερματικών προσαρμοστών (Terminal Adaptors). Ο κάθε κινητός σταθμός και ο συνδρομητής είναι εφοδιασμένοι με μία σειρά ταυτοτήτων.

Στο δίκτυο GSM καθορίζονται οι ακόλουθες γεωγραφικές περιοχές εξυπηρέτησης.

- Η κυψέλη (Cell), είναι η ελάχιστη περιοχή που υπηρετείται από έναν πομποδέκτη σταθμού βάσεως (BTS) και ορισμένα κανάλια.
- Η περιοχή κινήσεως και εντοπισμού (Location Area), είναι έκταση αποτελούμενη από μια ή περισσότερες κυψέλες εντός των οποίων όταν κινείται ο σταθμός οφείλει περιορισμένη υποχρέωση για πιστοποίηση και χαρακτηρίζεται από έναν ειδικό αριθμό αναγνωρίσεως.
 - Η περιοχή εποπτείας ενός κέντρου κινητής τηλεφωνίας αφορά όλη την έκταση δικαιοδοσίας του κέντρου. Το μέγεθός της μπορεί να καλύπτει μέρος μιας πόλης μέχρι και ολόκληρη χώρα. Η περιοχή ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας (PLMN Area). Είναι η περιοχή δράσεως ενός Φορέα και αποτελείται από μία ή περισσότερες περιοχές κέντρων Κινητής Τηλεφωνίας. Τα διάφορα δίκτυα είναι δυνατόν μεταξύ τους να αλληλοκαλύπτονται αν ανήκουν σε διαφορετικό Φορέα παροχής της υπηρεσίας.

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ GSM

Το GSM είναι το ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), που μολονότι κατασκευάστηκε ώστε να χρησιμοποιηθεί στην Ευρώπη, κατάφερε να κατακτήσει το 71% της παγκόσμιας αγοράς. Αρχικά, το GSM σχεδιάστηκε ώστε να εκμεταλλεύεται τη ζώνη συχνοτήτων των 900MHz, που είχε παραχωρήσει ο ΙΤΥ. Ωστόσο, προσαρμόστηκε ώστε να λειτουργεί και σε διαφορετικές ζώνες, που συνήθως το χαρακτηρίζουν: GSM 900, GSM 1800, GSM 1900, GSM 450, GSM 480 και GSM 850. Σημειώνεται ότι η αρχική ονομασία του GSM ήταν Groupe Speciale Mobile.

Η ασφάλεια δικτύων προέκυψε μέσα από την ανάγκη για επικοινωνία ανάμεσα στον πομπό (transmitter) και στον δέκτη (receiver) ενός δικτύου, χωρίς παρεμβολές από

ξένα στοιχεία. Ασχολείται με την προστασία των συστημάτων και καλύπτει τους ελέγχους ασφάλειας στα λειτουργικά συστήματα και τις τεχνικές ασφάλειας για το δίκτυο. Ο ορισμός της ασφαλούς επικοινωνίας, έχει εστιάσει πρώτιστα στην προστασία των πόρων επικοινωνίας. Στην πρακτική, η ασφάλεια δικτύων περιλαμβάνει όχι μόνο την προστασία από παραβιάσεις αλλά ασχολείται και με την ανίχνευση τους.

Μέχρι σήμερα τα θέματα της κρυπτογράφησης /αποκρυπτογράφησης, της επικύρωσης και της ακεραιότητας αποτελούσαν την εισαγωγή στην ασφάλεια δικτύων. Ορισμένες επιθυμητές ιδιότητες-χαρακτηριστικά της ασφαλούς επικοινωνίας που θα αναλυθούν είναι:

- εμπιστευτικότητα (confidentiality)
- επικύρωση (authentication)
- ακεραιότητα (integrity)
- έλεγχος πρόσβασης και διαθεσιμότητας (access control and availability)

Η εμπιστευτικότητα, η επικύρωση, η ακεραιότητα και η μη αναγνωρισιμότητα (nonrepudiation) έχουν θεωρηθεί βασικά συστατικά της ασφαλούς επικοινωνίας για αρκετό χρονικό διάστημα. Η διαθεσιμότητα και ο έλεγχος πρόσβασης είναι πιο πρόσφατες επεκτάσεις στην έννοια της ασφαλούς επικοινωνίας. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά της ασφαλούς επικοινωνίας θα τα συναντήσουμε στο βασικό μέρος της εργασίας το οποίο θα αναλύει την ασφάλεια στο σύστημα επικοινωνίας της κινητής τηλεφωνίας (GSM). (PAN1, PAN2, PAN3)

Ασφάλεια στο GSM

Το GSM είναι ένα σύστημα που σχεδιάζεται με αυστηρά επίπεδα ενσωματωμένης ασφάλειας. Σκοπός του είναι η αποφυγή σημαντικών απωλειών που αφορούν τον χειριστή όπως οι οικονομικές απώλειες αλλά και διαφόρων άλλων ειδών στις οποίες θα αναφερθούμε και εκτενέστερα στην εργασία. Οι υπηρεσίες ασφάλειας που παρέχονται από το GSM είναι:

- ανωνυμία (anonymity) έτσι ώστε να μην είναι εύκολο να προσδιοριστεί ο χρήστης του συστήματος,
- η επικύρωση (authentication) έτσι ώστε ο χειριστής να ξέρει ποιος χρησιμοποιεί το σύστημα για λόγους τιμολόγησης,
- προστασία σηματοδότησης (Signaling Protection) έτσι ώστε οι πληροφορίες για το σηματοδοτούμενο κανάλι (signaling channel), όπως οι αριθμοί τηλεφώνου, να προστατεύονται πέρα από τη ραδιοπορεία.

Οι μηχανισμοί ασφάλειας του GSM εφαρμόζονται σε τρία διαφορετικά στοιχεία συστημάτων:

- η ενότητα ταυτότητας συνδρομητών (SIM),
- το μικροτηλέφωνο GSM (GSM handset),
- το δίκτυο GSM.

Αλγόριθμοι κρυπτογράφησης (encryption) του GSM

Οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης αποτελούν τον βασικό άξονα της ασφάλειας των δικτύων. Μερικοί από αυτούς είναι:

- ο A3 αλγόριθμος επικύρωσης, ο οποίος αποτελεί μια μονόδρομη λειτουργία που εφαρμόζεται στην ενότητα ταυτότητας συνδρομητών (SIM),
- ο A5 αλγόριθμος φωνής – ιδιωτικότητας (voice – privacy), δηλαδή, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση στα κινητά τηλέφωνα GSM και μπορεί προαιρετικά να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις συνδέσεις φωνής και στοιχείων,
- ο αλγόριθμος A8, που χρησιμοποιείται στα δίκτυα GSM για να κρυπτογραφήσει τις κλήσεις φωνής και στοιχείων,
- ο αλγόριθμος COMP 128, που χρησιμοποιείται αυτήν την περίοδο στα περισσότερα δίκτυα GSM. (PAN1, PAN6)

Περιορισμοί ασφάλειας του GSM

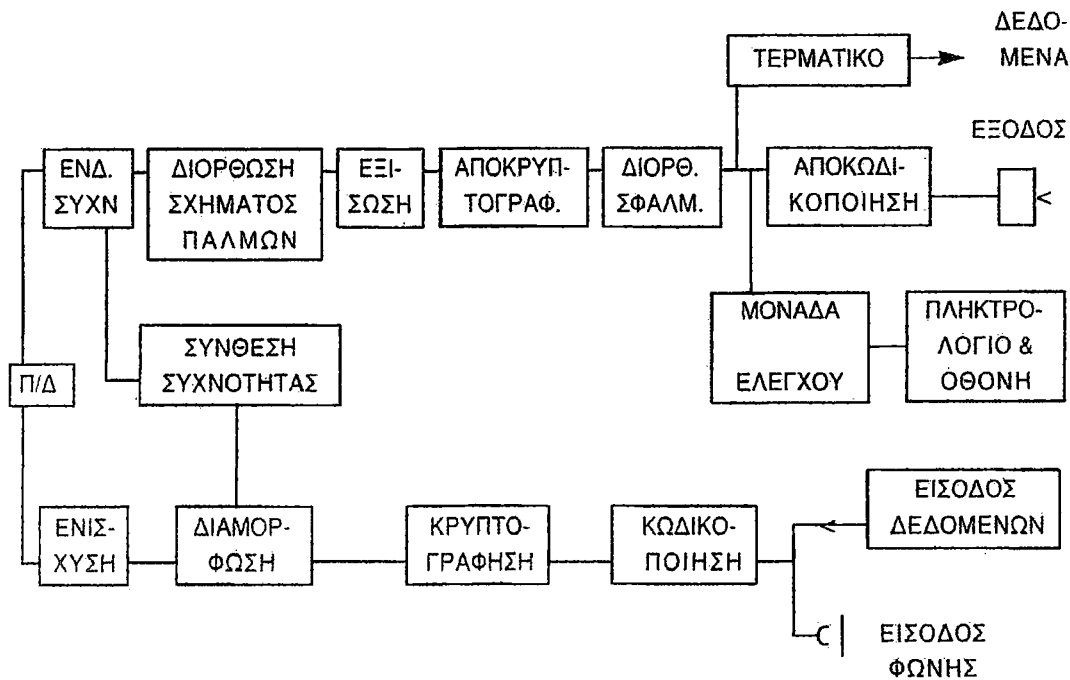
Τα υπάρχοντα κυψελοειδή συστήματα έχουν διάφορες πιθανές αδυναμίες όπου εξετάστηκαν στις απαιτήσεις ασφάλειας για το GSM. Η ασφάλεια του GSM πρέπει να είναι κατάλληλη για το χειριστή και τον πελάτη συστημάτων έτσι ώστε οι χειριστές του συστήματος να μπορούν να εξασφαλίσουν ότι θα διανείμουν τους λογαριασμούς τους στους σωστούς ανθρώπους κι οι πελάτες ότι υπάρχει κάποια μυστικότητα ενάντια στην πληροφορία που κρυφακούγεται.

Διαδικαστική απάτη / Τεχνική απάτη

Η τεχνική απάτη παρουσιάζεται όταν μια αδυναμία του συστήματος αξιοποιείται για να γίνονται χωρίς κόστος κλήσεις. Η διαδικαστική απάτη προκύπτει από την εκμετάλλευση των επιχειρησιακών διαδικασιών, όπου μια ρωγμή ή μια αδυναμία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κερδισθούν χρήματα. Τα υπάρχοντα κυψελοειδή συστήματα έχουν διάφορες πιθανές αδυναμίες. Τα δίκτυα όπως το GSM, με τις αλληλεπιδράσεις με άλλους χειριστές (μεταφορείς), προκαλούν κι άλλες ευκαιρίες για την εκμετάλλευση. Το GSM έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει τις διάφορες τεχνικές λύσεις και για να αποτρέψει την κακή χρήση. Οι έλεγχοι εξαγωγής στα mobiles είναι ελάχιστοι, και η επόμενη γενιά των mobiles θα υποστηρίξει αλγόριθμους A5/1, A5/2 και καμία κρυπτογράφηση .

1.6.1.1.1 : Η ΚΙΝΗΤΗ ΡΑΔΙΟ-ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΙ Η ΕΞΥΠΝΗ ΚΑΡΤΑ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η βασική δομή ενός κινητού σταθμού GSM :



Αρχιτεκτονική του κινητού σταθμού GSM

Κατά την εκπομπή η φωνή κωδικοποιείται ψηφιακά, τα δυαδικά ψηφία διόρθωσης σφάλματος ενσωματώνονται στο κωδικοποιημένο σήμα και γίνεται κρυπτογράφηση. Ακολουθεί η ψηφιακή διαμόρφωση και μετά από ενίσχυση σε κατάλληλη στάθμη, το σήμα εκπέμπεται. Κατά την λήψη το σήμα διέρχεται πάλι μέσω του πομποδέκτη Π/Δ που διαθέτει και μεταγωγικές ιδιότητες, επειδή η μονάδα εκπέμπει και λαμβάνει σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Το λαμβανόμενο σήμα διερχόμενο από φίλτρα απομονώνεται από παρασιτικές συχνότητες που προέρχονται από εκπομπές γειτονικών καναλιών. Μετά την διόρθωση του σχήματος των εισερχομένων παλμών, οδηγείται στον εξισωτή που είναι ταυτόχρονα και μία υπολογιστική μονάδα. Εκεί διορθώνεται αφενός η μορφή του από τυχόν παραμόρφωση που οφείλεται σε πολλαπλές ανακλάσεις και αφετέρου αποδιαμορφώνεται μετατρέπόμενο σε δυαδικά ψηφία. Στο τελικό στάδιο αποκρυπτογραφείται και οδηγείται στις βαθμίδες εξόδου που μπορεί να είναι ακουστικό ή τερματικό δεδομένων για εξωτερική χρήση.

Η αμφίδρομη εκπομπή και λήψη δεν πραγματοποιούνται στην ίδια συχνότητα αλλά, όπως δείχνει το σχήμα 1.9, διαφέρουν μεταξύ τους κατά 45 MHz ενώ η επικοινωνία θα είναι πλήρως αμφίδρομη.

Η συνδρομητική κάρτα ταυτότητας είναι μία έξυπνη κάρτα η οποία περιλαμβάνει τον κώδικα ασφαλείας του συνδρομητή και είναι τυποποιημένη για να συνεργάζεται με όλα τα ραδιο-συστήματα GSM. Στην κάρτα αυτή είναι μόνιμα αποθηκευμένα τα δεδομένα του συνδρομητή (π.χ. ο διεθνής αριθμός του [International Mobile Subscriber Identity – IMSI], ο προσωπικός κωδικός αριθμός [Personal Identification Number – PIN], κ.λ.π.) και διάφορες άλλες παράμετροι (π.χ. η ταυτότητα της τελευταίας περιοχής εντοπισμού [LAI], η

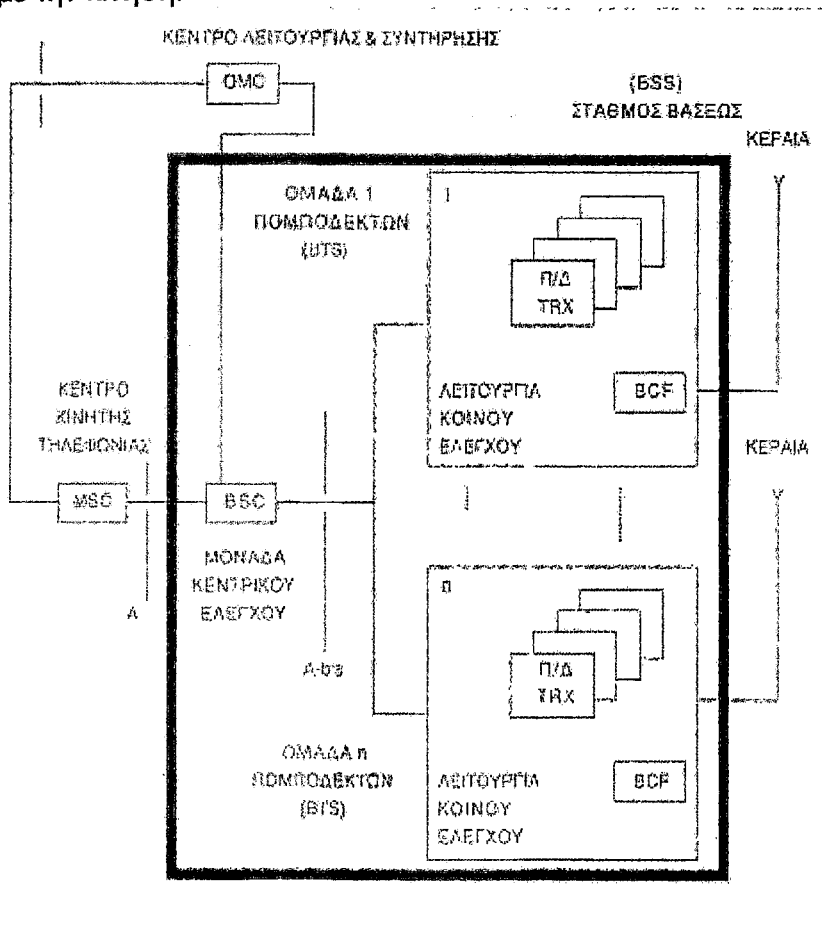
κλείδα Κί , οι αλγόριθμοι πιστοποίησης και ελέγχου του συνδρομητή [authentication] , κ.λ.π.).

1.6.1.1.2: Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΑΣΗΣ

Το σύστημα του σταθμού βάσης είναι η φυσική και λογική ενότητα του GSM που συνεργάζεται :

- Με ένα σύνολο κινητών σταθμών μέσω του ραδιοηλεκτρικού περιβάλλοντος.
- Με το κέντρο μεταγωγής μέσω μονίμων ζεύξεων.
- Με το κέντρο λειτουργίας και συντηρήσεως.

Ο σταθμός βάσης σαν σύστημα περιλαμβάνει μία μονάδα κεντρικού ελέγχου που ονομάζεται και ελεγκτήρας του σταθμού βάσης και μία ή περισσότερες ομάδες πομποδεκτών. Οι τελευταίες περιλαμβάνουν τις διατάξεις εκπομπής και λήψεως, τους ζεύκτες και τις κεραίες. Κάθε ομάδα πομποδεκτών εξυπηρετεί μία κυψέλη ενώ μία μονάδα ελέγχου συνδέεται με έναν αριθμό ομάδων πομποδεκτών και συνήθως ελέγχει μία περιοχή εντοπισμού. Συνήθης πρακτική είναι μία μονάδα ελέγχου να συνδέεται με μερικές ομάδες πομποδεκτών και ένα πλήθος καναλιών, ανάλογα και με την κίνηση.



Η επικοινωνία του σταθμού βάσης με τους κινητούς σταθμούς πραγματοποιείται μέσω της μονάδας ελέγχου η οποία έχει μεταγωγικές ιδιότητες και βρίσκεται συνήθως εγκατεστημένη στον ίδιο χώρο με το κέντρο και μιας ομάδας πομποδεκτών με τη βοήθεια ενός αριθμού λογικών καναλιών κινήσεως και ελέγχου που στο σύνολό τους ονομάζονται κανάλι UM και υλοποιείται επί της ραδιοηλεκτρικής οδού δια των φυσικών καναλιών. Μερικές τυπικές συγκροτήσεις

συστημάτων σταθμού βάσης ανάλογα με την περιοχή την οποία πρόκειται να εξυπηρετήσουν και άλλων παραμέτρων, φαίνονται στο σχήμα 1.8. Ο ελεγκτής του σταθμού βάσης είναι ένα από τα βασικά τμήματα του ευρύτερου ραδιο-υποσυστήματος του GSM. Η μονάδα BSC ελέγχει τις λειτουργίες διαχείρισης διαφόρων πομποδεκτών σύμφωνα με το αποκεντρωτικό σενάριο διεργασιών του GSM, ανακουφίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το κέντρο MSC. Η μονάδα αυτή συνεργάζεται με το κωδικοποιητικό σύστημα μετατρέποντας τα σήματα φωνής κωδικοποιημένα με ρυθμούς μετάδοσης 13 kbps, σύμφωνα με τα πρότυπα του δημόσιου διακοπτικού τηλεφωνικού δικτύου (PSTN).

Κάθε ομάδα πομποδεκτών διαθέτει ιδιαίτερη λειτουργία ελέγχου η οποία φαίνεται στο διάγραμμα του σταθμού βάσης. Οι ομάδες των πομποδεκτών προσφέρουν ραδιοηλεκτρική κάλυψη σε μία γεωγραφική περιοχή που αποτελείται συνήθως από ένα πλήθος διαδοχικών κυψελών, ένας πομποδέκτης για κάθε κυψέλη. Η θέση εγκατάστασής των είναι κοντά στις κεραίες. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των ομάδων πομποδεκτών και της μονάδας κεντρικού ελέγχου, όπως δείχνει και το επόμενο διάγραμμα του σταθμού βάσης, είναι το CCITT A-bis, σύμφωνα με τις συστάσεις GSM 08.51, 08.52, 08.54, 08.56 και 08.58. Σύμφωνα με την προδιαγραφή GSM μία ομάδα πομποδεκτών εξυπηρετεί μία κυψέλη και αναγνωρίζεται από την πλευρά του κινητού συνδρομητή από την ταυτότητα. Από άποψη κατασκευής μια ομάδα πομποδεκτών αποτελείται από υπολογιστική διάταξη, μία μονάδα συγκεντρώσεως της κίνησης σε ομάδες καναλιών των οκτώ, ενισχυτές ισχύος και ζευκτική διάταξη με την κεραία. Κάθε μονάδα BTS συνδέεται με την μονάδα κεντρικού ελέγχου με μία ή περισσότερες ψηφιακές ζεύξεις 2.048 kbits/s. Αυτές σχηματίζονται από κανάλια ταχύτητας 64 kbits/s και συνιστούν την προσαρμογή A-bis την οποία περιγράφει και η σύσταση Γ 703 CCITT.

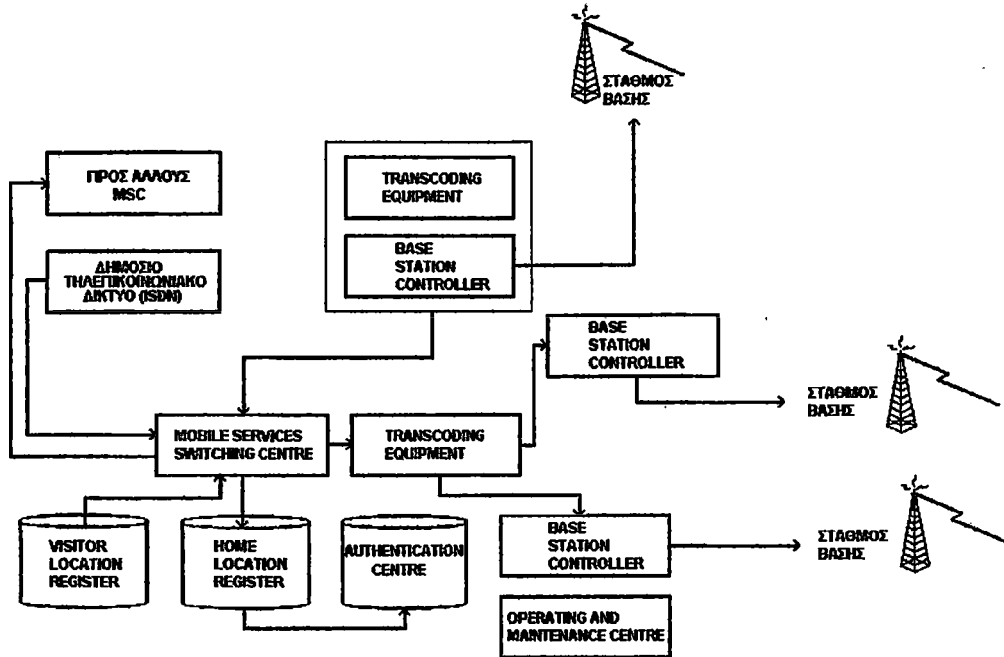
Ο σταθμός βάσης επικοινωνεί με το κέντρο μέσω μιας μονάδας διακωδικοποίησης/προσαρμογής. Η μονάδα αυτή προσαρμόζει τις διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης μεταξύ του κέντρου και του σταθμού βάσης. Ο διακωδικοποιητής/προσαρμογέας ρυθμού μπορεί να βρίσκεται στο κέντρο είτε στο σταθμό βάσης μεταξύ ομάδας πομποδεκτών και ελεγκτήρος. Η βασική του λειτουργία είναι να πολυπλέκει τέσσερα κανάλια ομιλίας που φθάνουν στην είσοδό του με ρυθμό 64 kbits/sec (A-προσαρμογή), αφού πρώτα τους μειώσει την ταχύτητα σε 16 kbits/sec και στη συνέχεια τα πολυπλέξει στην έξοδο δημιουργώντας ένα νέο κανάλι 64 kbits/sec. Έτσι μεταξύ σταθμού βάσης και κέντρου σχηματίζεται μόνο μία εσωτερική αρτηρία με τελική συνέπεια την οικονομία δικτύου.

Ένα βασικό έργο του σταθμού βάσης είναι να μεταφέρει και τα σήματα συγχρονισμού προς τους κινητούς σταθμούς έτσι ώστε οι εκπομπές των τελευταίων να φθάνουν στην κατάλληλη χρονοθυρίδα. Ο συγχρονισμός των χρονοθυρίδων, των πλαισίων TDMA στα κανάλια κινήσεως και των πλαισίων στα κανάλια ελέγχου στηρίζεται σε σύστημα μετρητών που μετρούν συνεχώς είτε η κινητή μονάδα και ο σταθμός βάσης εκπέμπουν είτε όχι. Ο αρχικός μηδενισμός των μετρητών γίνεται την πρώτη φορά που ο κινητός συνδρομητής εισέρχεται στην περιοχή του συγκεκριμένου σταθμού βάσης και επαναλαμβάνεται μόλις εγκαταλείψει την περιοχή του και εισέλθει σε περιοχή άλλου σταθμού βάσης. Δεν είναι υποχρεωτικό οι μετρητές όλων των σταθμών βάσης να είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους.

1.6.1.1.3: ΤΟ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η κύρια λειτουργία του διακοπτικού κέντρου κινητών επικοινωνιών είναι να αποκαταστήσει την κλήση του συνδρομητή και να παρέχει την κατάλληλη ζεύξη με το σταθερό δίκτυο ή με άλλο κέντρο MSC. Το GSM χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο σύστημα σηματοδότησης κοινού καναλιού CCITT NO 7 το οποίο επιτρέπει την μετάδοση διαφόρων αναγκαίων πληροφοριών (π.χ. διευθύνσεις, χρέωση) με ρυθμούς της τάξης των 64 kbps μεταξύ των ψηφιακών κέντρων. Επίσης, χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (π.χ. μετάδοση φωνής και

δεδομένων), παίζοντας καθοριστικό και σημαντικό ρόλο στα κυτταρικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας, στο επίπεδο εφαρμογής. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα κέντρα MSC παίζουν το ρόλο των κόμβων του δικτύου σηματοδότησης.



Η βάση δεδομένων εγγραφής επισκέψεως είναι ένα από τα βασικά τμήματα του κέντρου MSC. Έχει ως αποστολή την τοπική και παροδική ενταμίευση όλων των μεταβλητών που είναι απαραίτητες για τον χειρισμό των κλήσεων που εκδηλώνονται ή καταλήγουν στη περιοχή που ελέγχει. Χρησιμεύει δηλαδή για την εγγραφή της θέσης που βρίσκονται οι ενεργοποιημένοι κινητοί σταθμοί για κάποιο χρονικό διάστημα ή που μόλις εισήλθαν στην περιοχή της. Τα στοιχεία που είναι ενταμιευμένα αντλούνται συνήθως από την οικεία βάση ή από τη βάση επισκέψεως στην οποία ευρίσκετο προηγουμένως ο συνδρομητής. Οι πληροφορίες που διατηρεί για κάθε κινητή μονάδα η βάση περιλαμβάνουν λεπτομέρειες οι οποίες αφορούν τα χαρακτηριστικά και την κλάση της υπηρεσίας του συγκεκριμένου χρήστη, ενώ επίσης παρέχονται στοιχεία που αφορούν τα χαρακτηριστικά της νέας περιοχής εντοπισμού, στην οποία εισέρχεται ο συνδρομητής. Μια άλλη σπουδαία μονάδα του κέντρου MSC είναι η οικεία βάση δεδομένων, η οποία αποτελείται από ένα σύνολο εγγραφών που είναι απαραίτητες για την διαχείριση των συνδρομητών που βρίσκονται στο περιεχόμενό της. Για την αποκατάσταση μιας κλήσης προς ένα κινητό σταθμό το δίκτυο πρέπει να γνωρίζει που βρίσκεται αυτός την δεδομένη στιγμή, ενώ για μία απερχόμενη κλήση πρέπει να είναι γνωστές διάφορες πληροφορίες όπως για παράδειγμα η κατηγορία του κινητού. Οι πληροφορίες αυτές καθώς και η νέα διεύθυνση αυτού στην βάση VLR (οπότε ο συνδρομητής εντοπίζεται αυτόματα όταν καλείται από συνδρομητή του σταθερού τηλεπικοινωνιακού δικτύου) είναι ενταμιευμένες μέσα στην οικεία βάση εγγραφής.

1.6.1.1: ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η πιστοποίηση του συνδρομητού και του κινητού σταθμού από ειδικά σημεία γνωστά αντιστοίχως σαν κέντρο πιστοποίησης συνδρομητού και κέντρο τεκμηρίωσης κινητής μονάδας, είναι λειτουργίες ενσωματωμένες από την αρχή στο GSM, όπου ως γνωστόν ο συνδρομητής, ο κινητός σταθμός σαν μηχανήμα και η χρέωση είναι αποσυσχετισμένα. Η πιστοποίηση αποσκοπεί στην προστασία τόσο του φορέα από παράνομη εισχώρηση τρίτων όσο και του συνδρομητή από την κλοπή της συσκευής ή της κάρτας του. Το έργο του κέντρου πιστοποίησης είναι να παράγει συνεχώς

τριάδες κωδικών για κάθε συνδρομητή. Τα στοιχεία της κάθε τριάδας είναι ένας μη προβλέψιμος αριθμός, μία ενυπόγραφη απάντηση και μία ειδική κλειδα κρυπτογράφησης. Μία τουλάχιστον νέα τριάδα πρέπει να είναι διαθέσιμη κάθε στιγμή ανά συνδρομητή μέσα στην οικεία βάση, για να χρησιμοποιηθεί μόλις ένα κέντρο ή μία βάση επισκέψεως την ζητήσει. Τα σημεία του δικτύου στα οποία παρεμβαίνει η πιστοποίηση και εξασφαλίζεται το απώρητο της επικοινωνίας τόσο του συνδρομητή όσο και του μηχανήματος φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.

Για τη λειτουργία της πιστοποίησης, με την εγγραφή ενός συνδρομητή και μαζί με τον IMSI, δηλαδή τον διεθνή αριθμό που ορίζει μονοσήμαντα τον συνδρομητή, ορίζεται για αυτόν και μία κλειδα, η οποία φυλλάσσεται στο κέντρο πιστοποίησης και στην κάρτα SIM. Αυτή χρησιμεύει στην παραγωγή τριάδων. Για να παραχθεί μία τριάδα ακολουθούνται τα εξής βήματα :

- Παράγεται ένας μη προβλέψιμος αριθμός RAND.
- Ο αριθμός RAND και η κλειδα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό μιας ενυπόγραφης απάντησης SRES και της κλειδας κρυπτογράφησης K, με την βοήθεια δύο διαφορετικών αλγορίθμων.
- Τα στοιχεία RAND, SRES και K διαβιβάζονται όλα στην HLP σαν μία και μοναδική τριάδα.

Όταν πρόκειται να γίνει πιστοποίηση από μία VLR, το κέντρο και η βάση επισκέψεως στέλνουν στην κινητή μονάδα τον αριθμό RAND. Η κινητή μονάδα υπολογίζει και ο ίδιος την SRES χρησιμοποιώντας τον RAND και το K που και αυτή διαθέτει και επιστρέφει την απάντηση στην βάση επισκέψεως για σύγκριση. Πιστοποίηση απαιτείται σε κάθε εγγραφή κινητής μονάδας και σε κάθε πρόσβαση στο δίκτυο, είτε για απερχόμενη κλήση είτε για εισερχόμενη κλήση. Επίσης πρέπει να γίνει πιστοποίηση και για την κινητή μονάδα από το κέντρο τεκμηρίωσης κινητών σταθμών το οποίο υπάρχει για να προστατεύει το δίκτυο από την εισχώρηση σ' αυτό ανεπιθύμητων κινητών σταθμών.

Συνοψίζοντας, το κέντρο πιστοποίησης ευρίσκεται σε λειτουργία για να ελέγχει και να διαχειρίζεται την πληροφορία ασφάλειας του όλου δικτύου του συστήματος. Ο συνδρομητής εισάγει τον προσωπικό του PIN αριθμό, την κάρτα χρέωσης και κάθε φορά που ο συνδρομητής εγγράφεται για επικοινωνιακή εξυπηρέτηση, ενεργοποιείται μία διαδικασία διαλόγου υπό μορφή ανταλλαγής λογικών σημάτων μεταξύ του κέντρου AC και της SIM κάρτας, στα πλαίσια της πιστοποίησης για την διασφάλιση του απώρητου της επικοινωνίας. Η προαναφερθείσα ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχεται από έναν τυχαίο αριθμό οπότε είναι δύσκολη η επανασύμπτωσή του. Πρέπει να σημειωθεί ότι η βάση VLR χρησιμοποιεί τον επιλεγέντα τυχαίο αριθμό προκειμένου να τροποποιήσει την ταυτότητα του εμπλεκόμενου συνδρομητή. Εάν ο συνδρομητής κατόπιν πραγματοποιήσει μία κλήση τότε η κλήση κωδικοποιείται με έναν κώδικα ο οποίος αλλάζει σε κάθε πραγματοποιούμενη εγγραφή και ο οποίος δεν πρέπει να μεταδίδεται από τον καταχωρηθέντα ραδιο-δίαυλο. Επίσης, τόσο το κέντρο AC όσο και η κάρτα SIM διαχειρίζονται τον κώδικα αυτόν, ανεξάρτητα από τον επιλεγέντα τυχαίο αριθμό.

1.6.1.2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οι ζώνες συχνοτήτων που έχουν παραχωρηθεί στο σύστημα GSM είναι για την άνω ζεύξη (uplink) 890-915 MHz, με ένα εύρο ζώνης 25 MHz και για την κάτω ζεύξη (downlink) 935-960 MHz, επίσης με 25 MHz εύρος ζώνης. Η απόσταση των φορέων είναι 200, οπότε λαμβάνουμε ένα συνολικό αριθμό 124 φορέων στη ζώνη του GSM. Επειδή ο κάθε ραδιο-δίαυλος μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα από 8 κινητούς συνδρομητές (δημιουργία 8 χρονοθυρίδων – τιμω σλοτς σε κάθε ραδιο-διάυλο), συνεπάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων φυσικών ραδιο-διαύλων είναι 992. Μεταξύ των 992 φυσικών ραδιο-διαύλων υπάρχουν 12 λογικοί ραδιο-διάυλοι οι οποίοι πολυπλέκονται και χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς (2 για κίνηση, 9 για έλεγχο σηματοδότησης και 1 για την κατανομή του μηνύματος). Οι ραδιο-διάυλοι κίνησης είναι πλήρους ρυθμού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή/λήψη ομιλίας και δεδομένων με ρυθμό της τάξης των 9.6, καθώς και μισού ρυθμού για την μετάδοση ομιλίας και δεδομένων με ρυθμό της τάξης των 4.8. Επίσης χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι ραδιο-διαύλων ελέγχου:

A) Ραδιο-διάυλοι Εκπομπής (Broadcast Channels – BCH)

1. Ραδιο-διάυλος Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Channel – FCCH). Αυτός χρησιμοποιείται για την διόρθωση της συχνότητας της κάτω ζεύξης της κινητής μονάδας.
2. Ραδιο-διάυλος Συγχρονισμού (Synchronization Channel – SCH). Ο ραδιο-διάυλος αυτός μεταφέρει πληροφορία για τον αριθμό του TDMA πλαισίου της κάτω ζεύξης, για την μονάδα εκπομπής/λήψης του σταθμού βάσης (Base Transceiver Station – BTS)
3. Ραδιο-διάυλος Ελέγχου Εκπομπής (Broadcast Control Channel – BCCH). Με τον BCCH μεταδίδεται ειδική πληροφορία προς την κινητή μονάδα και αναφέρεται στην κάτω ζεύξη.

B) Ραδιο-διάυλοι Κοινού Ελέγχου (Common Control Channel – CCCH)

1. Ραδιο-διάυλος Τηλε-ειδοποίησης (Paging Channel – PCH). Ο ραδιο-διάυλος αυτός αναφέρεται στην κάτω ζεύξη και χρησιμοποιείται για την τηλε-ειδοποίηση της κινητής μονάδας.
2. Ραδιο-διάυλος Τυχαίας Πρόσβασης (Random Access Channel – RACH). Αναφέρεται στην άνω ζεύξη και χρησιμοποιείται από την κινητή μονάδα για να ζητήσει καταχώρηση ενός Αυτόνομου Αφιερωμένου ραδιο-διαύλου Ελέγχου, προκειμένου να το χρησιμοποιήσει σαν 'απάντηση τηλε-ειδοποίησης' ή πρόσβαση σε έναρξη/εγγραφή κλήσης της κινητής μονάδας.
3. Ραδιο-διάυλος Αμέσου Καθορισμού (Access Grant Channel – AGCH). Ο ραδιο-διάυλος αυτός χρησιμοποιείται για την καταχώρηση ενός SDCCH στην κινητή μονάδα και αναφέρεται μόνο στην κάτω ζεύξη.

Γ) Αφιερωμένοι Ραδιο-διάυλοι Ελέγχου (Dedicated Control Channels – DCCH)

1. Αυτόνομος Αφιερωμένος Ραδιο-διάυλος 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 άνω ζεύξη.
2. Αργός Συσχετισμένος Ραδιο-διάυλος Ελέγχου (Slow Associated Control Channel – SACCH). Ο ραδιο-διάυλος ελέγχου συσχετίζεται με έναν ραδιο-διάυλο TCH ή με έναν SDCCH τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Σε αυτόν τον ραδιο-διάυλο στέλνονται πληροφορίες οι οποίες αφορούν καταγραφή μετρήσεων από την κινητή μονάδα στον BTS.
3. Γρήγορος Συσχετισμένος Ραδιο-διάυλος Ελέγχου (Fast Associated Control Channel – FACCH). Ο ραδιο-διάυλος αυτός είναι συσχετισμένος με έναν TCH της κάτω ή της άνω ζεύξης.

Δ) Κυτταρικός Ραδιο-διάυλος Εκπομπής (Cell Broadcast Channel – CBCH)

1. Κυτταρικός Ραδιο-διάυλος Εκπομπής (Cell Broadcast Channel – CBCH) . Ο ραδιο-διάυλος αναφέρεται μόνο στην κάτω ζεύξη και χρησιμοποιείται για την διεκπεραίωση της Υπηρεσίας Μικρών Μηνυμάτων (Short Message Service) .

1.6.1.3: ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας με τεχνολογία GSM επιτρέπουν την υποστήριξη των παρακάτω υπηρεσιών :

- Αναμονή κλήσεων : Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει την απάντηση σε μια νέα εισερχόμενη κλήση ενώ υπάρχει κάποιος άλλος συνομιλητής στην γραμμή . Επίσης εάν κατά την χρονική στιγμή της τρέχουσας συνομιλίας , η οποία ευρίσκεται σε εξέλιξη , εισέλθει μια νέα κλήση τότε θα ενεργοποιηθεί ένα ακουστικό σήμα το οποίο θα υποδεικνύει ότι υπάρχει δεύτερη κλήση σε αναμονή.
- Τηλεφωνική συνδιάσκεψη : Η υπηρεσία αυτή δίδει την δυνατότητα σε τρεις ή περισσότερους συνδρομητές να μιλούν ταυτόχρονα.
- Πληροφόρηση κόστους συνδιάλεξης : Η υπηρεσία αυτή δίδει την δυνατότητα πληροφόρησης για την χρέωση κάθε κλήσης η οποία πραγματοποιείται από την κινητή μονάδα του συνδρομητή.
- Υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων : Ο στόχος της υπηρεσίας αυτής είναι η αποστολή σύντομων μηνυμάτων κατευθείαν από το σύστημα διαχείρισης μηνυμάτων ή το κέντρο εξυπηρέτησης ή από οποιοδήποτε άλλο συνδρομητή μέσω του κέντρου αυτού προς την κινητή μονάδα του εμπλεκόμενου συνδρομητή και αντίστροφα.
- Υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων και fax : Ο στόχος της προσφερόμενης αυτής υπηρεσίας είναι η παροχή στους συνδρομητές της δυνατότητας μετάδοσης δεδομένων με ρυθμούς της τάξης των 9.6 kbps.
- Υπηρεσία φωνητικής πληκτρολόγησης : Η υπηρεσία αυτή προσφέρει την δυνατότητα στον συνδρομητή να ενεργοποιεί την ραδιο-μονάδα του με την φωνή του, χωρίς να χρειάζεται να πληκτρολογεί με τα χέρια του.

1.6.1.4 : ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ GSM ΕΝΑΝΤΙ ΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τελειώνοντας την γενική περιγραφή ενός δικτύου τεχνικής GSM, ας συνοψίσουμε τα κυριότερα πλεονεκτήματά του έναντι των αντίστοιχων αναλογικών συστημάτων :

- Βελτιωμένη ποιότητα φωνής λόγω χρησιμοποίησης ψηφιακού σήματος διαμορφωμένου με ειδικό τρόπο δια του οποίου ελατώνονται σε μεγάλο βαθμό οι θόρυβοι και οι άλλες παρεμβολές.
- Διασφάλιση του απορρήτου των συνδιαλέξεων με εφαρμογή κρυπτογράφησης.

- Εφαρμογή τεχνικών διαμόρφωσης σφάλματος.
- Ελλάτωση των παρεμβολών με εφαρμογή της μεταπήδησης συχνότητας μεταξύ εκπομπής και λήψης.
- Εξοικονόμηση μπαταρίας με εφαρμογή ασυνεχούς εκπομπής και έλεγχο της ισχύος εκπομπής.
- Χρησιμοποίηση έξυπνης κάρτας με την οποία θα χρεώνεται ο χρήστης και όχι ο κάτοχος της συσκευής.
- Ενεργότερη συμμετοχή των κινητών σταθμών στη συνεργασία του με τον σταθμό βάσης.
- Αυξημένη χωρητικότητα του συστήματος με χρησιμοποίηση του ειδικού τρόπου διαμόρφωσης GMSK, ο οποίος θεωρείται ανθεκτικός σε παρεμβολές συγγενούς καναλιού, καθώς επίσης και πυκνότερου δικτύου κυψελών μικροτέρων διαστάσεων χωρίς ελάττωση του πλήθους των καναλιών με συνέπεια την πιο συχνή επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

1.6.2 : ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DCS - 1800

Το ψηφιακό κυτταρικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας DCS-1800 βασίζεται στην θεμελιώδη τεχνολογία του GSM. Αναφορικά με την δομή του, είναι μικροκυτταρικής μορφής και παρέχει υψηλή χωρητικότητα από πλευράς εξυπηρέτησης χρηστών. Επίσης έχει την δυνατότητα να εξασφαλίσει αποδεκτή ποιότητα επικοινωνίας σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. 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 του λαμβανόμενου ραδιο-σήματος. Πιο 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 KHz και είναι τριπλάσιο από το αντίστοιχο εύρος ζώνης του συστήματος GSM, το οποίο είναι 25 KHz. Επίσης η ελάχιστη απόσταση των διαδοχικών ραδιο-διαύλων είναι 200 KHz και υπάρχει μία απόσταση ασφαλείας ευρούς 200 KHz στο κατώτερο όριο της κάθε υποζώνης.

Μία άλλη διαφορά στα δύο συστήματα είναι το ότι η μέγιστη ισχύς εκπομπής της κινητής μονάδας στο DCS είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του συστήματος GSM, δηλαδή είναι 1Σ για το DCS και 20 S για το σύστημα GSM. Τα γενικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των δεκτών του συστήματος DCS περιγράφονται στην σύσταση GSM 05.05-DCS, όπου παρέχονται τα χαρακτηριστικά της φραγής, της παρεμβολής ενδοδιαμόρφωσης, και της στάθμης των παρασιτικών εκπομπών. Το σύστημα DCS εφαρμόζεται στην Ελλάδα με φορέα εκμετάλλευσης την COSMOTE.

GSM 1900

Στο GSM 1900, όπως και στο GSM 1800 διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου, ωστόσο χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για την ανοδική ζεύξη και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για την καθοδική ζεύξη. Και πάλι η κατανομή των ραδιο-καναλιών γίνεται ανά 200 KHz, ενώ επιτρέπεται ένα μέγιστο όριο 299 καναλιών συχνότητας (+1 ελεύθερο). Το GSM 1900 ονομάζονταν παλαιότερα PCS 1900, ωστόσο στα τέλη της δεκαετίας του 1990 αποφασίστηκε η μετονομασία του σε GSM 1900, όπως άλλωστε συνέβη και με το DCS 1800.

Η ζώνη συχνοτήτων των 1900 MHz χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής,

μεταξύ των οποίων και οι Η.Π.Α., όπου οι περιοχές των 900 MHz, δεν προσφέρονταν από τους ρυθμιστικούς φορείς για την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Στις Η.Π.Α. όλα τα δίκτυα GSM δραστηριοποιούνται είτε στη ζώνη των 1900 MHz, είτε ταυτόχρονα στη ζώνη των 850 και των 1900 MHz.

GSM 900

Για τη λειτουργία των πρώτων δικτύων GSM που εμφανίστηκαν στην Ευρώπη τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών είχε παραχωρήσει ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (ανοδική ζεύξη ή uplink), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (καθοδική ζεύξη ή downlink). Η κατανομή των ραδιο-καναλιών ανά 200 KHz, επιτρέπουν ένα μέγιστο 124 καναλιών συχνότητας (+1 ελεύθερο) σε κάθε ζώνη.

Το GSM 900 ονομάζεται διαφορετικά Standard GSM ή P-GSM (Primary), αφού στις συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη των προτύπων του GSM. Στη χώρα μας οι Cosmote, TIM και Vodafone έχουν το δικαίωμα χρήσης της ζώνης συχνοτήτων των 900 MHz., όπως άλλωστε και της ζώνης των 1800 MHz. Στα πρώτα χρόνια λειτουργίας τους, οι (τότε) Telestet και (τότε) Panafon παρείχαν αποκλειστικά τις υπηρεσίες τους στη ζώνη των 1800 MHz

GSM-R · GSM-Railway

Το σύστημα GSM-R έχει καθοριστεί σε πανευρωπαϊκό επίπεδο ως το πρότυπο για την ανάπτυξη ενός ψηφιακού, πανευρωπαϊκού δικτύου επικοινωνίας για τις ανάγκες των σιδηροδρόμων. Το σύστημα βασίζεται στο σύστημα κινητής τηλεφωνίας GSM (με επιπλέον προδιαγραφές για τις ιδιαίτερες ανάγκες των σιδηροδρόμων) και λειτουργεί στις υποζώνες φάσματος 876-880 MHz και 921-925 MHz (συνολικά 2 × 4 MHz), οι οποίες συνορεύουν με τη ζώνη του GSM900. Τα δίκτυα GSM-R προορίζονται αποκλειστικά και μόνο για την κάλυψη των αναγκών επικοινωνίας για την διαχείριση και ασφάλεια της σιδηροδρομικής κίνησης. Δεν αποτελούν δημόσια τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και συνεπώς δεν μπορεί να παρέχονται μέσω αυτών υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών στο επιβατικό ή οποιοδήποτε άλλο κοινό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

2.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι λειτουργικές διαδικασίες των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας. Οι διαδικασίες αυτές αφορούν την αποκατάσταση και τερματισμό των κλήσεων μεταξύ συνδρομητών της σταθερής και της κινητής τηλεφωνίας, την εγγραφή και διαγραφή από ένα δίκτυο, την περιαγωγή των κινητών μονάδων και την μεταπομπή κυψέλης. Όπως γνωρίζουμε, οι συνδρομητές της κινητής τηλεφωνίας κινούνται τυχαία στον χώρο και πραγματοποιούν κλήσεις με έναν τυχαίο τρόπο. Εξαιτίας αυτής της τυχαιότητας, ο σχεδιασμός των λειτουργικών

διαδικασιών αποκτάει ιδιαίτερη σημασία στην προσπάθεια των μηχανικών το σύστημα της κινητής τηλεφωνίας να μπορέσει να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας για επικοινωνία χωρίς περιορισμούς.

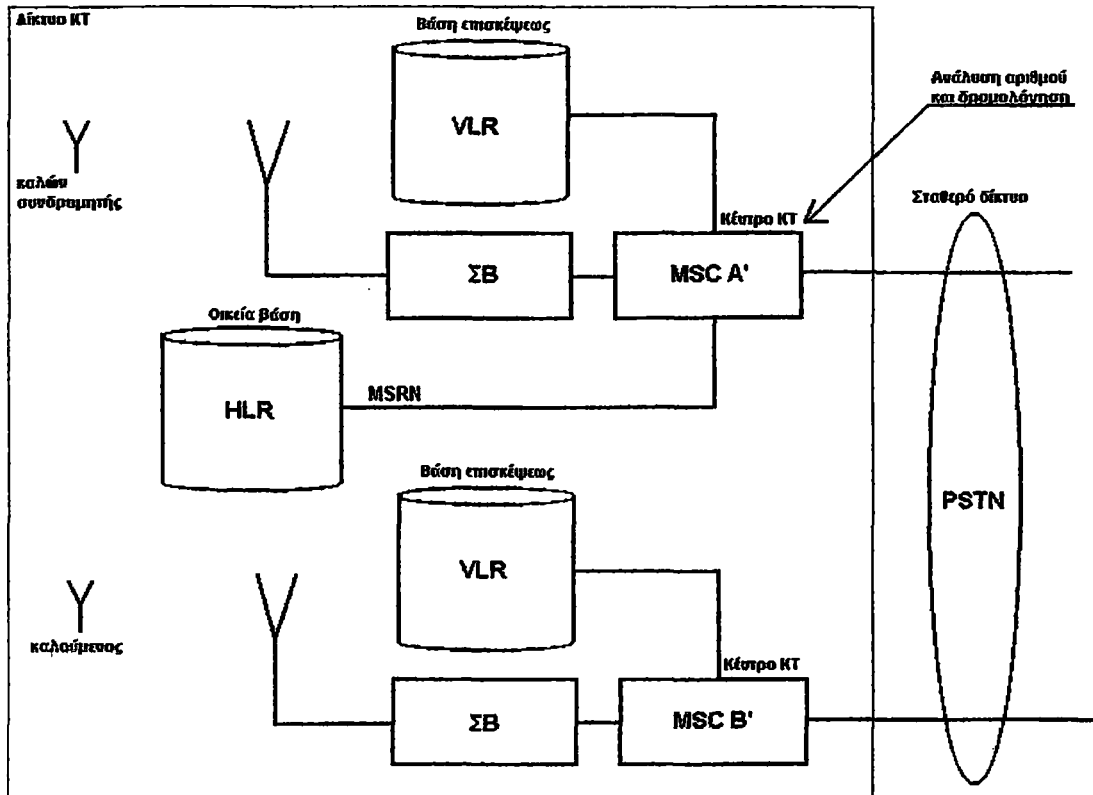
2.2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ

Τα κυτταρικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας επιτρέπουν τις κλήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις, συγκεκριμένα :

- Από τις κινητές μονάδες ενός δικτύου σε κινητές μονάδες του ίδιου δικτύου.
- Από τις κινητές μονάδες ενός δικτύου σε κινητές μονάδες ενός άλλου δικτύου κινητής τηλεφωνίας.
- Μεταξύ συνδρομητών του σταθερού δικτύου και του δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

2.2.1 : ΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΙΝΗΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΤΟΥ ΙΔΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Μόλις ο καλών ολοκληρώσει την επιλογή του καλούμενου αριθμού και πατήσει το πλήκτρο εκπομπής, ο κινητός σταθμός στέλνει ένα πρώτο μήνυμα προς το δίκτυο μέσω του καναλιού ελέγχου RACH, ζητώντας πρόσβαση σε αυτό. Το κέντρο του καλούντος του ορίζει ένα αποκλειστικό κανάλι, κάνει πιστοποίηση με τα στοιχεία της βάσης επισκέψεως, βλέπει την κατηγορία του και τον σημειώνει ως κατειλημμένο επιστρέφοντας ένα επιβεβαιωτικό κριτήριο. Όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα, το κέντρο κινητής τηλεφωνίας του καλούντος αναλύει μέρος του αριθμού του καλούμενου και ενημερώνεται από την ανάλυση αυτή ότι πρόκειται για κινητό συνδρομητή του αυτού δικτύου, με κοινή οικεία βάση όπου υπάρχουν η διεθνής ταυτότητα (IMSI) και ο διεθνής αριθμός του κινητού (MSISDN). Στη συνέχεια το κέντρο του καλούντος πληροφορείται τον αριθμό περιαγωγής του καλούμενου από τη συνήθως μοναδική οικεία βάση του δικτύου (η οποία έχει προηγουμένως ενημερωθεί από τη βάση επισκέψεως στις οποίες την κάλυψη βρίσκεται ο καλούμενος). Από την πληροφορία αυτή δρομολογεί την κλήση προς το αντίστοιχο κέντρο επισκέψεως, ενδεχομένως μέσω του σταθερού δικτύου.

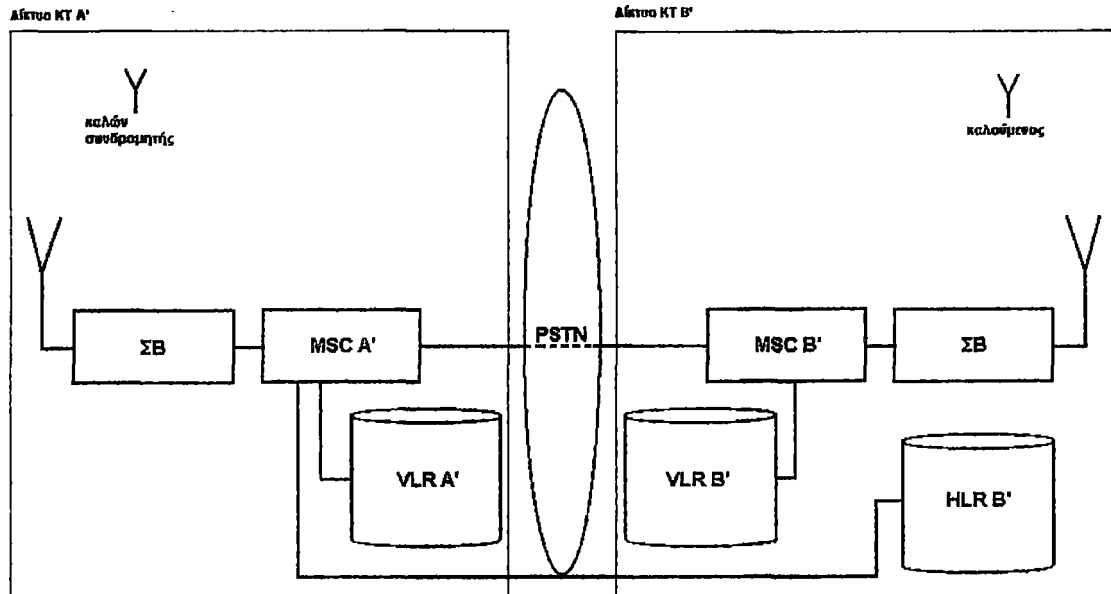


Μόλις ο καλούμενος απαντήσει και η ζεύξη είναι καθ' όλα έτοιμη για συνομιλία, στέλνεται στον καλούντα μήνυμα αποκατάστασης και του χορηγείται ένα αποκλειστικό κανάλι κίνησης για να μιλήσει. Στην ειδική περίπτωση όπου ο καλούμενος ανήκει στο ίδιο κέντρο με τον καλούντα γίνεται και πάλι αναζήτηση του αριθμού περιαγωγής του στην οικεία βάση εγγραφής ο οποίος όμως οδηγεί πίσω στο ίδιο κέντρο και η σύνδεση γίνεται χωρίς συμμετοχή του σταθερού δικτύου.

2.2.2 : ΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΙΝΗΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΟΥ ΑΝΗΚΟΥΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Πρόκειται για κλήση κινητού συνδρομητή που είναι εγγεγραμμένος σε κάποιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας προς κινητό που ανήκει σε άλλο δίκτυο της ίδιας ή διαφορετικών χώρων.

Γίνεται ανάλυση μέρους του αριθμού του καλούμενου συνδρομητή από το κέντρο του καλούντος. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ότι η κλήση κατευθύνεται σε άλλο δίκτυο. Όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, γίνεται από το κέντρο του καλούντος έρευνα στην οικεία βάση εγγραφής του καλούμενου ώστε να δρομολογηθεί η κλήση προς το κατάλληλο κέντρο που παρακολουθεί τον καλούμενο κινητό συνδρομητή την περίοδο αυτή.



Μόλις εντοπισθεί ο καλούμενος το κέντρο τον ενεργοποιεί με τηλεειδοποίηση και η κλήση αποκαθίσταται. Στην περίπτωση αυτή προκύπτει εύλογα ότι για την αποκατάσταση της κλήσης συμμετέχει και το σταθερό δίκτυο.

Αν από την ανάλυση του χαρακτηριστικού αριθμού που κάνει το κέντρο κινητής τηλεφωνίας του καλούντος προκύψει πως η κλήση κατευθύνεται προς μία άλλη χώρα, τότε αυτή δρομολογείται κατευθείαν προς ένα διεθνές κέντρο του σταθερού δικτύου, που είναι πλέον υπεύθυνο να αποκαταστήσει τη σύνδεση.

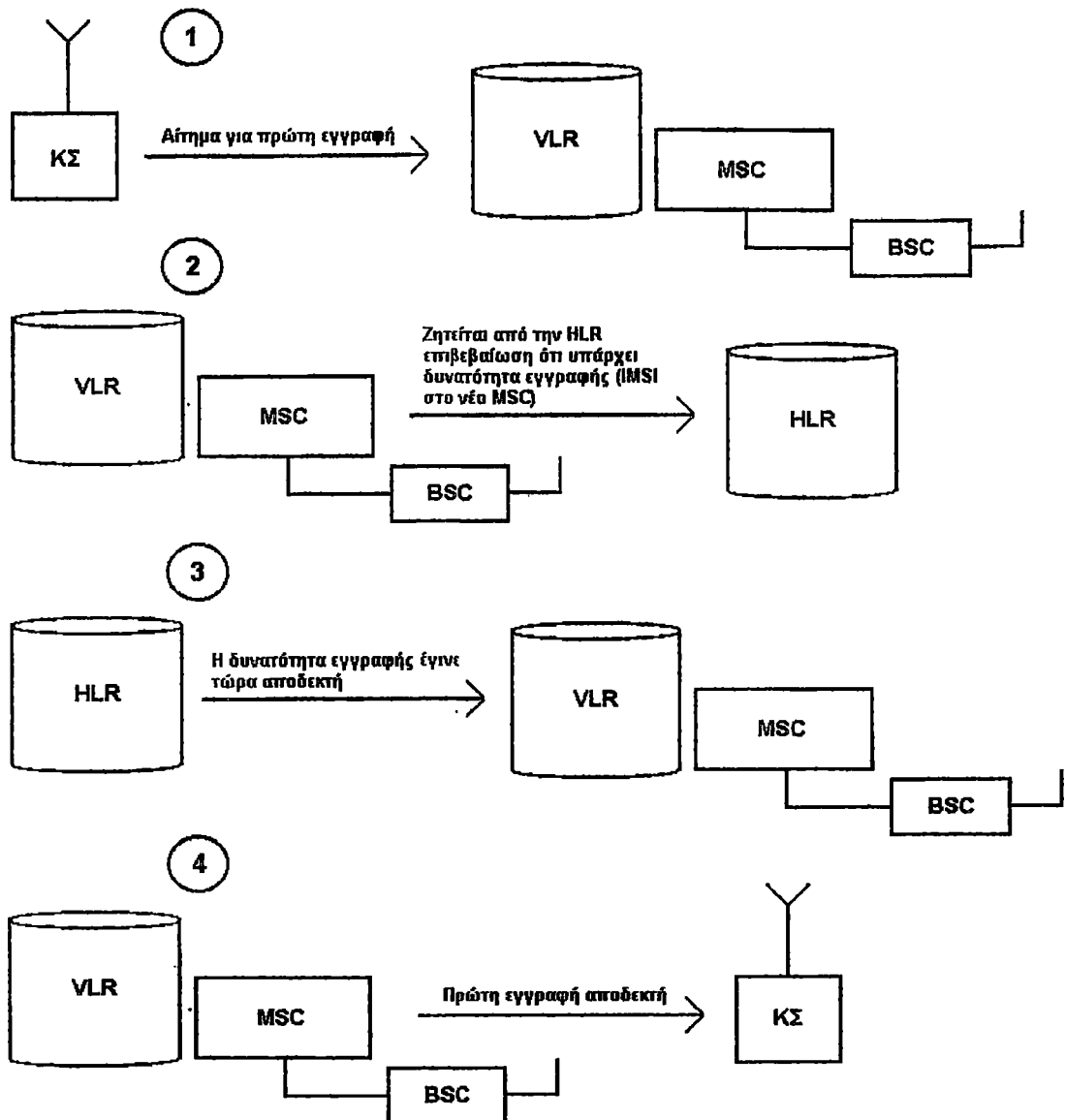
2.2.3 : ΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνει μέρος και το σταθερό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Υποθέτουμε ότι ένας σταθερός συνδρομητής θέλει να επικοινωνήσει με έναν κινητό. Μετά την επιλογή των ψηφίων από τον καλούντα και τις διαδικασίες της πιστοποίησης, κρυπτογράφησης λόγου και ανάθεσης καναλιού ομιλίας, η κλήση δρομολογείται προς το πλησιέστερο για τον καλούντα πρωτεύον σταθερό κέντρο. Στη συνέχεια το πρωτεύον κέντρο οδηγεί την κλήση προς το εγγύτερο κέντρο κινητής τηλεφωνίας του αντίστοιχου φορέα. Το τελευταίο πραγματοποιεί μία έρευνα στην οικεία βάση εγγραφής και δρομολογεί την κλήση προς το κέντρο όπου ανήκει ή βρίσκεται σε περιαγωγή ο καλούμενος, ο οποίος ειδοποιείται με τηλεειδοποίηση. Έτσι αποκαθίσταται η κλήση. Θεωρούμε τώρα την περίπτωση όπου ο κινητός συνδρομητής καλεί σταθερό. Καταρχήν επιλέγει τον αριθμό 0 + ΑΒΓ + ΧΧΧΧΧ του σταθερού συνδρομητή. Το κέντρο κινητής τηλεφωνίας του καλούντος οδηγεί την κλήση προς το πρωτεύον κέντρο στο οποίο ανήκει ο σταθερός συνδρομητής. Το πρωτεύον κέντρο δρομολογεί την κλήση προς το κομβικό ή/και προς το αστικό κέντρο του καλούμενου σταθερού και η κλήση αποκαθίσταται.

2.3: ΑΡΧΙΚΗ ΕΓΓΡΑΦΗ ΚΙΝΗΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Μόλις ο κινητός σταθμός τεθεί σε λειτουργία, αρχίζει μία σάρωση στα κανάλια BCH/CCCH, για να βρει την σωστή συχνότητα. Η συχνότητα αυτή περιέχει όλες τις πληροφορίες εκπομπής και τα πιθανά μηνύματα τηλεειδοποίησης. Μιας και ο κινητός σταθμός εισέρχεται για πρώτη φορά στο σύστημα ή έπειτα από μεγάλη παύση, το κέντρο και η βάση επισκέψεως δεν γνωρίζουν τίποτα γι' αυτόν και πρέπει να ενημερωθούν. Ο κινητός σταθμός αρχίζει την ενημέρωση του συστήματος με τον IMSI την πληροφορία ότι είναι νέος στην περιοχή και ανταλλάσσεται η ταυτότητα της περιοχής εντοπισμού του (LAI). Από τότε το σύστημα τον θεωρεί συνδεδεμένο και καταγράφει το διεθνή αριθμό IMSI στα αρχεία της βάσης επισκέψεως. Η περίπτωση της πρώτης εγγραφής σημειώνεται στο άνω μέρος του επομένου σχήματος.

Η διαγραφή ενός κινητού σταθμού συσχετίζεται επίσης με τη διαχείριση του IMSI όπως περιγράφεται στο κάτω μέρος του επόμενου σχήματος. Με τη διαγραφή του ο κινητός συνδρομητής δηλώνει ότι καθίσταται ανενεργός και κανένα μήνυμα τηλεειδοποίησης δεν στέλνεται πλέον προς αυτόν.



2.4: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΚΥΤΤΑΡΟ ΣΕ ΚΥΤΤΑΡΟ - ΜΕΤΑΓΩΓΗ

Καθώς η κινητή μονάδα κινείται στην γεωγραφική περιοχή η οποία καλύπτεται ηλεκτρομαγνητικά από το συγκεκριμένο κυτταρικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας, αλλάζει διαδοχικά κύτταρα (στην ουσία πραγματοποιείται αλλαγή των σταθμών βάσης), τα οποία έχουν την ευθύνη αποκατάστασης των κλήσεων καθώς και την εξασφάλιση της συνέχειας στην ενεργό επικοινωνία. Επειδή τα γειτονικά κύτταρα λειτουργούν με διαφορετικά σύνολα συχνοτήτων, μία κλήση η οποία ευρίσκεται σε εξέλιξη πρέπει να χρησιμοποιήσει νέα συχνότητα, ανάλογα με το κύτταρο στο οποίο ευρίσκεται ο κινητός συνδρομητής. Η διαδικασία της αυτόματης μεταφοράς του ελέγχου των κλήσεων από κύτταρο σε κύτταρο ονομάζεται μεταγωγή. Υπάρχουν δύο κυρίως λόγοι για την πραγματοποίηση της μεταγωγής :

- Γνήσια μεταγωγή : Η ένταση του λαμβανομένου σήματος από την κινητή μονάδα είναι πολύ χαμηλή οπότε υπάρχει κίνδυνος να πέσει κάτω από το κατώφλι ευαισθησίας και να διακοπεί η επικοινωνία.
- Κατευθυνόμενη μεταγωγή : Η μεταγωγή αυτή πραγματοποιείται προκειμένου να επιτευχθεί ισόρροπη κατανομή του επικοινωνιακού φορτίου του συστήματος.

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι υλοποιούν την διαδικασία της μεταγωγής πραγματοποιούν συνοπτικά τις εξής λειτουργίες :

- Αποφασίζουν ποιες κινητές μονάδες που ικανοποιούν τα κριτήρια για την πραγματοποίηση της μεταγωγής.
- Προσδιορίζουν ποια κύτταρα μπορούν να δεχθούν την κινητή μονάδα μετά την διαδικασία της μεταγωγής.
- Τοποθετούν σε σειρά προτεραιότητας τα υποψήφια κύτταρα τα οποία πρόκειται να δεχθούν κλήση για πιθανή μεταγωγή.

2.4.1: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Τα κριτήρια με τα οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις για την έναρξη της διαδικασίας της μεταγωγής είναι τα εξής :

A) Μέτρηση της έντασης του εκπαιμπόμενου σήματος : Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό επιλέγεται ο σταθμός βάσης ο οποίος λαμβάνει το ισχυρότερο σήμα από την κινητή μονάδα. Πολλά από τα υπάρχοντα συστήματα υιοθετούν το κριτήριο αυτό λόγω του ότι η ένταση του σήματος μπορεί να μετρηθεί εύκολα. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις δεν χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας γιατί η λαμβανόμενη ένταση του σήματος στο συγκεκριμένο σημείο μπορεί να υποβαθμίζεται από ισχυρή παρεμβολή γειτονικού καναλιού ή συγκαταλιική παρεμβολή. Οι προαναφερθείσες μετρήσεις αρχίζουν όταν η ένταση του σήματος μίας κλήσης, η οποία ευρίσκεται σε εξέλιξη, μειωθεί περισσότερο από ένα προκαθορισμένο όριο. Το όριο που συνήθως είναι αποδεκτό είναι τα -100 dbm για κυτταρικά συστήματα με χαμηλή στάθμη θορύβου και -95 dbm για τα αντίστοιχα συστήματα με χαμηλή στάθμη παρεμβολών. Με τον τρόπο αυτόν ελαττώνεται το φορτίο που επεξεργάζεται το CKKT, ταυτόχρονα όμως υπάρχει το ενδεχόμενο της μη πραγματοποίησης των μεταγωγών όταν το όριο δεν έχει ξεπεραστεί ακόμη και αν ο κινητός συνδρομητής υπερβεί τα γεωγραφικά όρια του κυττάρου. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει σοβαρός κίνδυνος παρεμβολών από τις ραδιο-μονάδες των άλλων κυττάρων .

B) Μέτρηση της απόστασης : Επιλέγεται ο σταθμός βάσης που βρίσκεται πλησιέστερα στον κινητό σταθμό, συγκρίνοντας τις καθυστερήσεις κατά την μετάδοση των σημάτων τα οποία δέχονται οι γειτονικοί σταθμοί βάσης. Το κριτήριο αυτό προσφέρει καλύτερη απόδοση του διαθέσιμου ραδιο-φάσματος από το προηγούμενο λόγω

του ότι οι μεταγωγές πραγματοποιούνται ακριβώς στα όρια των κυττάρων.

Γ) Μέτρηση του λόγου σήματος φορέα προς παρεμβολή : Με το κριτήριο αυτό μετριέται ο λόγος έντασης σήματος φορέα προς παρεμβολή. Μία μείωση του λόγου C/I μπορεί να συμβεί είτε με μείωση της έντασης του σήματος του φορέα (αύξηση της απόστασης κινητής μονάδας από σταθμό βάσης) είτε με αύξηση της έντασης των παρεμβολών.

2.4.2: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΜΕΤΑΓΩΓΩΝ

Όταν ένας κινητός σταθμός είναι συνδεδεμένος και συνομιλεί, χρησιμοποιεί ένα κανάλι ομιλίας (TCH). Με την απομάκρυνση όμως του κινητού συνδρομητή από την ομάδα πομποδεκτών (BTS) που συντηρεί την κλήση, οι απώλειες και οι παρεμβολές που υπεισέρχονται αυξάνονται και η ποιότητα επικοινωνίας μειώνεται. Για το λόγο αυτό πρέπει μία νέα ομάδα πομποδεκτών να αναλάβει την κλήση. Το κέντρο θα αποφασίσει για την εναλλαγή με βάση τις πληροφορίες που φθάνουν στον σταθμό βάσης από την κινητή μονάδα. Για να προσδιορισθεί η ακριβής στιγμή που θα γίνει η εναλλαγή, κινητός σταθμός και δίκτυο είναι συγχρονισμένα και ανταλλάσσουν σήματα κατά την διάρκεια της ομιλίας. Για τη μεταβίβαση της σηματοδότησης κατά την διάρκεια της ομιλίας, η κινητή μονάδα πρέπει να χρησιμοποιήσει και δεύτερο κανάλι. Δεδομένου όμως ότι τα κανάλια είναι περιορισμένα, το κανάλι ομιλίας είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να μεταφέρει και σηματοδότηση μαζί με την ομιλία.

Η απόφαση για το ποιο κύτταρο θα δεχθεί την κλήση από μεταγωγή λαμβάνεται από το ψηφιακό κέντρο κινητής τηλεφωνίας αφού προηγουμένως έχει διερευνηθεί η δυνατότητα των γειτονικών κυττάρων να υποδεχθούν τις νέες κλήσεις. Το κέντρο παρακολουθεί σε τακτά χρονικά διαστήματα την ένταση του εκπεμπόμενου σήματος κάθε κινητής μονάδας- στην περίπτωση που υιοθετούμε το πρώτο σενάριο- μέσω των ραδιο-διαύλων. Αν η ένταση μειωθεί κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο, η μονάδα ελέγχου BSC τοποθετεί την κλήση σε έναν κατάλογο υποψηφίων για μεταγωγή και στη συνέχεια ενημερώνει το MSC. Είναι προφανές ότι μία μεγάλη συχνότητα μετρήσεων αποφέρει σημαντική αύξηση στο υπολογιστικό φορτίο που επεξεργάζεται το MSC. Από την άλλη πλευρά, έχοντας μειώσει τον αριθμό των μετρήσεων υπάρχει ο κίνδυνος η κινητή μονάδα να περάσει τα νοητά όρια του κυττάρου και να μην έχει αρχίσει η διαδικασία της μεταγωγής.

Αφού αποφασισθεί η μεταγωγή, το MSC δίνει οδηγία σε όλα τα γειτονικά κύτταρα καθώς και στο κύτταρο στο οποίο μετρήθηκε το ασθενές σήμα να μετρήσουν την ένταση του σήματος στον συγκεκριμένο ραδιο-δίαυλο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών τα λαμβάνει τελικά το MSC το οποίο αποφασίζει και το υποψήφιο κύτταρο που θα αναλάβει τον έλεγχο της κλήσης.

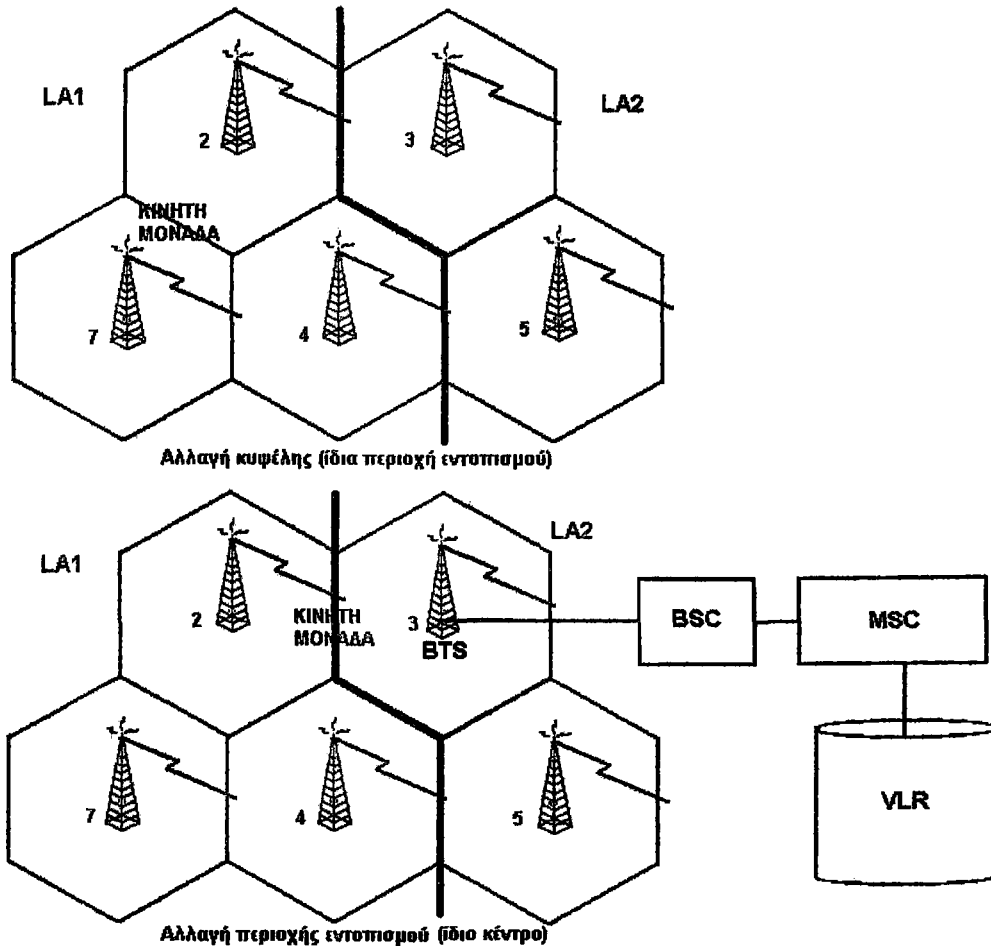
Μετά την λήψη της απόφασης, η κινητή μονάδα ενημερώνεται για την νέα συχνότητα στην οποία πρέπει να συντονιστεί καθώς επίσης και το νέο κύτταρο. Η διαδικασία της μεταγωγής πραγματοποιείται σε χρόνο μικρότερο από ένα δευτερόλεπτο χωρίς διακοπή της επικοινωνίας και παίρνει τέλος όταν το νέο κύτταρο διαπιστώσει ότι η κινητή μονάδα έχει συντονισθεί στην νέα συχνότητα μέσω ενός ειδικού σήματος αναγνώρισης (acknowledgement).

2.4.3: ΠΕΡΙΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

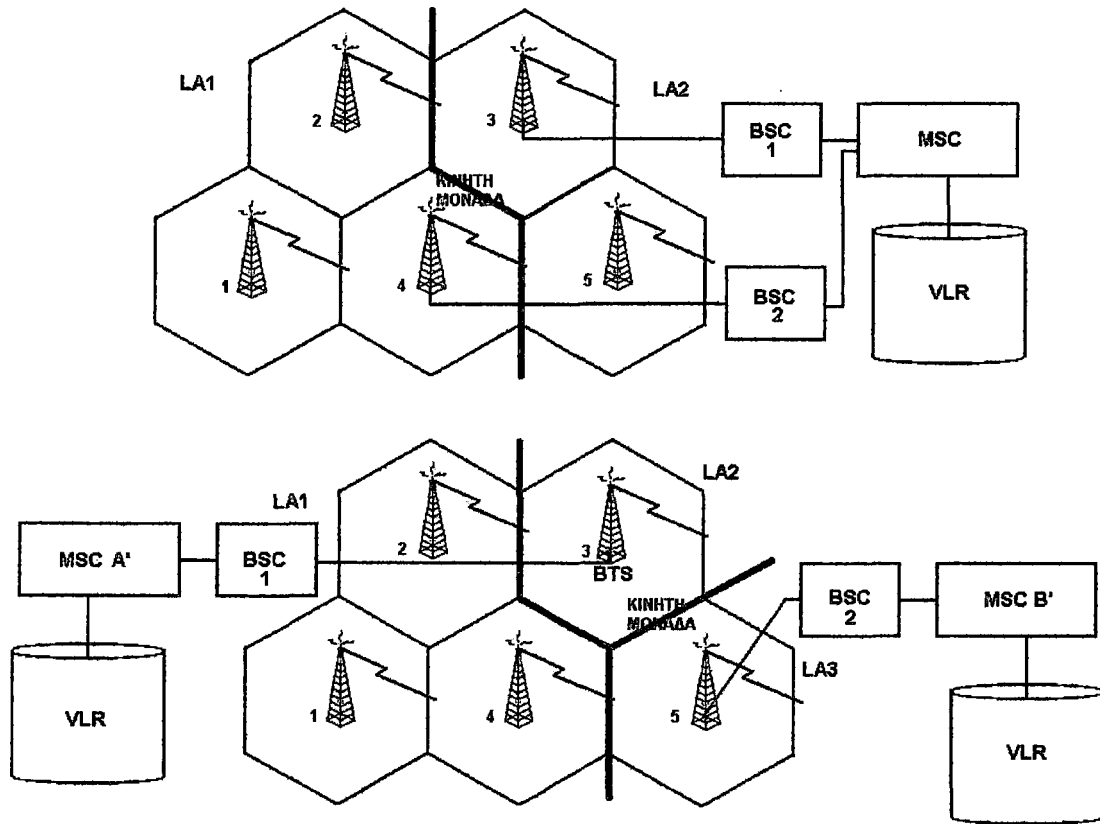
Όταν ένας κινητός σταθμός είναι ενεργοποιημένος αλλά αδρανής και κινείται μέσα σε μία περιοχή εντοπισμού, είναι συντονισμένος σε μία ραδιοσυχνότητα και χρησιμοποιεί τα κανάλια CCCH και BCH. Καθώς γνωρίζουμε υπάρχουν τρεις περιπτώσεις εναλλαγής ή μεταπομπής κυψέλης (κυττάρου).

- Στην ίδια ή σε διαφορετική περιοχή εντοπισμού, με την ίδια μονάδα ελέγχου του σταθμού βάσης.
- Σε διαφορετική περιοχή εντοπισμού με διαφορετική μονάδα ελέγχου σταθμού βάσης του ίδιου κέντρου MSC και
- Σε περιοχή που ελέγχεται από διαφορετικά κέντρα.

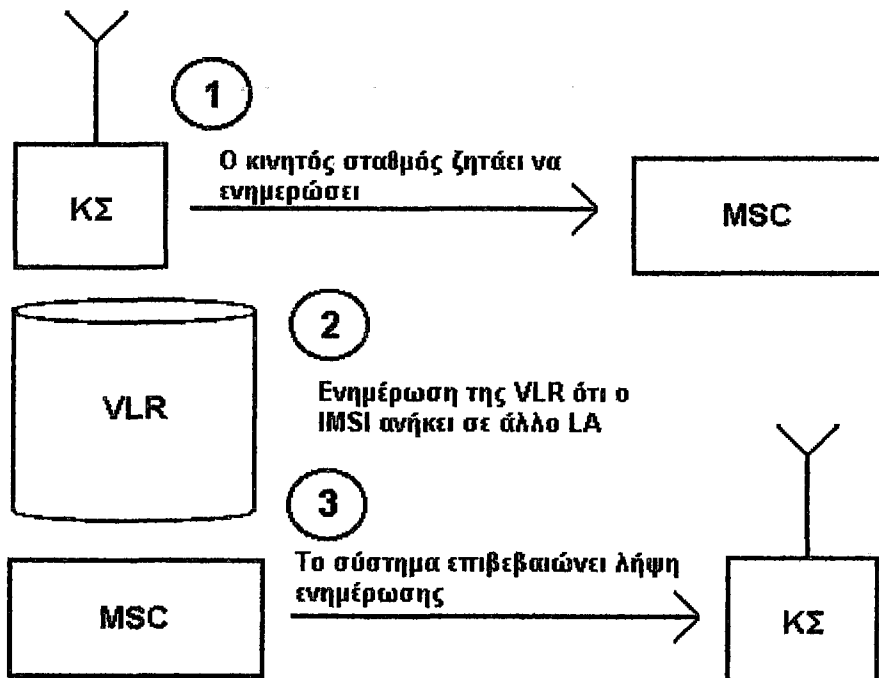
Στην πρώτη περίπτωση εντοπισμού (locating) καθώς ο κινητός σταθμός κινείται απομακρυνόμενος από την κεραία της ομάδας πομποδεκτών που τον ελέγχει, η στάθμη ισχύος του σήματος που δέχεται μειώνεται. Όπως φαίνεται στο ανώτερο μέρος του επόμενου σχήματος, πλησιάζοντας στα όρια της κυψέλης 1 προς την κυψέλη 2 η οποία επίσης ανήκει στην ίδια περιοχή εντοπισμού, γίνεται εναλλαγή στις ραδιοσυχνότητες της γειτονικής κυψέλης. Μόλις με τις συνεχείς μετρήσεις βεβαιωθεί ότι η στάθμη από τη νέα ομάδα πομποδεκτών της κυψέλης 2 είναι πιο καλή ο σταθμός 'κλειδώνεται' δηλαδή συντονίζεται σταθερά στη νέα συχνότητα χωρίς να ενημερωθεί το υπόλοιπο δίκτυο. Ο κινητός σταθμός λαμβάνει πλέον από τη νέα αυτή συχνότητα την τηλεειδοποίηση ή τα μικρά μηνύματα. Ανάλογη περίπτωση (ίδιο σχήμα, στο κάτω μέρος) είναι η μετάβασή του από την κυψέλη 2 στην κυψέλη 3 η οποία ανήκει σε μια νέα περιοχή εντοπισμού LA2. Μόλις πληροφορηθεί δια του καναλιού BCCH του σταθμού βάσης ότι άλλαξε η ταυτότητα LA1 καθώς εισήλθε στην κυψέλη 3 υποχρεώνεται άμεσα να επανεγγραφεί (forced registration) στη βάση επισκέψεως ενημερώνοντας ότι βρίσκεται στη νέα περιοχή εντοπισμού (location updating).



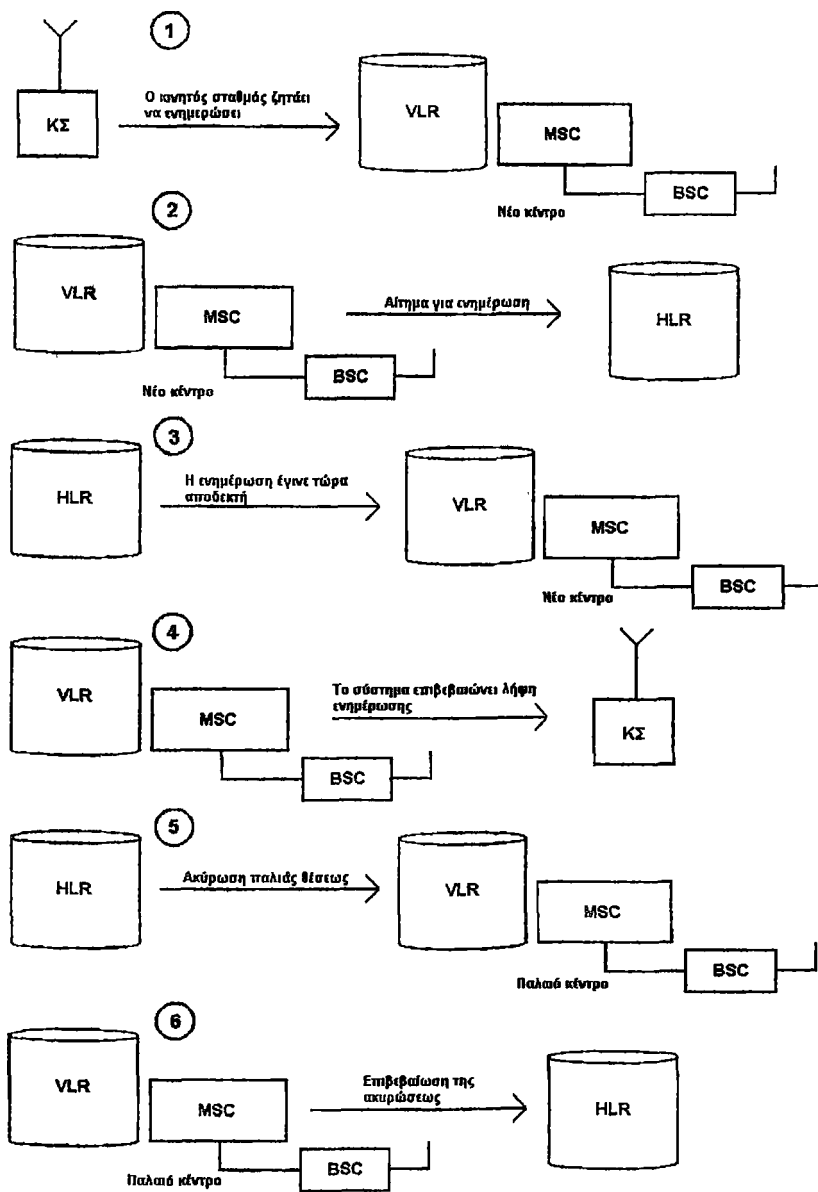
Η δεύτερη και η τρίτη περίπτωση εντοπισμού (locating) εικονίζονται στο επόμενο σχήμα. Στο ανώτερο μέρος του σχήματος αλλάζει η περιοχή εντοπισμού (από LA1 σε LA2) με μετάπτωση σε άλλη μονάδα BSC του ίδιου κέντρου (κίνηση από την κυψέλη 3 στην 4). Στο κάτω μέρος αλλάζει η περιοχή εντοπισμού (από την LA2 στην LA3). Η παλιά και η νέα περιοχή εντοπισμού ανήκουν σε διαφορετικά κέντρα (κίνηση από την κυψέλη 3 στην 5).



Οι διαδικασίες που συμβαίνουν διαδοχικά στη δεύτερη και στην τρίτη περίπτωση εξηγούνται στο επόμενο σχήμα (άνω η δεύτερη και κάτω η τρίτη περίπτωση αντίστοιχα).

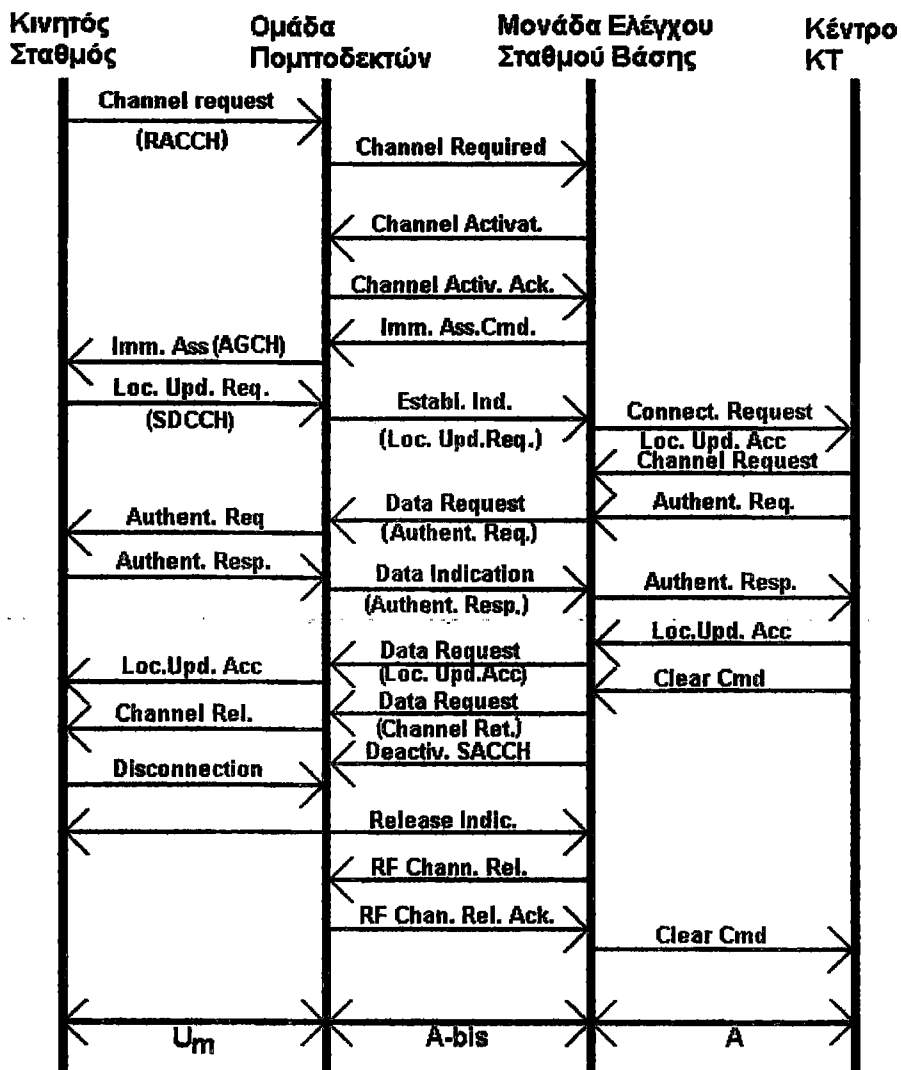


Στην περίπτωση μεταβάσεως σε περιοχή που ελέγχεται από άλλο κέντρο η ουσιαστική διαφορά είναι συνεπώς ότι απαιτούνται πιο πολλές ενημερώσεις, ώστε μία εισερχόμενη κλήση να μπορεί να δρομολογηθεί ξανά. Το νέο κέντρο και η νέα βάση επισκέψεως ενημερώνουν την οικεία βάση του κινητού σταθμού. Η οικεία βάση με τη σειρά της διαγράφει την παλαιά περιοχή εντοπισμού από τα στοιχεία της και αξιώνει από το παλιό κέντρο στο οποίο ως τότε βρισκόταν ο κινητός σταθμός (κυψέλη 3), να τον διαγράψει και η παλιά βάση επισκέψεως από τα αρχεία της.



Τα διάφορα σήματα που ανταλλάσσονται μεταξύ κινητού σταθμού, ομάδας πομποδοκτών σταθμού βάσης, μονάδας κεντρικού ελέγχου σταθμού βάσης και κέντρου κινητής τηλεφωνίας σημειώνονται στο επόμενο διάγραμμα. Στο ίδιο σχήμα

σημειώνονται τα κανάλια που συμμετέχουν σε κάθε φάση και η διεπαφή αν δηλαδή είναι το ραδιοηλεκτρικό τμήμα Um, είτε η προσαρμογή A-bis ή τέλος η A-προσαρμογή. Όπως δείχνει το σχήμα αρχικά ο κινητός σταθμός ζητάει από την ομάδα πομποδεκτών (BTS) κανάλι για να ενημερώσει το σύστημα (channel request). Η μονάδα BTS γνωστοποιεί το αίτημα με μία σειρά σημάτων (channel required, channel activation, immediate assignment command) προς την μονάδα ελέγχου του σταθμού βάσης. Μόλις ορισθεί κανάλι SACCH στον κινητό σταθμό, αυτός συντονίζεται και αποκαθίσταται επαφή με το κέντρο κινητής τηλεφωνίας (σήματα establish indication, connection request) οπότε το κέντρο ζητάει πιστοποίηση (authentication request). Ο κινητός σταθμός πιστοποιεί τον εαυτό του (authentication response) και μεταβιβάζονται τα δεδομένα (data indication, data request, location updating accepted). Μόλις ολοκληρωθεί η ενημέρωση το κέντρο αποστέλλει εντολή απολύσεως (clear command) και απενεργοποίηση του καναλιού SACCH (deactivation of SACCH). Ακολουθεί απόλυση και απελευθέρωση του ραδιοηλεκτρικού καναλιού.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

3.5: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αντικειμενικός στόχος της διαχείρισης και της αντίστοιχης καταχώρησης των συχνοτήτων σε ένα κυτταρικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας είναι η βέλτιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου ραδιο – φάσματος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει περιορισμός της συγκαταλικής παρεμβολής και της παρεμβολής ενδοδιαμόρφωσης . Οι στρατηγικές καταχώρησης συχνοτήτων για τα συμβατικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας βασίζονται στην διαίρεση του διαθέσιμου ραδιο-φάσματος σε σύνολα ισαπεχουσών συχνοτήτων . Η επιλογή και χρήση των ραδιο-διαύλων σε κάθε σταθμό βάσης θα πρέπει να γίνει κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην εμφανίζονται σημαντικά προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης από το οποιοδήποτε συνδυασμό συχνοτήτων . Αυτό φυσικά συνεπάγεται συμβατότητα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης και πέμπτης τάξης . Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές η στρατηγική αυτή δύσκολα πραγματοποιείται λόγω του μεγάλου αριθμού των υπό εξυπηρέτηση χρηστών . Στην περίπτωση αυτή , για την αποφυγή τουλάχιστον των ανεπιθύμητων σημάτων στους φορητούς και κινητούς δέκτες , χρησιμοποιούνται πλάνα συχνοτήτων με συμβατότητα τρίτης τάξης .

Στα πλαίσια της διαχείρισης και καταχώρησης των συχνοτήτων στα κυτταρικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας όπου οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται στο κέντρο των κυττάρων είναι απαραίτητο να δοθεί απάντηση στις παρακάτω ερωτήσεις :

A) Με δεδομένες τις μεταβλητές του αριθμού των διαθέσιμων ραδιο-διαύλων και του μεγέθους του συγκροτήματος των κυττάρων , μπορούν να καταχωρηθούν συχνότητες σε κάθε κύτταρο ώστε να χρησιμοποιούνται όλοι ή σχεδόν όλοι οι διαθέσιμοι ραδιο-διαύλοι με παράλληλη συμβατότητα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξης ;

B) Αν το παραπάνω μπορεί να επιτευχθεί , ποιοι από τους πιθανούς σχηματισμούς κυττάρων προσφέρουν καλύτερα αποτελέσματα από την πλευρά της πολυ-σύζευξης ;

3.2: ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Ένας μεγάλος αριθμός από στρατηγικές διαχείρισης και καταχώρησης συχνοτήτων σε κυτταρικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια ως μία απάντηση στην ανάγκη της αγοράς για αύξηση της χωρητικότητας. Σε ένα οποιοδήποτε TDMA ή FDMA σύστημα, πρέπει να οριστεί μια ελάχιστη απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων έτσι ώστε η συγκαταλική παρεμβολή να διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα. Επιπλέον, μερικά συστήματα απαιτούν οι ραδιο-διαύλοι να ικανοποιούν μία ελάχιστη τιμή του λόγου Ψ/I . Η πιο απλή στρατηγική που εγγυάται την σωστή επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, η ονομαζόμενη σταθερή καταχώρηση συχνοτήτων ή FCA απλά τεμαχίζει το διαθέσιμο φάσμα μεταξύ όλων των κυττάρων που σχηματίζουν ένα υπερκύτταρο (του οποίου η ακτίνα καθορίζεται από την απόσταση επαναχρησιμοποίησης). Στην περίπτωση αυτή μία αίτηση για αποκατάσταση επικοινωνίας γίνεται αποδεκτή εάν και μόνο εάν

υπάρχει ένα ελεύθερο κανάλι μέσα στο τμήμα του φάσματος που έχει καταχωρηθεί στο κύτταρο όπου λαμβάνει χώρα η κλήση, υφιστάμενο ίσως έναν ελάχιστο λόγο C/I.

Η στρατηγική FCS είναι απλή αλλά περιοριστική δεδομένου ότι μία αίτηση για κλήση μπορεί να απορριφθεί όταν υπάρχει ένας ελεύθερος διαθέσιμος ραδιο-δίαυλος μέσα στο υπερκύτταρο αλλά όταν δεν υπάρχει ελεύθερο κανάλι στο τμήμα του φάσματος που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο κύτταρο. Εναλλακτικές στρατηγικές διαχείρισης συχνοτήτων μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα στην εκμετάλλευση του διαθέσιμου ραδιο-φάσματος με αντίτιμο την ανάγκη για ανταλλαγή πιο πολύπλοκης και μεγαλύτερης σε όγκο πληροφορίας. Γενικά, αυτές οι στρατηγικές διαφέρουν σε σχέση με την FCA ως προς ένα ή περισσότερα από τα επόμενα τρία σημεία :

- Έλεγχος της αποδοχής των κλήσεων.
- Στρατηγική καταχώρησης συχνοτήτων.
- Αλγόριθμος .

Ο έλεγχος της αποδοχής των κλήσεων πρέπει να απαντήσει στο ερώτημα «Πότε μία κλήση γίνεται αποδεκτή;». Η στρατηγική FCA αποδέχεται μία κλήση εάν υπάρχει ένας ελεύθερος ραδιο-δίαυλος φωνής στο αντίστοιχο τμήμα του διαθέσιμου φάσματος. Η στρατηγική καταχώρησης συχνοτήτων απαντάει στο ερώτημα «Σε ποιο κανάλι αναθέτουμε την διακπεραίωση της κλήσης;». Η FCA μέθοδος διαχέει κάθε τμήμα πάνω σε όλο το φάσμα έτσι ώστε να αποφευχθεί η παρεμβολή γειτονικού καναλιού. Ένας αλγόριθμος αναφέρεται στο ακόλουθο θέμα «Πότε και πώς θα πρέπει το σύστημα να αναθέσει κλήσεις που ευρίσκονται σε εξέλιξη σε καινούρια κανάλια;». Η FCA ποτέ δεν κάνει επαναδιανομή των συχνοτήτων για να διευκολυνθούν οι νέες κλήσεις.

Οι προτεινόμενες τακτικές που αφορούν τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων κυμαίνονται σε ένα φάσμα που ξεκινά από την FCA και καταλήγει στο κλασσικό μοντέλο της δυναμικής διαχείρισης συχνοτήτων, η οποία κάνει αποδεκτή μία κλήση όταν βρεθεί ελεύθερο ένα οποιοδήποτε κανάλι που απλά ικανοποιεί τον ελάχιστο αποδεκτό λόγο C/I. Η σταθερή καταχώρηση συχνοτήτων αναπαριστά έναν πλήρη διαχωρισμό των συχνοτήτων μεταξύ των κυττάρων που απαρτίζουν ένα υπερκύτταρο. Αντιθέτως, η DCA αναπαριστά ένα πλήρες μοίρασμα των καναλιών. Ενδιάμεσες τακτικές διαφέρουν ως προς τον βαθμό του μοιράσματος που επιτρέπουν και περιλαμβάνουν υβριδικές στρατηγικές, ρύθμιση των παραμέτρων σύμφωνα με το φορτίο κίνησης και δανεισμό κυττάρων. Οι προτεινόμενες στρατηγικές καταχώρησης συχνοτήτων κυμαίνονται σε ένα φάσμα που ξεκινά από την τυχαία καταχώρηση, η οποία αναθέτει τυχαία ένα οποιοδήποτε κανάλι που ικανοποιεί τα κριτήρια όπως αυτά θέτονται από τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων σε μία νέα εισερχόμενη κλήση και καταλήγει στην γενική καταχώρηση, η οποία χρησιμοποιεί πληροφορίες σχετικά με όλες τις υπάρχοντες καταχωρήσεις συχνοτήτων στην υπό εξυπηρέτηση περιοχή έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να καταχωρήσει ένα κανάλι κατά έναν τρόπο που θα συντελεί στην ελαχιστοποίηση ορισμένων αρνητικών παραγόντων. Ενδιάμεσες στρατηγικές διαφέρουν ως προς την ποσότητα της πληροφορίας που απαιτείται και περιλαμβάνουν υβριδικές στρατηγικές, δανεισμό καναλιών, επιθετική καταχώρηση συχνοτήτων και. Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι κυμαίνονται σε ένα φάσμα που ξεκινά από την καθόλου επανακαταχώρηση, όπως συμβαίνει στην FCA, και καταλήγει στο μέγιστο, όπου γίνεται επανακαταχώρηση σε όσο το δυνατόν περισσότερες κλήσεις σε όλη την υπο εξυπηρέτηση περιοχή έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να υποδεχθεί μία νέα κλήση. Οι ενδιάμεσες στρατηγικές διαφέρουν ως προς τον αριθμό των επανακαταχωρήσεων που επιτρέπουν και περιλαμβάνουν διάταξη καναλιών, επιθετική καταχώρηση συχνοτήτων.

Οι πιο πρόσφατες προτεινόμενες τακτικές έχουν χρησιμοποιήσει την πληροφορία C/I καθώς και τον έλεγχο ισχύος για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος. Οι τακτικές αυτές βασίζονται στο επίπεδο της παρεμβολής που

εμφανίζεται είτε στον σταθμό βάσης είτε στην κινητή μονάδα και είναι συνεπείς με τον στόχο της κατανεμημένης καταχώρησης συχνοτήτων, ο οποίος γίνεται περισσότερο σημαντικός καθώς ο αριθμός των κυττάρων αυξάνει, γεγονός που καθιστά τις κεντρικές μεθόδους καταχώρησης συχνοτήτων άχρηστες. Ο έλεγχος ισχύος χρησιμοποιείται για να βελτιωθεί η ποιότητα της κλήσης στην θέση της κινητής μονάδας και για να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές. Επιπλέον, έλεγχος ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην διαδικασία αποδοχής κλήσεων. Συστήματα που υιοθετούν την τεχνική του ελέγχου ισχύος είναι δυνατόν να προκαλέσουν περισσότερες ανακατατάξεις κλήσεων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συστήματα σταθερής ισχύος. Εφόσον αυτές οι επιπρόσθετες ανακατατάξεις αφορούν πιο συχνά τις υπάρχοντες κλήσεις στο σύστημα, ο έλεγχος ισχύος σε συνδυασμό με έναν κατάλληλο αλγόριθμο καταχώρησης συχνοτήτων μπορούν να αποτελέσουν έναν αλγόριθμο που αναδιατάσσει κλήσεις σε εξέλιξη με σκοπό να υποδεχθεί μια νέα κλήση.

Ένα μεγάλο μέρος της ανάλυσης των προαναφερθέντων στρατηγικών καταχώρησης συχνοτήτων εδράζεται στην υπόθεση ότι το μέσο προσφερόμενο φορτίο κίνησης παραμένει σταθερό σε όλη την γεωγραφική περιοχή που βρίσκεται υπό επικοινωνιακή εξυπηρέτηση. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, το κυτταρικό φορτίο είναι ανομοιογενές. Ειδικότερα, στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται μικρότερα κύτταρα, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στα προσωπικά συστήματα επικοινωνίας, περιμένουμε μεγαλύτερη διακύμανση της κίνησης μεταξύ των κυττάρων. Αυτή ακριβώς η διακύμανση παρουσιάζεται ως μία κρίσιμη πρόκληση στην εφαρμογή των σεναρίων FCA και DCA. Επομένως, είναι μεγάλης σημασίας να διερευνηθούν τέτοιες πολιτικές καταχώρησης συχνοτήτων στην περίπτωση που υπάρχει έντονη ανισορροπία του μέσου φορτίου.

Αναφορικά με το σενάριο της ομοιόμορφης κατανομής του φορτίου σε όλη την γεωγραφική περιοχή, έχει διαπιστωθεί ότι σε χαμηλά φορτία η μέγιστη αναδιάταξη είναι η βέλτιστη πολιτική ενώ σε μεγάλα φορτία η FCA είναι σχεδόν η καλύτερη. Αντιθέτως, η έρευνα στην περιοχή της απόδοσης των δυναμικών καταχωρήσεων συχνοτήτων κάτω από ανομοιογενές φορτίο παραμένει μέχρι σήμερα ανεπαρκής. Σε μία πρόσφατη δημοσίευση, διερευνάται η βέλτιστη στρατηγική καταχώρησης συχνοτήτων λαμβανομένου υπόψη διαφοροποιήσεων στο σχέδιο κίνησης. Στην συγκεκριμένη μελέτη ερευνώνται κυτταρικές δομές που αποτελούνται από κύτταρα χαμηλού και υψηλού φορτίου. Δύο ποσοότητες χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της μεταβλητότητας της κίνησης: η χωρική ανισορροπία, οριζόμενη ως το ποσοστό των κυττάρων που παρουσιάζουν υψηλό φορτίο κίνησης και η ανισορροπία φορτίου, οριζόμενη ως το πηλίκο 'υψηλό' προς 'χαμηλό' φορτίο. Βρέθηκε ότι η κλασική δυναμική καταχώρηση συχνοτήτων (με global assignment και maximum packing) επιτυγχάνει υψηλότερο ρυθμό διεκπεραίωσης κλήσεων σε σύγκριση με την σταθερή καταχώρηση συχνοτήτων για όλα τα σενάρια εκτός εκείνων που υποθέτουν συστήματα με πολύ μεγάλο φορτίο και με μικρές διακυμάνσεις αυτού. Αποδείχθηκε επιπλέον ότι η βέλτιστη στρατηγική το μόνο που επιτυγχάνει είναι μία μικρή αύξηση στον συνολικό ρυθμό διεκπεραίωσης κλήσεων σε σύγκριση με την δυναμική καταχώρηση και ότι το κέρδος αυτό εμφανίζεται κατά κύριο λόγο όταν έχουμε μέτρια επίπεδα φορτίου σε συστήματα με υψηλό βαθμό χωρικής ανισορροπίας.

3.3: Η ΔΙΑΧΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Τα σήματα διάχυσης φάσματος που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι το εύρος ζώνης τους w είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από τον ρυθμό της πληροφορίας r σε bits/s. Επομένως ο παράγοντας επέκτασης φάσματος $B=w/r$ για το μεταδιδόμενο σήμα είναι

μεγαλύτερος από την μονάδα. Ο πλεονασμός αυτός που εισάγεται στα σήματα διάχυσης φάσματος είναι απαραίτητος για να αντιμετωπιστούν τα υψηλά επίπεδα παρεμβολής η οποία εμφανίζεται κατά την μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας σε ορισμένα κανάλια. Λαμβανομένου υπόψιν ότι οι κωδικοποιημένες κυματομορφές επίσης χαρακτηρίζονται από έναν παράγοντα επέκτασης φάσματος μεγαλύτερο της μονάδας και εφόσον η κωδικοποίηση είναι μία αποτελεσματική μέθοδος για την εισαγωγή πλεονασμού συνεπάγεται ότι η κωδικοποίηση είναι ένα σημαντικό στοιχείο στον σχεδιασμό σημάτων διάχυσης φάσματος.

Ένα δεύτερο σημαντικό στοιχείο που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό σημάτων διάχυσης φάσματος είναι η ψευδοτυχαιότητα η οποία εμφανίζει τα σήματα παρόμοια με τυχαίο θόρυβο και επομένως είναι δύσκολη η αποδιαμόρφωσή τους σε δέκτες διαφορετικούς από αυτούς στους οποίους απευθύνονται. Το στοιχείο αυτό συνδέεται στενά με την εφαρμογή ή τον σκοπό τέτοιων σημάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα σήματα διάχυσης φάσματος χρησιμοποιούνται για τους ακόλουθους σκοπούς :

- Καταπολέμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων που δημιουργεί η παρεμβολή. Στα είδη της παρεμβολής συγκαταλέγεται η εσκεμμένη παρεμβολή, η παρεμβολή λόγω της ταυτόχρονης μετάδοσης από πολλούς χρήστες του καναλιού καθώς και η παρεμβολή που οφείλεται στην πολυοδική μετάδοση.
- Απόκρυψη του μεταδιδόμενου σήματος (message privacy).

Κατά την καταπολέμηση της εσκεμμένης παρεμβολής (jamming), είναι απαραίτητο κάθε μη εξουσιοδοτημένος δέκτης να μην έχει γνώση των χαρακτηριστικών του σήματος εκτός από το συνολικό εύρος ζώνης και τον τύπο της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται (PSK, FSK, κτλ). Μετά από ένα διάστημα παρατήρησης ο μη εξουσιοδοτημένος δέκτης μπορεί να μιμηθεί το μεταδιδόμενο σήμα από τον πομπό, δεδομένου ότι έχουμε απλώς κωδικοποίηση, και επομένως να προκαλέσει παρεμβολή. Για να αποτραπεί αυτό το ενδεχόμενο, ο πομπός εισάγει ένα στοιχείο μη προβλεπτικότητας ή της ψευδοτυχαιότητας σε κάθε μεταδιδόμενη κωδικοποιημένη κυματομορφή το οποίο είναι γνωστό μόνο στον νόμιμο δέκτη. Κατά συνέπεια παράνομοι δέκτες πρέπει να συνθέσουν και να μεταδώσουν ένα σήμα παρεμβολής χωρίς γνώση του προτύπου πάνω στο οποίο βασίζεται η ψευδοτυχαιότητα.

Παρεμβολή από γειτονικούς χρήστες εμφανίζεται σε επικοινωνιακά συστήματα πολλαπλής πρόσβασης στα οποία ένας αριθμός από χρήστες μοιράζονται ένα κοινό εύρος ζώνης. Κάθε χρονική στιγμή ένα υποσύνολο από αυτούς τους χρήστες μπορεί να μεταδίδουν ταυτόχρονα πληροφορία πάνω στο κοινό κανάλι σε αντίστοιχους δέκτες. Υποθέτοντας ότι όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν τον ίδιο κώδικα για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των αντίστοιχων ακολουθιών πληροφορίας, τα μεταδιδόμενα σήματα μέσα από το κοινό φάσμα μπορούν να διακριθούν μεταξύ τους με εφαρμογή ενός διαφορετικού προτύπου ψευδοτυχαιότητας, γνωστό και ως κώδικας, σε κάθε εκπεμπόμενο σήμα. Επομένως ένας συγκεκριμένος δέκτης μπορεί να συλλέξει την μεταδιδόμενη πληροφορία που αποστέλλεται σε αυτόν έχοντας γνώση του προτύπου ψευδοτυχαιότητας, δηλαδή του κλειδιού, που χρησιμοποιήθηκε από τον αντίστοιχο πομπό. Αυτό το είδος της τεχνικής που επιτρέπει σε πολλαπλούς χρήστες να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα ένα κοινό κανάλι για την μετάδοση πληροφορίας χαρακτηρίζεται ως CDMA (code division multiple access).

Διάφορα ανεπιθύμητα σήματα που δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της διάδοσης του μεταδιδόμενου σήματος μέσα από πολλές διαδρομές στο ίδιο κανάλι (πολυοδική εξασθένιση) μπορούν να θεωρηθούν ως ένα είδος αυτεπαρεμβολής.

Τέτοιο είδος παρεμβολής μπορεί επίσης να αντιμετωπισθεί με την εισαγωγή ενός προτύπου ψευδοτυχαιότητας στο μεταδιδόμενο σήμα όπως θα δειχθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Η απόκρυψη μηνύματος μπορεί να επιτευχθεί με επιβολή του στοιχείου της τυχειότητας στο μεταδιδόμενο σήμα. Το μήνυμα μπορεί να αποδιαμορφωθεί από τους νόμιμους δέκτες που γνωρίζουν το πρότυπο ψευδοτυχειότητας ή αλλιώς το κλειδί της μετάδοσης που χρησιμοποιεί ο πομπός αλλά όχι από οποιονδήποτε άλλο δέκτη που δεν έχει γνώση του κλειδιού.

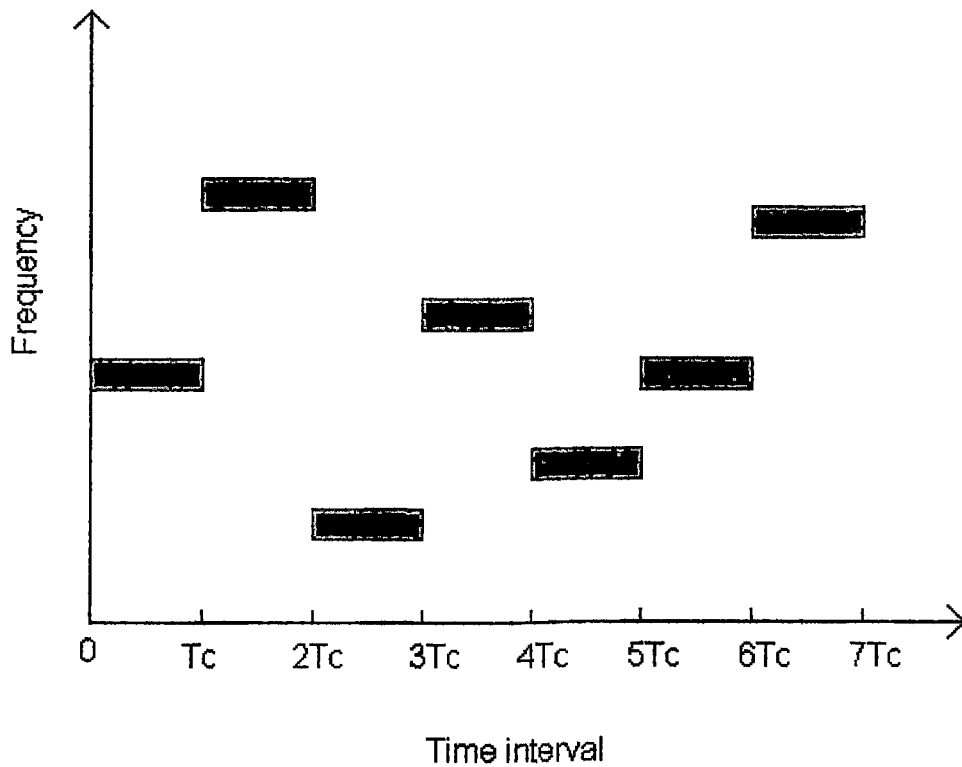
Τα συστήματα διάχυσης φάσματος έχουν ταξινομηθεί με βάση την αρχιτεκτονική τους και την μέθοδο διαμόρφωσης. Οι τεχνικές διάχυσης φάσματος που συναντάμε περισσότερο στην πράξη είναι οι ακόλουθες :

- Direct-sequence (DS), μαζί με CDMA.
- Μεταπήδηση συχνότητας (Frequency hopping ή FH), μαζί με slow frequency-hopping (SFH) CDMA και fast frequency-hopping (FFH) συστήματα.
- Carrier sense multiple access (CSMA) spread-spectrum.
- Μεταπήδηση χρόνου.
- Chirp.
- Υβριδικές μέθοδοι διάχυσης φάσματος.

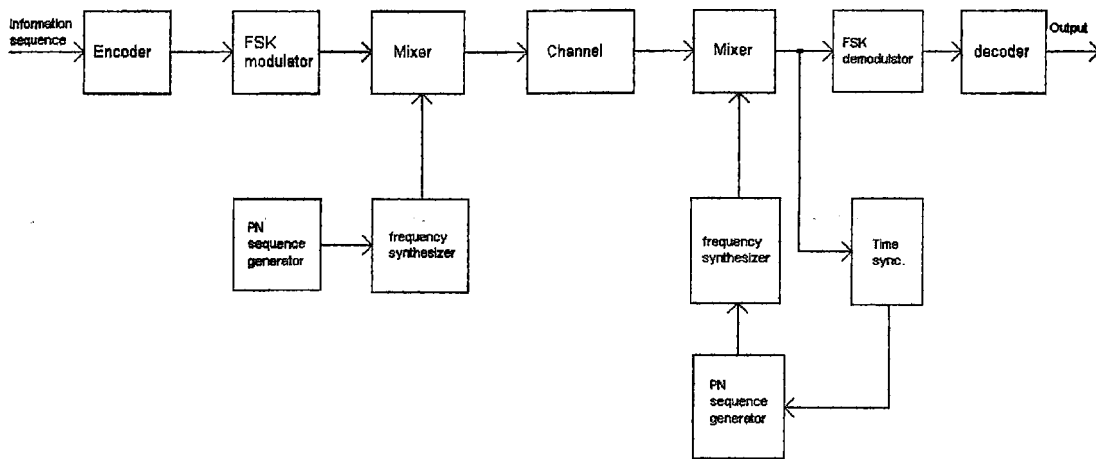
Στις κινητές επικοινωνίες και στα τοπικά ασύρματα δίκτυα οι μέθοδοι direct-sequence, frequency-hopped CDMA και CSMA βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή. Στα επόμενα κεφάλαια θα ασχοληθούμε εκτεταμένα με την υιοθέτηση της τεχνικής της μεταπήδησης συχνότητας (frequency hopping) στα κυτταρικά συστήματα κινητών επικοινωνιών.

3.4: ΘΕΜΕΛΕΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Σε ένα επικοινωνιακό σύστημα που υιοθετεί την τεχνική της μεταπήδησης συχνότητας το διαθέσιμο εύρος ζώνης διαιρείται σε έναν μεγάλο αριθμό από συνεχόμενες θυρίδες συχνοτήτων. Σε κάθε διάστημα μετάδοσης το εκπεμπόμενο σήμα απασχολεί μία ή περισσότερες θυρίδες συχνοτήτων. Επομένως η συχνότητα του φορέα του μεταδιδόμενου σήματος δεν παραμένει σταθερή όπως θα συνέβαινε στα συμβατικά συστήματα αλλά αλλάζει συνεχώς με βάση ένα ψευδοτυχαίο πρότυπο το οποίο παρέχεται από έναν ψευδοτυχαίο γεννήτορα (PN generator). Το σχήμα 3.1 απεικονίζει ένα συγκεκριμένο πρότυπο μεταπήδησης συχνότητας λαμβάνοντας ως μεταβλητές την συχνότητα και τον χρόνο.



Το δομικό διάγραμμα του πομπού και δέκτη για ένα σύστημα μεταπήδησης συχνότητας παριστάνεται στο σχήμα 3.2 :



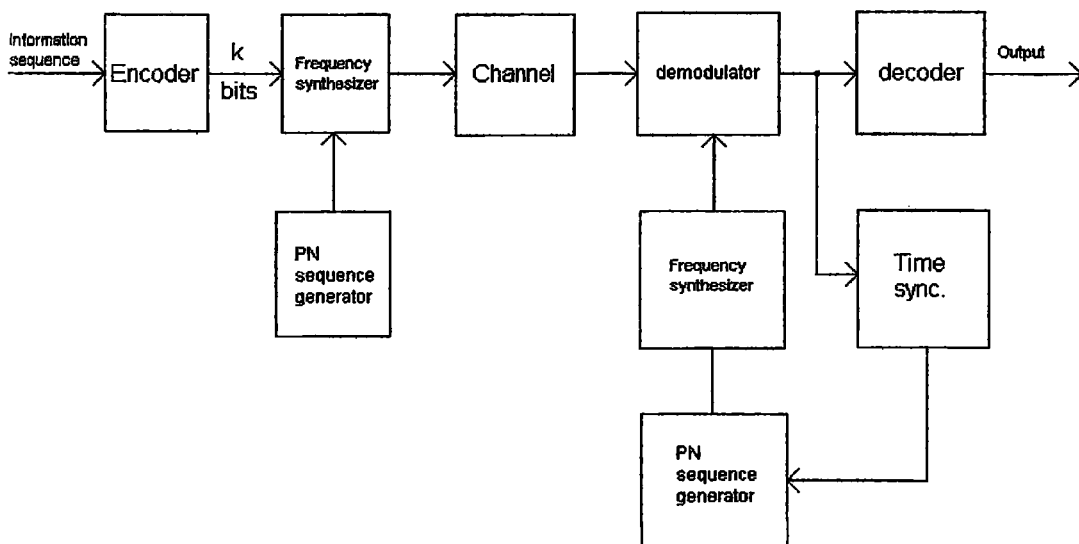
Η διαμόρφωση είναι συνήθως είτε δυαδική είτε μιαδική FSK. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιείται δυαδική FSK, ο διαμορφωτής επιλέγει μία από δύο συχνότητες οι οποίες αντιστοιχούν στην μετάδοση του 1 ή του 0. Το σήμα FSK που προκύπτει μεταφράζεται σε συχνότητα από μία ποσότητα που καθορίζεται από την ακολουθία στην έξοδο του ψευδοτυχαίου γεννήτορα. Η ακολουθία αυτή με την σειρά της χρησιμοποιείται για την επιλογή μίας συχνότητας που θα δημιουργηθεί από τον συνθέτη συχνότητων. Η επιλεγόμενη συχνότητα οδηγείται στον μείκτη και το τελικό σήμα μεταδίδεται πάνω στο κανάλι. Στην γενική περίπτωση που έχουμε m bits από τον PN γεννήτορα οι συχνότητες που μπορούν να επιλεγούν φτάνουν τις $2^m - 1$.

Στον δέκτη έχουμε έναν πανομοιότυπο PN γεννήτορα, συγχρονισμένο με το λαμβανόμενο σήμα, ο οποίος χρησιμοποιείται για να ελέγχει την έξοδο του συνθέτη συχνοτήτων. Επομένως το στοιχείο της ψευδοτυχαιότητας που εισάγεται στον πομπό απομακρύνεται τώρα στον δέκτη με πρόσθεση στον μείκτη της εξόδου του συνθέτη με το λαμβανόμενο σήμα. Το σήμα που προκύπτει αποδιαμορφώνεται με την βοήθεια ενός αποδιαμορφωτή.

Παρόλο που η διαμόρφωση φάσης PSK έχει καλύτερη απόδοση από την FSK σε ένα κανάλι με αθροιστικό γκαουσιανό θόρυβο, είναι δύσκολο να διατηρηθεί η συνοχή της φάσης κατά την σύνθεση των συχνοτήτων και κατά την μετάδοση πάνω στο κανάλι καθώς το σήμα μεταπηδάει από μία συχνότητα σε άλλη μέσα σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης. Συνεπώς η FSK διαμόρφωση με μη συνεκτική ανίχνευση είναι αυτή που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στα συστήματα μεταπήδησης συχνότητας.

Στο σύστημα μεταπήδησης συχνότητας που απεικονίζεται στο σχήμα 3.2 η συχνότητα του φορέα μεταβάλλεται ψευδοτυχαία σε κάθε διάστημα μετάδοσης. Οι M συχνότητες που μεταφέρουν την πληροφορία είναι συνεχείς και διαφέρουν μεταξύ τους κατά $1/T_c$, όπου T_c είναι το διάστημα της μετάδοσης κατά την διάρκεια του οποίου η συχνότητα δεν αλλάζει, γνωστό και ως chip. Αυτός ο τύπος μεταπήδησης συχνότητας ονομάζεται block hopping.

Ένας άλλος τύπος μεταπήδησης συχνότητας που είναι λιγότερο ευάλωτος σε εσκεμμένη παρεμβολή απεικονίζεται στο σχήμα 3.3. Σε αυτήν την περίπτωση στις M πιθανές συχνότητες του διαμορφωτή έχουν ανατεθεί θυρίδες συχνοτήτων οι οποίες κατανέμονται σε όλο το διαθέσιμο φάσμα. Σε αντιδιαστολή με προηγουμένως, τόσο τα m bits από τον PN γεννήτορα όσο και τα k bits της πληροφορίας χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των συχνοτήτων που θα διατεθούν για την μετάδοση του σήματος.



Ο ρυθμός μεταπήδησης της συχνότητας επιλέγεται συνήθως να είναι είτε ίσος με τον ρυθμό των συμβόλων της πληροφορίας (με κωδικοποίηση ή χωρίς) είτε γρηγορότερος από αυτόν. Εάν αντιστοιχούν πολλαπλές μεταπηδήσεις σε κάθε σύμβολο τότε έχουμε ένα fast-hopped σήμα. Από την άλλη πλευρά, εάν η μεταπήδηση πραγματοποιείται στο πέρας της μετάδοσης του κάθε συμβόλου τότε αναφερόμαστε σε slow-hopped σήμα.

Η γρήγορη μεταπήδηση συχνότητας (fast frequency hopping) βρίσκει εφαρμογή σε ορισμένες περιπτώσεις όταν θεωρείται αναγκαίο να εμποδίσουμε κάθε μη νόμιμο δέκτη από το να έχει επαρκή χρόνο στη διάθεση του για να εντοπίσει την συχνότητα και να την μεταδώσει μαζί με παρακείμενες συχνότητες έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα σήμα παρεμβολής. Συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σχετικά με fast και slow frequency hopping έχουν ως ακολούθως :

- Slow frequency hopping : Ένα πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησης συνεκτικής αναγνώρισης δεδομένων. Ωστόσο εάν σε μία μεταπήδηση έχουμε υψηλό επίπεδο παρεμβολής τότε ένα ή περισσότερα bits πληροφορίας θα καταστραφούν. Επομένως αναγκαζόμαστε να χρησιμοποιήσουμε κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων (error correcting codes). Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η δυσκολία διατήρησης συγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη.
- Fast frequency hopping : Δεν απαιτούνται κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων δεδομένου ότι κάθε bit πληροφορίας περιλαμβάνει πολλές μεταπηδήσεις συχνότητας. Ωστόσο δεν είναι δυνατή η συνεκτική ανίχνευση δεδομένων εξαιτίας ασυνεχειών στη φάση. Η τεχνική διαμόρφωσης που εφαρμόζεται είναι FSK ή MFSK.

3.5: ΨΕΥΔΟΥΧΑΙΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ

Οι βασικές λειτουργίες των ψευδοτυχαίων (PN) ακολουθιών στα ασυρματικά ψηφιακά συστήματα διάχυσης φάσματος ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες :

- Διάχυση του φάσματος του διαμορφωμένου σήματος σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης μετάδοσης.
- Διάκριση μεταξύ διαφορετικών χρηστών που μοιράζονται το ίδιο φάσμα σε ένα σχήμα πολλαπλής πρόσβασης.

Για να μπορέσουν να ικανοποιήσουν τις δύο αυτές απαιτήσεις, οι ακολουθίες πρέπει να διαθέτουν ορισμένες ιδιότητες συσχέτισης. Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαίο να εισάγουμε δύο καινούριες έννοιες : αυτοσυσχέτιση και ετεροσυσχέτιση. Η αυτοσυσχέτιση $R_a(\tau)$ ορίζεται γενικά από το ολοκλήρωμα :

$$R_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) * f(t - \tau) dt$$

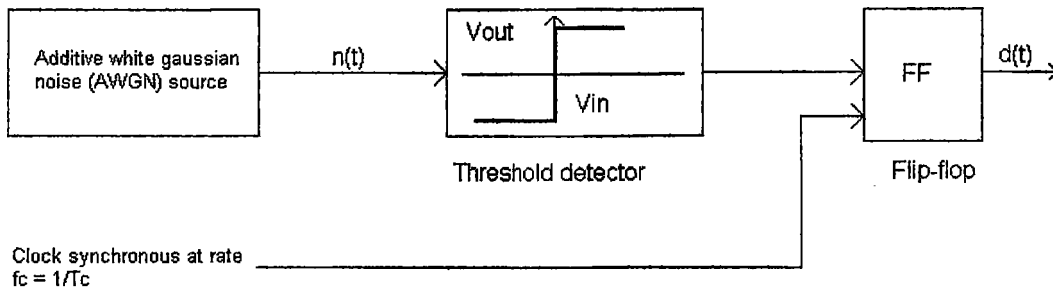
Ουσιαστικά αποτελεί ένα μέτρο της ομοιότητας μεταξύ ενός σήματος $f(t)$ και του ίδιου σήματος μετατοπισμένο στο χρόνο κατά τ δευτερόλεπτα. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης είναι μία γραφική παράσταση της αυτοσυσχέτισης πάνω σε όλες τις μετατοπίσεις τ του σήματος $f(t)$. Η ετεροσυσχέτιση $R_c(\tau)$ ορίζεται ως η συσχέτιση μεταξύ δύο διαφορετικών σημάτων $f(t)$ και $g(t)$ και δίνεται από την σχέση :

$$R_c(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) * g(t - \tau) dt$$

Στα ασυρματικά επικοινωνιακά συστήματα οι ψευδοτυχαίες ακολουθίες αποτελούνται από τα δυαδικά ψηφία 1 και 0. Επομένως η αυτοσυσχέτιση και ετεροσυσχέτιση των κωδικών ακολουθιών προσδιορίζεται από τον αριθμό των

όμοιων bit μείον τον αριθμό των ανόμοιων bit όταν οι κώδικες συγκρίνονται bit με bit για κάθε διακριτή μετατόπιση τ στο πεδίο του ενδιαφέροντος.

Η φασματική πυκνότητα ισχύος μίας ακολουθίας θα πρέπει να είναι ίδια με την αντίστοιχη του γκαουσιανού θορύβου έτσι ώστε το μεταδιδόμενο σήμα να καλύπτει ομοιόμορφα όλο το εύρος μετάδοσης. Τέτοια ακολουθία θα μπορούσε να παραχθεί από την διάταξη του σχήματος 3.4 :

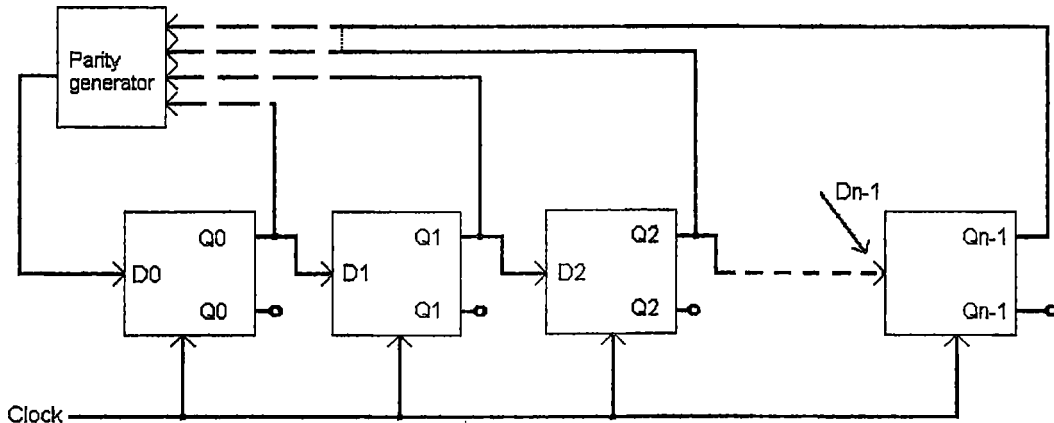


Η συχνότητα δειγματοληψίας αντιστοιχεί στον ρυθμό $1/T_c$ όπου T_c είναι η διάρκεια ενός chip. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του σήματος που προκύπτει απεικονίζεται στο σχήμα 3.5. Το μοναδικό peak στην συνάρτηση αυτοσυσχέτισης που εμφανίζεται όταν $\tau=0$ αποτελεί μία επιθυμητή ιδιότητα και υποστηρίζει τον εύκολο συγχρονισμό στον δέκτη. Εάν η ακολουθία επαναλαμβάνεται κάθε N chips τότε έχουμε έναν ψευδοτυχαίο τύπο ακολουθίας. Για αυτές τις ακολουθίες αποκτούμε μία περιοδική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης.

Η δεύτερη βασική λειτουργία μίας PN ακολουθίας σε ένα σύστημα CDMA είναι η διάκριση μεταξύ των σημάτων που προέρχονται από διαφορετικούς χρήστες οι οποίοι μοιράζονται ένα κοινό φάσμα μετάδοσης. Ο ψευδοτυχαίος κώδικας είναι το κλειδί για κάθε χρήστη για να μπορέσει να αναγνωρίσει ποιο εκπεμπόμενο σήμα αντιστοιχεί σε αυτόν. Για αυτό το λόγο το σύνολο των PN ακολουθιών πρέπει να επιλεγεί με μικρή ετεροσυσχέτιση μεταξύ των διαφόρων ακολουθιών. Θεωρητικά, μία μηδενική ετεροσυσχέτιση επιτυγχάνεται για κάθε σύνολο ορθογώνιων σημάτων (όπως είναι οι σειρές Fourier και οι συναρτήσεις Walsh). Ωστόσο σε πρακτικά ασυρματικά συστήματα πάντοτε εμφανίζεται ένα μικρό ποσοστό ετεροσυσχέτισης. Στο επόμενο υποκεφάλαιο παρουσιάζουμε συνοπτικά ορισμένους τρόπους δημιουργίας PN ακολουθιών με καλές ιδιότητες αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης.

3.5.1: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΕΥΔΟΤΥΧΑΙΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ

Οι απαιτήσεις για ελαχιστοποίηση της ετεροσυσχέτισης οδήγησαν στην δημιουργία διαφόρων ακολουθιών όπως Gold, Kasami, Walsh καθώς και οι m -ακολουθίες. Οι τελευταίες χρησιμοποιούνται ευρέως σε στρατιωτικές εφαρμογές ενώ οι υπόλοιπες παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τα κυτταρικά συστήματα και τα δίκτυα προσωπικών επικοινωνιών. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται μία διαδεδομένη υλοποίηση σε hardware ενός γεννήτορα ψευδοτυχαίων ακολουθιών.



Ο γεννήτορας αποτελείται από flip-flop τύπου D τα οποία είναι κατάλληλα συνδεδεμένα έτσι ώστε κάθε είσοδος D εκτός από την D0 να είναι η Q έξοδος από το επόμενο flip-flop. Μερικές από τις εξόδους των flip-flop συνδέονται με τον γεννήτορα ισοτιμίας. Η λειτουργία του γεννήτορα ισοτιμίας είναι παρόμοια με την λειτουργία μίας πύλης XOR. Πιο συγκεκριμένα, παράγει ένα λογικό 0 όταν ο αριθμός των εισόδων στο 0 είναι άρτιος και 1 όταν ένας περιττός αριθμός από εισόδους βρίσκονται στη λογική κατάσταση 1. Ο αριθμός των flip-flop L καθώς και η επιλογή των εξόδων που θα συνδεθούν στον γεννήτορα ισοτιμίας καθορίζουν το μήκος και τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης PN ακολουθίας, δηλ της δυαδικής ακολουθίας που σχηματίζεται από τις εξόδους όλων των flip-flop.

Μήκος ακολουθίας : Οι ακολουθίες που σχηματίζονται έχουν το χαρακτηριστικό γνώρισμα ότι επαναλαμβάνονται μετά από έναν αριθμό από βίτς που ονομάζεται και μήκος της ακολουθίας. Για τις m-ακολουθίες είναι πάντοτε δυνατόν να βρεθεί ένα σύνολο συνδέσεων από τις εξόδους των flip-flop στον γεννήτορα ισοτιμίας που θα αποφέρει ένα μέγιστο μήκος ακολουθίας ίσο με $N=2L-1$ bits.

Ανεξάρτητες ακολουθίες : Το ανώτατο όριο S του αριθμού των ανεξάρτητων ακολουθιών, δηλ των ακολουθιών εκείνων όπου η μία ακολουθία δεν προκύπτει από την άλλη με ολίσθηση των bits, δίνεται από την σχέση : $S \leq (N-1)/L$.

Μετατόπιση : Το άθροισμα modulo-2 μίας m-ακολουθίας και μίας από τις κυκλικές μετατοπίσεις της αποτελεί μία άλλη κυκλική εκδοχή της αρχικής ακολουθίας με διαφορετική φάση και από τις δύο ακολουθίες.

Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης : Οι m-ακολουθίες έχουν μία ενδιαφέρουσα περιοδική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης. Εάν μετασχηματίσουμε την δυαδική (0,1) ακολουθία της εξόδου στην δυαδική (+1,-1) ακολουθία αντικαθιστώντας κάθε 0 με +1 και κάθε 1 με -1 τότε η περιοδική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης δίνεται από την σχέση :

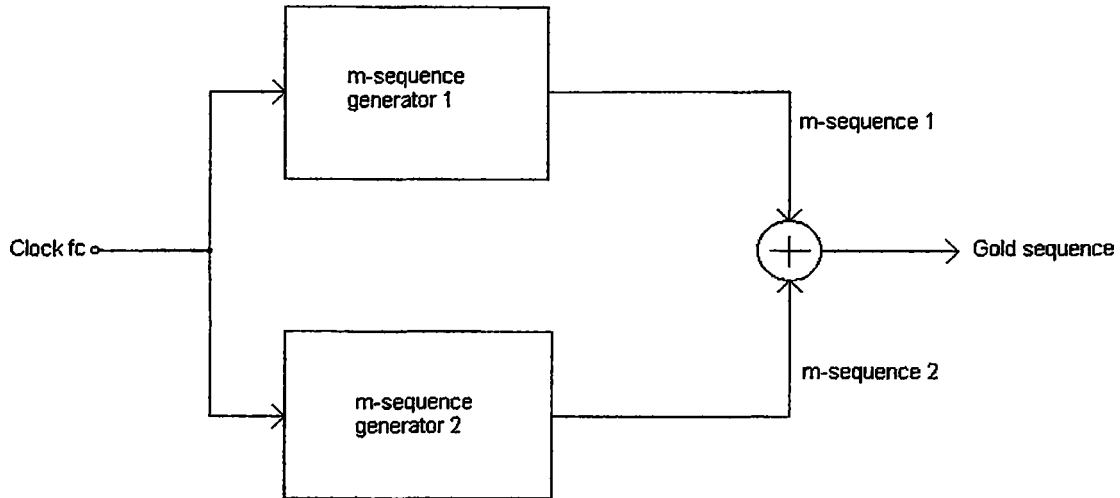
$$\Theta(\tau) = N = 2L - 1 \text{ όταν } \tau = 0$$

$$-1 \text{ όταν } \tau \neq 0$$

και είναι η καλύτερη δυνατή περιοδική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης με την έννοια ότι για καμία άλλη δυαδική ακολουθία είναι ο όρος $\max_{\tau \neq 0} |\Theta(\tau)|$ μικρότερος. Η μεγαλύτερη τιμή της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης είναι γνωστή και ως correlation spike και χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό πομπού και δέκτη.

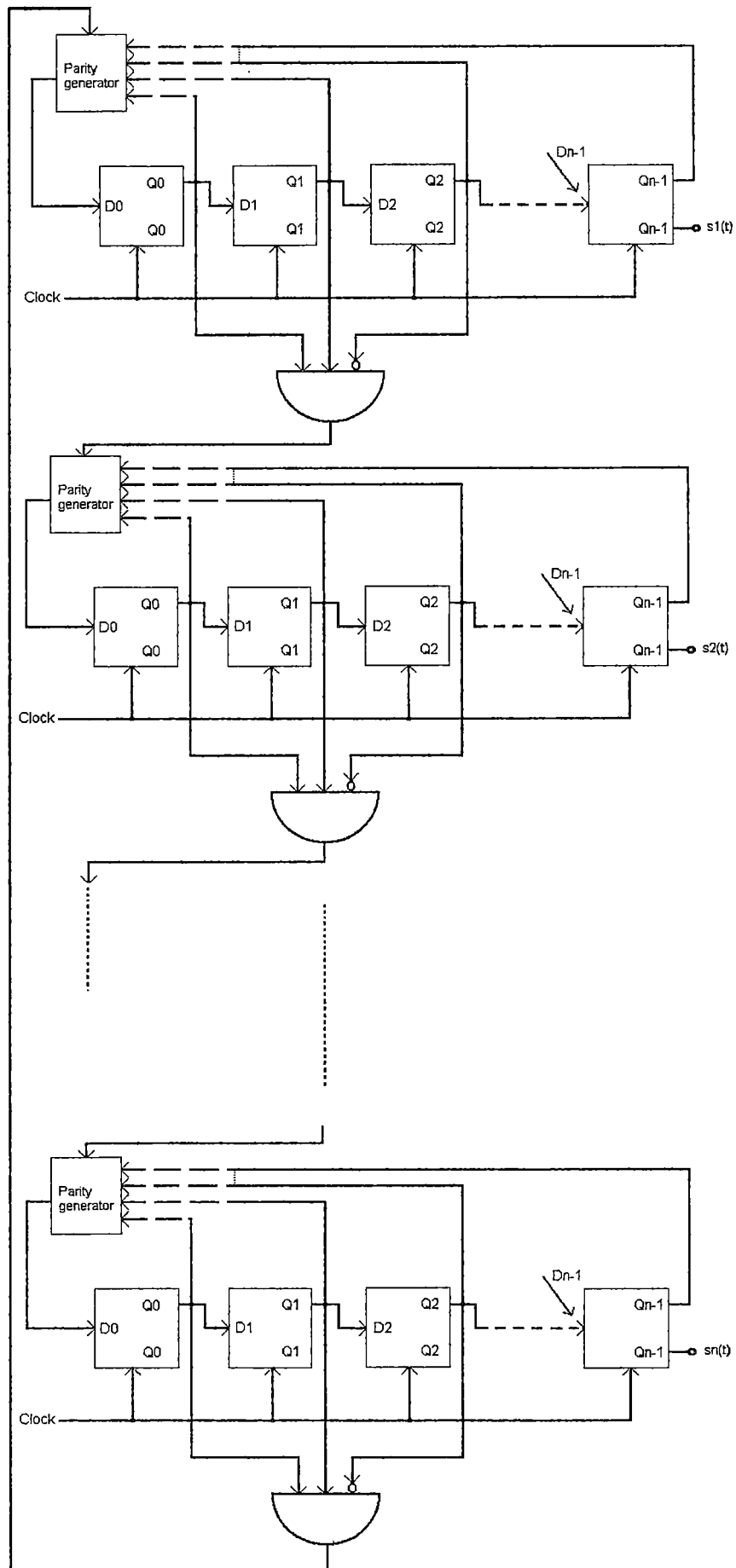
Τυχαιότητα : Εφόσον η m -ακολουθία είναι μία περιοδική ακολουθία δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως τυχαία. Ωστόσο έχει μία πολύ καλή στατιστική συμπεριφορά. Σε μία περίοδο υπάρχουν ακριβώς $2L-1-1$ μηδενικά και $2L-1$ άσσοι, εμφανίζεται επομένως μία ισορροπία.

Σε αντιδιαστολή με τις m -ακολουθίες, οι ακολουθίες Gold είναι κατάλληλες για CDMA συστήματα. Προσφέρουν ένα μεγάλο αριθμό από σύνολα ακολουθιών με ικανοποιητικές ιδιότητες ετεροσυσχέτισης. Οι ακολουθίες Gold δημιουργούνται με πρόσθεση modulo-2 δύο m -ακολουθιών συγχρονισμένες στην συχνότητα f_c .

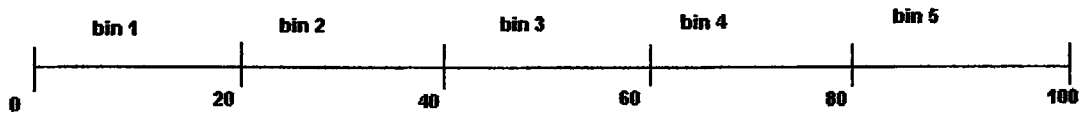


Το πιο σημαντικό στοιχείο στον σχεδιασμό των ακολουθιών αυτών είναι ότι μόνο ειδικά ζευγάρια m -ακολουθιών προσφέρουν τις επιθυμητές ιδιότητες συσχέτισης. Εφόσον και οι δύο m -ακολουθίες έχουν το ίδιο μήκος N και χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα ρολογιού προκύπτει ότι οι ακολουθίες Gold έχουν επίσης μήκος N που όμως δεν είναι το μέγιστο. Μπορεί να αποδειχθεί ότι δύο διαφορετικές m -ακολουθίες συνδυαζόμενες δημιουργούν έναν αριθμό από $L=2n-1$ διαφορετικές ακολουθίες Gold.

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί και διάφορες άλλες μέθοδοι δημιουργίας ψευδοτυχαίων ακολουθιών. Οι μέθοδοι αυτές στοχεύουν στην δημιουργία κωδικών με επιθυμητά χαρακτηριστικά ως προς την αυτοσυσχέτιση, ετεροσυσχέτιση και την τυχαιότητα. Γενικά, επιθυμούμε τα μέλη μίας ψευδοτυχαίας ακολουθίας να παρουσιάζουν υψηλή μη-προβλεπτικότητα. Μία τέτοια αρχιτεκτονική που προσφέρει ακολουθίες με μη προβλέψιμα στοιχεία απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.

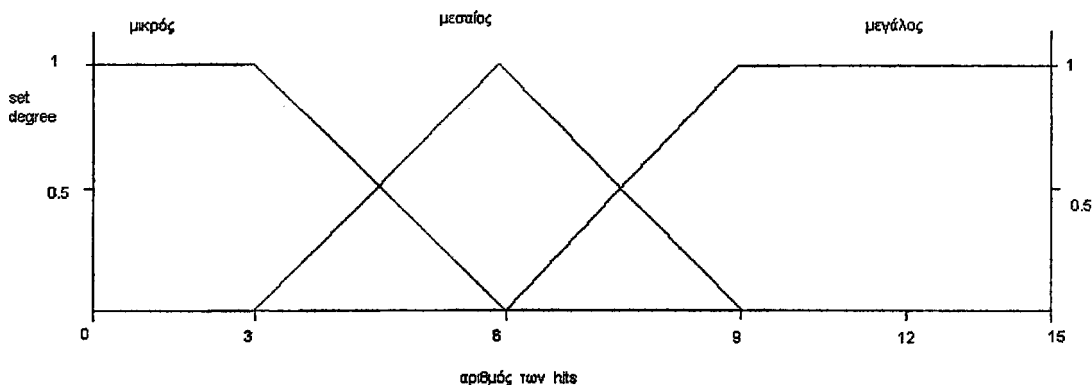


Υποθέτουμε ότι ο συνθέτης συχνότητας που χρησιμοποιείται στον πομπό και στον δέκτη παράγει N διακριτές συχνότητες. Διαμοιράζουμε το εύρος ζώνης σε n τμήματα (bins) όπου το καθένα περιέχει N/n συχνότητες, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Απαριθμούμε τις συχνότητες αυτές $0, \dots, N - 1$. Το ασαφές σύστημα σχεδιάζεται κατάλληλα για να μας δίνει μία ακολουθία από ακέραιους αριθμούς στο διάστημα $\{0, \dots, N - 1\}$ κατά τέτοιο τρόπο ώστε κάθε ακέραιος να τείνει να εμφανίζεται εξίσου συχνά.



Διάφορες προσομοιώσεις του ασαφούς γεννήτορα απέδειξαν ότι ο αριθμός N δεν επηρεάζει ούτε τον αλγόριθμο ούτε τους κανόνες. Επομένως το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε αριθμό από συχνότητες αρκεί ο αριθμός N να είναι ένα πολλαπλάσιο του n για να έχουμε έναν ισορροπημένο διαμοιρασμό σε τμήματα. Εμείς επιλέγουμε την μικρή τιμή $n = 5$ για να περιορίσουμε τον αριθμό των κανόνων. Προφανώς το σύστημα λειτουργεί για κάθε τιμή του n .

Ένα συγκεκριμένο πρότυπο δειγματοληψίας αποφασίζει ποιές από τις προηγούμενες συχνότητες στην ξοδο του γεννήτορα θα δώσουν την επόμενη έξοδο. Για παράδειγμα την χρονική στιγμή k θα μπορούσαμε να δειγματοληψήσουμε τις συχνότητες που εμφανίστηκαν τις χρονικές στιγμές $k - 1$, $k - 6$, $k - 8$ κόκ. Οι αριθμοί των δειγμάτων που πέφτουν μέσα σε άθε ένα από τα διαστήματα συχνότητων αποτελούν τις 5 εισόδους του ασαφούς συστήματος. Τις τιμές αυτές τις αποθηκεύουμε σε ένα διάνυσμα 5 στοιχείων x_k . Στη συνέχεια σχεδιάζουμε τα ασαφή σύνολα των μεταβλητών εισόδου. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η μορφή που θα έχουν τα ασαφή σύνολα.



Σχήμα 3

Ο σχεδιασμός ουσιαστικά αποτελεί μία διαδικασία σφάλματος και δοκιμής. Το ασαφές σύνολο με την ετικέτα Μεσαίος (Medium) θα πρέπει να έχει την μέγιστή του τιμή στον αναμενόμενο αριθμό συχνότητων που πέφτουν ανά διάστημα (hits per bin). Η διαδικασία σφάλματος και δοκιμής μας δείχνει ότι το ασαφές αυτό σύνολο μεγιστοποιείται στην τιμή 6. Εάν λάβουμε επίσης υπ'όψιν ότι

υπάρχουν 5 διαστήματα συχνοτήτων τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ένας λογικός αριθμός δειγμάτων συχνοτήτων θα ήταν ίσος με $6 \cdot 5 = 30$.

Ένα απλουστευμένο πρότυπο δειγματοληψίας, όπως για παράδειγμα οι 30 τελευταίες συχνότητες που θα προκύψουν από την έξοδο του γεννήτορα, δεν θα δούλευε και αυτό διότι τα ασαφή συστήματα τείνουν να αντιστοιχίζουν κοντινές εισόδους σε κοντινές εξόδους. Εάν οι εισοδοί στις στιγμές k και $k+1$ έχουν υψηλή συσχέτιση τότε το ίδιο θα ισχύει και για τις εξόδους των στιγμών k και $k+1$. Εμείς πρέπει να καθορίσουμε το σχέδιο δειγματοληψίας κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η αυτοσυσχέτιση των ακολουθιών εξόδου αλλά και η μέγιστη χρονική καθυστέρηση των δειγμάτων.

Όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα για κάθε διάστημα συχνοτήτων ορίζουμε τρία ασαφή σύνολα: Μικρός (Small), Μεσαίος (Medium) και Μεγάλος (Large). Τα ασαφή αυτά σύνολα μπορούν να θεωρηθούν ως μία απεικόνιση του υπερσυνόλου αναφοράς στο κλειστό διάστημα $[0, 1]$:

$$aS : \{0, \dots, 30\} \rightarrow [0, 1]$$

$$aM : \{0, \dots, 30\} \rightarrow [0, 1]$$

$$aL : \{0, \dots, 30\} \rightarrow [0, 1]$$

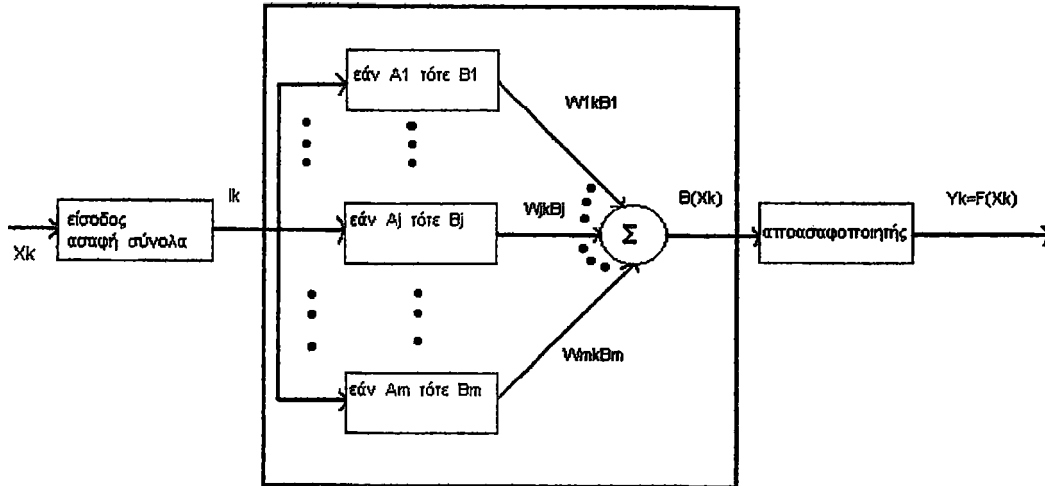
όπου η συνάρτηση συμμετοχής $aS(u)$ εκφράζει τον βαθμό κατά τον οποίο ο αριθμός των συχνοτήτων u που ελήφθησαν κατά την δειγματοληψία και πέφτουν σε ένα συγκεκριμένο διάστημα συχνοτήτων μπορεί να θεωρηθεί ως Μικρός. Αντίστοιχα οι $aM(u)$ και $aL(u)$ είναι οι βαθμοί για τους οποίους ο αριθμός u είναι Μεσαίος και Μεγάλος. Επομένως τα ασαφή σύνολα αντιστοιχίζουν τον αριθμό των συχνοτήτων $x_k[j]$ που πέφτουν στο j -οστό διάστημα με ένα διάνυσμα γραμμής τριών στοιχείων $(aS(x_k[j]), aM(x_k[j]), aL(x_k[j]))$. Εάν για παράδειγμα η τιμή της εισόδου είναι 6 τότε αυτή θα αντιστοιχεί στο $(0, 1, 0)$, το 5 αντιστοιχεί στο $(1/3, 2/3, 0)$ και το 8 στο $(0, 1/3, 2/3)$. Τα διανύσματα των 5 ακεραίων εισόδων σχηματίζουν έναν πίνακα IK 5×3 :

$$IK[j, 1] = (aS(x_k[j]))$$

$$IK[j, 2] = (aM(x_k[j]))$$

$$IK[j, 3] = (aL(x_k[j]))$$

Στην γενική περίπτωση έχουμε n διαστήματα και p ασαφή σύνολα εισόδου. Τότε το IK θα είχε διαστάσεις $n \times p$. Το IK εφαρμόζεται ως είσοδος στο ασαφές σύστημα του οποίου η δομή αναπαρίσταται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4

3.5.1.1: ΟΙ ΑΣΑΦΕΙΣ ΚΑΝΟΝΕΣ

Κάθε ασαφής κανόνας έχει την ακόλουθη μορφή :

Εάν το x_k είναι A_i τότε η έξοδος είναι B_i

Ο κανόνας αποτελείται από μία υπόθεση και μία συνεπαγωγή . Το μέγεθος A_i στην υπόθεση του κανόνα είναι ένα διάνυσμα 5 στοιχείων που παίρνουν τις τιμές Μικρός ,Μεσαίος και Μεγάλος . Η υπόθεση ενός κανόνα(Μικρός Μεγάλος ,Μεγάλος ,Μεσαίος , Μεγάλος) μπορεί επομένως να διαβαστεί ως εξής :

Εάν (x_k [1] είναι Μικρός ΚΑΙ x_k [2] είναι Μεγάλος ΚΑΙ x_k [3] είναι Μεγάλος ΚΑΙ x_k [4] είναι Μεσαίος ΚΑΙ x_k [5] είναι Μεγάλος) ...

Το μέγεθος A_i στην υπόθεση του κανόνα μπορεί να εκφραστεί διαφορετικά και ως ένας 5×3 πίνακας ,παρόμοιος με τον IK . Κάθε μία από τις 5 γραμμές του πίνακα A_i αντιστοιχεί σε ένα διάνυσμα μοναδιαίου μέτρου :

Μικρός $\rightarrow (1,0,0)$

Μεσαίος $\rightarrow (0,1,0)$

Μεγάλος $\rightarrow (0,0,1)$

Έτσι για την προηγούμενη υπόθεση το A_i μπορεί να συμβολιστεί με δύο διαφορετικούς τρόπους :

$A_i = (\text{Μικρός} , \text{Μεγάλος} , \text{Μεγάλος} , \text{Μεσαίος} , \text{Μεγάλος})$

και

$$A_i =$$

Κάθε φορά που εκτελείται ο αλγόριθμος τα ασαφή σύνολα αντιστοιχίζουν τις 5 ακέραιες τιμές των εισόδων $x_k [j]$ με τους βαθμούς συμμετοχής τους σε κάθε ένα από τα τρία ασαφή σύνολα. Κάθε ένας όρος της υπόθεσης του κανόνα λαμβάνει έναν από αυτούς τους βαθμούς συμμετοχής. Πιο συγκεκριμένα, εάν υποθέσουμε ότι $x_k [j] = 5$ { με $\alpha(5) = (1/3, 2/3, 0)$ } τότε η υπόθεση ' $x_k [j]$ είναι Μικρός' έχει την τιμή (βαθμό συμμετοχής) $\alpha S(5) = 1/3$. Το σύστημα προσδιορίζει κατ'αυτόν τον τρόπο τον βαθμό συμμετοχής κάθε όρου της υπόθεσης. Μία ασαφής λειτουργία ΚΑΙ υπολογίζει τον ελάχιστο βαθμό συμμετοχής που αντιστοιχεί στον κανόνα. Επομένως η συνολική υπόθεση του κανόνα λαμβάνει την τιμή :

$$\alpha A_i(x_k) = \min_j (\alpha A_i[j])(x_k [j])$$

όπου ο δείκτης j εκφράζει το διάστημα συχνοτήτων στο οποίο αναφερόμαστε και προφανώς παίρνει ακέραιες τιμές στο $[0, \dots, 5]$.

Ο i – στους κανόνες ενεργοποιείται κατά τον βαθμό wik :

$$wik = \alpha A_i(x_k)$$

Ο βαθμός αυτός δείχνει κατά πόσο συμμετέχει ο συγκεκριμένος κανόνας στην εξαγωγή του συμπεράσματος.

Συνοψίζοντας την παραπάνω διαδικασία θα λέγαμε ότι κάθε κανόνας προσπαθεί να βρει τόσο πολύ μία αριθμητική είσοδος x_k ανήκει σε ένα ασαφές σύνολο A_i που αποτελεί την υπόθεση του κανόνα. Όσο περισσότερο ανήκει το x_k τόσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει ο βαθμός wik . Στο σχήμα που αναπαριστά την δομή ενός ασαφούς PN γεννήτορα δείχνεται ότι η συνεπαγωγή Βί κάθε κανόνα πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο όρο wik . Επομένως μία μεγάλη τιμή του wik σημαίνει ότι ο κανόνας αυτός επηρεάζει σε μεγάλο ποσοστό το τελικό συμπέρασμα, δηλαδή την έξοδο του γεννήτορα.

3.5.1.2: Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζονται οι κανόνες. Είδαμε προηγουμένως ότι ένας κανόνας περιλαμβάνει μία υπόθεση και μία συνεπαγωγή. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή η συνεπαγωγή είναι ένα διάνυσμα 5 στοιχείων. Το ασαφές σύστημα για να προσδιορίσει την τιμή των στοιχείων πρέπει να εκμαιεύσει πληροφορίες από έναν γεννήτορα μοιόμορφα κατανεμημένων τυχαίων αριθμών. Ένας τέτοιος γεννήτορας αυτός περιλαμβάνεται στην Διεθνή Μαθηματική και Στατιστική Βιβλιοθήκη (IMSL) και αποτελεί σημείο αναφοράς για όλες τις διεθνείς μελέτες που αφορούν την παραγωγή τυχαίων αριθμών. Τα δείγματα του γεννήτορα διαβαθμίζονται και αποκόπτονται έτσι ώστε να πάρουμε ακέραιους μεταξύ του 1 και 5. Αυτοί οι ακέραιοι αποτελούν τα διαστήματα συχνοτήτων, δηλαδή αντιστοιχούν στην τιμή του j . Στην συνέχεια βρίσκουμε την υπόθεση A_i που είναι η κοντινότερη στο x_k (αυτή με το μέγιστο wik) και συνδέουμε το επόμενο δείγμα με το A_i .

Παράδειγμα : Έστω ότι $x_k = (5,6,3,9,7)$ και η επόμενη έξοδος είναι 4. Η πιο κοντινή υπόθεση A_i είναι (Μεσαίος, Μεσαίος, Μικρός, Μεγάλος, Μεσαίος). Επομένως συνδέουμε την έξοδο 4 με την παραπάνω υπόθεση.

Επεξεργάζοντας με αυτόν τον τρόπο 10000 δείγματα παίρνουμε ένα ιστογράμμο των τιμών της εξόδου για κάθε υπόθεση A_i . Κανονικοποιούμε ύστερα τα ιστογράμματα για να πάρουμε τα διανύσματα συνεπαγωγής B_i με μοναδιαία νόρμα. Έτσι η τιμή του στοιχείου $B_i[j]$ αποτελεί το κλάσμα των δειγμάτων που πέφτουν στο διάστημα j όταν η είσοδος ταιριάζει με το A_i . Κάθε B_i θα πρέπει να είναι σχεδόν ομοιόμορφο εφόσον τα δείγματα είναι τυχαία και ομοιόμορφα κατανεμημένα στο $\{1, \dots, 5\}$. Το πιο κοντινό B_i στο $(0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2)$ αντιστοιχεί στο A_i που εμφανίζεται πιο συχνά.

Εμείς θέλουμε η κατανομή της εξόδου να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη. Η συμμετρία συντελεί στην μείωση του αριθμού των δειγμάτων που χρησιμοποιεί το σύστημα για να εκπαιδευτεί. Εάν περιστρέψουμε τις εισόδους και τις εξόδους, κάθε δείγμα θα μας δίνει όχι 1 αλλά 5 ζευγάρια εισόδου – εξόδου. Ας σκεφτούμε το παραπάνω παράδειγμα. Από την παρατήρηση μπορούμε να εξάγουμε 5 επιπλέον σχέσεις:

$$(M, M, S, L, M) \leftrightarrow 4$$

$$(M, M, M, S, L) \leftrightarrow 5$$

$$(L, M, M, M, S) \leftrightarrow 1$$

$$(S, L, M, M, M) \leftrightarrow 2$$

$$(M, S, L, M, M) \leftrightarrow 3$$

Επομένως 10000 δείγματα με περιστροφή δίνουν περίπου τα ίδια αποτελέσματα με 50000 δείγματα χωρίς περιστροφή.

Στην γενική περίπτωση έχουμε n διαστήματα συχνοτήτων και p ασαφή σύνολα. Επομένως υπάρχουν pn διαφορετικές μορφές που μπορεί να πάρει ο όρος A_i . Κάθε A_i οδηγεί και σε έναν διαφορετικό ασαφή κανόνα. Εμείς χρησιμοποιήσαμε $n=5$ και $p=3$ για να πάρουμε 243 κανόνες κατά μέγιστο. Αποδείχθηκε στην πράξη ότι 57 υποθέσεις έχουν πολύ μικρό βαθμό συμμετοχής που δεν ξεπερνά το $1/3$. Αυτές τις υποθέσεις δεν τις συνδέουμε με καμμία έξοδο. Άρα το σύστημα έχει το πολύ 186 ασαφείς κανόνες.

3.5.1.3: ΤΟ ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΝΟΛΟ ΕΞΟΔΟΥ

Το ασαφές σύνολο εξόδου ισούται με το άθροισμα των σταθμισμένων συνεπαγωγών όπου τα βάρη είναι οι βαθμοί συμμετοχής :

$$B(x_k) = \sum_i w_{ik} B_i$$

Αυτή η ασαφής μέθοδος συμπερασμού ονομάζεται συμπερασμός με συσχέτιση γινομένου. Πρόκειται για ένα γενικοποιημένο "σύνολο" αφού οι τιμές της συνάρτησης συμμετοχής μπορούν να ξεπεράσουν την μονάδα.

Μόνο ορισμένοι κανόνες (32 το μέγιστο) ενεργοποιούνται κάθε φορά που εκτελείται ο αλγόριθμός. Το σχήμα 4 δείχνει ότι το σύστημα χρησιμοποιεί όλους τους κανόνες σε παράλληλη διάταξη. Αυτή η διάταξη συντελεί σε μία γρήγορη αντιστοίχιση από ένα ακέραιο διάνυσμα εισόδου x_k σε ένα σταθμισμένο ασαφές σύνολο εξόδου $B(x_k)$.

3.5.1.4: Η ΑΠΟΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ

Το σταθμισμένο ασαφές σύνολο εξόδου $B(x_k)$ αποασαφοποιείται ή αντιστοιχίζεται σε μία συχνότητα εξόδου y_k όπου $y_k = F(x_k)$. Εάν χρησιμοποιούσαμε την μέθοδο του κέντρου βάρους για να πετύχουμε την αποασαφοποίηση τότε το κέντρο βάρους του $B(x_k)$ θα συσχετιζόταν κάθε φορά με μία τιμή κοντά στην μέση του φάσματος. Εμείς όμως σχεδιάζουμε το σύστημα μεταπήδησης συχνότητας έτσι ώστε το $B(x_k)$ να είναι σχεδόν ομοιόμορφο για κάθε επανάληψη. Επομένως θα εφαρμόσουμε έναν νέο τύπο αποασαφοποίησης κέντρου βάρους.

Στα επόμενα τρία σχήματα φαίνονται τα επιπλέον βήματα που ακολουθούμε για τον προσδιορισμό του καινούριου κέντρου βάρους. Πρώτα βρίσκουμε τους δείκτες του μεγαλύτερου και του μικρότερου όρου. Ας τους ονομάσουμε αντίστοιχα j_{max} και j_{min} . Στην συνέχεια εριστρέφουμε το $B(x_k)$ έτσι ώστε το j_{max} να ποτελέσει το κεντρικό διάστημα συχνοτήτων. Το κέντρο βάρους αυτού του ασαφούς συνόλου θα είναι κοντά στο κέντρο του διαστήματος j_{max} . Μετά αφαιρούμε την ποσότητα $B_k[j_{min}]$ από κάθε όρο. Αυτό το βήμα αφαιρεί το ομοιόμορφο μέρος από την έξοδο και απομονώνει το μέρος του 'θορύβου', δηλαδή το τμήμα της τυχαιότητας. Ονομάζουμε αυτό το ασαφές σύνολο B_{noise} , k . Έπειτα βρίσκουμε το κέντρο βάρους C_{noise} , k και στην συνέχεια χρησιμοποιούμε μία προηγούμενη συχνότητα εξόδου την οποία διαιρούμε κατά 5 για να διαφοροποιήσουμε επιπλέον την θέση στο κεντρικό διάστημα συχνοτήτων :

$$y_k = \lfloor C_{noise, k} - N/2n + y_{k-r/n} \rfloor \text{ mod } N$$

όπου N είναι ο αριθμός των συχνοτήτων και $n = 5$ είναι ο αριθμός των διαστημάτων συχνοτήτων. Εμείς χρησιμοποιήσαμε 4 τιμές για το r και αλλάξαμε την τιμή κάθε 250 επαναλήψεις. Η προηγούμενη έξοδος y_{k-r} μοιάζει με έναν τυχαίο αριθμό αλλά απλά είναι η είσοδος στην ντετερμινιστική ακολουθία συχνοτήτων.

Τα σχήματα 5 - 7 δείχνουν τα στοιχεία των συμπερασματικών ασαφών συνόλων ως ορθογώνια. Τρίγωνα, τραπεζοειδή, γκαουσιανές κατανομές ή οτιδήποτε άλλα σχήματα αποφέρουν τα ίδια αποτελέσματα εάν τα κέντρα βάρους τους βρίσκονται στα κέντρα των 5 διαστημάτων συχνοτήτων. Το σχήμα των ασαφών συνόλων που αναφέρονται στο τμήμα συμπερασμού των κανόνων δεν επιδρά στο αποτέλεσμα της από-ασαφοποίησης τόσο στην μέθοδο συνεπαγωγής με συσχέτιση γινομένου όσο και στην περίπτωση της από-ασαφοποίησης με βάση το κέντρο βάρους.

Το κέντρο βάρους του $B(x_k)$ είναι η έξοδος $F(x_k)$:

$$C_k = \frac{\sum_{j=1}^5 B_k[j] d_j}{\sum_{j=1}^5 B_k[j]}$$

Όπου d_j είναι το κέντρο του j -στού διαστήματος συχνότητας. Η περιστροφή αλλάζει μόνο τις τιμές των d_j :

$$\text{Crotated, } k = \frac{\sum_{j=1}^5 B_k[j] D_j}{\sum_{j=1}^5 B_k[j]}$$

Όπου

$$D_j = d_j \text{ εάν } |j - j_{\max}| \leq 2,$$

$$D_j = d_j - N \text{ εάν } |j - j_{\max}| > 2 \text{ και}$$

$$D_j = d_j + N \text{ εάν } |j - j_{\max}| < 2$$

Ξεχωρίζοντας το $B(x_k)$ στο ομοιόμορφο τμήμα και το τμήμα θορύβου καταλήγουμε στην σχέση :

$$B(x_k) = B_{\text{uniform}, k} + B_{\text{noise}, k}$$

$$B_k[j] = B_k[j_{\min}] + B_{\text{noise}, k}[j].$$

Το ομοιόμορφο τμήμα έχει κέντρο βάρους :

$$C_{\text{uniform}, k} = \frac{\sum_{j=1}^5 B_k[j_{\min}] D_j}{\sum_{j=1}^5 B_k[j_{\min}]}$$

$$= \frac{B_k[j_{\min}] \sum_{j=1}^5 D_j}{5 B_k[j_{\min}]}$$

$$= \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 D_j$$

Όπου το $C_{uniform}$, k δεν εξαρτάται από το $B(xk)$. Επομένως απορρίπτουμε τον δείκτη k και χαρακτηρίζουμε αυτό το κέντρο βάρους ως $C_{uniform}$. Εάν τα διαστήματα συχνοτήτων έχουν το ίδιο πλάτος τότε το $C_{uniform}$ ισούται με το κέντρο του περιστρεφόμενου φάσματος.

Το στοιχείο θορύβου έχει κέντρο βάρους :

$$C_{noise, k} = \frac{\sum_{j=1}^5 B_{noise, k}[j] D_j}{\sum_{j=1}^5 B_{noise, k}[j]}$$

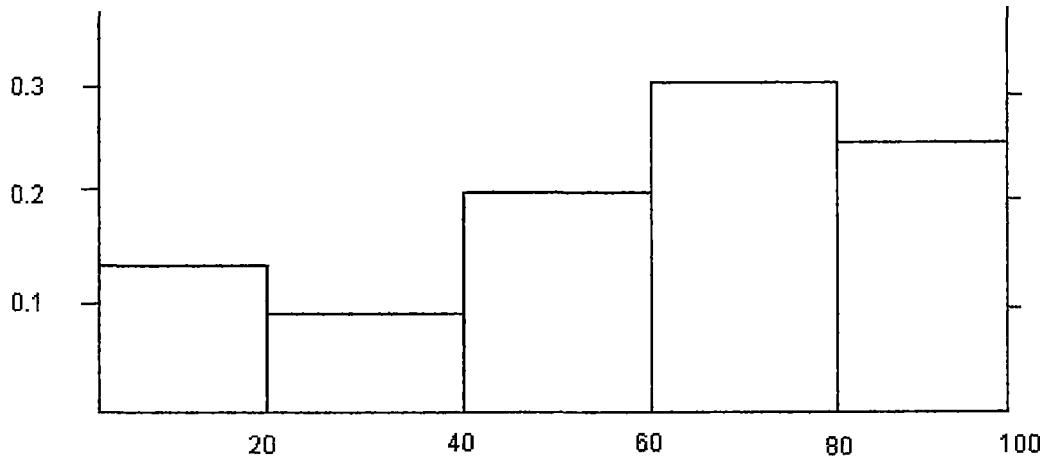
$$C_{rotated, k} = \frac{\left(\frac{5B_k[j_{min}]}{\sum_{j=1}^5 B_k[j]} \right) C_{uniform}}{1 - \frac{5B_k[j_{min}]}{\sum_{j=1}^5 B_k[j]}}$$

χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (1.13) και (1.16) και (1.20).

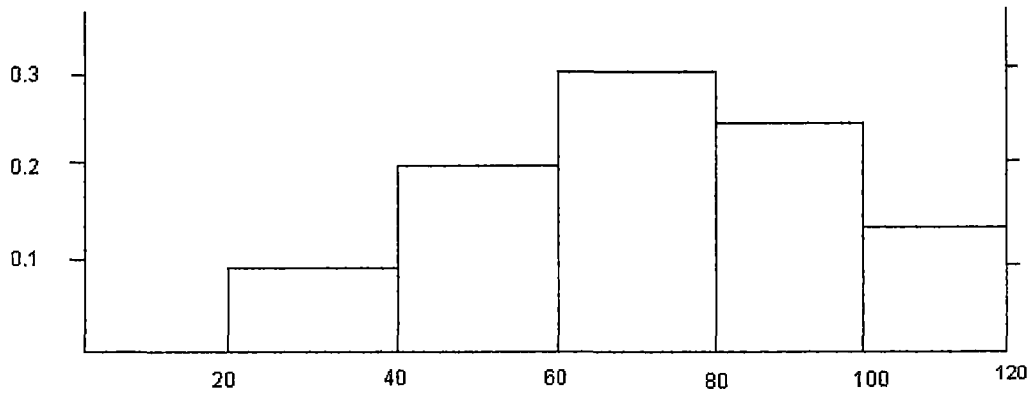
Ξαναγράφοντας την (1.21) καταλήγουμε στο ότι :

$$C_{rotated, k} = \left(\frac{5B_k[j_{min}]}{\sum_{j=1}^5 B_k[j]} \right) C_{uniform} + \left(1 - \frac{5B_k[j_{min}]}{\sum_{j=1}^5 B_k[j]} \right) C_{noise, k}$$

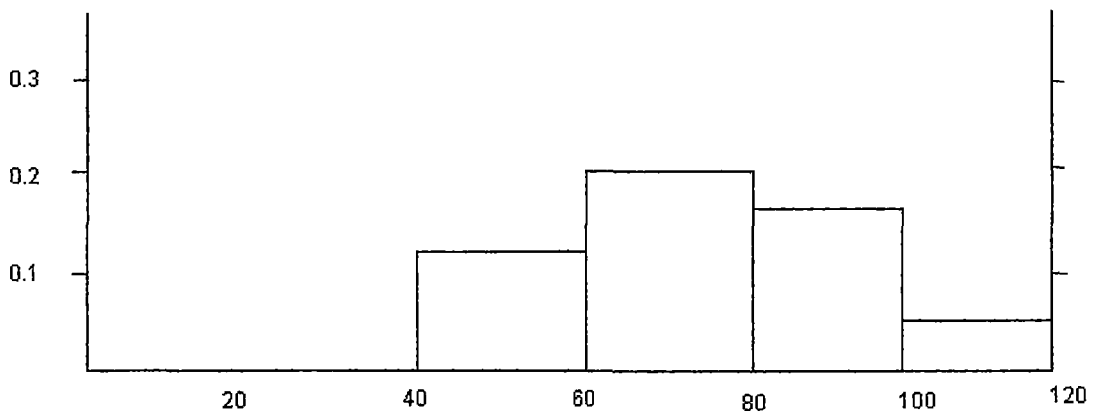
Ο πρώτος όρος στην σχέση (1.22) τραβάει το $C_{rotated, k}$ προς το κέντρο του περιστρεφόμενου φάσματος. Επομένως το $C_{noise, k}$ μεταβάλλεται περισσότερο από το κέντρο από ότι κάνει το $C_{rotated, k}$. Η διαφορά μεταξύ τους αυξάνει καθώς το $B(xk)$ γίνεται περισσότερο ομοιόμορφο και καθώς ο πρώτος όρος κυριαρχεί. Έτσι χρησιμοποιώντας το $C_{noise, k}$ αντί για το $C_{rotated, k}$ στην (1.11) παίρνουμε καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 5



Σχήμα 6



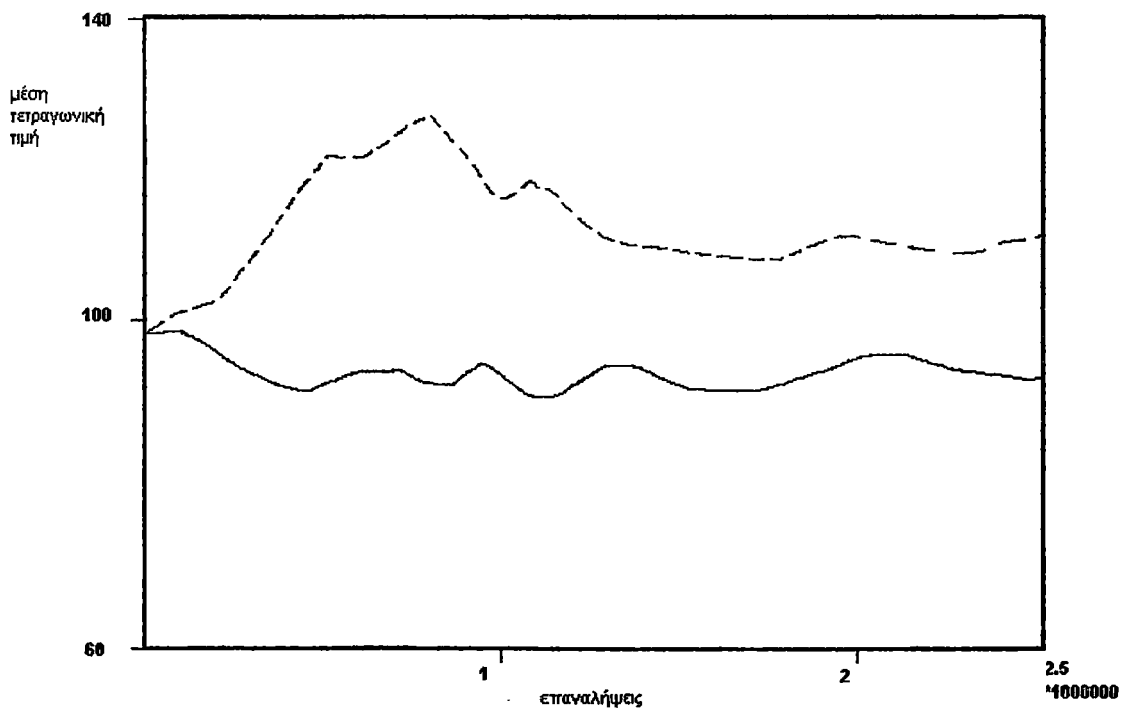
Σχήμα 7

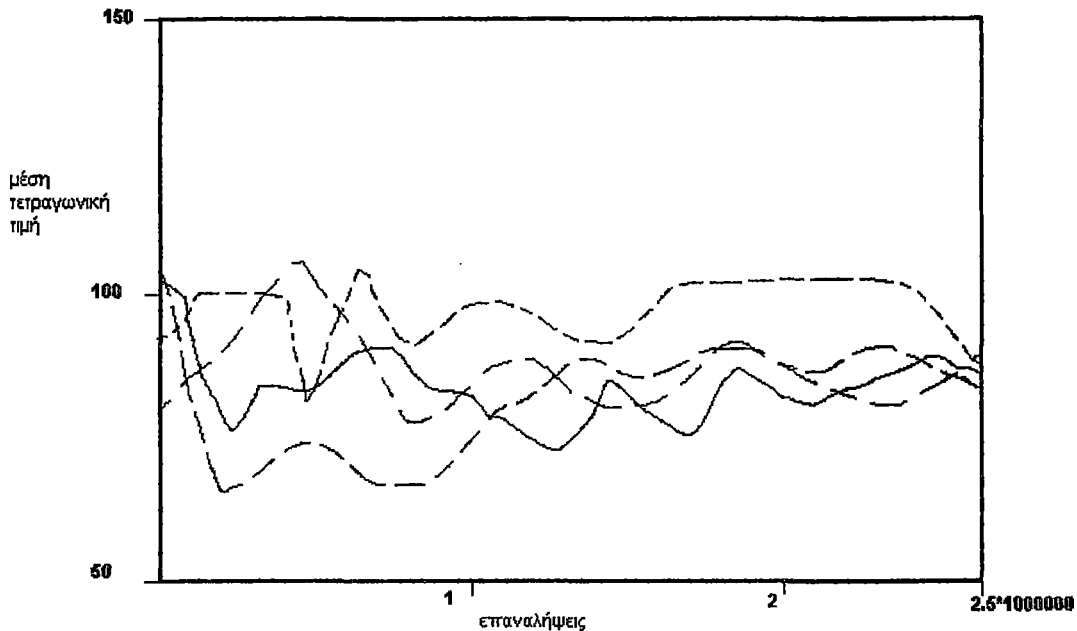
3.5.1.5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το σχήμα 8 δείχνει την μέση τιμή των αποτελεσμάτων για 100 συχνότητες και για διάφορες επαναλήψεις του αλγορίθμου. Συγκρίνουμε το ασαφές σύστημα με τον IMSL γεννήτορα τυχαίων αριθμών που έδωσε τα δείγματα για να εκπαιδευτεί ο ασαφής γεννήτορας και ο οποίος παρέχει την επιθυμητή ομοιόμορφη κατανομή στην έξοδό του. Η συνεχής γραμμή δείχνει τις μέσες τετραγωνικές τιμές για το ασαφές σύστημα. Η διακεκομμένη τιμή δείχνει τις αντίστοιχες τιμές για τον IMSL γεννήτορα τυχαίων αριθμών. Όσο πιο μικρή είναι η μέση τετραγωνική τιμή τόσο πιο πολύ η κατανομή της εξόδου πλησιάζει την ομοιόμορφη κατανομή.

Το σχήμα 9 εμφανίζει τα αποτελέσματα για τις τέσσερις φορές λειτουργίας του ασαφούς συστήματος. Σε τρεις από τους τέσσερις κύκλους χρησιμοποιήθηκαν τυχαίες αρχικές συνθήκες. Στον τέταρτο κύκλο (όπως δείχνεται στην συνεχή γραμμή) χρησιμοποιήθηκαν μηδενικές αρχικές συνθήκες. Αυτή η ακραία περίπτωση δείχνει την σθεναρότητα του ασαφούς συστήματος σε αρχικές συνθήκες.

Επίσης ελέγχουμε την αυτοσυσχέτιση των ακολουθιών για να διαπιστώσουμε την προβλεπτικότητά τους. Στην ιδανική περίπτωση ο αριθμός του διαστήματος συχνοτήτων της εξόδου την χρονική στιγμή k δεν θα εξαρτώταν από τον αριθμό του διαστήματος την χρονική στιγμή $k-l$ για οποιοδήποτε l . Όμως οι χρονικές καθυστερήσεις στο πρότυπο δειγματοληψίας έδωσαν ελαφρά μεγαλύτερες συσχετίσεις από ότι έκαναν άλλες τιμές του l . Επομένως ένας εξωτερικός παρατηρητής που θα μπορούσε να ανιχνεύσει την ακολουθία συχνοτήτων για 25000 – 50000 επαναλήψεις θα ήταν σε θέση να μάθει το πρότυπο δειγματοληψίας. Όμως δεν θα μάθαινε τους ασαφείς κανόνες μόνο από την ακολουθία συχνοτήτων. Επίσης δεν θα έβρισκε τις χρονικές ολισθήσεις r στην σχέση (1.11) από την ακολουθία των συχνοτήτων.





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ C/I

4.1: Η ΡΑΔΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ

Από λειτουργικής άποψης ένα κυτταρικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας μπορεί να διακριθεί σε δύο κύρια μέρη. Το πρώτο περιλαμβάνει τις λειτουργίες μεταγωγής και το δεύτερο ασχολείται με την εκπομπή και την λήψη, δηλαδή όλες οι ραδιοηλεκτρικές λειτουργίες. Μετά από την ανάλυση που κάναμε στο δεύτερο κεφάλαιο για τη λειτουργία της μεταγωγής θα ασχοληθούμε εν συντομία με το ραδιοηλεκτρικό σύστημα, το οποίο υλοποιείται από τους πομποδέκτες των σταθμών βάσης και τους κινητούς σταθμούς, και ειδικότερα με την ραδιοηλεκτρική εκπομπή.

Στην κινητή τηλεφωνία η μεταφορά της πληροφορίας γίνεται δια του αέρος, γεγονός που συνεπάγεται επιπλέον προβλήματα σε σύγκριση με την σταθερή τηλεφωνία. Είναι γνωστό πως στις χαμηλές συχνότητες τα ραδιοκύματα ακολουθούν τις ανωμαλίες του εδάφους και έτσι μπορούν να φθάσουν ακόμη και πίσω από εμπόδια. Στις υψηλές συχνότητες όμως των 900 και άνω μεγακύκλων η διάδοση είναι ευθύγραμμη και συνεπώς σχηματίζονται σκιές πίσω από τα διάφορα εμπόδια (λόφους, κτίρια ακόμη και αυτοκίνητα).

Για κάθε κεραία εκπομπής ορίζεται ένας ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας πέραν του οποίου το κύμα δεν φθάνει, ή αν φθάνει η στάθμη του είναι αμελητέα. Συνέπεια αυτού είναι ότι η ίδια συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ νέου χωρίς να δημιουργούνται παρεμβολές της μίας συχνότητας με την άλλη. Ο ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας που πρέπει να φθάνει η κεραία ενός σταθμού βάσης πρέπει να είναι τα σύνορα της κυψέλης και με βάση την απαίτηση αυτή ρυθμίζεται η ισχύς εκπομπής της.

Σε περιβάλλον χωρίς εμπόδια αποδεικνύεται ότι η λαμβανομένη ισχύς από την κεραία του δέκτη είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την τέταρτη περίπου δύναμη της απόστασης από τον πομπό. Στην πράξη ωστόσο υπάρχουν διάφορα φαινόμενα που δημιουργούν απώλειες του σήματος ως προς το αναμενόμενο αποτέλεσμα σε κάποιο σημείο του χώρου και πολλές φορές ανεπιθύμητα και δυσεπίλυτα προβλήματα. Τέτοια φαινόμενα είναι οι πολλαπλές ανακλάσεις σε διάφορα εμπόδια, οι εκπομπές από κεραίες γειτονικών κυψελών και οι καθυστερήσεις.

Μερικά από τα φαινόμενα αυτά πρόκειται να εξετάσουμε στις επόμενες παραγράφους και συγκεκριμένα,

- Την παρεμβολή συγγενούς καναλιού.
- Τις παρεμβολές γειτονικών καναλιών.
- Τις παρεμβολές ενδοδιαμόρφωσης.
- Άλλες απώλειες κατά την διάδοση του κύματος.
- Τα διάφορα είδη διαλείψεων και
- Τις καθυστερήσεις.

4.2: ΕΝΔΟΚΑΝΑΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται στην επίδραση που ασκείται στο κανάλι που είναι συντονισμένος ο κινητός σταθμός, από το σήμα που έρχεται στο ίδιο κανάλι από έναν μακρινό σταθμό βάσης. Η επίδραση αυτή μετράται σαν ο λόγος του σήματος που φθάνει στην κεραία του κινητού σταθμού από τον τοπικό σταθμό βάσης προς το σήμα που λαμβάνεται στο ίδιο (συγγενές κανάλι) από έναν μακρινό σταθμό βάσης.

Η εξουδετέρωσή του επιτυγχάνεται με επιλογή της απόστασης των κυψελών, ώστε εκείνες που χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια να απέχουν μεταξύ τους απόσταση D, που δίνεται όπως έχουμε αναφέρει στο πρώτο κεφάλαιο από τον τύπο :

$$D/R = (3 \cdot K)^{1/2}, \quad \text{όπου } R \text{ είναι η ακτίνα της κάθε κυψέλης.}$$

Το K είναι ίσο με το πλήθος των κυψελών που συναποτελούν την κυψελωτή δομή που έχει εφαρμοσθεί στο σημείο πριν επαναληφθεί χρησιμοποίηση της ίδιας συχνότητας και παίρνει συνήθως τις τιμές 3,7,12.

Για να λειτουργεί ανεκτά ο κινητός σταθμός πρέπει ο λόγος C/I της φέρουσας το χρήσιμο σήμα συχνότητας προς το σήμα με την παρεμβολή μετρημένος σε db, να είναι μεγαλύτερος από ένα ελάχιστο κατώφλι. Επίσης γίνεται αποδεκτό ένα ποσοστό απόσβεσης οφειλόμενο σε εδαφικές ιδιομορφίες και πολλαπλές ανακλάσεις. Μία εξίσωση που μας δίνει το ανεκτό επίπεδο σήματος προς θόρυβο S/N, για κανάλια με εύρος 25 KHz και αν δεν υπάρχουν αποσβέσεις είναι :

$$S/N = 0.9C/I + 10$$

για C/I μεταξύ 12 και 35 db.

Για να είναι το σήμα ακουστό πρέπει ο λόγος C/I να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από 21 db. Από την εξίσωση προκύπτει ότι για να συμβαίνει αυτό και ο κινητός σταθμός να ακούγεται ανεκτά σε περιβάλλον χωρίς αποσβέσεις πρέπει να ισχύει C/I = 12 db.

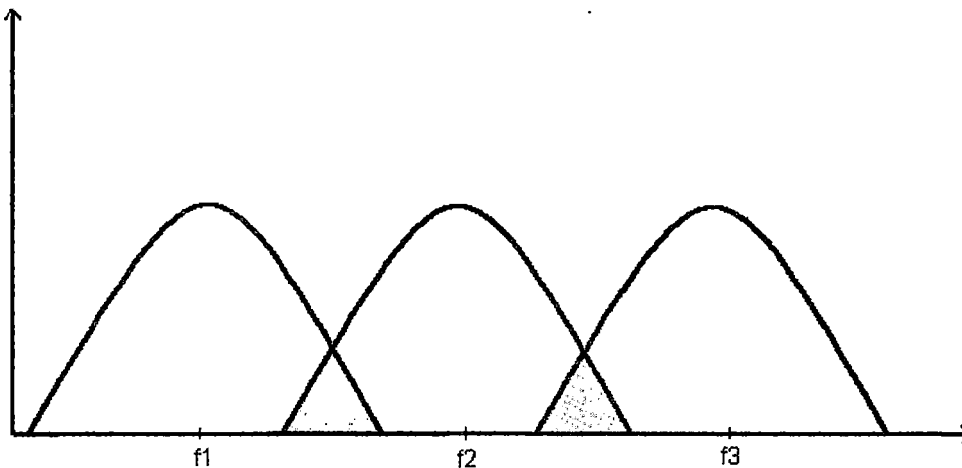
Αν ληφθούν υπόψη οι αποσβέσεις, τότε η ανωτέρω εξίσωση τροποποιούμενη παίρνει τη μορφή :

$$S/N = 1.0C/I - 9$$

Για να επιτευχθεί και πάλι επίπεδο 21 db απαιτείται τώρα $C/I = 30$ db, που αντιστοιχεί σε αύξηση έναντι της προηγούμενης κατάστασης κατά 18 db. Ένα πλεονέκτημα του GSM είναι ότι η επιτρεπτή τιμή του λόγου C/I είναι χαμηλή από 9.5 έως 10 db, ενώ στο αναλογικό σύστημα TACS είναι γύρω στα 17 db. Η βελτίωση αυτή έγκειται στο γεγονός ότι η μικρή αύξηση του Ψ/I επιτρέπει πυκνότερη δόμηση κυψελών και συνεπώς αύξηση της χωρητικότητας. Αντίθετα στο αναλογικό σύστημα η πιο υψηλή τιμή του ίδιου λόγου επιβάλλει αυξημένη απόσταση επαναχρησιμοποίησης και συνεπώς μικρότερη χωρητικότητα.

4.3: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Η παρεμβολή γειτονικών καναλιών προέρχεται από την επίδραση που ασκούν στη λήψη τα γειτονικά σε συχνότητα κανάλια προς το επιθυμητό. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, όπως είδαμε στην αρχιτεκτονική του συνδρομητικού πομποδέκτη χρησιμοποιούνται φίλτρα και καταβάλλεται προσπάθεια ώστε να παρουσιάζουν εύρος διέλευσης καθέτων κατά το δυνατόν πλευρών ώστε να αποκόπτονται οι άλλες συχνότητες εκτός της επιθυμητής. Φίλτρα όμως με τελείως κάθετες πλευρές δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστούν και έτσι πάντοτε κάποια γειτονική συχνότητα περνάει από το φίλτρο και υποβαθμίζει την λήψη. Το φαινόμενο είναι εντονότερο αν ο δέκτης βρίσκεται πιο κοντά στην κεραία που εκπέμπει το ανεπιθύμητο σήμα γειτονικού καναλιού όπως συμβαίνει στο σχήμα που ακολουθεί.



4.4: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΝΔΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Ο θόρυβος αυτός προκύπτει από τη συμβολή μη γραμμικών σημάτων ξένων προς την επιθυμητή συχνότητα. Αυτά συμβάλλοντας στην είσοδο του δέκτη

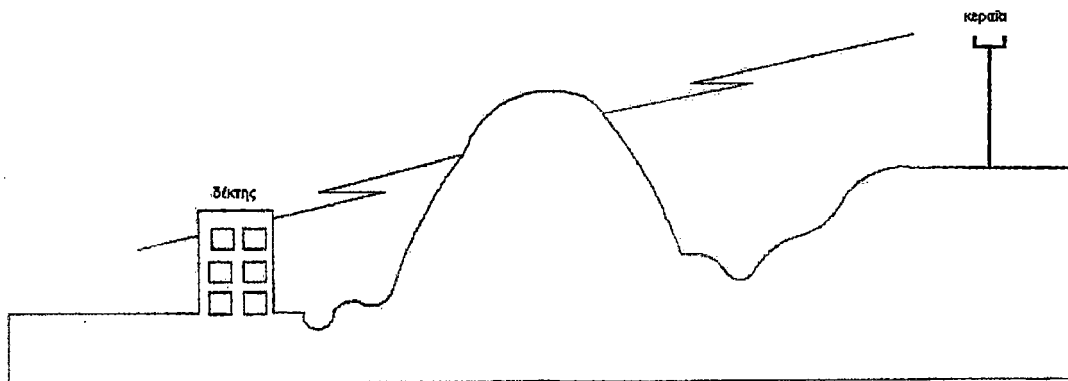
παράγουν στην έξοδό του συχνότητες παραπλήσιες με την επιθυμητή. Έτσι ένα σήμα εισόδου με συχνότητες f_1 και f_2 μπορεί να παράγει μία έξοδο της μορφής kf_1+lf_2 , η οποία όταν συμπέσει με την συχνότητα του επιθυμητού καναλιού διαταράσσει την λήψη.

Βασική αιτία είναι ο εισαγόμενος θόρυβος από πηγές πάσης φύσεως π.χ από τη μηχανή του αυτοκινήτου ή και από την ίδια την συνδρομητική συσκευή. Μεταξύ των στόχων του κάθε κατασκευαστή είναι η ελαχιστοποίηση των επιδράσεων που ασκεί ο θόρυβος. Η χρησιμοποίηση του ψηφιακού σήματος αποτελεί συνεπώς ουσιαστικό πλεονέκτημα για την καταστολή της ενδοδιαμόρφωσης επειδή σαν ακολουθία παλμών που είναι επηρεάζεται λιγώτερο από ότι το αναλογικό σήμα.

4.5: ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, κατά τη διάδοσή του στον ελεύθερο χώρο, υφίσταται απώλειες μερικές από τις οποίες οφείλονται στη μορφολογία της περιοχής, άλλες στην απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και άλλες στην ταχύτητα κινήσεως του δέκτη. Θα προσπαθήσουμε δι'ολίγων να αναφερθούμε στα διάφορα είδη αυτών των απωλειών :

Λογαριθμικοί κανονική απόσβεση : Σπανίως μία κινητή μονάδα θα χρησιμοποιηθεί σε ελεύθερο χώρο χωρίς εμπόδια. Συνήθως στην ευθύγραμμη πορεία του κύματος μέχρι την πορεία του δέκτη παρεμβάλλονται διάφορα εμπόδια όπως αυτά που σημειώνονται στο επόμενο σχήμα και αδυνατίζουν την ισχύ του.

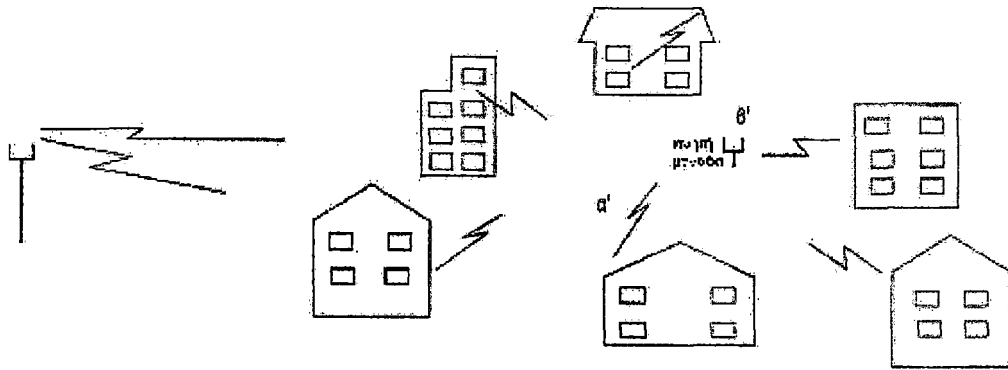


Σχήμα 4.4 : Το φυσικό εμπόδιο που παρεμβάλλεται μεταξύ της κεραίας του σταθμού βάσης και του δέκτη έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση του σήματος.

Αυτή η μορφή εξασθένησης κατά την απευθείας σύνδεση λέγεται λογαριθμικά – κανονική απόσβεση επειδή ο λογάριθμος της έντασης του σήματος παρουσιάζει κανονική κατανομή γύρω από μία μέση τιμή αυξήσεων και μειώσεων. Ο χρόνος που παρέρχεται μεταξύ των διαδοχικών μειώσεων για ένα κινούμενο κινητό σταθμό είναι της τάξης των λίγων δευτερολέπτων.

Απώλειες λόγω πολλαπλών ανακλάσεων : Πέραν του ως άνω τύπου απωλειών όμως υπάρχει μια ακόμη ανεπιθύμητη μορφή γνωστή σαν απόσβεση Rayleigh. Αυτή προέρχεται από πολλαπλές ανακλάσεις τις οποίες υφίσταται ένα σήμα κατά την πορεία του, με συνέπεια το ίδιο σήμα να λαμβάνεται και σε σημεία με

τα οποία δεν υφίσταται οπτική επαφή μεταξύ των κεραιών εκπομπής και λήψης. Η περίπτωση εικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.5 : Η εμφάνιση της πολυοδικής εξασθένησης και οι άσχημες συνέπειές της πάνω στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος.

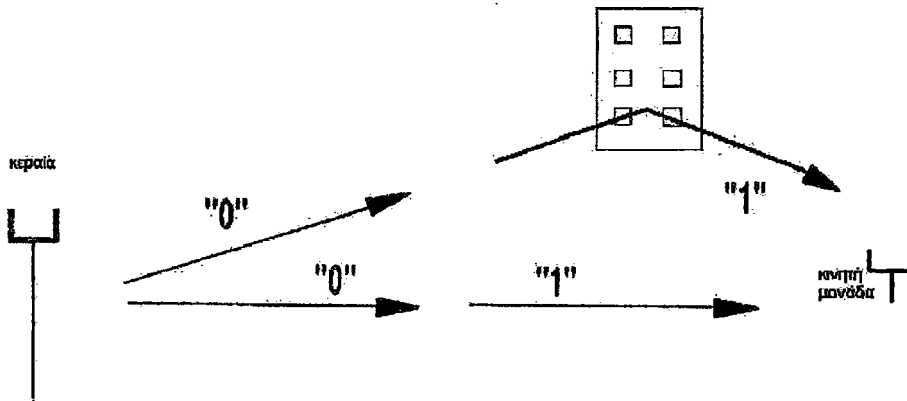
Μερικές φορές οι αποσβέσεις Rayleigh είναι ευεργετικές, με την έννοια ότι τα ανακλώμενα κύματα γεμίζουν περιοχές όπου υπό κανονικές συνθήκες θα υπήρχε σκιά και η λήψη θα ήταν μηδενική. Οι αρνητικές επιδράσεις του φαινομένου προέρχονται από την συμβολή των απευθείας με τα ανακλώμενα κύματα με αποτέλεσμα, ανάλογα με την διαφορά φάσεως, η ένταση σε άλλα σημεία να ενισχύεται και σε άλλα να σβήνει. Οι τιμές των αποσβέσεων μπορεί να είναι μεγάλες (εξασθένηση σήματος μέχρι και 20 db) συγκρινόμενες με τις μέσες τιμές πεδίου στην περιοχή. Λόγω μάλιστα του μικρού μήκους κύματος στην περιοχή των 900 MHz, συμβαίνει να επαναλαμβάνονται δύο και τρεις φορές σε απόσταση λίγων μέτρων. Προσεγγιστικά η απόσταση μεταξύ δύο αποσβέσεων στις συχνότητες αυτές είναι της τάξεως του μισού μήκους κύματος, δηλαδή $\lambda/2 = 17$ εκατοστά περίπου. Επίσης μπορούν να μεταβάλλονται με το χρόνο καθώς και με την αλλαγή του προσανατολισμού της κεραιάς λήψεως. Αν θέλουμε να εκτιμήσουμε το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αποσβέσεων για ταχύτητα κινητού περίπου 60 km/h με εφαρμογή του τύπου $\lambda = υt$ λύνοντας ως προς t , παίρνουμε προσεγγιστικά $t = 10\text{msec}$.

Η συνολική ένταση του κύματος (λαμβανομένων υπόψη και των αποσβέσεων) στο χώρο διαμορφώνεται τελικά όπως σημειώνεται στο πάνω διάγραμμα του σχήματος που ακολουθεί, ως γενικός μέσος όρος που φθίνει με την απόσταση από την κεραιά, μέχρι μηδενισμού. Γύρω από αυτό το μέσο όρο συμβαίνουν διακυμάνσεις οφειλόμενες σε αποσβέσεις Rayleigh (πολλαπλές ανακλάσεις). Στο κάτω διάγραμμα που αποτελεί μια λεπτομέρεια του πάνω, σημειώνονται και πάλι ο τοπικός και ο γενικός μέσος όρος καθώς και το περιθώριο αποσβέσεων Rayleigh. Το περιθώριο αυτό είναι αρκετό μόνο όταν βρίσκεται πάνω από τη στάθμη ευαισθησίας του δέκτη.

Από την κάτω καμπύλη του σχήματος προκύπτει ότι δεν φθάνει να σχεδιάσουμε το σύστημα λαμβάνοντας υπόψη μόνο το γενικό μέσο όρο του σήματος αλλά πρέπει να συνυπολογίσουμε το μέγιστο των ελαττώσεων που θα προκύψουν από τις αποσβέσεις κάθε μορφής. Οι αποσβέσεις Rayleigh παράγουν π.χ βυθίσματα του σήματος ακόμα και 20 db. Για να έχουμε συνεπώς καλή ποιότητα λήψεως πρέπει να έχουμε προβλέψει γενικό μέσο όρο αρκετά db πιο πάνω από την ευαισθησία του δέκτη.

Χρονική διασπορά : Η ψηφιακή εκπομπή δημιούργησε ένα ακόμη ειδικότερο πρόβλημα, γνωστό σαν χρονική διασπορά. Και αυτό το φαινόμενο έχει προέλευση τις ανακλάσεις αλλά η διαφορά του από τις ανακλάσεις Rayleigh είναι ότι

το ανακλώμενο κύμα φθάνει από ένα αντικείμενο που βρίσκεται μακριά από το δέκτη π.χ σε απόσταση της τάξεως λίγων χιλιομέτρων. Η χρονική διασπορά δημιουργεί 'αλληλοπαρεμβολή δυαδικών συμβόλων' και έχει σαν αποτέλεσμα να δυσκολεύεται ο δέκτης να αντιληφθεί αν το δυαδικό σύμβολο που έφθασε είναι το αναμενόμενο από το απευθείας κύμα ή προέρχεται εξ ανακλάσεως.



Σχήμα 4.6 : Η διασυμβολική παρεμβολή στις ψηφιακές ασύρματες επικοινωνίες.

Όπως βλέπουμε, αν το '1' που προέρχεται εξ ανακλάσεως στο μακρινό εμπόδιο, φθάσει στο όχημα ακριβώς σε διαφορά χρόνου ενός bit μετά το απευθείας '1', τότε αυτό συμβάλλει με το '0' που ακολουθεί στην απευθείας διαδρομή. Ο χρόνος ενός bit (χρόνος που περνάει από την άφιξη ενός bit μέχρι να φθάσει το επόμενο) ισούται περίπου με 3.7 msec. Η τιμή αυτή προκύπτει αν λάβουμε υπόψη ότι η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι 270kbit/sec. Αν θελήσουμε να υπολογίσουμε την απόσταση που χρειάζεται για να είναι το φαινόμενο εντονότερο, τότε με εφαρμογή του τύπου $S=ut$, όπου $u=300000$ km/sec, λαμβάνεται $S=1.1$ km. Δηλαδή το 1 bit σε χρόνο 3.7 msec διανύει απόσταση 1.1 km.

Όλα τα φαινόμενα που εξετάσαμε πιο πάνω είναι αρκετά ενοχλητικά και επιβάλλεται να λαμβάνονται μέτρα – ιδιαίτερα αυτό γίνεται στο GSM – προς εξασφάλιση της αξιοπιστίας μετάδοσης του λόγου και των δεδομένων. Οι δυσμενείς επιπτώσεις των φαινομένων είναι μικρότερες προκειμένου για μετάδοση φωνής και μεγαλύτερες για μετάδοση δεδομένων.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την εξουδετέρωση της χρονικής διασποράς και των άλλων μορφών απωλειών περιλαμβάνουν τις εξής δύο τεχνικές :

- Χρησιμοποίηση εφεδρικών δυαδικών ψηφίων για κάθε μεταδιδόμενο δυαδικό ψηφίο πληροφορίας.
- Διασπορά των δυαδικών ψηφίων που αποτελούν μια μοναδική πληροφορία μέσα σε άλλες, έτσι ώστε τυχόν καταστροφή μιας ριπής δυαδικών ψηφίων κατά την μετάδοση, να μην συνεπάγεται απώλεια όλης της πληροφορίας που περικλείεται σ' αυτή.

4.6: Η ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

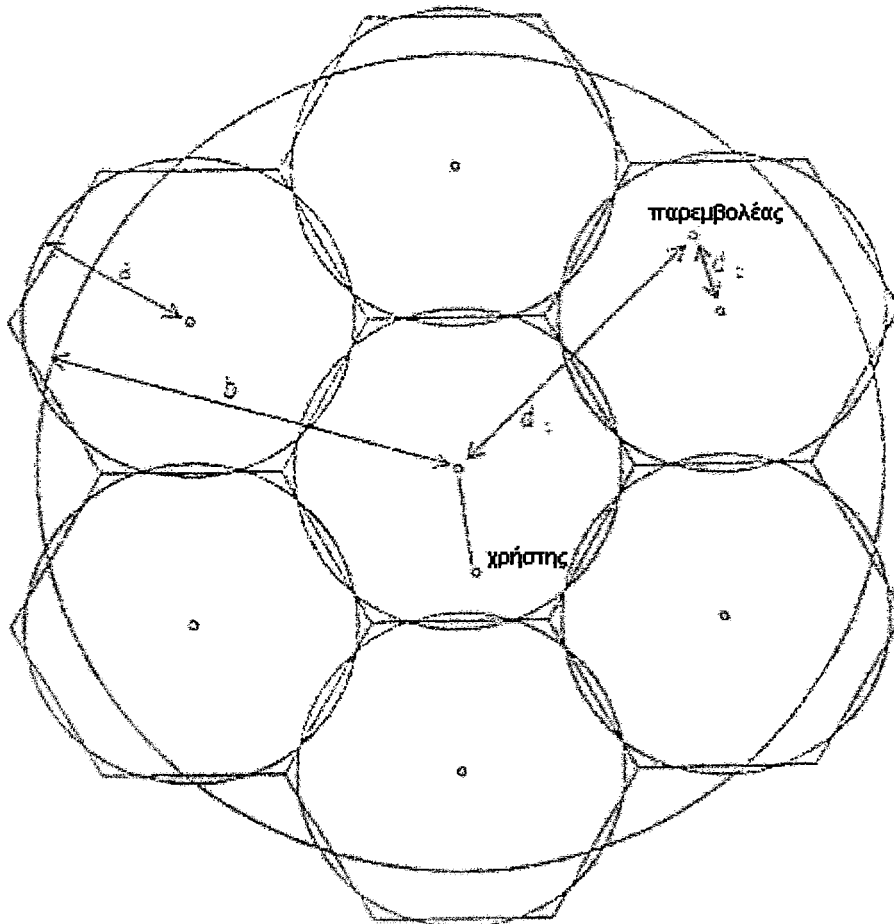
Σε ένα κυτταρικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο. Χρήστες σε διαφορετικά κύτταρα, οι οποίοι απέχουν μια κατάλληλη απόσταση, μπορούν να χρησιμοποιήσουν ταυτόχρονα τον ίδιο ραδιο-δίαυλο με ένα αποδεκτό επίπεδο συγκαταληκτικής παρεμβολής. Καθώς αυτή η απόσταση αυξάνει, η απόδοση του συστήματος βελτιώνεται αλλά η εκμετάλλευση του φάσματος χειροτερεύει. Η συνεχιζόμενη

αύξηση του αριθμού των συνδρομητών της κινητής τηλεφωνίας σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το διαθέσιμο ραδιοφάσμα προς χρήση είναι περιορισμένο καθιστά επιτακτική την ανάγκη για μείωση της απόστασης επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων με παράλληλη διατήρηση της συγκαναλικής παρεμβολής σε ανεκτά επίπεδα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου αναπτύχθηκαν δύο τεχνικές, η διάχυση φάσματος με χρησιμοποίηση της απευθείας ακολουθίας (direct sequence) και η μεταπήδηση συχνότητας.

Ένα από τα μειονεκτήματα της της μεθόδου της απευθείας ακολουθίας είναι ότι τουλάχιστον στην άνω ζεύξη σε ένα κύτταρικό σύστημα όλοι οι ενεργοί χρήστες σε μία κυψέλη δέχονται την παρεμβολή όλων των άλλων ενεργών χρηστών μέσα στο ίδιο κύτταρο. Σε ένα σύστημα που υιοθετεί την τεχνική της αργής μεταπήδησης συχνότητας, όπως αυτό που θα εξετάσουμε στο παρόν κεφάλαιο, το μειονέκτημα αυτό απαλείφεται. Όλοι οι χρήστες σε ένα κύτταρο χρησιμοποιούν αμοιβαία ορθογώνιες ακολουθίες μεταπήδησης και ως συνέπεια δεν θα παρεμβάλουν μεταξύ τους.

4.7: Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα κινητής τηλεφωνίας που εξετάζουμε αποτελείται από 7 κύτταρα το καθένα από τα οποία έχει την μορφή κανονικού εξαγώνου. Οι σταθμοί βάσης βρίσκονται στο κέντρο κάθε κυττάρου. Στα πλαίσια της μαθηματικής ανάλυσης θεωρούμε ότι κάθε εξαγώνο προσεγγίζεται από έναν κυκλικό δίσκο ακτίνας a και με εμβαδόν ίσο με το εμβαδόν του εξαγώνου. Επίσης η συνολική περιοχή του συστήματος προσεγγίζεται από έναν μεγάλο κυκλικό δίσκο ακτίνας β , ο οποίος έχει το ίδιο εμβαδόν με το συνδυασμό των 7 εξαγώνων.



Οι ραδιοζεύξεις του συστήματος χρησιμοποιούν αργή μεταπήδηση συχνότητας. Ο φορέας κάθε καναλιού αλλάζει συχνότητα περιοδικά με έναν ψευδοτυχαίο τρόπο. Η μεταπήδηση είναι αργή με την έννοια ότι η περίοδος της μεταπήδησης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την διάρκεια κάθε συμβόλου. Οι ακολουθίες μεταπήδησης επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όλοι οι χρήστες σε ένα δεδομένο κύτταρο να χρησιμοποιούν ορθογώνιες ακολουθίες και κατ' αυτόν τον τρόπο δύο κινητοί συνδρομητές μέσα στο ίδιο κύτταρο να μην μεταπηδούν ποτέ στην ίδια συχνότητα την ίδια χρονική στιγμή. Υποθέτουμε ότι η συσχέτιση των ακολουθιών μεταπήδησης μεταξύ δύο χρηστών σε γειτονικά κύτταρα είναι σχεδόν τυχαία. Η μεταπήδηση συχνότητας μας βεβαιώνει ότι το επίπεδο της παρεμβολής που υφίσταται ένας οποιοσδήποτε χρήστης καθορίζεται από όλους τους χρήστες στα γειτονικά κύτταρα και όχι από ένα μικρό υποσύνολο αυτών. Με άλλα λόγια, η χρησιμοποίηση του χειρότερου σεναρίου για την θέση των πηγών της παρεμβολής δεν βρίσκει εφαρμογή στην συγκεκριμένη μαθηματική ανάλυση. Ο αριθμός των χρηστών σε κάθε κύτταρο θα πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με τον αριθμό των διαθέσιμων ραδιο-διαύλων.

4.8: ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ο έλεγχος ισχύος υλοποιείται στην άνω ζεύξη έτσι ώστε να αντισταθμιστούν οι απώλειες ελευθέρου χρόνου και οι μεταβολές του σήματος που οφείλονται στις ραδιοσκίες. Ένα ιδανικό σχήμα προσαρμοζόμενου ελέγχου ισχύος μας διαβεβαιώνει ότι τα λαμβανόμενα σήματα στον σταθμό βάσης που προέρχονται από όλους τους

κινητούς σταθμούς ενός κυττάρου θα παραμείνουν στο ίδιο επίπεδο ισχύος, ανεξαρτήτως της κίνησης, της θέσης των κινητών μονάδων και των απωλειών ελευθέρου χώρου. Ο ιδανικός έλεγχος ισχύος οδηγεί στην μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος και στην βέλτιστη εκμετάλλευση του ραδιοφάσματος.

Πολυάριθμα σενάρια ελέγχου ισχύος έχουν διερευνηθεί μέχρι σήμερα.

Η ακολουθία των γεγονότων που λαμβάνει χώρα είναι η εξής:

1. Ο δέκτης του σταθμού βάσης ανιχνεύει την ισχύ του λαμβανόμενου ραδιοσήματος που εκπέμπεται από την κινητή μονάδα (μέσω της άνω ζεύξης).
2. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει μέσω της κάτω ζεύξης βίτς ελέγχου προς την κινητή μονάδα για να ρυθμίσει την εκπεμπόμενη ισχύ της κινητής μονάδας στο επιθυμητό επίπεδο.

Ιδανικά, το σφάλμα ελέγχου ισχύος θα πρέπει να είναι 0 db που σημαίνει ότι όλα τα εκπεμπόμενα σήματα από διάφορες κινητές μονάδες πρέπει να λαμβάνεται με 0 db διαφορετικότητα στον σταθμό βάσης. Αυτό θα απάλειφε την πολυοδική εξασθένηση και θα οδηγούσε στην μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του κυτταρικού συστήματος. Πρακτικά, το σφάλμα ελέγχου ισχύος κυμαίνεται στο 1.5 db.

Στο συγκεκριμένο σύστημα που εξετάζουμε, έχει υποτεθεί ότι η διαδικασία ελέγχου είναι ικανή να αντισταθμίζει επακριβώς τις λογαριθμοκανονικές αποσβέσεις καθώς και τις απώλειες ελευθέρου χρόνου χωρίς όμως να μπορεί να ακολουθήσει την πολυοδική εξασθένηση. Είναι γεγονός ότι η διαδικασία ελέγχου ισχύος διατηρεί την εκπεμπόμενη ισχύ των κινητών μονάδων σε όσο το δυνατόν πιο χαμηλά επίπεδα ενώ συγχρόνως προστατεύει την ποιότητα της ραδιοζεύξης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό εφόσον στις κινητές επικοινωνίες η εκπεμπόμενη ισχύς από τις άλλες κινητές μονάδες θεωρείται η σημαντικότερη πηγή παρεμβολής.

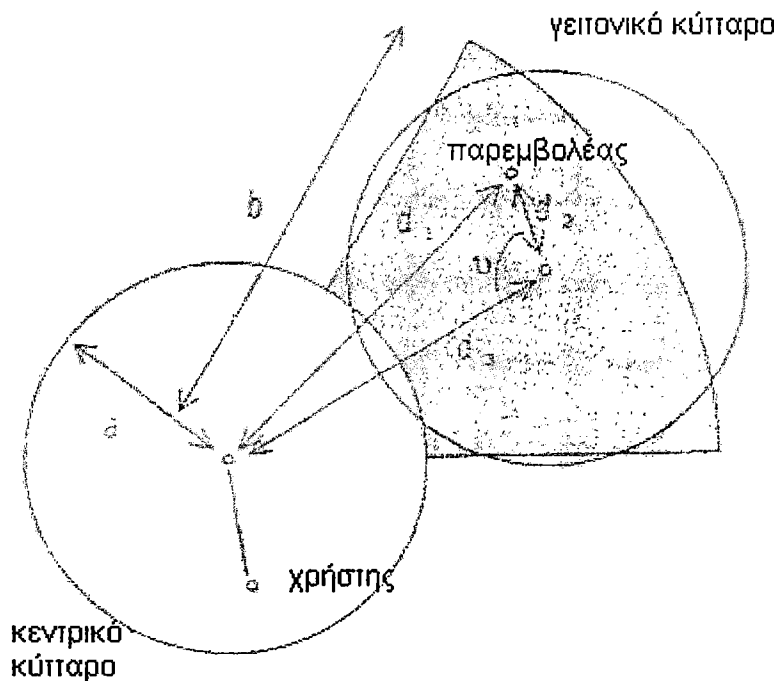
4.9: Η ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΑΠΟ ΕΝΑ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

4.9.1: ΑΤΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ

Ένας χρήστης στο κεντρικό κύτταρο με συντεταγμένες (x,y) μπορεί να υποστεί ένα σήμα παρεμβολής, στο σταθμό βάσης του, από έναν χρήστη σε ένα απομακρυσμένο κύτταρο. Δεδομένου ότι οι ακολουθίες μεταπήδησης σε αυτό το κύτταρο είναι ορθογώνιες, το πολύ ένας χρήστης σε αυτό μπορεί να χρησιμοποιεί τον ίδιο φορέα με τον συνδρομητή του κεντρικού κυττάρου. Επομένως έχει νόημα να αναφερθούμε σε 'παρεμβολή από ένα κύτταρο'. Στο σημείο αυτό πρέπει να καταλήξουμε σε ένα μοντέλο διάδοσης ραδιοσημάτων στη ζώνη λειτουργίας των 900 μεγακύκλων το οποίο θα ενσωματώνει όλα τα χαρακτηριστικά της ραδιοηλεκτρικής εκπομπής που περιγράφηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η πολυοδική εξασθένηση, οι λογαριθμοκανονικές αποσβέσεις καθώς και οι απώλειες ελευθέρου χρόνου, με βάση ορισμένες πιθανοτικές κατανομές. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο αυτό, η ισχύς του σήματος παρεμβολής δίνεται από την σχέση :

$$I = (10G1/10d1^{-4})(10^{-G2}/10d2^4)S \quad (1)$$

Ο πρώτος παράγοντας αποτελείται από ένα στοιχείο ραδιοσκιάς, όπου το $G1$ είναι μία τυχαία γκαουσιανή μεταβλητή με τυπική απόκλιση σ και μέση τιμή 0, και ένα στοιχείο απωλειών ελευθέρου χρόνου όπου $d1$ είναι η απόσταση μεταξύ της κινητής μονάδας που δημιουργεί την παρεμβολή και του κεντρικού σταθμού βάσης. Ο δεύτερος παράγοντας περιγράφει την επίδραση του ελέγχου ισχύος πάνω στον παρεμβολέα. $G2$ είναι μία τυχαία γκαουσιανή μεταβλητή με τυπική απόκλιση σ και μέση τιμή 0, και $d2$ είναι η απόσταση μεταξύ του παρεμβολέα και του δικού του σταθμού βάσης. S είναι μία τυχαία μεταβλητή που αναπαριστά την πολυοδική εξασθένηση. Ουσιαστικά αποτελεί το τετράγωνο μιας μεταβλητής που ακολουθεί την Rayleigh κατανομή. Το σχήμα 4.1 δείχνει τις αποστάσεις $d1$ και $d2$.



Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι οι συνδρομητές του συστήματος καταχωρούνται σε κύτταρα σύμφωνα με την γεωγραφική απόσταση και όχι σύμφωνα με την μέση τιμή της λαμβανομένης ισχύος. Αυτή είναι μία απαισιόδοξη υπόθεση επειδή μερικοί χρήστες σε απομακρυσμένα κύτταρα, ως συνέπεια των εξασθενήσεων ραδιοσκιάς, θα έχουν μεγαλύτερη μέση τιμή ισχύος στον κεντρικό σταθμό βάσης από ότι στους σταθμούς βάσης των δικών τους κυττάρων. Σε ένα πραγματικό σύστημα τέτοιοι χρήστες θα είχαν υποστεί μεταγωγή στο κεντρικό κύτταρο και θα γινόντουσαν ορθογώνιοι στους άλλους ενεργούς συνδρομητές του κεντρικού κυττάρου.

Εάν η ισχύς αναπαρίσταται σε decibels τότε η σχέση (1) γράφεται ως :

$$I_{db} = G1 - 40\log_{10}d1 - G2 + 40\log_{10}d2 + 10\log_{10}S \quad (2)$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος I_{db} μπορεί να βρεθεί συνελίσσοντας μαζί τις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας όλων των όρων της

σχέσης (2), με την προϋπόθεση ότι είναι στατιστικά ανεξάρτητες. Οι αποστάσεις d_1 και d_2 δεν είναι στατιστικά ανεξάρτητες αλλά εμείς υποθέτουμε ότι είναι. Η ακρίβεια της υπόθεσης αυτής εξετάζεται παρακάτω.

4.9.2: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το κεντρικό κύτταρο προσεγγίζεται από έναν κυκλικό δίσκο ακτίνας a . Επιπλέον, τα 6 γειτονικά κύτταρα του κεντρικού κυττάρου προσεγγίζονται από ισεμβαδικά τμήματα ενός δακτυλίου με εσωτερική ακτίνα a και εξωτερική ακτίνα b . Αυτή η προσέγγιση απεικονίζεται στο σχήμα 4.2. Κάθε ένα από τα τμήματα έχει την ίδια επιφάνεια με ένα εξαγωνικό κύτταρο. Η πιθανότητα ότι η απόσταση d_1 μεταξύ της κινητής μονάδας που δημιουργεί την παρεμβολή και του σταθμού βάσης του κεντρικού κυττάρου ικανοποιεί τη συνθήκη $d_1 < r$ ισούται με :

$$F_{d_1}(r) = \begin{cases} (r^2 - a^2)/6a^2 & a < r < b \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases} \quad (3)$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της απόστασης d_1 , η οποία προκύπτει αν παραγωγίσουμε την σχέση 3 ως προς την μεταβλητή r , έχει την ακόλουθη μορφή :

$$f_{d_1}(r) = \begin{cases} r/(3a^2) & a < r < b \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases} \quad (4)$$

Πρέπει να σημειώσουμε ότι $a^2 = 3\sqrt{3}/(2\pi)$ και $b^2 = 7a^2$, με την προϋπόθεση ότι τα κύτταρα του συστήματος είναι μοναδιαίας ακτίνας. Επομένως η σχέση (4) μπορεί να ξαναγραφεί ως :

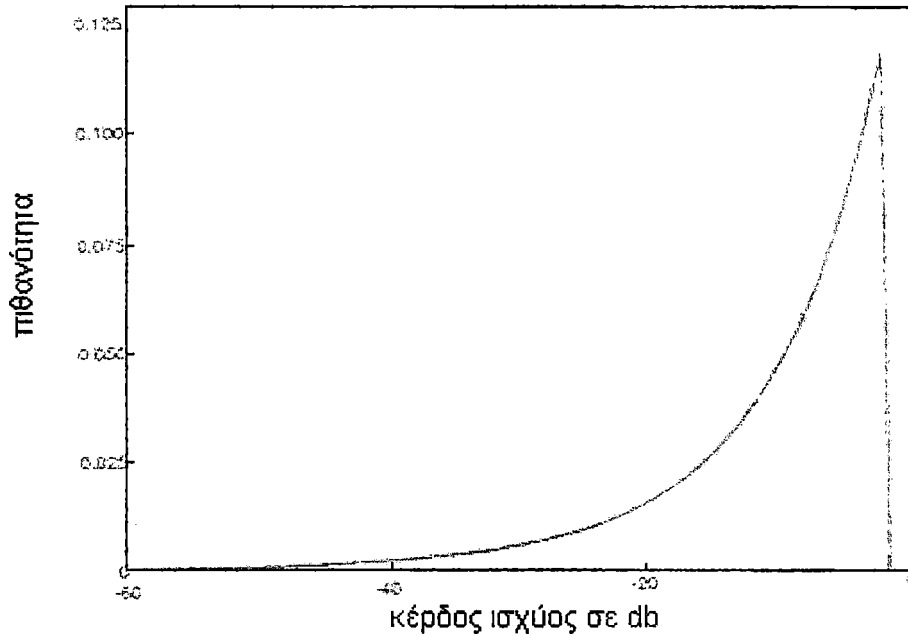
Ορίζουμε ότι $Y_1 = -40\log_{10}(d_1)$. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f) της ποσότητας Y_1 υπολογίζεται ως ακολούθως :

$$f_{Y_1}(y) = f_{d_1}(r)J, \quad \text{όπου } J = |df_{d_1}/dy| = \ln(10)/40 \cdot \exp(-y(\ln 10)/40) \text{ και } y = -40\log_{10}(r).$$

Επομένως καταλήγουμε στο ότι :

$$f_{Y_1}(y) = \begin{cases} \pi \ln 10 / (180 \sqrt{3}) \cdot \exp(-y(\ln 10)/20) - 40\log_{10} b < y < -40\log_{10} a \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases} \quad (5)$$

Αυτή η εξίσωση μας δίνει την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του δεύτερου όρου της εξίσωσης (2). Στο σχήμα 4.3 έχουμε την γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτής, όπως παρουσιάζεται στην σχέση (5).



4.9.3: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΙΣΧΥΟΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κάθε σταθμός βάσης ελέγχει την ισχύ των συνδρομητών που ευρίσκονται στο κύτταρό του έτσι η ισχύς που εκπέμπουν να είναι ανάλογη με το αντίστροφο των απωσβέσεων λόγω ραδιοσκιών και των απωλειών ελευθέρως διάδοσης μεταξύ των κινητών μονάδων και του σταθμού βάσης. Το κύτταρο προσεγγίζεται από έναν κύκλο ακτίνας a . Η πιθανότητα ότι η απόσταση d_2 μεταξύ της κινητής μονάδας που δημιουργεί την παρεμβολή και του δικού της σταθμού βάσης ικανοποιεί την συνθήκη $d_2 < r$ ισούται με :

$$F_{d_2}(r) = \begin{cases} r^2/a^2 & 0 < r < a \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases} \quad (6)$$

Επομένως η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της απόστασης d_2 είναι $f_{d_2}(r) = 2r/a^2$ ή 0. Ορίζοντας ότι $Y_2 = 40 \log_{10}(d_2)$ και χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο όπως και προηγουμένως, καταλήγουμε στην έκφραση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για τον τέταρτο όρο της σχέσης (2).

$$F_{Y_2}(y) = \begin{cases} \pi \ln 10 / (30 \sqrt{3}) * \exp(y \ln 10 / 20) & -\infty < y < 40 \log_{10} a \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases} \quad (7)$$

Το σχήμα 4.4 απεικονίζει την γραφική παράσταση της συνάρτησης όπως ορίζεται στην σχέση (7), την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του αντιστρόφου των απωλειών ελευθέρου χώρου μεταξύ της παρεμβάλλουσας κινητής μονάδας και του δικού της σταθμού βάσης.

4.9.4: LEIGH ΑΠΟΣΒΕΣΗ: RAY

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του κέρδους ισχύος κατά την διαδικασία της πολυοδικής εξασθένησης δίνεται στο [6] και ισούται με :

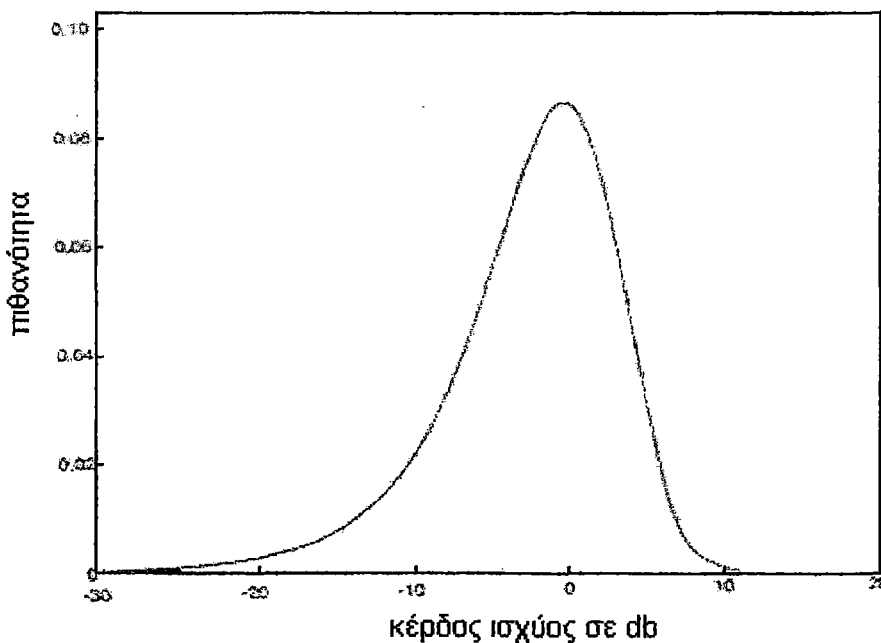
$$f_S(y) = 1/s_0 \cdot \exp(-y/s_0) \quad y \geq 0 \quad (8)$$

Όπου s_0 είναι η μέση ισχύς του εκπεμπόμενου σηματος, η οποία τίθεται ίση με την μονάδα. Η σχέση (8) υπονοεί ότι η απόσβεση είναι επίπεδη, δηλαδή είναι ανεξάρτητη της συχνότητας, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι εξετάζουμε την πολυοδική εξασθένηση για έναν μοναδικό συνδρομητή του οποίου το στιγμιαίο φάσμα εκπομπής είναι μερικά. Η τιμή του S αλλάζει εντελώς κάθε φορά που η συχνότητα του φορέα μεταπηδάει δεδομένου ότι η πολυοδική εξασθένηση θεωρείται ότι είναι πάνω στο συνολικό εύρος ζώνης του συστήματος.

Ορίζουμε ότι $Z = 10 \log_{10} S$ και χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο όπως και προηγουμένως, οδηγούμαστε στην συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του Z :

$$f_Z(y) = ((\ln 10)/10) \cdot \exp(y(\ln 10)/10 - \exp(y(\ln 10)/10)) \quad -\infty < y < \infty \quad (9)$$

Το σχήμα 4.5 εμφανίζει την p.d.f του Z όπως δίνεται στην σχέση 9. Το Z είναι ο τελικός όρος της σχέσης (2).



4.9.5: ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ ΡΑΔΙΟΣΚΙΩΝ

Οι αργές μεταβολές στην μέση ισχύ που λαμβάνεται από μία κινητή μονάδα μπορούν να προκληθούν όπως αναφέραμε και προηγουμένως από την ύπαρξη κτιρίων καθώς και από τις ανωμαλίες του εδάφους. Η απόσβεση που δημιουργείται

από αυτά τα εμπόδια περιγράφεται ικανοποιητικά από μία λογαριθμοκανονική κατανομή, για παράδειγμα στην. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας λογαριθμοκανονικής τυχαίας μεταβλητής έχει την ακόλουθη μορφή :

$$f(x) = (10/(x\sigma\sqrt{2\pi}\ln 10))^* \exp(- (10\log 10x - m)2/2\sigma^2) \quad (10)$$

Όπου σ και m είναι η τυπική απόκλιση και η μέση τιμή αντίστοιχα της τυχαίας γκαουσιανής μεταβλητής. Τα σχήματα 4.6 και 4.7 δείχνουν την συνάρτηση όπως παρέχεται στην σχέση (10), σχεδιασμένη με γραμμικούς και λογαριθμικούς x (ισχύς) άξονες αντίστοιχα. Τα μεγέθη $G1$ και $G2$, ο πρώτος και ο τρίτος όρος της σχέσης 2, αναπαριστούν σε decibels τους παράγοντες που δημιουργούν την απόσβεση ραδιοσκιών. Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των παραγόντων αυτών είναι γκαουσιανές, με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση ίση με 8. Επομένως θα ισχύει ότι :

$$f_{G1}(x) = f_{G2}(x) = (1/(\sigma_{G1}\sqrt{2\pi}))^* \exp(- (x - m_{G1})2/2\sigma_{G1}^2) \quad (11)$$

4.9.6: ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΙΣΧΥΟΣ

Υποθέτουμε ότι Θ και Φ είναι δύο ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x)$ και $g(x)$ αντίστοιχα. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής $\Gamma = \Theta + \Phi$ είναι η συνέλιξη των $f(x)$ και $g(x)$, η οποία δίνεται από τη σχέση :

$$f_{\Gamma}(x) = \int f(t)g(x-t)dt \quad (12)$$

Αυτό το αποτέλεσμα μας δίνει την δυνατότητα να προσδιορίσουμε την συνδυασμένη επίδραση των απωλειών ελεύθερης διάδοσης, της απόσβεσης Rayleigh, των αποσβέσεων που οφείλονται στις ραδιοσκίες καθώς και στον έλεγχο ισχύος. Χρησιμοποιώντας τους ορισμούς από τα προηγούμενα υποκεφάλαια, η εξίσωση (2) μπορεί να ξαναγραφεί ως :

$$l_{db} = G1 + Y1 + G2 + Y2 + Z \quad (13)$$

Είναι προφανές ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος παρεμβολής l_{db} είναι η συνέλιξη των αντίστοιχων συναρτήσεων των τυχαίων μεταβλητών $G1$, $G2$, $Y1$, $Y2$ και Z , κάνοντας τον συμβιβασμό ότι τα μεγέθη $Y1$ και $Y2$ είναι ανεξάρτητα. Ωστόσο η μαθηματική ανάλυση γίνεται εξαιρετικά πολύπλοκη όταν συμπεριλαμβάνεται ο όρος των αποσβέσεων Rayleigh, έτσι αρχικά υπολογίζεται η συνέλιξη των τεσσάρων πρώτων όρων. Η συμμετοχή του όρου της απόσβεσης Rayleigh στην εξαγωγή της συνολικής συνάρτησης πιθανότητας εξετάζεται στο υποκεφάλαιο 4.9.11.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών ελεύθερης διάδοσης (σε db) μεταξύ της κινητής μονάδας που δημιουργεί την παρεμβολή και του κεντρικού σταθμού βάσης δίνεται στην σχέση (5) και η αντίστοιχη συνάρτηση για το αντίστροφο των απωλειών ελεύθερου χώρου μεταξύ της παρεμβάλλουσας κινητής μονάδας και του δικού της σταθμού βάσης δίνεται στην σχέση (7). Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του αθροίσματος των δύο αυτών μεταβλητών ισούται με :

$$f_{Y1+Y2}(x) = \int f_{r1}(x) f_{r2}(x-y) dy \quad (14)$$

Που απλοποιείται στην τελική έκφραση :

$$f_{Y1+Y2}(x) = \left. \begin{array}{l} 0.46 * \exp((x \ln 10) / 20) \\ -\infty < x < -16.9 \\ 0.0095 * (\exp(-(x \ln 10) / 20) - \exp((x \ln 10) / 20)) \\ -16.9 < x \leq 0 \end{array} \right\} \quad (15)$$

Όπως δείχνεται στο σχήμα 4.2, d1 είναι η απόσταση μεταξύ της κινητής μονάδας που δημιουργεί την παρεμβολή και του κεντρικού σταθμού βάσης και d2 είναι η απόσταση από την ίδια κινητή μονάδα προς τον δικό της σταθμό βάσης. Είναι προφανές ότι οι δύο αυτές μεταβλητές δεν είναι ανεξάρτητες. Εάν συμβολίσουμε με d3 την απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών βάσης και με ν την γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία που ενώνει τους σταθμούς βάσης και την ευθεία που συνδέει την κινητή μονάδα με τον δικό της σταθμό βάσης, τότε ισχύει η σχέση :

$$d_{21} = d_{23} + d_{22} - 2d_2d_3 \cos \nu \quad (16)$$

Υποθέτουμε ότι η κινητή μονάδα είναι τυχαία τοποθετημένη μέσα στο κύτταρο, με μία ομοιόμορφη κατανομή πάνω στην περιοχή. Επομένως η απόσταση d2 έχει την κατανομή που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.9.3 ενώ η μεταβλητή ν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη μεταξύ των τιμών -π και π. Η θέση της κινητής μονάδας μέσα στο κύτταρο δίνεται από τις μεταβλητές δ2 και ν και η θέση αυτή είναι επαρκής για τον καθορισμό της απόστασης d1 και επομένως του αθροίσματος Y1+Y2. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του Y1+Y2 έχει προσδιορισθεί με τη βοήθεια μιας αριθμητικής ολοκλήρωσης πάνω στην περιοχή της κυψέλης. Το σχήμα 4.8 δείχνει δύο συναρτήσεις, την αναλυτική προσέγγιση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας του Y1+Y2 όπως δίνεται στην εξίσωση (15) και την αριθμητική προσέγγιση της ίδιας συνάρτησης, κατά την περίπτωση όπου δεν υποθέτουμε την ανεξαρτησία των μεταβλητών d1 και d2. Το συμπέρασμα που εξάγεται από την παρατήρηση των δύο γραφικών παραστάσεων είναι ότι μπορούμε να υποθέσουμε χωρίς μεγάλη απώλεια ακρίβειας ότι οι μεταβλητές d1 και d2 είναι ανεξάρτητες, εφόσον οι δύο καμπύλες δεν διαφέρουν σημαντικά.

4.9.7: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΓΚΑΟΥΣΙΑΝΩΝ ΤΥΧΑΙΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Το άθροισμα δύο γκαουσιανών τυχαίων μεταβλητών είναι επίσης μία γκαουσιανή μεταβλητή με μέση τιμή και διασπορά ίση με το άθροισμα των διασπορών και μέσων τιμών αντίστοιχα των δύο αρχικών μεταβλητών. Επομένως :

4.9.8: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος της παρεμβολής από έναν συνδρομητή σε ένα απομακρυσμένο κύτταρο (αγνοώντας την απόσβεση Rayleigh και υποθέτοντας ότι οι μεταβλητές Y_1 και Y_2 είναι ανεξάρτητες) είναι η συνέλιξη των συναρτήσεων που έχουν οριστεί στις εξισώσεις 15 και 17. Μία αναλυτική έκφραση για αυτήν την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται στην εξίσωση 18, όπου $-\infty < \chi < \infty$. Η γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 4.9.

4.9.9: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΘΕΩΡΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΟΡΙΟΥ

Το θεώρημα του κεντρικού ορίου αναφέρει ότι το άθροισμα N ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών ακολουθεί κατά προσέγγιση μία γκαουσιανή κατανομή. Καθώς ο αριθμός N αυξάνει αυτή η προσέγγιση βελτιώνεται. Η μέση τιμή και η διασπορά της γκαουσιανής συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας είναι αντίστοιχως το άθροισμα των μέσων τιμών και των διασπορών των N ανεξάρτητων μεταβλητών.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε τρεις ή τέσσερις ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές (θεωρώντας εάν τα μεγέθη Y_1 και Y_2 είναι ανεξάρτητα ή όχι), οι οποίες αποτελούν τους τέσσερις πρώτους όρους της εξίσωσης 2. Οι όροι αυτοί αναπαριστούν την επίδραση που έχουν στην ισχύ της παρεμβολής η ελεύθερη διάδοση, η ύπαρξη ραδιοσκιών και ο έλεγχος ισχύος. Εάν λάβουμε υπόψιν μας μόνο αυτούς τους παράγοντες, είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του θεωρήματος του κεντρικού ορίου με τα αντίστοιχα αποτελέσματα όπως εξάγονται από την συνέλιξη. Μετά το πέρας της σύγκρισης, θα γίνει η μελέτη της επίδρασης της πολυοδικής εξασθένησης.

Οι μεταβλητές G_1 και G_2 είναι δύο γκαουσιανές τυχαίες μεταβλητές με μέση τιμή 0 και διασπορά 64. Οι μέσες τιμές και οι διασπορές των τυχαίων μεταβλητών Y_1 και Y_2 υπολογίζονται ως ακολούθως :

Επομένως, σύμφωνα με το θεώρημα του του κεντρικού ορίου, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας οριζόμενη στην σχέση 18 μπορεί να προσεγγισθεί ως :

4.9.10: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ RAYLEIGH

Η επίδραση της πολυοδικής εξασθένησης από μαθηματικής απόψεως είναι απλά ένας άλλος όρος στην εξίσωση 2. Έχει βρεθεί ότι η μέση τιμή και η διασπορά του κέρδους πολυοδικής εξασθένησης (σε db) έχουν αντίστοιχα τις τιμές -2.5 και 30.9 . Αυτές οι τιμές πρέπει να προστεθούν στην μέση τιμή και στην διασπορά της πιθανοτικής κατανομής που περιγράφεται είτε στην εξίσωση (19) είτε στην (20). Με αυτόν τον τρόπο αποκτούμε μία προσέγγιση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος παρεμβολής I_{db} από έναν συνδρομητή σε ένα γειτονικό κύτταρο που χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα φορέα. Η προσέγγιση που μας δίνει το θεώρημα του κεντρικού ορίου πρέπει να είναι καλύτερη από αυτήν των εξισώσεων (19) και (20) δεδομένου ότι η εισαγωγή της κατανομής που εκφράζει την πολυοδική εξασθένηση θα αυξήσει τον αριθμό των όρων της εξίσωσης (2) και η μαθηματική ανάλυση θα ακολουθεί πιστότερα τις πραγματικές συνθήκες κάτω από τις οποίες εξελίσσεται η επικοινωνία των χρηστών.

Η προσέγγιση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος I_{db} όπως προκύπτει από την ανάλυση που έχουμε περιγράψει μέχρι τώρα δίνεται ως ακολούθως :

4.10: ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΑΠΟ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΚΥΤΤΑΡΑ

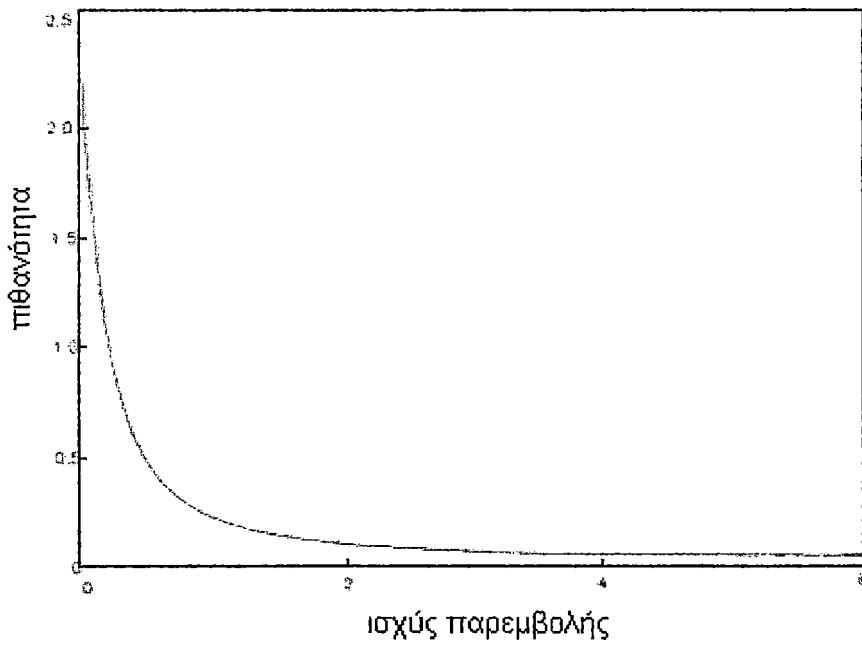
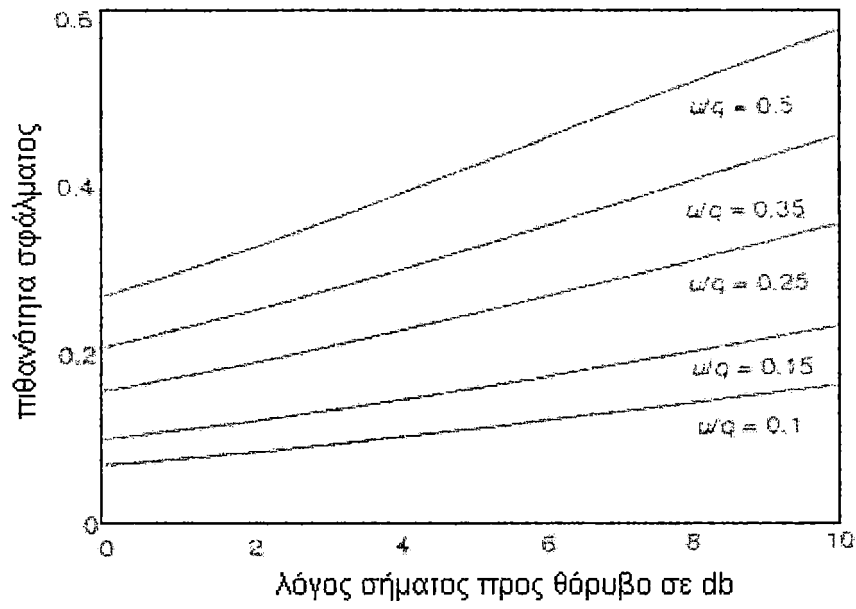
Εφόσον οι ακολουθίες μεταπήδησης συχνότητας που χρησιμοποιούνται από ένα κύτταρο είναι μεταξύ τους ορθογώνιες, θα υπάρχει κάθε χρονική στιγμή το πολύ μία κινητή μονάδα σε κάθε γειτονικό κύτταρο που θα δημιουργεί παρεμβολή. Έστω ότι κάποια στιγμή υπάρχουν χρήστες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα φορέα σε n γειτονικά κύτταρα. Εάν συμβολίσουμε με I_i την ισχύ παρεμβολής από ένα κύτταρο, τότε η συνολική ισχύ παρεμβολής ισούται με :

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του μεγέθους $10 \log I_i$ έχει προσδιορισθεί στην εξίσωση 21 και προσεγγίζει την γκαουσιανή κατανομή. Επομένως η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος I_i ακολουθεί προσεγγιστικά την λογαριθμο-κανονική κατανομή, έχοντας την μορφή :

Όπου $\chi > 0$ και μ και σ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ισχύος παρεμβολής, όπως δίνεται στην εξίσωση 20.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ισχύος παρεμβολής P_n από n κύτταρα ταυτοχρόνως είναι η συνέλιξη της συνάρτησης με τον εαυτό της n φορές. Η παρεμβολή από δύο κύτταρα καθορίζεται ως :

Στο ιδανικό κυτταρικό σύστημα που εξετάζουμε ισχύει ότι για όλες τις τιμές της μεταβλητής χ . Το παραπάνω ολοκλήρωμα έχει υπολογιστεί αριθμητικά με χρήση του πακέτου λογισμικού NAG. Το αποτέλεσμα της αριθμητικής ολοκλήρωσης δείχνει ότι η ισχύς παρεμβολής ακολουθεί κατά προσέγγιση μία λογαριθμο-κανονική παρεμβολή, γεγονός που συμφωνεί με το [8] όπου τονίζεται ότι το άθροισμα ενός μικρού αριθμού λογαριθμο-κανονικών τυχαίων μεταβλητών είναι προσεγγιστικά μία λογαριθμο-κανονική ακολουθία. Υποθέτουμε ότι η ισχύς παρεμβολής που προέρχεται από n κύτταρα ακολουθεί πάντοτε μία λογαριθμο-κανονική κατανομή όταν το n είναι μικρότερο ή ίσο με 6. Υπολογίζοντας αριθμητικά την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του P_n από τα μεγέθη P_{n-1} και $P_1 (=I_1)$ και βρίσκοντας την λογαριθμο-κανονική καμπύλη που προσεγγίζει βέλτιστα την p.d.f του P_n , προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα :



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

5.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό υλοποιούμε τον αλγόριθμο της μεταπήδησης συχνότητας με την βοήθεια του λογισμικού πακέτου MATLAB. Το κυτταρικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας που μελετάμε αποτελείται από 7 υπερκύτταρα εκ των οποίων το ένα θεωρείται ως κεντρικό και τα υπόλοιπα που δημιουργούν και το μεγαλύτερο ποσοστό παρεμβολής ονομάζονται γειτονικά. Οι συχνότητες που ανατίθενται σε κάθε υπερκύτταρο – ισαπέχουσες συχνότητες που συγκροτούν το φάσμα μετάδοσης για την άνω ζεύξη – χωρίζονται σε σταθερές και δυναμικές. Μία ή περισσότερες δυναμικές συχνότητες μπορούν να δοθούν σε ένα κύτταρο εάν το επικοινωνιακό φορτίο εντός του κυττάρου ξεπεράσει μία ορισμένη τιμή. Στην περίπτωση κατά την οποία το επικοινωνιακό φορτίο μειωθεί το κύτταρο είναι υποχρεωμένο να επιστρέψει τις συχνότητες που δανείστηκε. Σε κάθε κύτταρο ενός υπερκυττάρου αναθέτουμε τις διαθέσιμες συχνότητες (σταθερές και αν χρειαστεί δυναμικές) κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην εμφανίζεται παρεμβολή γειτονικού καναλιού καθώς και προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης 3ης τάξης του τύπου $2f_i - f_j$ εντός του κυττάρου. Κάθε συχνότητα περιλαμβάνει 8 time slot στην διάρκεια του οποίου έχει το δικαίωμα να μεταδώσει μία μόνο κινητή μονάδα μέσα στο κύτταρο. Επομένως υιοθετούμε για το σύστημα μας την τεχνική FDMA μαζί με TDMA. Τα κύτταρα έχουν εξαγωνική μορφή μοναδιαίας ακτίνας ενώ κάθε σταθμός βάσης ελέγχει την επικοινωνιακή κίνηση τριών τομειακών κυττάρων χρησιμοποιώντας κατευθυντικές κεραιές. Ο σταθμός βάσης καταχωρεί σε κάθε ενεργό συνδρομητή που πραγματοποιεί μία κλήση ένα time slot και μία από τις διαθέσιμες συχνότητες. Η επιλογή της συχνότητας γίνεται τυχαία με την βοήθεια ενός random number generator ενώ το time slot επιλέγεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα δύο χρήστες του αυτού κυττάρου να εκπέμπουν ταυτοχρόνως. Τα όρια του random number generator επιλέγονται κατάλληλα ώστε να συμπίπτουν με τις διαθέσιμες συχνότητες. Ο συνδρομητής διατηρεί το συγκεκριμένο κανάλι μέχρις ότου γίνει η επόμενη μεταπήδηση συχνότητας. Εκείνη την χρονική στιγμή επαναλαμβάνεται η προηγούμενη διαδικασία. Ο σταθμός βάσης επιλέγει τυχαία την νέα συχνότητα που θα καταχωρηθεί στον συνδρομητή χωρίς όμως να αλλάζει το timeslot στο οποίο μεταδίδει η κινητή μονάδα. Με άλλα λόγια, η μεταπήδηση της συχνότητας πραγματοποιείται σε σταθερά χρονικά διαστήματα για όλους τους συνδρομητές. Ο αριθμός των ενεργών συνδρομητών ωστόσο δεν παραμένει σταθερός αλλά μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της εξομοίωσης. Ο ρυθμός άφιξης των νέων κλήσεων ακολουθεί την κατανομή Poisson ενώ η μέση διάρκεια της κάθε κλήσης ακολουθεί την αρνητική εκθετική κατανομή. Όταν το επικοινωνιακό φορτίο ξεπεράσει μία συγκεκριμένη τιμή σε ένα κύτταρο τότε μία ή περισσότερες από τις δυναμικές συχνότητες του υπερκυττάρου ανατίθενται στο συγκεκριμένο κύτταρο. Εάν μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος το επικοινωνιακό φορτίο ελαττωθεί τότε οι συχνότητες που δανείστηκε το κύτταρο επιστρέφουν στο υπερκύτταρο ως δυναμικές. Σε κάθε time unit υπολογίζεται η τιμή του λόγου C/I με βάση τις πιθανοτικές κατανομές που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4. Η τιμή αυτή υπολογίζεται για όλους τους συνδρομητές και ελέγχεται εάν είναι μεγαλύτερη ή ίση από το προκαθορισμένο κατώφλι. Στην περίπτωση που είναι μικρότερη από την τιμή κατωφλίου τότε ένας μετρητής αυξάνει κατά ένα χωρίς όμως το σύστημα να βγάζει την κινητή μονάδα εκτός δικτύου. Εάν ο μετρητής ξεπεράσει μία συγκεκριμένη τιμή στην διάρκεια ενός πλαισίου τότε θεωρούμε ότι το πλαίσιο έχει ληφθεί λανθασμένο δεδομένου ότι δεν είναι δυνατή περαιτέρω διόρθωση των σφαλμάτων και

απορρίπτεται. Μία κλήση τίθεται στις υποψήφιες για μεταγωγή όταν και μόνο όταν ο ρυθμός απόρριψης πλαισίων (FER) κατά την διάρκεια μιας δοκιμαστικής περιόδου θεωρηθεί ως μη αποδεκτός. Στο τέλος της εξομοίωσης παίρνουμε τις γραφικές παραστάσεις της μεταβολής του λόγου C/I και του ρυθμού απόρριψης πλαισίων (FER) συναρτήσει του χρόνου και του αριθμού των συνδρομητών αντίστοιχα.

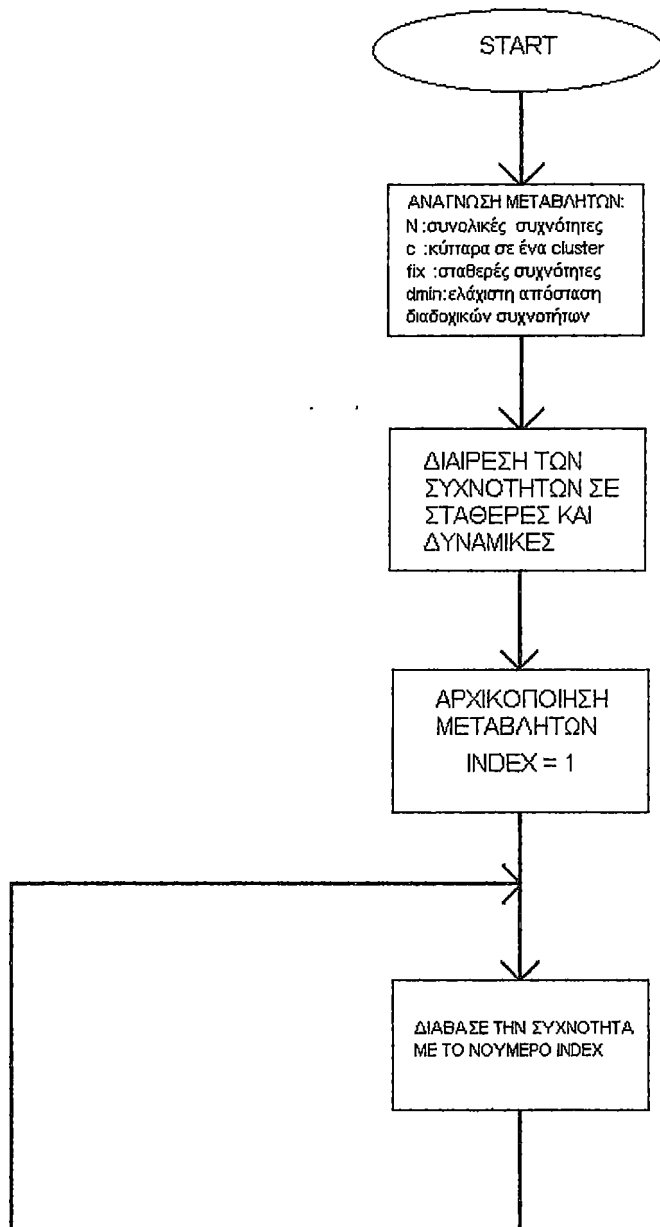
5.2: ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

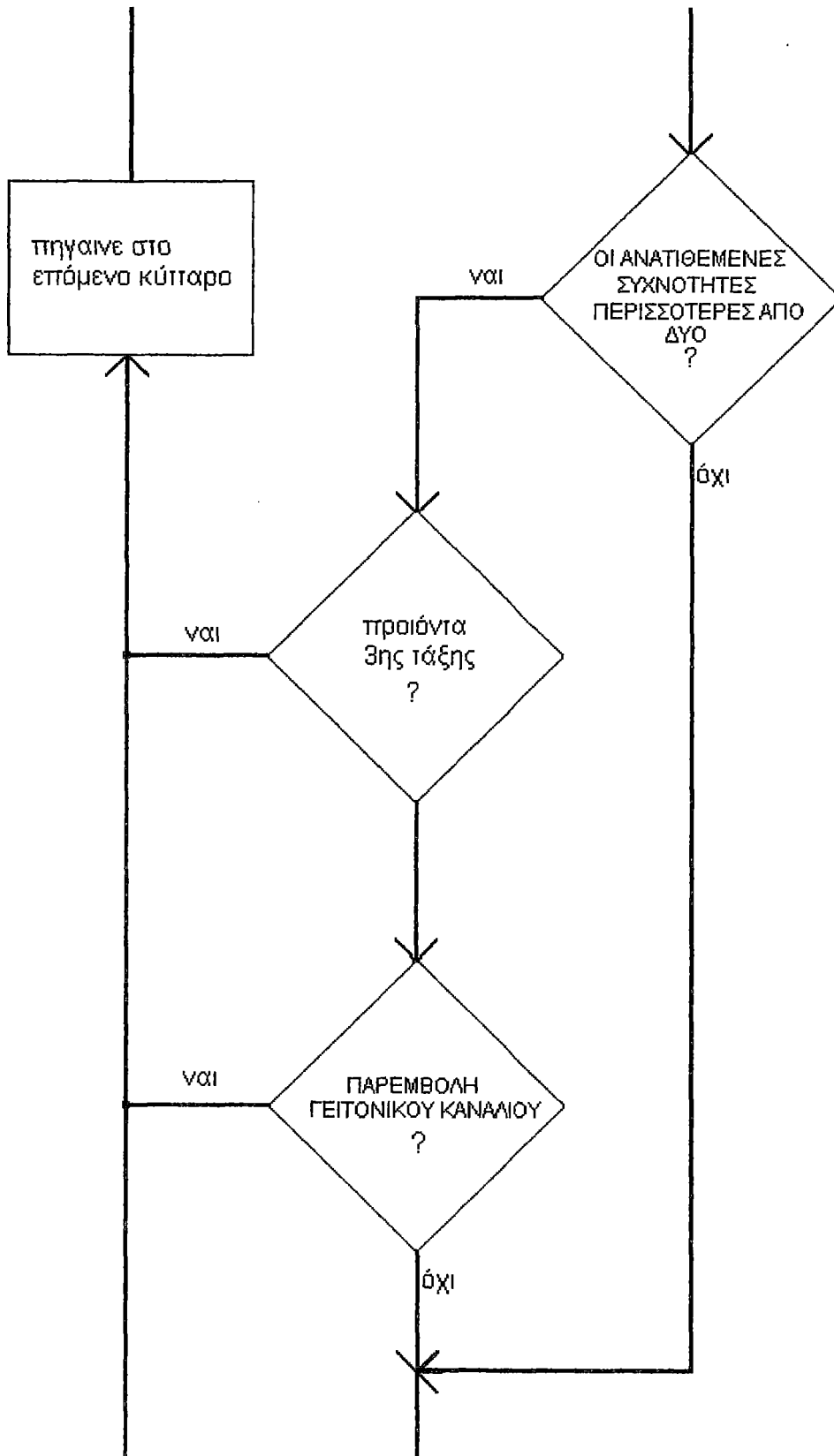
Στα πλαίσια της υλοποίησης του αλγορίθμου της μεταπήδησης συχνότητας χρησιμοποιούμε ορισμένες μεταβλητές εισόδου :

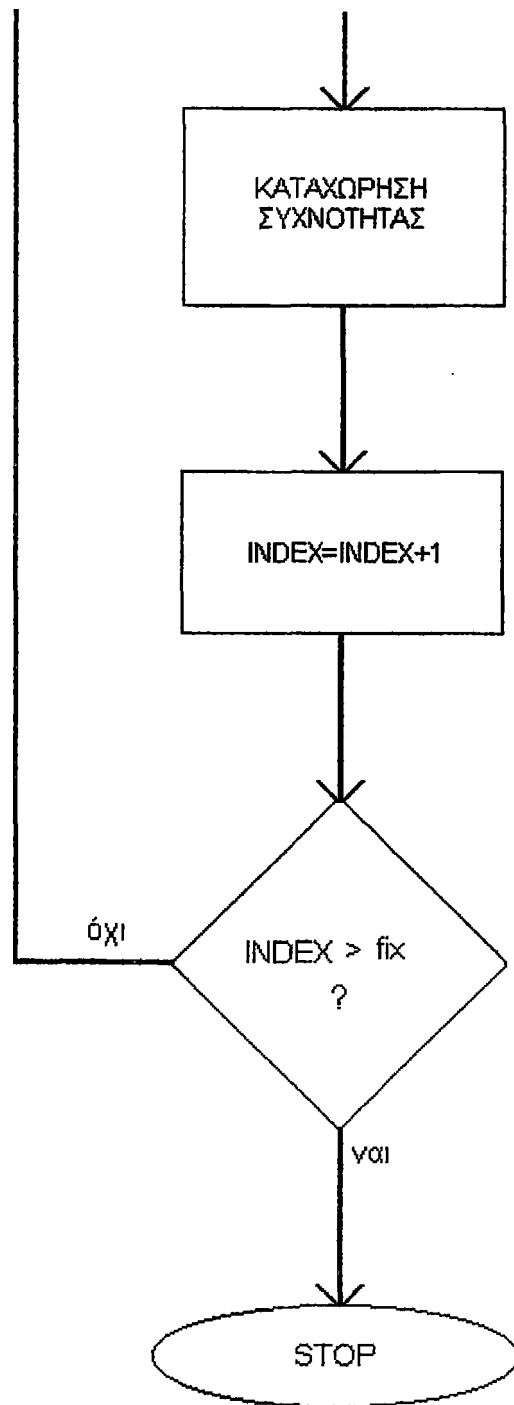
- **N** : Ο συνολικός αριθμός των συχνοτήτων για κάθε υπερκύτταρο.
- **c** : Ο αριθμός των κυττάρων που σχηματίζουν ένα υπερκύτταρο.
- **R** : Η μέγιστη ακτίνα ενός κυττάρου.
- **λ** : Ο ρυθμός άφιξης των κλήσεων.
- **μ** : Η μέση διάρκεια της κάθε κλήσης.
- **fix** : Ο αριθμός των σταθερών συχνοτήτων που ανατίθενται σε κάθε κύτταρο.
- **initialusers** : Ο αρχικός αριθμός των ενεργών χρηστών σε κάθε κύτταρο κατά την έναρξη της εξομοίωσης.
- **time** : Η συνολική διάρκεια της εξομοίωσης σε μονάδες χρόνου (time units).
- **hopping** : Η περίοδος της μεταπήδησης συχνότητας σε μονάδες χρόνου.
- **dmin** : Η ελάχιστη απόσταση δύο διαδοχικών συχνοτήτων που είναι διαθέσιμες σε ένα κύτταρο.
- **threshold** : Η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή για τον λόγο C/I.

5.3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Ο αλγόριθμος που περιγράφουμε αποτελείται από 4 βασικά τμήματα. Στο πρώτο τμήμα πραγματοποιούμε την καταχώρηση των συχνοτήτων στα κύτταρα του συστήματος. Οι συνολικές διαθέσιμες συχνότητες του υπερκύτταρου χωρίζονται σε σταθερές και δυναμικές. Οι σταθερές συχνότητες καταχωρούνται σε κάθε κύτταρο με κριτήριο την αποφυγή παρεμβολής γειτονικού καναλιού και παρεμβολής ενδοδιαμόρφωσης 3ης τάξης. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη συχνότητα καταχωρείται στο πρώτο κύτταρο, η δεύτερη συχνότητα στο δεύτερο κύτταρο κ.ο.κ. Εάν μία συχνότητα δεν πληροί ένα από τα παραπάνω κριτήρια τότε οι έλεγχοι για την συχνότητα αυτή επαναλαμβάνονται στο επόμενο κύτταρο. Στην περίπτωση όπου μία συχνότητα δεν μπορεί να γίνει δεκτή σε κανένα κύτταρο, αναγκαζόμαστε να την θέσουμε εκτός λειτουργίας. Είναι προφανές ότι η υιοθέτηση αυστηρών απαιτήσεων στο θέμα της παρεμβολής γειτονικού καναλιού καθώς και των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης αποφέρει μειωμένη απόδοση του ραδιο-φάσματος. Ακολουθεί το διάγραμμα ροής για το πρώτο τμήμα του αλγορίθμου:

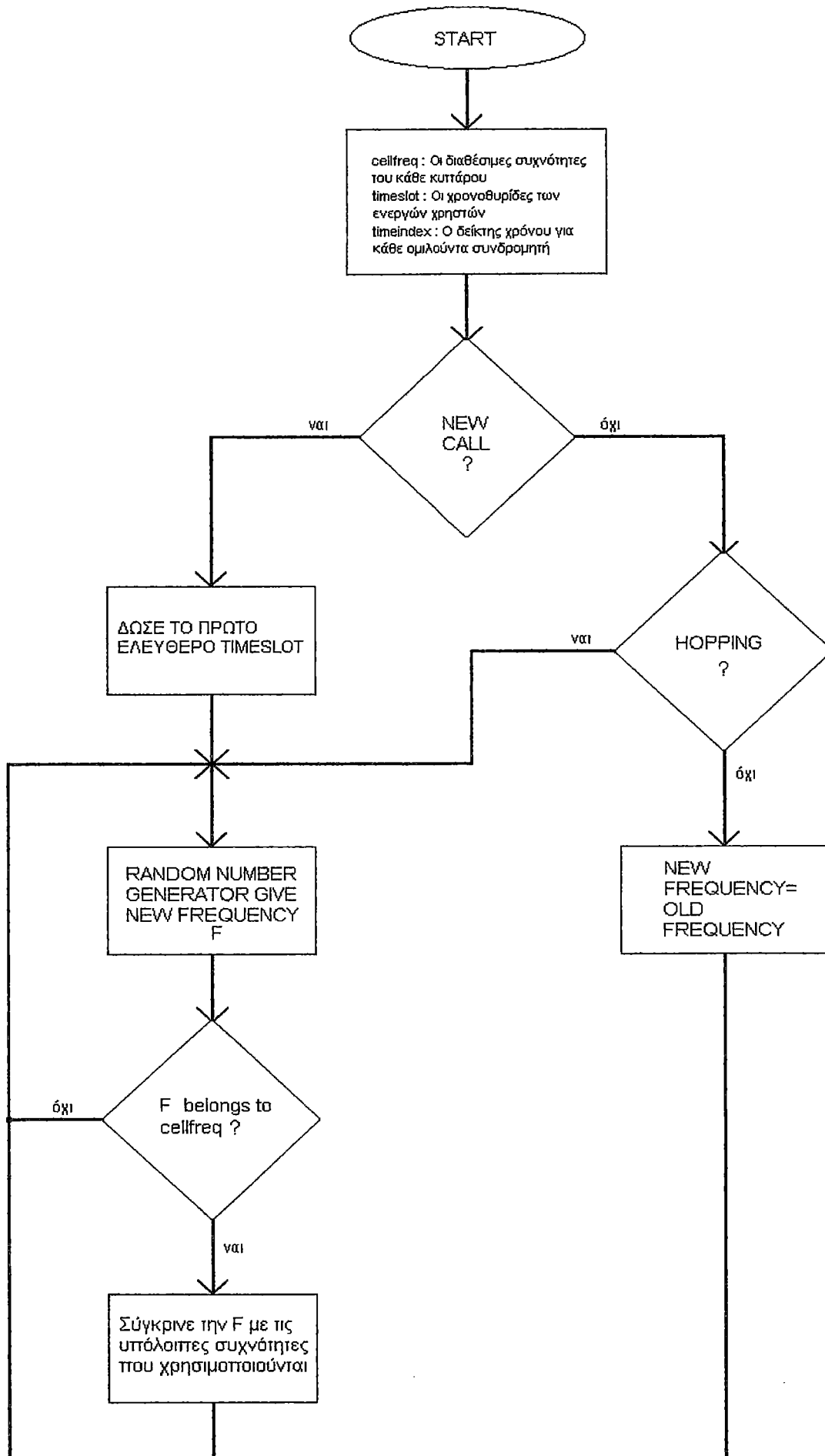


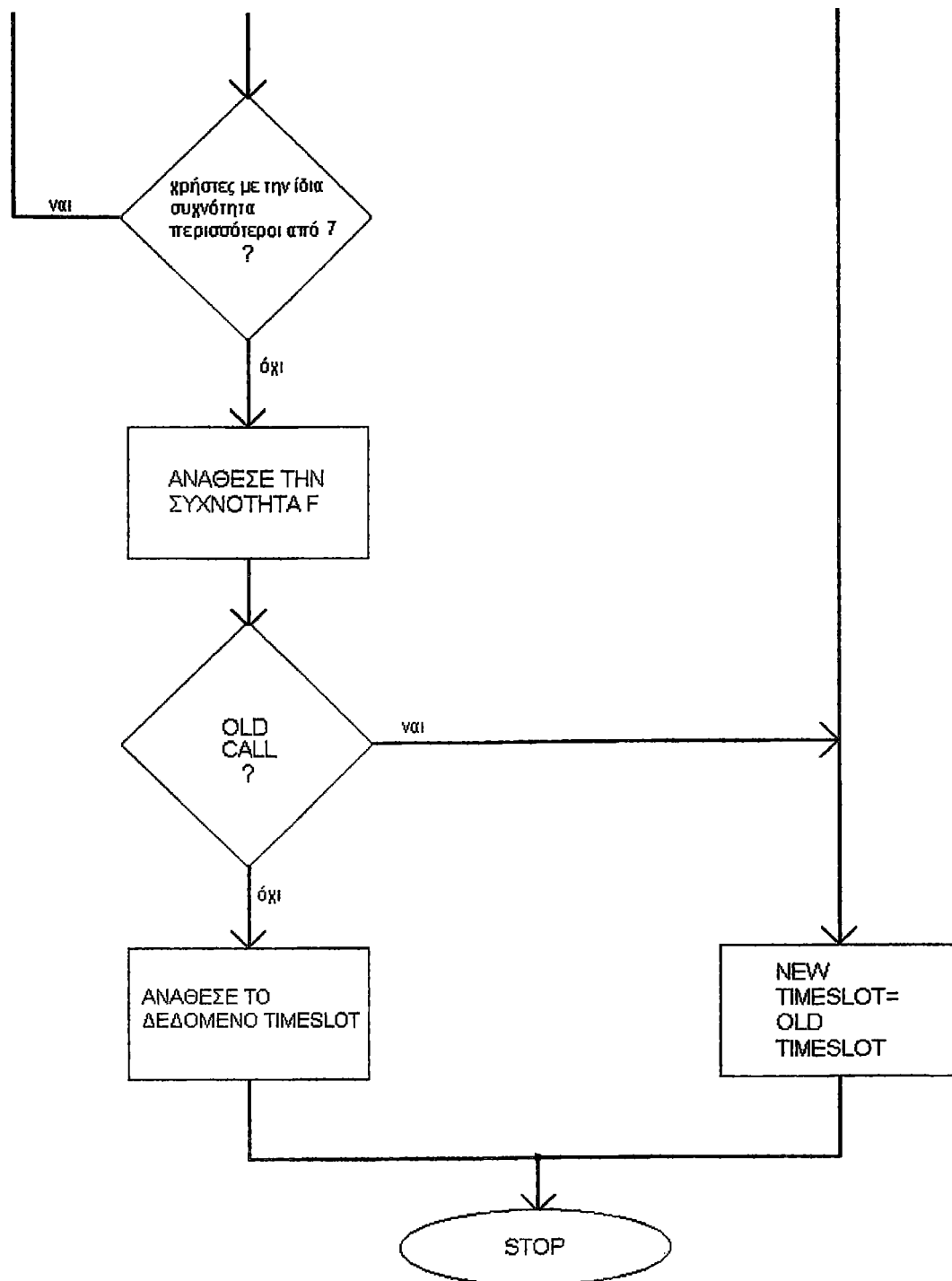




Δεδομένου ότι οι συχνότητες που ανατίθενται αρχικά σε κάθε υπερκύτταρο είναι ισαπέχουσες, μπορούν να αντικατασταθούν από ακραίους αριθμούς. Επομένως μία οποιαδήποτε πράξη μεταξύ συχνοτήτων ανάγεται στην αντίστοιχη πράξη μεταξύ ακραίων αριθμών. Υπό το πρίσμα αυτό, χρησιμοποιούμε την ακέραιη μεταβλητή INDEX για να δηλώσουμε σε ποια συχνότητα αναφερόμαστε. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα ροής, ο πίνακας freq έχει ως στοιχεία (i,j) τον αριθμό των συχνοτήτων που έχουν καταχωρηθεί στο j-στο κύτταρο που ανήκει στο i-στο υπερκύτταρο.

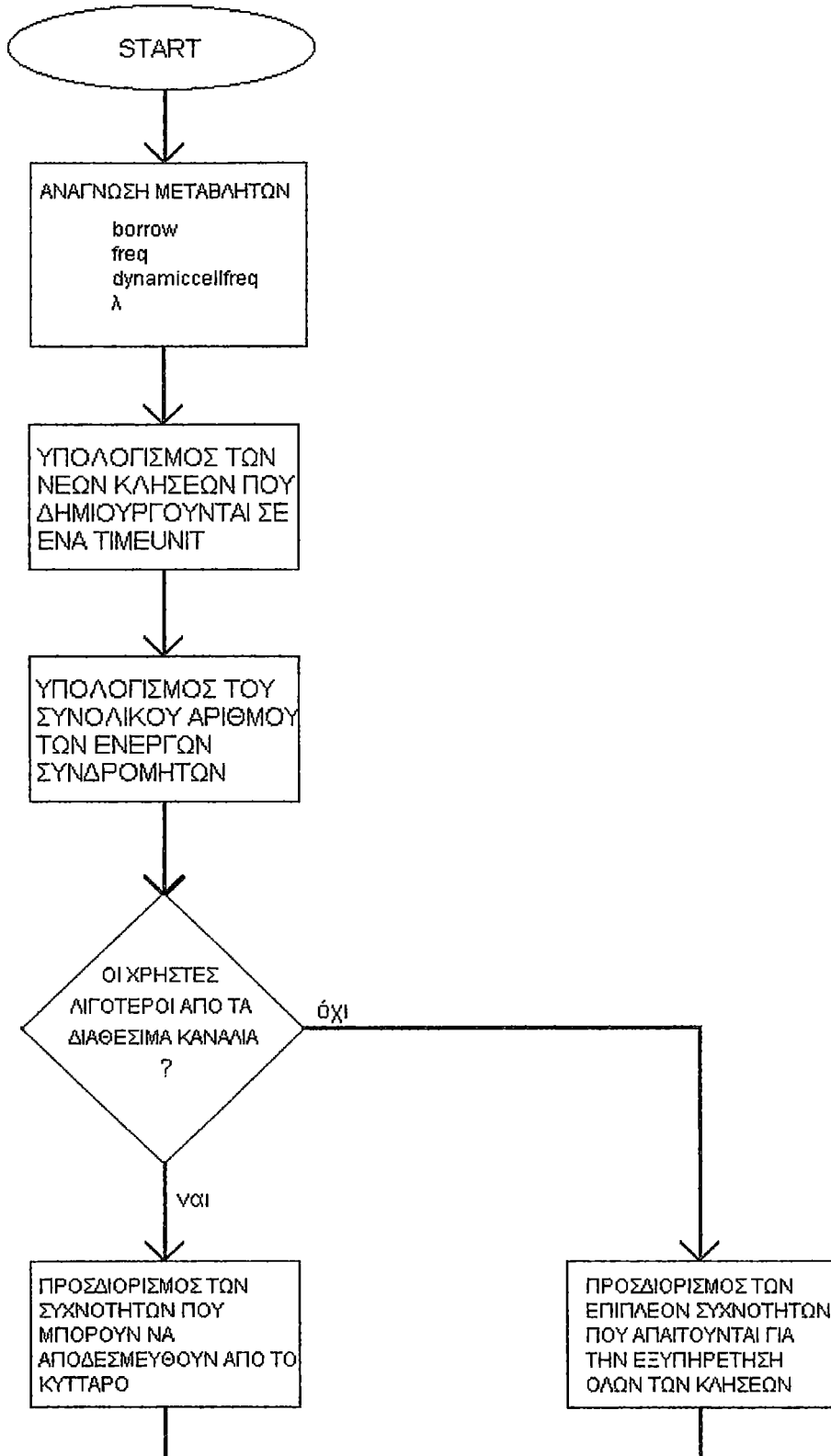
Στο δεύτερο τμήμα του αλγορίθμου καταχωρούνται οι συχνότητες και τα timeslot στους συνδρομητές εκείνους των οποίων η αίτηση για πραγματοποίηση κλήσης έχει γίνει αποδεκτή από το σύστημα της κινητής τηλεφωνίας. Στο σημείο αυτό γίνεται μία διάκριση ανάμεσα στις καινούριες και τις εν εξελίξει κλήσεις. Για τις καινούριες κλήσεις, το σύστημα θα πρέπει να εξετάσει την κατάσταση όλων των timeslot και να αναθέσει στον νέο χρήστη το πρώτο ελεύθερο timeslot. Πιο συγκεκριμένα, αν εξυπηρετούνται 8 συνδρομητές από την χρονοθυρίδα 1 ενώ όλες οι άλλες είναι ελεύθερες, στην νέα κλήση που θα έρθει θα πρέπει να δοθεί το timeslot με τον αριθμό 2. Αντιθέτως, στις παλιές κλήσεις η διαδικασία αυτή παραλείπεται δεδομένου ότι κάθε συνδρομητής διατηρεί το timeslot που χρησιμοποιούσε και στις προηγούμενες εκπομπές ή λήψεις. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν στο επόμενο timeunit πρέπει να καταχωρηθεί μία νέα συχνότητα στον συνδρομητή – για την περίπτωση όπου έχουμε μία νέα κλήση ή έχει λήξει η περίοδος της μεταπήδησης για μία εν εξελίξει κλήση - ή αν θα χρησιμοποιηθεί η ίδια συχνότητα. Η καταχώρηση (assignment) μίας νέας συχνότητας σε έναν χρήστη γίνεται με βάση τον random number generator. Η έξοδος του random number generator αντιστοιχίζεται σε μία συχνότητα. Η συχνότητα αυτή περνάει από δύο στάδια ελέγχου. Στο πρώτο στάδιο ελέγχεται αν η συχνότητα αυτή ανήκει στον κατάλογο των διαθέσιμων συχνοτήτων για το συγκεκριμένο κύτταρο. Σε διαφορετική περίπτωση δίνεται εντολή στον random number generator να δώσει μία νέα τιμή. Στο δεύτερο στάδιο ελέγχου εξετάζεται αν υπάρχει κάποιος άλλος συνδρομητής του κυττάρου που εκπέμπει ταυτοχρόνως, δηλαδή έχει την ίδια χρονοθυρίδα, και χρησιμοποιεί την συχνότητα αυτή. Εάν ναι, τότε δίνεται εντολή στον random number generator να δώσει μία νέα τιμή και επαναλαμβάνονται τα δύο στάδια ελέγχου που περιγράψαμε προηγουμένως. Στα πλαίσια της εξομοίωσης, θεωρούμε ότι ο random number generator ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα $[a, \beta]$ όπου a, β είναι η πρώτη και η τελευταία συχνότητα αντίστοιχα στον κατάλογο των διαθέσιμων συχνοτήτων του κυττάρου. Ακολουθεί το διάγραμμα ροής για το δεύτερο τμήμα του αλγορίθμου :

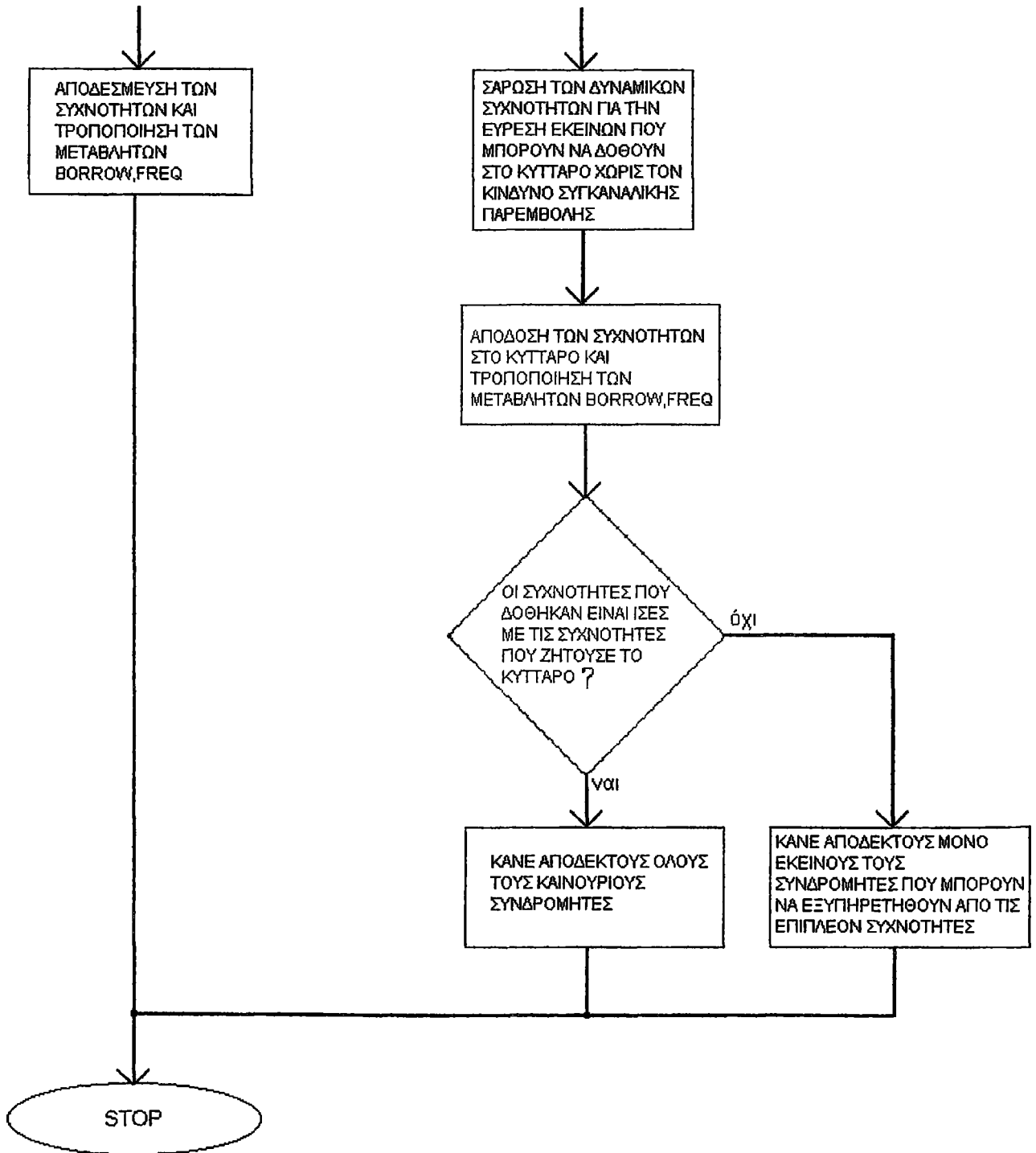




Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία καταχώρησης συχνοτήτων και χρονοθυρίδων εξομοιώνεται για όλους τους ενεργούς συνδρομητές των επτά υπερκυττάρων και επαναλαμβάνεται σε κάθε timeunit, κάθε φορά δηλαδή που μία κινητή μονάδα μεταδίδει ή λαμβάνει δεδομένα. Εμείς επικεντρώνουμε την προσοχή μας μόνο στην άνω ζεύξη όπου η κινητή μονάδα λειτουργεί ως πομπός και ο σταθμός βάσης ως δέκτης, χωρίς αυτό να επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

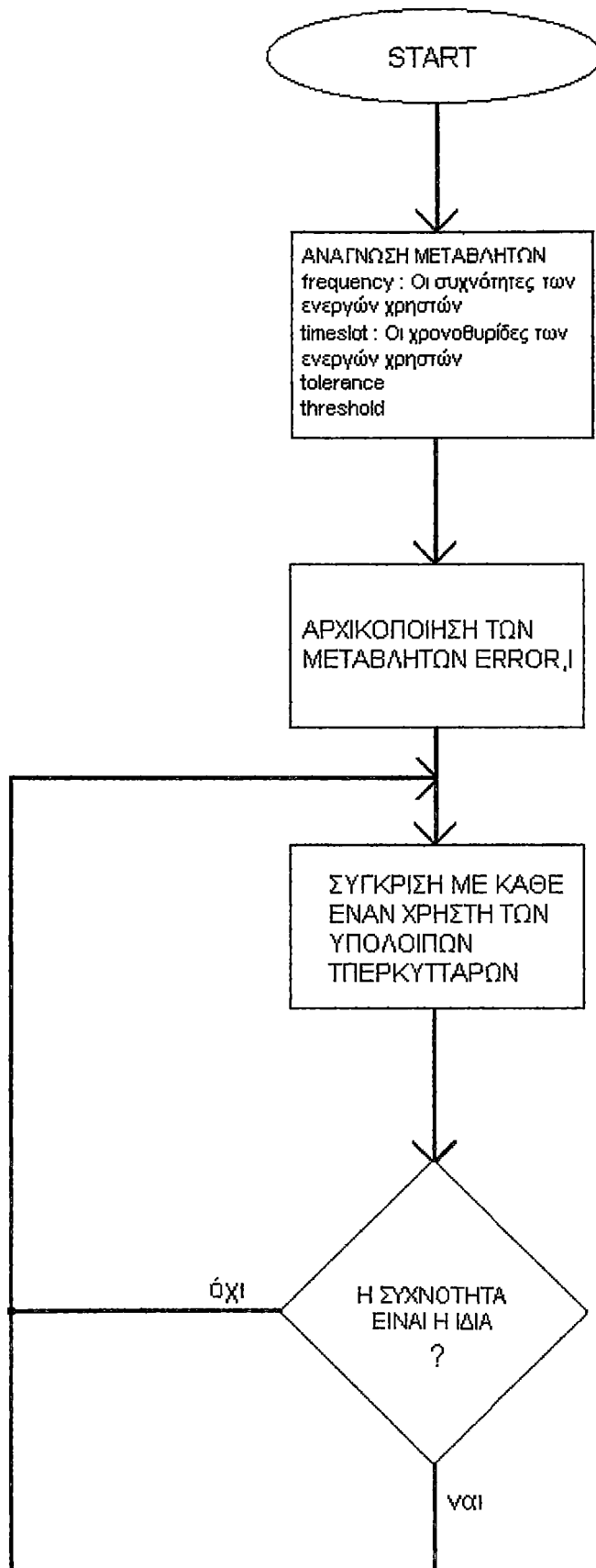
Στο τρίτο μέρος του αλγορίθμου έχουμε την δυναμική ανάθεση των συχνοτήτων. Πριν από την καταχώρηση των καναλιών ομιλίας TCH προσδιορίζεται ο συνολικός αριθμός των συνδρομητών που πρέπει να εξυπηρετηθούν από το σύστημα. Ο αριθμός αυτός μεταβάλλεται δυναμικά δεδομένου ότι δημιουργούνται συνεχώς νέες κλήσεις, έρχονται κλήσεις από μεταγωγή ενώ τερματίζουν κλήσεις που βρισκόταν σε εξέλιξη. Για να μπορέσουμε να μοντελοποιήσουμε το φαινόμενο άφιξης και τερματισμού κλήσεων θεωρούμε ότι ο ρυθμός άφιξης των κλήσεων ακολουθεί την κατανομή Poisson ενώ οι κλήσεις τερματίζουν με βάση την αρνητική εκθετική κατανομή. Ειδικά, όταν ξεκινάει η προσομοίωση ο αριθμός των συνδρομητών παρέχεται από την μεταβλητή εισόδου *initialusers*. Στη συνέχεια εξετάζεται εάν ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος από τον συνολικό αριθμό των διαθέσιμων καναλιών. Στην περίπτωση όπου τα διαθέσιμα κανάλια του κύτταρου αδυνατούν να εξυπηρετήσουν όλους τους χρήστες το κύτταρο ζητάει να του καταχωρηθούν μία ή και περισσότερες δυναμικές συχνότητες ανάλογα με το μέγεθος του επικοινωνιακού φορτίου. Η μονάδα ελέγχου του σταθμού βάσης ορίζει ποιες δυναμικές συχνότητες θα χρησιμοποιηθούν ως σταθερές από το συγκεκριμένο κύτταρο με κριτήριο πάντα την αποφυγή της παρεμβολής γειτονικού καναλιού και των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης. Προφανώς οι συχνότητες αυτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα υπόλοιπα κύτταρα του υπερκύτταρου. Εάν οι συχνότητες που δοθούν στο κύτταρο είναι ίσες σε αριθμό με αυτές που ζητήθηκαν τότε όλες οι νέες κλήσεις γίνονται αποδεκτές. Σε διαφορετική περίπτωση ένα μέρος των υπολοίπων κλήσεων απορρίπτεται (*blocking*). Υποθέτουμε τώρα ότι το επικοινωνιακό φορτίο μειωθεί. Ανάλογα με την μείωση αυτή το κύτταρο επιστρέφει ορισμένες από τις συχνότητες που έχει δανειστεί. Ακολουθεί το διάγραμμα ροής για το τρίτο μέρος του αλγορίθμου :

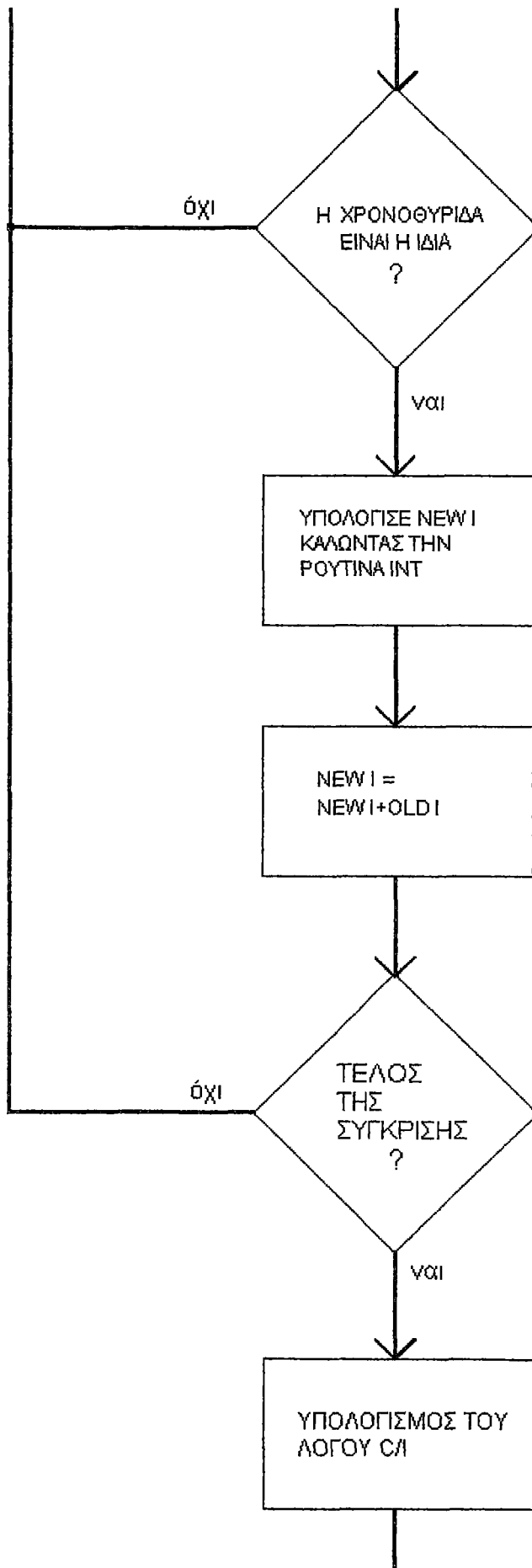


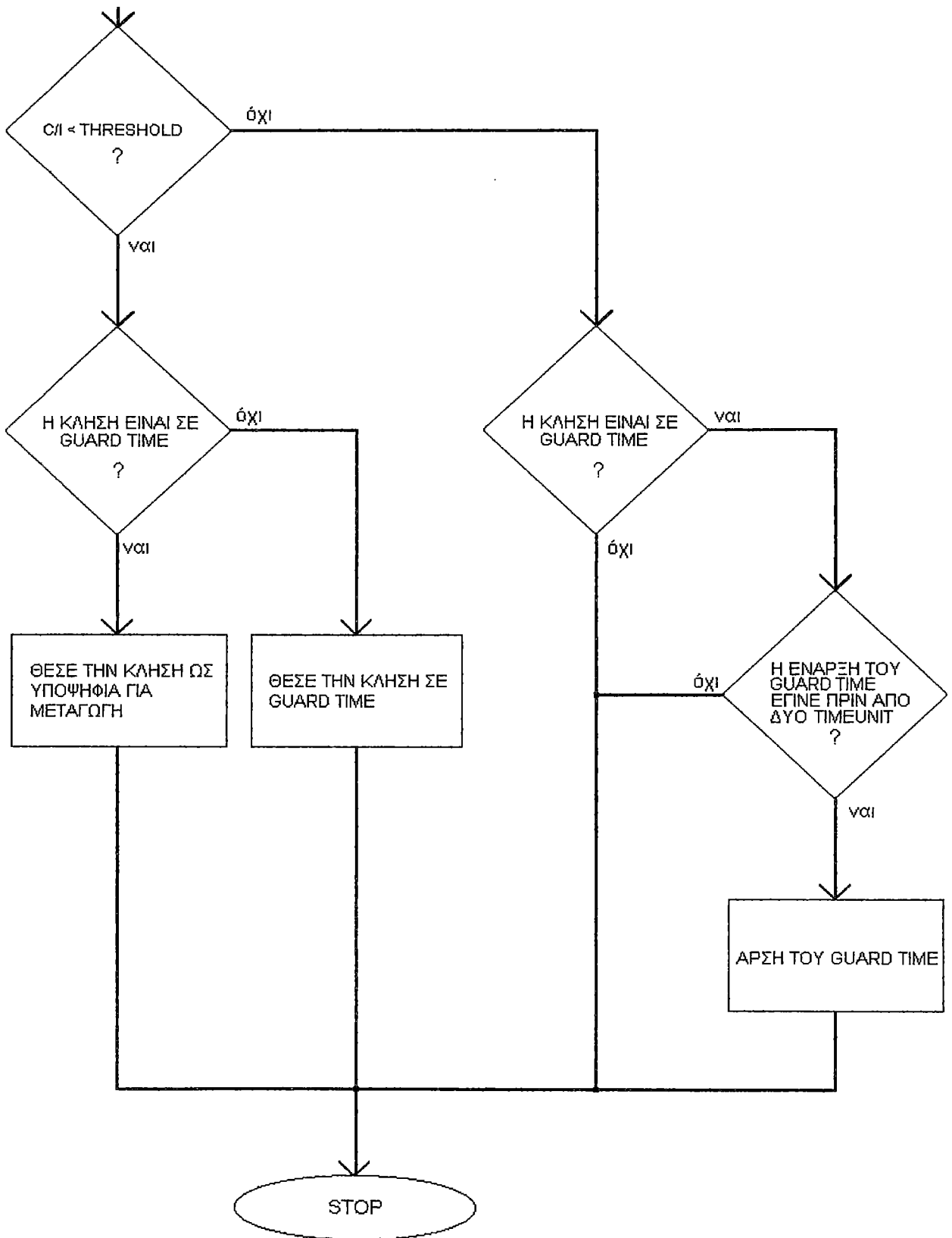


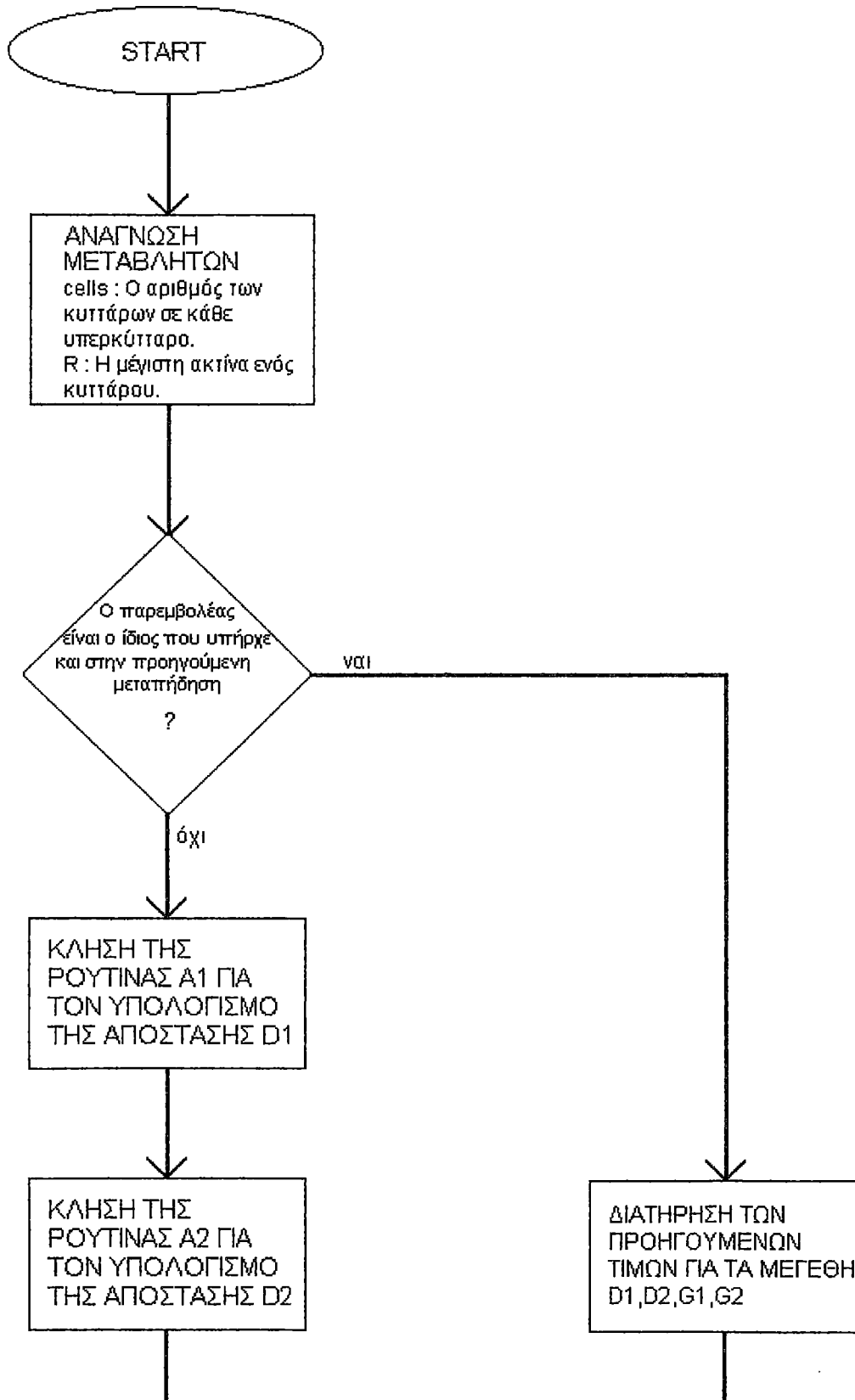
Στο τέταρτο μέρος του αλγορίθμου έχουμε τον υπολογισμό του λόγου C/I στην άνω ζεύξη για κάθε έναν ομιλούντα συνδρομητή. Αφού έχει γίνει η ανάθεση των καναλιών ομιλίας, προσδιορίζεται ο αριθμός των χρηστών που βρίσκονται στα γειτονικά υπερκύτταρα και που είναι υπεύθυνοι για την συγκαταλιική παρεμβολή. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι σε κάθε κύτταρο μόνο ένας συνδρομητής μπορεί να χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο κανάλι επικοινωνίας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι σε κάθε timeunit ο αριθμός των παρεμβολέων χρηστών δεν ξεπερνά τους έξι. Κάθε φορά που εντοπίζεται ένας παρεμβολέας καλείται η υπορουτίνα INT για τον

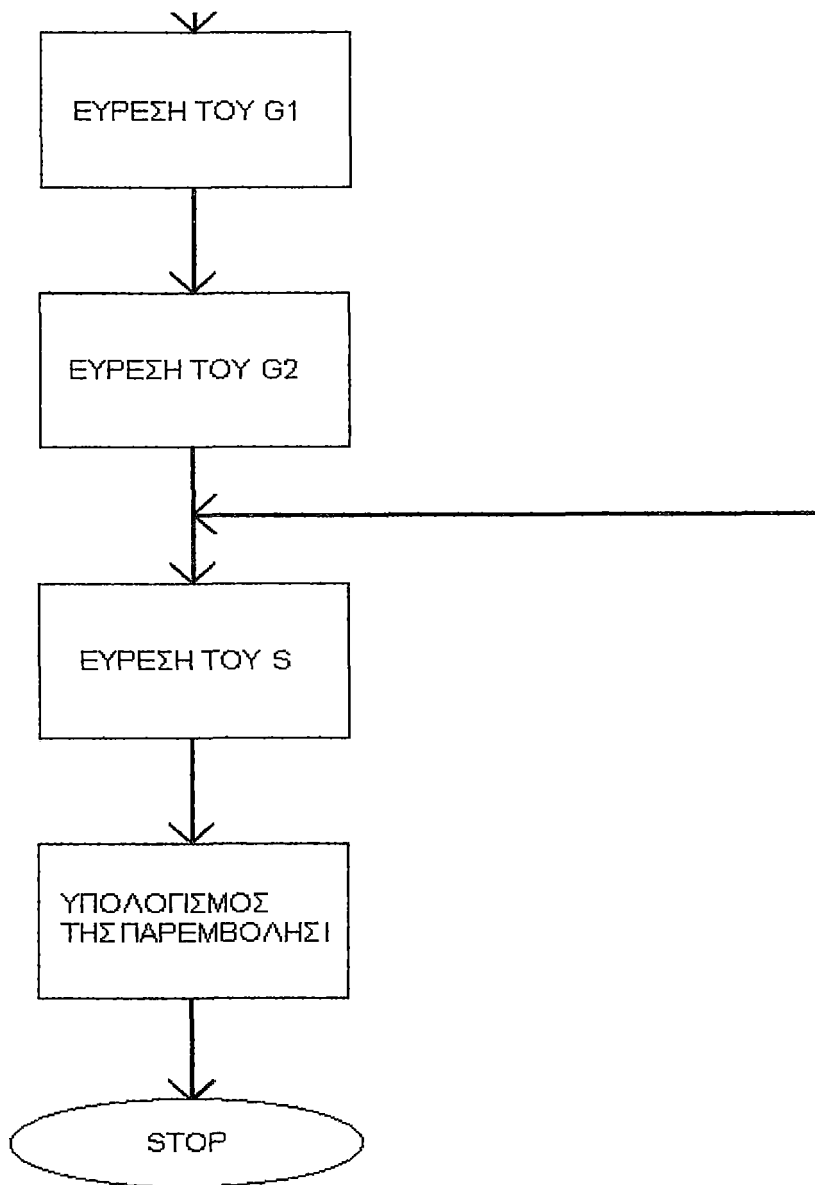
υπολογισμό της παρεμβολής l_i που προέρχεται από το i υπερκύτταρο. Ο υπολογισμός του επιπέδου ισχύος της παρεμβολής γίνεται με βάση τις σχέσεις που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4. Παρατηρώντας το διάγραμμα ροής της υποροουτίνας INT διαπιστώνουμε ότι γίνεται έλεγχος εάν ο χρήστης που δημιουργεί την παρεμβολή είναι ο ίδιος που παρεμβαλλόταν και στο προηγούμενο timeunit. Εάν ναι, τότε αυτό σημαίνει ότι το κανάλι μετάδοσης παραμένει το ίδιο και συνεπώς τα μεγέθη $G1, G2, D1$ που είναι συνυφασμένα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού μετάδοσης παραμένουν σταθερά. Σε διαφορετική περίπτωση πρέπει να αποδοθούν στις παραμέτρους αυτές νέες τιμές. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι μεταβολές Rayleigh πραγματοποιούνται με ταχύ ρυθμό κρίνεται σκόπιμο η μεταβλητή S να αλλάζει συνεχώς τιμές χωρίς να εξετάζουμε εάν το κανάλι μετάδοσης αλλάζει ή όχι. Στη συνέχεια αθροίζονται όλοι οι παράγοντες l_i για να υπολογισθεί η συνολική παρεμβολή l . Εάν το σύστημά υιοθετεί τον έλεγχο ισχύος τότε ο λόγος σήματος προς παρεμβολή δίνεται ως $1/l$, διαφορετικά ως C/l . Ο υπολογισθείς λόγος σήματος προς παρεμβολή συγκρίνεται κατόπιν με το κατώφλι threshold. Στην περίπτωση που έχουμε $C/l < \text{threshold}$ θεωρούμε ότι το πακέτο δεδομένων που έχει μεταδοθεί στον σταθμό βάσης από την κινητή μονάδα κατά την διάρκεια του συγκεκριμένου timeslot είναι λανθασμένο. Με άλλα λόγια, η παρεμβολή είναι τόσο ισχυρή που είναι αδύνατη η διόρθωση όλων των σφαλμάτων ανεξαρτήτως του είδους της κωδικοποίησης που χρησιμοποιούμε. Κάθε φορά που ένα πακέτο έρχεται λανθασμένο η κλήση μπαίνει σε έναν κατάλογο κλήσεων που πιθανώς είναι υποψήφιος για μεταγωγή. Στο σημείο αυτό θέτουμε σε εφαρμογή μία δοκιμαστική περίοδο, την οποία αποκαλούμε guard time. Η διάρκεια της περιόδου αυτής επιλέγεται να είναι ίση με 2 timeunits. Εάν κατά την guard time διαπιστωθεί πάλι ότι ο λόγος C/l για ένα πακέτο είναι μικρότερος από το κατώφλι τότε η κλήση τίθεται οριστικά στις υποψήφιες κλήσεις για μεταγωγή και ξεκινούν οι διαδικασίες που περιγράφηκαν λεπτομερώς στο κεφάλαιο 2. Εάν ο λόγος C/l ξεπεράσει και στις δύο μετρήσεις το όριο threshold τότε τερματίζεται η περίοδος guard time και η κλήση βγαίνει από τον κατάλογο των κλήσεων που πιθανώς να τεθούν σε μεταγωγή. Ακολουθεί το διάγραμμα ροής για το τέταρτο μέρος του αλγορίθμου :

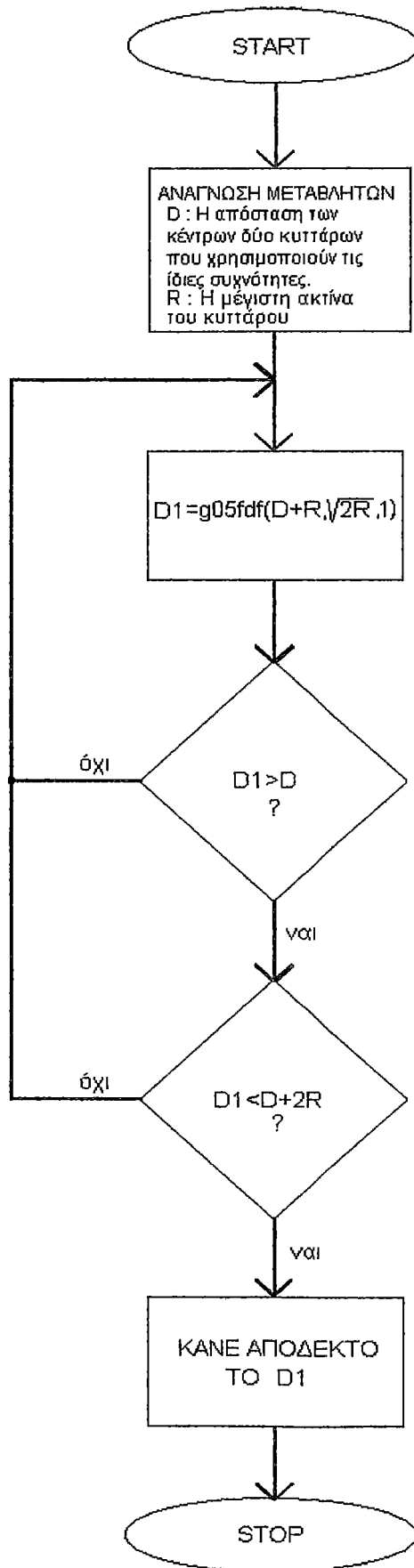


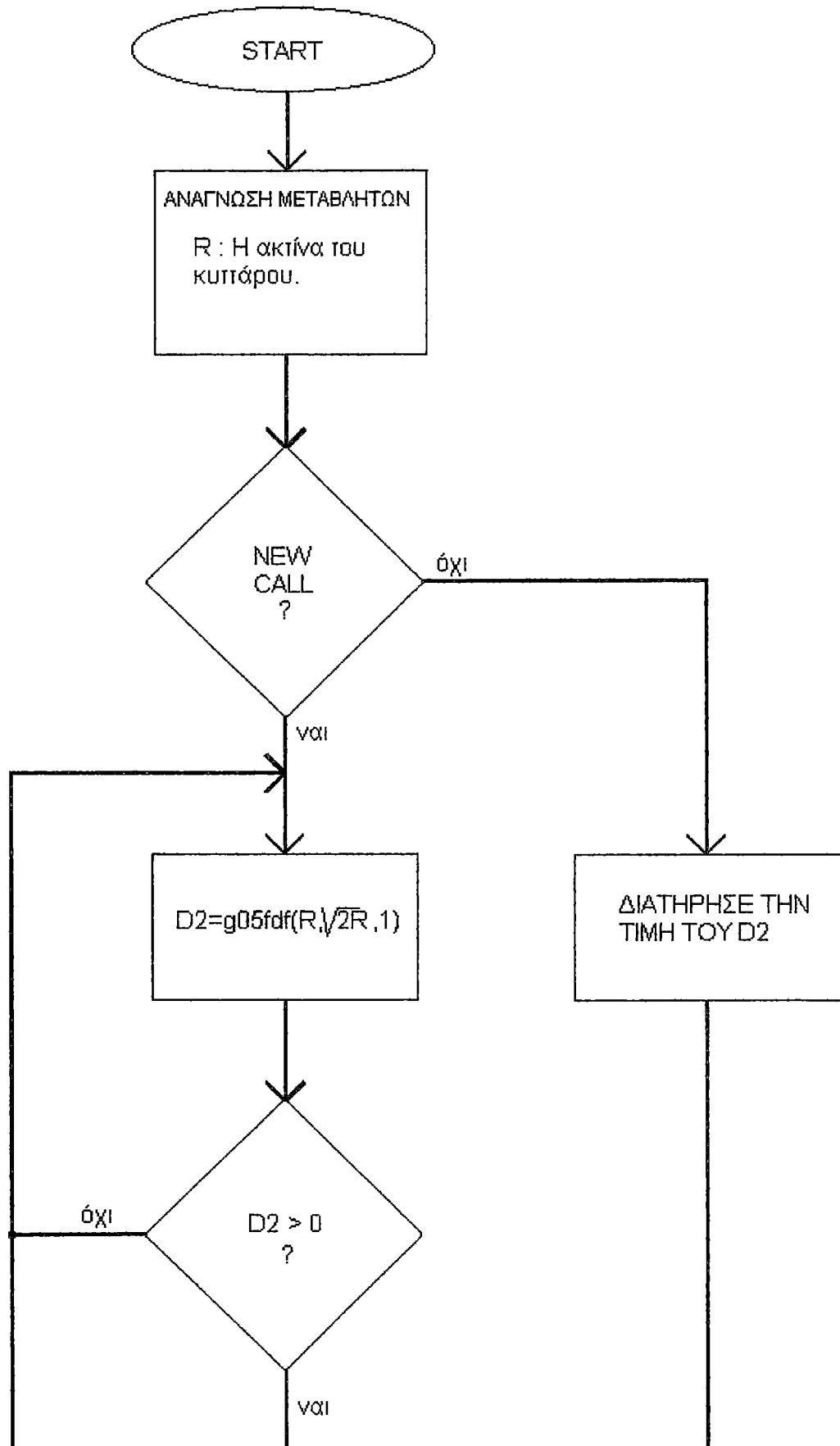












ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

3G Third Generation Τρίτης Γενιάς

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line Ασύμμετρη Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή

AL Access Line Γραμμή Πρόσβασης

AMPS Advanced Mobile Phone Service Προηγμένη Υπηρεσία Κινητής Τηλεφωνίας

ANI Automatic Number Identification Αυτόματη Αναγνώριση Αριθμού

AS Analog Signal Αναλογικό Σήμα

ATM Asynchronous Transfer Mode Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς

B-ISDN Broadband ISDN Ευρυζωνικό ISDN

BEX Broadband Exchange Ευρυζωνικό Κέντρο

Bps Bits per Second Ψηφία ανά δευτερόλεπτο

BTS Base Transceiver Station (See Base Station) Σταθμών Πομποδεκτών Βάσης

Business TV Επιχειρηματική Τηλεόραση

CATV Cable Television Καλωδιακή Τηλεόραση

CATV Community Antenna Television Τηλεόραση Συλλογικής Κεραίας

CDMA Code Division Multiple Access Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα

CLI Caller Line Identification Αναγνώριση Αριθμού Καλούντος

Coverage Κάλυψη δικτύου

CO Central Office Κεντρικό Γραφείο

CTM Cordless Telephone Mobility Κινητότητα ακόρδονου τηλεφώνου

CT2(standards) Cordless Telephony Standards Πρότυπα ακόρδονης τηλεφωνίας 2ης γενιάς

CUG Closed User Group Κλειστή ομάδα χρηστών

DCS 1800/1900 Digital >Cellular System at 1800/1900 Ψηφιακό Κυψελοειδές Σύστημα στα 1800/1900Mhz

DDS

Digital Data System

Ψηφιακή υπηρεσία δεδομένων

DEA Digital Exchange Access Πρόσβαση ψηφιακού κέντρου

DECT Digital European Cordless Telecoms Ευρωπαϊκές ψηφιακές ακόρδονες τηλεπικοινωνίες

DSN

Digital Switched Network

Ψηφιακό δίκτυο 2αγωγής

DON Digital Overlay Network Ψηφιακό Υπερκείμενο Δίκτυο

DSL

Distributed Service Logic

Λογική Κατανεμημένης Υπηρεσίας

DSP

Digital Signal Processor

Επεξεργαστής Ψηφιακών Σημάτων

DTMF Dual Tone Multi Frequency Πολυσυχνότητα Διπλού Τόνου
Dual Band Κάλυψη των δύο συχνοτήτων GSM 900 MHz και 1800 MHz
EFR Enhance Full Rate Βελτιωμένος Πλήρης Ρυθμός
ETACS Extended Total Access Communication Εκτεταμένο Επικοινωνιακό Σύστημα Ολικής Πρόσβασης
FCC Federal Communication Commission Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών
FDDI Fibre Distributed Data Interface Διεπαφή Δεδομένων Διανεμόμενα μέσω Οπτικών Ινών
FDM Frequency Division Multiplexing Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης συχνότητας
FDMA Frequency Division Multiple Access Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας
FITL Fibre In The Loop Οπτική Ίνα στο Βρόχο
FM Frequency Modulation Διαμόρφωση Συχνότητας
FSN Full Service Network Δίκτυο Πλήρους Υπηρεσίας
FTTC Fibre To The Curb Οπτική Ίνα στον Ακραίο Διακλαδωτή
FTTH Fibre To The House Οπτική Ίνα στο σπίτι
FTTSA Fibre To The Serving Area Οπτική Ίνα στην Περιοχή Εξυπηρέτησης
GSM Global System for Mobile Communications Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών
HEMP High Attitude Electromagnetic Pulse Ηλεκτρολογικός Παλμός μεγάλου Ύψους
HTML Hypertext Markup Language Γλώσσα Υπερκείμενης Σημασίας
IC Integrated Circuit Ολοκληρωμένο Κύκλωμα
ICD Interconnection Directive Οδηγία της Διασύνδεσης
ICN Interconnection Διασύνδεση
IDN Integrated Digital Network Ενοποιημένο Ψηφιακό Δίκτυο
IEC Inter Exchange Carrier Διακεντρικός Φορέας
INTELSAT International Telecommunications Satellite Organization Διεθνής Οργανισμός Τηλεπικοινωνιακών Δορυφόρων
Infra red Υπέρυθρη θύρα που χρησιμοποιείται για την ασύρματη μεταφορά δεδομένων σε άλλες συσκευές
IOC Integrated Optical Circuit Ενοποιημένο Οπτικό Κύκλωμα
IP Internet Protocol Πρωτόκολλο Ιντερνετ
IRC International Record Carrier Διεθνής Φορέας Εγγραφής
ISDN Integrated Services Digital Network Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών
ISP Internet Service Provider Παροχέας Υπηρεσιών Ιντερνετ
ITMC International Test and Maintenance Center Διεθνές Κέντρο Δοκιμών και Συντήρησης
Keypad Lock Κλειδώμα Πλήκτρων
LAN Local Area Network Τοπικό Δίκτυο
LCR Least Cost Routing Δρομολόγηση Ελάχιστου Κόστους
LD Long Distance Υπεραστικός
Lithium Ion Li-Ion Μπαταρία Λιθίου
Lithium Polymer Νεότερος τύπος μπαταρίας λιθίου
LEC Local Exchange Carrier Φορέας Εκμετάλλευσης Τοπικών Κέντρων

LEOS Low-Earth Orbiting Satellites Δορυφόροι Χαμηλής Γήινης Τροχιάς
 LMS Local Measure Service Τοπική Υπηρεσία Μετρήσεων
 Network Δίκτυο
 NiMH Nickel Metal Hydride Μπαταρία νικελίου μετάλλου υδριδίου
 NMTS Nordic Mobile Telephone System Σκανδιναβικό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας
 OCC?s Other Common Carriers Άλλοι Κοινοί Φορείς
 PABX Private Automatic Branch Exchange Αυτόματο Ιδιωτικό Κέντρο
 PAD Packet Assembly / Disassembly Συναρμολόγηση / Αποσυναρμολόγηση Πακέτων
 PAB Private Automatic Branch Exchange Αυτόματο Ιδιωτικό Κέντρο
 PAL Public Access Line Γραμμή Δημόσιας Πρόσβασης
 PAMA Pulse Address Multiple Access Πολλαπλή Πρόσβαση μέσω Παλμών Διεύθυνσης
 PBX Private Branch Exchange Ιδιωτικό Κέντρο
 PCM Pulse Code Modulation Παλμοκωδική Διαμόρφωση
 PDC Personal Digital Cellular Προσωπικό Ψηφιακό Κυψελοειδές
 PDH Plesiosynchronous Digital Hierarchy Πλησιόχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία
 PDN Public Data Network Δημόσιο Δίκτυο Δεδομένων
 Phonebook Τηλεφωνικός Κατάλογος
 PHS Personal Handy phone System Σύστημα Προσωπικού Εύχρηστου Τηλεφώνου
 PoP Point of Presence Σημείο Παρουσίας
 POTS Plain Old Telephone Service Απλή Παλαιά Τηλεφωνική Υπηρεσία
 PRI Primary Rate Interface Διεπαφή Πρωτεύοντος Ρυθμού
 PRP Primary Routing Point Σημείο Πρωτεύουσας Δρομολόγησης
 PRS Premium Rate Service Υπηρεσία Πρόσθετου Τέλους
 Prepaid Προπληρωμένη κάρτα
 PSDN Packet Switched Data Network Δίκτυο Μεταγωγής Πακέτων Δεδομένων
 PSPDN Packet Switched Public Data Network Δημόσιο Δίκτυο Μεταγωγής Πακέτων Δεδομένων
 PSN Public Switched Network Δημόσιο Δίκτυο Μεταγωγής
 PSTN Public Switched Telecommunication Network Δημόσιο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο Μεταγωγής
 PTN Public Telephone Network Δημόσιο Τηλεφωνικό Κέντρο
 PTO Public Telecoms Operator Φορέας Εκμετάλλευσης Δημοσίων Τηλεπικοινωνιών
 RCC Radio Common Carrier Κοινό Ραδιοφορέας
 Roaming Περιαγωγή (Υπηρεσία για τη χρήση κινητού τηλεφώνου στο εξωτερικό)
 RF Radio Frequency Ραδιοσυχνότητα
 SA Switched Access Μεταγωγή Πρόσβασης
 SC Switching Center Κέντρο Μεταγωγής
 SDH Synchronous Digital Hierarchy Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία
 SDR Special Drawing Right Ειδικό Τραβηκτικό Δικαίωμα
 SHF Super High Frequency Υπερύψηλη Συχνότητα
 SMDS Switched Multimegabit Data Service Υπηρεσία Πολυμεγαψηφιακής Μεταγωγής Δεδομένων
 SMTP Simple Mail Transfer Protocol Πρωτόκολλο Μεταφοράς απλού Ταχυδρομείου

Service Provider Εταιρία που προσφέρει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες

SIM Ηλεκτρονική κάρτα τοποθετείται στο κινητό και είναι απαραίτητη για την λειτουργία του

SMS Short Message Service Γραπτά Μηνύματα

S-PCS Satellite Personal Communications Services Δορυφορικές Υπηρεσίες Προσωπικών Επικοινωνιών

Standby Κατάσταση αναμονής σε εισερχόμενες κλήσεις

T9, easy text, predictive text Νέος τύπος λογισμικού για εύχρηστη πληκτρολόγηση γραπτών μηνυμάτων

Tri Band Κινητό συμβατό με τις ευρωπαϊκές συχνότητες GSM 900/1800 MHz και την αμερικάνικη 1900 MHz

TAC

Total Access Controller Ελεγκτήρας Ολικής Πρόσβασης

TACS Total Access Communications System Επικοινωνιακό Σύστημα Ολικής Πρόσβασης

TCP Transmission Control Protocol

Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης

TDM Time Division Multiplexing Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου

TDMA Time Division Multiple Access Πολυπλεξία Χρόνου Πρόσβασης

TELCO Telephone Company Τηλεφωνική Εταιρία

TL Transmission Level Σταθμός Μετάδοσης

UHF Ultra High Frequency Πάρα πολύ υψηλή συχνότητα

UMTS Universal Mobile Telecommunications Systems Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών

VAN Value Added Network Δίκτυο Προστιθέμενης Αξίας

VAS Value Added Services Υπηρεσίες Προστιθέμενης Αξίας

VF Voice Frequency Συχνότητα Φωνής

VHF Very High Frequency Πολύ Υψηλή Συχνότητα

VOD Video On Demand Βίντεο κατά αίτηση

Voice Dial Φωνητική Κλήση Αριθμών

Voice Mail Ηχητικό Μήνυμα

Voice Memo Ηχογραφημένο Μήνυμα Υπενθύμησης

VPN Virtual Private Network Ιδεατό Ιδιωτικό Δίκτυο

VR Voice Response Φωνητική Απόκριση

WAN Wide Area Network Δίκτυο Ευρείας Περιοχής

WAP Wireless Application Protocol Τεχνολογία που επιτρέπει την πρόσβαση στο ιντερνετ και παροχή μίας σειράς υπηρεσιών

WATS Wide Area Telephone Service Τηλεφωνική Υπηρεσία Ευρείας Περιοχής

WDM Wave Division Multiplexing Πολυπλεξία Διαίρεσης (μήκους) κύματος

WWW World Wide Web Παγκόσμιος (δίκτυο) ιστός, Κοσμοϊστός

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Computer Networking", second edition, by James F. Kurose & Keith W. Ross.

Encyclopedia of Networking", Electronic Edition, by Tom Sheldon.

ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ", second edition, by Andrew S. Tanenbaum.

www.brokson.com/gsm/contents.htm

www.hackcanada.com/blackcrawl/cell/gsm/gsmsecurity.html

www.gsmworld.com/using/algorithms/index.shtml"

www.gsm-security.net/

www.ee.iastate.edu/~russell/cpre537xf00/Projects/weizhang.pdf

<http://gsm.argospres.com/gsmsecurity.htm>

www.cs.huji.ac.il/course/2003/security/

www.gsmworld.com/technology/3g/index.shtml

www.hackcanada.com/blackcrawl/cell/gsm/gsm-secur/gsm-secur.html

www.jya.com/gsm061088.htm

www.issadvisor.com/columns/GSMSecurity/GSMSecurity.htm

Cyganski, D., Orr, A. O., and Vaz, R. F., Information Technology Inside and Outside, Prentice Hall, 2001

How Cell Telephones Work
<http://electronics.howstuffworks.com/cell-phone.htm>