

Τσιάτσιος Μιχάλης
ΑΜ Μ 3/99

Κυψελοειδή Δίκτυα - GSM

*Εργασία για το μάθημα των Δικτύων στο μεταπτυχιακό τμήμα πληροφοριακών
συστημάτων του Πανεπιστημίου Μακεδονίας*

Δεκέμβρης 1999
Θεσ/νίκη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Γενικά	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	4
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	5
2.1 Δομή του Δικτύου	5
2.1.1 Ο κινητός σταθμός	6
2.1.2 Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού	6
2.1.3 Το Υποσύστημα Δικτύου	7
2.2 Κυψέλες - Συστάδες	9
2.2.1 Σχήμα	10
2.2.2 Μέγεθος	11
2.2.3 Σχηματισμός Συστάδων	12
3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	13
3.1 Καταχώρηση στο δίκτυο	13
3.1.1 Έλεγχος Καναλιών	13
3.1.2 Καταχώρηση στον πλησιέστερο σταθμό βάσης	14
3.2 Μετακίνηση στο δίκτυο	14
3.2.1 Μετακίνηση μεταξύ κυψελών (handover) ή συστάδων	14
3.2.2 Περιαγωγή (roaming)	15
4. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	16
4.1 Μικροκυψελοειδή συστήματα	16
4.2 Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης	17
4.2.1 Κανάλια μεταφοράς	19
4.2.2 Κοινά Κανάλια	20

5. Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΤΟΥ GSM	21
5.1 Διαχείριση ραδιοφωνικών πόρων	22
5.2 Διαχείριση κινητικότητας	23
5.3 Διαχείριση σύνδεσης	24
6. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	25
6.1 Μετάδοση δεδομένων μέσω CMPS	25
6.2 Κυψελοειδή δίκτυα ψηφιακών δεδομένων	26
6.2.1 Μετατροπές στην αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα επικοινωνίας	27
6.2.2 Τεχνικές διαχείρισης απομονωτών	28
7. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	31
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	32

ΓΕΝΙΚΑ

Ένα κυψελοειδές δίκτυο αποτελείται από κινητές μονάδες, οι οποίες συνδέονται μέσω ραδιοσυχνοτήτων σε σταθερούς επίγειους σταθμούς. Οι σταθμοί αυτοί συνδέουν τα διάφορα μέρη του συστήματος και επιτρέπουν την πρόσβαση στο δημόσιο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας. Οι κινητές μονάδες μπορούν να είναι τηλέφωνα, φαξ ή προσωπικοί υπολογιστές οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με τις κατάλληλες τερματικές συσκευές ώστε να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο. Οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται από το δίκτυο για τις επικοινωνίες δίνουν ευελιξία στις μετακινήσεις, αλλά ταυτόχρονα έχουν και τους περιορισμούς τους. Στην συνέχεια θα αναπτυχθεί η αρχιτεκτονική των κυψελοειδών δικτύων, καθώς και τρόποι για βελτίωση των υπηρεσιών που παρέχουν στον τελικό χρήστη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Στις αρχές της δεκαετίας του '80 αναλογικά κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα γνώρισαν μεγάλη εξάπλωση στη Δυτική Ευρώπη και Σκανδιναβία. Το μεγάλο πρόβλημα όμως ήταν ότι κάθε χώρα είχε αναπτύξει το δικό της σύστημα που ήταν ασύμβατο με όλα τα υπόλοιπα, τόσο σε συσκευές όσο και σε λειτουργία. Έτσι λοιπόν το 1982, το Ευρωπαϊκό τηλεπικοινωνιακό συμβούλιο (CEPT) ξεκίνησε μια μελέτη με την ονομασία "Group Special Mobile" GSM με σκοπό την δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού συστήματος κινητής τηλεφωνίας. Αυτό το σύστημα θα έπρεπε να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Καλή ποιότητα ήχου
- Μικρό κόστος σε τερματικές συσκευές και υπηρεσίες
- Διεθνή λειτουργία
- Δυνατότητα να υποστηρίξει τερματικές συσκευές χειρός
- Υποστήριξη νέων υπηρεσιών και δυνατοτήτων
- Αποτελεσματική χρήση του ραδιοφωνικού φάσματος

- Συμβατότητα με το ISDN

Αποτέλεσμα της μελέτης αυτής ήταν το GSM, ένα ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα το οποίο σύντομα πέρασε τα όρια της Ευρώπης και αποτέλεσε το πρότυπο για δίκτυα σε ολόκληρο τον κόσμο. Με τη δημιουργία από τις χώρες της Βορείου Αμερικής μιας παραλλαγής του GSM με όνομα PCS1900 έγινε δυνατή η σύνδεση μεταξύ των δύο ηπείρων με αποτέλεσμα τα αρχικά GSM να σημαίνουν πλέον Global System for Mobile communications.

Οι υπηρεσίες που προσφέρει το GSM είναι:

- Τηλεφωνία
- Fax
- Πρόσβαση σε Τοπικά Δίκτυα (LAN)
- Internet
- Γραπτά Μηνύματα (Short Message Service – SMS)

Τα αρχικά αναλογικά κυψελοειδή δίκτυα, όπως το AMPS στην Αμερική ή τα TACS στην Μ. Βρετανία και NMT στην Σκανδιναβία, εξελίχθηκαν στα GSM στην Ευρώπη και στα D-AMPS (Digital Advanced Mobile Service) στην Αμερική και PDC (Personal Digital Cellular) στην Ιαπωνία. Οι διαφορές τους έγκειται κυρίως στις συχνότητες που χρησιμοποιούν και λιγότερο στην δομή τους. Στη συνέχεια λοιπόν θα επικεντρώσουμε τη μελέτη μας στα κυψελοειδή δίκτυα GSM μιας και αποτελούν το πρότυπο παγκοσμίως.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

2.1 Δομή του Δικτύου

Ένα κυψελοειδές δίκτυο αποτελείται από αρκετές οντότητες, των οποίων οι λειτουργίες είναι προκαθορισμένες. Χωρίζεται σε τρία βασικά μέρη:

1. Τον Κινητό Σταθμό (Mobile Station – **MS**)
2. Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem – **BSs**)

3. Το Υποσύστημα Δικτύου (Network Subsystem – **NS**)

2.1.1 Ο Κινητός Σταθμός

Ο Κινητός Σταθμός αποτελείται από τον κινητό εξοπλισμό του χρήστη που συνήθως είναι το κινητό του τηλέφωνο. Αυτό είναι εφοδιασμένο με μια «έξυπνη κάρτα» γνωστότερη ως κάρτα **SIM** (Subscriber Identity Module). Η κάρτα SIM μπορεί να μεταφερθεί σε οποιαδήποτε τερματική συσκευή, δίνοντας στον χρήστη την απαραίτητη ευελιξία στις μετακινήσεις του. Έτσι, με την εισαγωγή της κάρτας του σε κάποιο άλλο τερματικό (κινητό τηλέφωνο), μπορεί να λάβει και να κάνει κλήσεις καθώς και να χρησιμοποιήσει τις υπόλοιπες υπηρεσίες του δικτύου.



Διάφορες μορφές κινητών σταθμών (τερματικές συσκευές)

Η κάρτα SIM διαθέτει έναν αριθμό τον **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity) ο οποίος χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του χρήστη από το σύστημα και περιέχει πληροφορίες για αυτόν. Για την ασφάλεια του χρήστη, η κάρτα έχει έναν κωδικό ενεργοποίησης τον PIN (Personal Identity Number). Εκτός από την κάρτα SIM, προσωπικό αριθμό αναγνώρισης έχει και κάθε τερματική συσκευή, τον **IMEI** (International Mobile Equipment Identity). Οι IMEI και IMSI είναι ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλο, επιτρέποντας έτσι την μετακίνηση της κάρτας SIM σε διαφορετικές συσκευές.

2.1.2 Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού

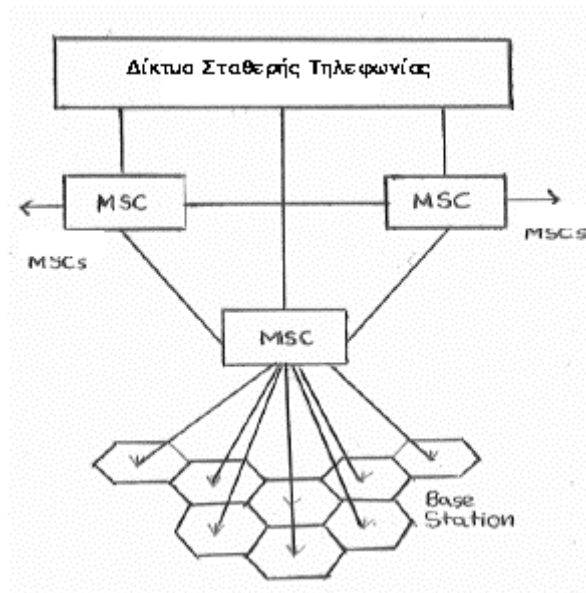
Η περιοχή που καλύπτεται από ένα κυψελοειδές δίκτυο χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές που καλούνται κυψέλες. Κάθε κελί έχει ένα βασικό σταθμό, ο οποίος επικοινωνεί ταυτόχρονα μέσω ραδιοσυχνοτήτων με όλα τα

τερματικά που βρίσκονται στην περιοχή ελέγχου του και μεταφέρει τις κινήσεις προς και από το υποσύστημα δικτύου.

Το βασικό υποσύστημα σταθμού χωρίζεται στο Βασικό Σταθμό Πομπού-Δέκτη (Base Transceiver Station – **BTS**) και στο Βασικό Σταθμό Ελέγχου (Base Station Controller – **BSC**). Ο βασικός σταθμός πομπού – δέκτη είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μεταξύ δικτύου και τερματικής συσκευής και στην ουσία ορίζει την κυψέλη. Ο βασικός σταθμός ελέγχου ελέγχει τα σήματα ενός ή περισσότερων σταθμών πομπού – δέκτη. Είναι υπεύθυνος για την μετατροπή των 13 Kbps φωνής που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα, στα 64 Kbps που χρησιμοποιείται στα σταθερά τηλέφωνα καθώς και για τα κανάλια επικοινωνίας με τις τερματικές συσκευές. Επίσης είναι υπεύθυνος για την εναλλαγή μιας κλήσης σε εξέλιξη σε διαφορετικό κανάλι ή σε διαφορετική κυψέλη (**handover**) και συνδέεται μέσω επίγειων γραμμών στο υποσύστημα δικτύου και συγκεκριμένα στα MSC που θα δούμε παρακάτω.

2.1.3 Το Υποσύστημα Δικτύου

Το κεντρικό στοιχείο του υποσυστήματος δικτύου είναι το **MSC** (Mobile Switching Center). Ενεργεί σαν συνήθης κόμβος μεταγωγής του δικτύου σταθερής τηλεφωνίας ή του ISDN. Επιπλέον, παρέχει τη λειτουργικότητα που χρειάζεται η διαχείριση ενός συνδρομητή του δικτύου, όπως η καταχώρηση του χρήστη στο δίκτυο, η πιστοποίησή του, η ενημέρωση της θέσης του, οι αλλαγές κυψελών καθώς και οι δρομολογήσεις των κλήσεων προς και από αυτόν. Ακόμη, είναι υπεύθυνο για την σύνδεση με το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας και τα δίκτυα ISDN. Οι υπηρεσίες του παρέχονται με τη βοήθεια άλλων λειτουργικών οντοτήτων, μαζί με τις οποίες διαρθρώνεται το υποσύστημα δικτύου.



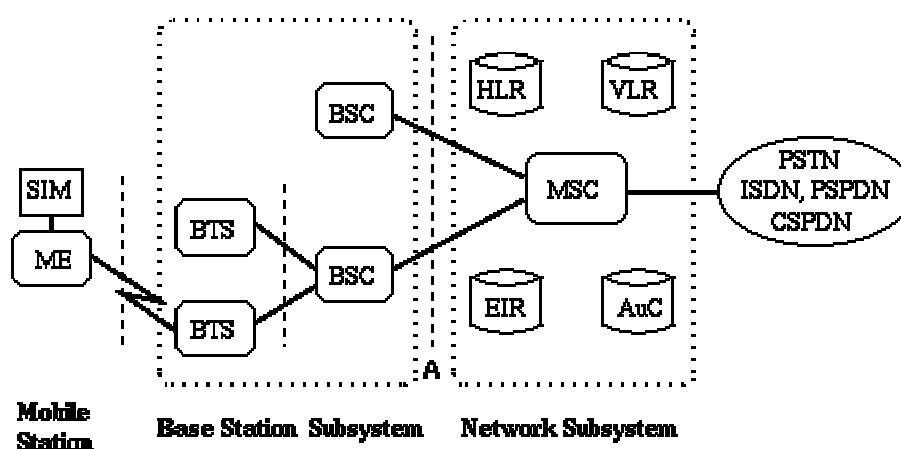
Γενική δομή ενός κυψελοειδούς δικτύου

Για τη σηματοδότηση μεταξύ των οντοτήτων αυτών στο υποσύστημα δικτύου, χρησιμοποιείται το σύστημα σηματοδότησης 7 (SS7), σύστημα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα ISDN. Στο υποσύστημα δικτύου υπάρχουν και ορισμένοι καταχωρητές που δρουν σε συνεργασία με το MSC. Αυτοί είναι οι καταχωρητές θέσης και οι καταχωρητές πιστοποίησης και ασφάλειας.

Οι καταχωρητές θέσης, **HLR** (Home Location Register) και **VLR** (Visitor Location Register) παρέχουν την δυνατότητα της δρομολόγησης και της περιαγωγής (**roaming**) των κλήσεων. Ο HLR είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει όλες τις πληροφορίες κάθε κατοχυρωμένου συνδρομητή του δικτύου μαζί με την τρέχουσα θέση του. Λογικά υπάρχει ένας HLR ανά δίκτυο αν και μπορεί να υλοποιηθεί ως μια κατανεμημένη βάση δεδομένων. Όμοια, ο VLR κρατάει προσωρινά πληροφορίες ίδιες με αυτές του HLR για όλες τις τερματικές συσκευές που βρίσκονται στην περιοχή ελέγχου του. Αν και κάθε λειτουργική οντότητα μπορεί να υλοποιηθεί ως ανεξάρτητη μονάδα, συνήθως ο VLR ενσωματώνεται μέσα στον MSC. Έτσι, η γεωγραφική περιοχή που ελέγχεται από τον MSC ταυτίζεται με αυτή του VLR και μ' αυτόν τον τρόπο απλοποιείται η απαιτούμενη σηματοδότηση. Να σημειωθεί ότι ο MSC δεν κρατάει τις πληροφορίες για τις επί μέρους τερματικές συσκευές, αυτές περιέχονται στους καταχωρητές θέσης.

Οι άλλοι δύο καταχωρητές είναι ο καταχωρητής ταυτότητα αντικειμένου (Equipment Identity Register – **EIR**) και το κέντρο πιστοποίησης

(Authentication Center – **AuC**). Ο EIR είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει όλες τις ισχύουσες τερματικές συσκευές του δικτύου, όπως αυτές διακρίνονται από το IMEI τους. Το IMEI μιας συσκευής είναι άκυρο, αν έχει αναφερθεί ως κλεμμένη η συσκευή που αντιστοιχεί σε αυτό ή αν αντιστοιχεί σε συσκευή μη εγκεκριμένου τύπου. Τέλος, το κέντρο πιστοποίησης είναι μια προστατευόμενη βάση δεδομένων στην οποία υπάρχει ένα αντίγραφο του κλειδιού (PIN) που βρίσκεται σε κάθε κάρτα τερματικής συσκευής και χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση του χρήστη και την κωδικοποίηση των σημάτων στα κανάλια επικοινωνίας.

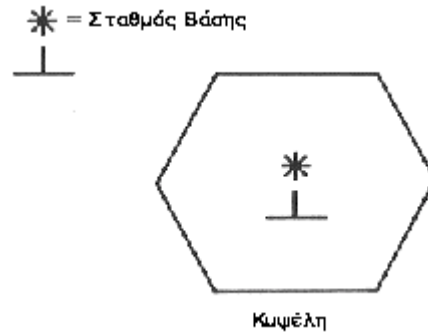


SIM	Subscriber Identity Module	BSC	Base Station Controller	MSC	Mobile services Switching Center
ME	Mobile Equipment	HLR	Home Location Register	EIR	Equipment Identity Register
BTS	Base Transceiver Station	VLR	Visitor Location Register	AuC	Authentication Center

Τα μέρη του κυψελοειδούς δικτύου

2.2 Κυψέλες – Συστάδες

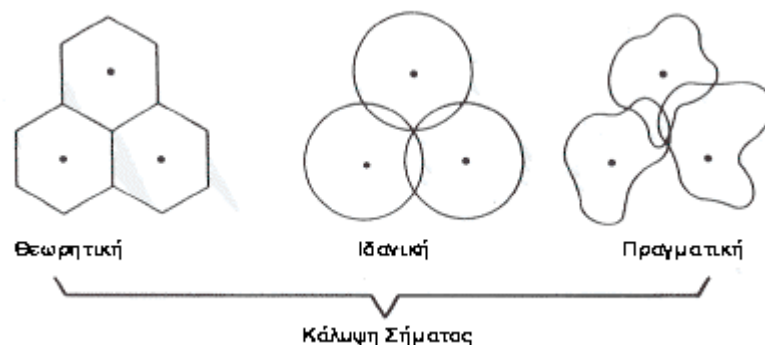
Έχουμε προαναφέρει ότι κάθε βασικός σταθμός πομπού – δέκτη (BTS) ορίζει μια κυψέλη (cell). Αυτές οι κυψέλες είναι κανονικά εξάγωνα και ενωμένα το ένα με το άλλο δημιουργούν συστάδες. Γιατί όμως χρησιμοποιούμε στον σχεδιασμό κανονικά εξάγωνα, τι μέγεθος πρέπει να έχουν και με ποιον τρόπο μπορούμε να σχηματίσουμε με αυτά συστάδες;



Η κάθε Κυψέλη ορίζεται από ένα σταθμό βάσης

2.2.1 Σχήμα

Το σχήμα του κανονικού εξαγώνου που χρησιμοποιούμε στον σχεδιασμό των δικτύων είναι καθαρά τεχνητό και θεωρητικό και δεν μπορεί να επιτευχθεί στον πραγματικό κόσμο. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο σχήμα, είναι ότι απλοποιεί τον προγραμματισμό και την σχεδίαση των δικτύων, μιας και τα κανονικά εξάγωνα εφάπτονται το ένα στο άλλο δίχως να αφήνουν κενά μεταξύ τους. Ένα άλλο πλεονέκτημα της χρήσης κανονικών εξαγώνων, είναι ότι προσεγγίζουν το κυκλικό σχήμα το οποίο είναι το ιδανικό από άποψη κάλυψης χώρου.

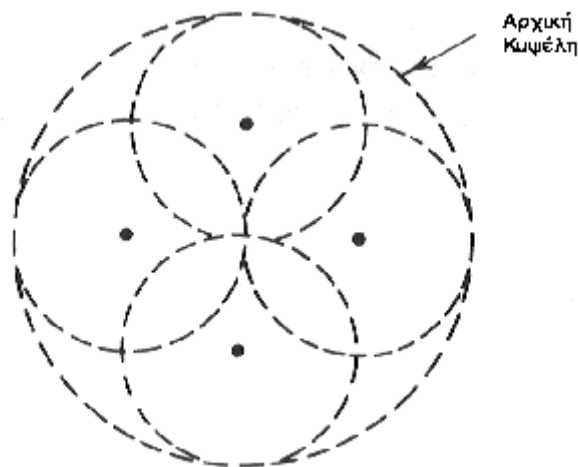


Θεωρητικά και πραγματικά σχήματα κυψελών

Στην πραγματικότητα δεν μπορούμε να καθορίσουμε επακριβώς το σχήμα της κυψέλης μιας και επιδρούν διάφοροι παράγοντες σε αυτό, όπως για παράδειγμα η τοποθεσία.

2.2.2 Μέγεθος

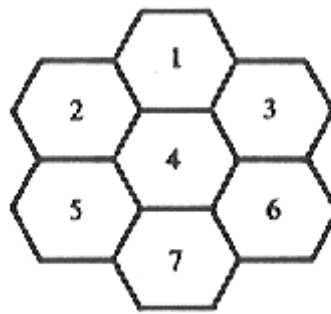
Το μέγεθος μιας κυψέλης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή στην οποία βρίσκεται. Σε γενικές γραμμές οι περιοχές στην επαρχία έχουν λιγότερους χρήστες από τα αστικά κέντρα. Έτσι, στα αστικά κέντρα χρειάζονται περισσότερα κανάλια επικοινωνίας για να μπορέσουν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των συνδρομητών. Αν κάθε κυψέλη είχε σταθερό αριθμό καναλιών επικοινωνίας, τότε το μέγεθος των κυψελών στα αστικά κέντρα θα έπρεπε να είναι μικρότερο ώστε συνολικά να υπάρχουν περισσότερα κανάλια. Η μείωση του μεγέθους των κυψελών, θα είχε ως αποτέλεσμα κυψέλες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα να βρίσκονται κοντά η μία στην άλλη. Συνεπώς μια μεγάλη μείωση του μεγέθους της κυψέλης, θα οδηγούσε ενδεχομένως στην αύξηση των παρεμβολών μεταξύ των κυψελών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Ένας τρόπος για να μεταβάλουμε το μέγεθος της κυψέλης είναι να μεταβάλουμε την ισχύ και την ευαισθησία του σταθμού βάσης. Ισχυρότεροι σταθμοί βάσης αντιστοιχούν σε κυψέλες μεγαλύτερης ακτίνας, ενώ αντίθετα ασθενέστεροι σταθμοί βάσης μειώνουν την ακτίνα της κυψέλης. Μια εναλλακτική μέθοδος για να αλλάξουμε το μέγεθος της κυψέλης είναι να «σπάσουμε» την κυψέλη σε μικρότερες. Για να το πετύχουμε αυτό, μειώνουμε τη ακτίνα της κυψέλης στο μισό και ακολούθως σπάζουμε την παλιά κυψέλη σε τέσσερις μικρότερες.



Μείωση του μεγέθους μιας κυψέλης με σπάσιμό της σε τέσσερις μικρότερες

2.2.3 Σχηματισμός συστάδων

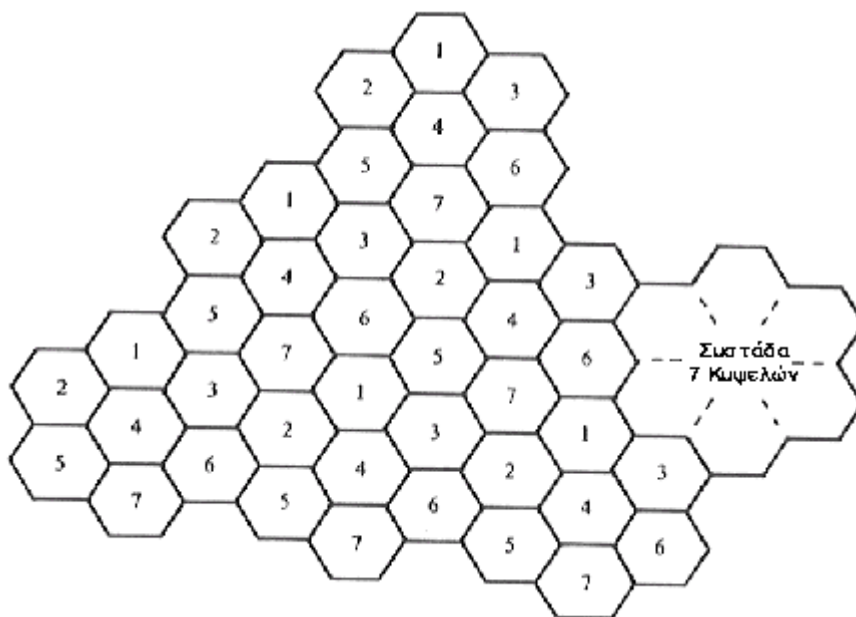
Η ομαδοποίηση των κυψελών σε συστάδες, οδηγεί στην πλήρη κάλυψη γεωγραφικών περιοχών. Ο τρόπος ομαδοποίησης όμως δεν πρέπει να αντιβαίνει ορισμένους κανόνες. Έτσι, ο αριθμός των κυψελών ανά συστάδα περιορίζεται από την προϋπόθεση ότι κάθε συστάδα πρέπει να εφάπτεται και να ταιριάζει με τις υπόλοιπες όπως τα κομμάτια ενός παζλ, αποφεύγοντας έτσι τα κενά ανάμεσά τους.



Συστάδα

Συστάδα αποτελούμενη από 7 κυψέλες

Για να πετύχουμε λοιπόν την βέλτιστη κάλυψη που προκύπτει από μια τέτοια ομαδοποίηση συστάδων, συνήθως δημιουργούμε συστάδες που αποτελούνται από 4, 7, 12 ή 21 κυψέλες.



Ομάδα συστάδων

3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Πρωταρχικός στόχος στο σχεδιασμό των κυψελοειδών δικτύων, ήταν η δυνατότητα του χρήστη να μετακινείται ενώ ταυτόχρονα να είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει το δίκτυο να είναι σε θέση να αναγνωρίζει την θέση που βρίσκονται οι χρήστες του ανά πάσα στιγμή. Παράλληλα θα πρέπει να τους δίνει την δυνατότητα να δέχονται και να πραγματοποιούν κλήσεις ενώ δεν βρίσκονται στο τοπικό τους δίκτυο.

3.1 Καταχώρηση στο δίκτυο

Όταν μια κινητή τερματική συσκευή ενεργοποιείται, αμέσως καταχωρείται στο δίκτυο. Για να μπορεί το δίκτυο ανά πάσα στιγμή να εντοπίζει τον χρήστη, θα πρέπει αφ' ενός να κρατεί πληροφορίες για την τοποθεσία που βρίσκεται η συσκευή και αφ' εταίρου η συσκευή να γνωρίζει τα κανάλια από τα οποία θα πρέπει να περιμένει να λάβει σήματα.

3.1.1 Έλεγχος καναλιών

Με την ενεργοποίησή της κάθε τερματική συσκευή ανιχνεύει δύο κανάλια.

- Το αποκλειστικό κανάλι ελέγχου (Strong Dedicated Control Channel – DCC)
- Το κανάλι ειδοποίησης (Strong Paging Channel)

Το αποκλειστικό κανάλι ελέγχου χρησιμοποιείται για την εκπομπή πληροφοριών ελέγχου σε ψηφιακή μορφή από τον σταθμό βάσης προς την κινητή συσκευή αλλά και αντίστροφα.

Το κανάλι ειδοποίησης - όπως υποδηλώνει και το όνομά του – χρησιμοποιείται από το MSC για την ανίχνευση και τον εντοπισμό της κάθε συσκευής, σε περίπτωση που μια κλήση γίνει προς αυτή.

Η παραπάνω διαδικασία επιτρέπει στην κινητή συσκευή να αναγνωρίσει τα σωστά κανάλια από τα οποία θα πρέπει να αναμένει σήματα.

3.1.2 Καταχώρηση στον πλησιέστερο σταθμό βάσης

Ο κάθε χρήστης κατοχυρώνεται στο δίκτυο με την αποστολή του αριθμού που έχει ανατεθεί στην συσκευή του από το δίκτυο (αριθμός τηλεφώνου), καθώς και του σειριακού αριθμού της συσκευής. Λεπτομερέστερα, η συσκευή μετά από την ενεργοποίησή της ανιχνεύει τον κοντινότερο (με βάση την ισχύ του σήματος που λαμβάνει) σταθμό βάσης και αποστέλλει σε αυτόν τους παραπάνω αριθμούς. Αυτοί ακολούθως προωθούνται από τον σταθμό βάσης στο υπεύθυνο MSC για έλεγχο. Αφού πιστοποιηθεί ότι η συγκεκριμένη συσκευή έχει την δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο, οι πληροφορίες για την συσκευή και για την θέση στην οποία βρίσκεται αποθηκεύονται στο MSC και συγκεκριμένα στους καταχωρητές θέσης. Στη συνέχεια, οι πληροφορίες αυτές μαζί με το κανάλι ειδοποίησης χρησιμοποιούνται από το MSC για την κατεύθυνση των κλήσεων που γίνονται προς τον χρήστη.

3.2 Μετακίνηση στο δίκτυο

Η μετακίνηση ενός χρήστη μέσα στο δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει

- Μετακίνηση μεταξύ κυψελών
- Μετακίνηση μεταξύ συστάδων
- Περιαγωγή

3.2.1 Μετακίνηση μεταξύ κυψελών (*handover*) ή μεταξύ συστάδων

Κατά τη διάρκεια μιας κλήσης, ο σταθμός βάσης ελέγχει το επίπεδο του σήματος που λαμβάνει από την κινητή συσκευή. Όταν η συσκευή μετακινηθεί από μια κυψέλη σε μίαν άλλη, το επίπεδο του σήματος που λαμβάνει ο σταθμός βάσης της κυψέλης που βρισκόταν, πέφτει σε ένα κρίσιμο επίπεδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο σταθμός βάσης να ειδοποιήσει το υπεύθυνο MSC για το γεγονός. Το MSC με τη σειρά του ειδοποιεί όλους του γειτονικούς σταθμούς βάσης να μετρήσουν ο επίπεδο σήματος που λαμβάνουν από τη

συσκευή. Αφού μετρήσουν το επίπεδο σήματος οι σταθμοί βάσης αναφέρουν στο MSC και αυτό αποφασίζει και αναθέτει τον έλεγχο στο σταθμό βάσης που δέχεται το ισχυρότερο σήμα. Η εναλλαγή αυτή γίνεται μέσα σε χρονικό διάστημα που διαρκεί περίπου 400ms ώστε η παύση να μην γίνεται αντιληπτή στον τελικό χρήστη.

Αφού γίνει η εναλλαγή σταθμών βάσης, ακολουθεί νέα καταχώρηση στο δίκτυο μέσω του νέου σταθμού βάσης και οι πληροφορίες θέσης για τη συγκεκριμένη συσκευή ανανεώνονται στο υπεύθυνο MSC. Σε περίπτωση που ο νέος σταθμός βάσης ανήκει σε διαφορετικό MSC, τότε γίνεται καταχώρηση στο νέο MSC ενώ η διαδικασία εναλλαγής παραμένει η ίδια.

3.2.2 Περιαγωγή (*roaming*)

Οι χρήστες των κυψελοειδών δικτύων μπορούν να χρησιμοποιούν τις τερματικές συσκευές τους μόνο στην περιοχή που καλύπτει το δίκτυο στο οποίο ανήκουν. Με την όρο *roaming*, εννοούμε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε κάποια συσκευή που είναι καταχωρημένη σε ένα δίκτυο, σε κάποιο άλλο. Για να μπορέσουμε να το πετύχουμε αυτό, θα πρέπει τα συστήματα αυτά να είναι συμβατά μεταξύ τους και να επιτρέπουν την περιαγωγή. Στις περισσότερες ανά τον κόσμο χώρες, το πρότυπο είναι το σύστημα GSM το οποίο επιτρέπει την μετακίνηση μεταξύ διαφορετικών χωρών. Με την σταδιακή υιοθέτηση του GSM1900 (γνωστό και ως PCS1900 ή DCS1900) από τις χώρες της Βορείου Αμερικής, έγινε δυνατό και το *roaming* στις περιοχές που το υποστηρίζουν. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι ενώ οι προσωπικές κάρτες SIM έχουν την δυνατότητα να μετακινηθούν από ένα δίκτυο σε άλλο, αυτό δεν είναι δυνατό για όλες τις τερματικές συσκευές. Έτσι για γίνει δυνατό το *roaming*, θα πρέπει είτε να αλλάξει ο χρήστης τερματική συσκευή με την μετακίνηση της κάρτας SIM είτε να είναι κάτοχος συσκευής που υποστηρίζει διαφορετικά συστήματα. Για τα GSM δίκτυα υπάρχουν συσκευές που υποστηρίζουν διπλή λειτουργία στα συστήματα GSM900 – GSM1800 ή διπλή λειτουργία στα συστήματα GSM800 – GSM1900. Πρόσφατα κυκλοφόρησαν και συσκευές που υποστηρίζουν τριπλή λειτουργία και στα τρία GSM συστήματα.

4. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Σε κάθε ραδιοφωνικό δίκτυο, μπορεί να συμβούν αρκετές ταυτόχρονες κλήσεις. Ο αριθμός των κλήσεων που μπορούν να διαχειριστούν ταυτόχρονα εξαρτάται άμεσα από το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων, καθώς και από τον αριθμό των καναλιών που υποστηρίζονται από το διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Στα κυψελοειδή συστήματα, η επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας (Frequency re-use) επιτυγχάνεται με την ανάθεση ενός υποσυνόλου του συνολικού αριθμού καναλιών σε κάθε σταθμό βάσης και με τον μετέπειτα έλεγχο της ισχύος των πομπών. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η διαθεσιμότητα καναλιών για τους χρήστες. Η αύξηση των κυψελών σε μια περιοχή όμως (η οποία επιτυγχάνεται με μείωση του μεγέθους τους) οδηγεί όπως έχουμε προαναφέρει σε αύξηση των παρεμβολών μεταξύ κυψελών που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Επίσης αυξάνονται οι εναλλαγές κυψελών (handovers), πράγμα που οδηγεί σε αύξηση της καθυστέρησης στη λειτουργία των MSC.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων εναλλακτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται. Αυτές είναι η χρήση μικροκυψελών (microcellular systems) και η πολλαπλή πρόσβαση (multiple access systems).

4.1 Μικροκυψελοειδή συστήματα

Σε αντίθεση με τη μείωση του μεγέθους της κυψέλης, στα μικροκυψελοειδή συστήματα γίνεται χρήση «έξυπνων» κυψελών. Κάθε κυψέλη μπορεί να ελέγχει τη θέση κάθε κινητού σταθμού και να μεταδίδει περιορισμένη ισχύ προς αυτούς.

Στα μικροκυψελοειδή συστήματα κάθε κυψέλη χωρίζεται σε μικρότερες κυψέλες, κάθε μικροκυψέλη έχει μια τοποθεσία ζώνης (zone site) ενώ συνολικά η κυψέλη εξακολουθεί να έχει ένα σταθμό βάσης. Οι μικροκυψέλες χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα με την αρχική κυψέλη, συνεπώς δεν παρατηρούνται handovers. Ένας ενεργός κινητός σταθμός εκπέμπει σήματα προς όλες τις ζώνες και αυτές με τη σειρά τους στέλνουν σήμα στο σταθμό βάσης. Εκεί βρίσκεται ένας επιλογέας ζώνης, ο οποίος χρησιμοποιεί το σήμα

που δέχεται από τις ζώνες και αναθέτει σε αυτή με το ισχυρότερο σήμα τον έλεγχο του κινητού σταθμού. Όταν προκύψει μια κλήση προς τον κινητό σταθμό, το σύστημα γνωρίζει σε πια θέση - κυψέλη - βρίσκεται ο σταθμός. Ο σταθμός της κυψέλης γνωρίζει από τη δική του πλευρά σε πια ζώνη βρίσκεται ο σταθμός. Προωθεί λοιπόν το σήμα στο αντίστοιχο zone site το οποίο μετά από καθορισμό της ισχύος του σήματος, το στέλνει στον κινητό σταθμό. Με τον καθορισμό της ισχύος του σήματος η παρεμβολή μεταξύ των ζωνών μειώνεται και αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος.

Αν κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ των μικροκυψελοειδών συστημάτων και με τη μείωση του μεγέθους των κυψελών, παρατηρούμε ότι τα μικροκυψελοειδή συστήματα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Η παρεμβολές είναι κατά πολύ λιγότερες, όπως επίσης και τα handovers αφού όλες οι ζώνες χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Επιπλέον, τα εξαρτήματα για τη δημιουργία των ζωνών είναι μικρά σε μέγεθος και μπορούν να εγκατασταθούν στις πλευρές κάποιας κεραίας.

Πέρα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, τα μικροκυψελοειδή συστήματα έχουν και ένα μεγάλο μειονέκτημα. Θα πρέπει η ισχύ του σήματος που εκπέμπουν οι μικροκυψέλες στους κινητούς σταθμούς να είναι επακριβώς ορισμένη. Ισχυρότερα σήματα θα οδηγήσουν σε παρεμβολές μεταξύ των ζωνών, ενώ ασθενέστερα σήματα πιθανών δεν θα φτάσουν ποτέ στον προορισμό τους. Οι μικροκυψέλες θα πρέπει να γνωρίζουν τον χώρο που καλύπτουν, μιας και μια καινούργια δομή στον χώρο τους (κάποιο νέο κτίριο για παράδειγμα) θα απαιτήσει μεταβολή της ισχύος του σήματός τους.

4.2 Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης

Το ραδιοφωνικό φάσμα που χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες είναι περιορισμένο. Θα πρέπει λοιπόν να βρεθούν τρόποι διανομής του φάσματος, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις ραδιοσυχνότητες όσο το δυνατόν περισσότεροι χρήστες ταυτόχρονα. Στα ψηφιακά κυψελοειδή δίκτυα, συστήματα πολλαπλής πρόσβασης χρησιμοποιούνται για να επιτρέψουν την ταυτόχρονη χρήση του ίδιου καναλιού επικοινωνίας από περισσότερους του ενός χρήστες. Οι συνηθέστερες μέθοδοι είναι αυτές της *Πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση της συχνότητας* (Frequency division multiple access –

FDMA) και της *Πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση του χρόνου* (Time division multiple access – **TDMA**).

Στην μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση του χρόνου, το εύρος ζώνης που δεσμεύεται από κάθε κανάλι επικοινωνίας διαιρείται σε χρονικές περιόδους (time slots). Ο αριθμός των περιόδων αυτών εξαρτάται από το κάθε σύστημα. Στη συνέχεια κάθε χρήστης καταλαμβάνει μια τέτοια χρονική περίοδο, οπότε μπορούν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα να χρησιμοποιήσουν το ίδιο κανάλι επικοινωνίας αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Όμοια, με την μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση της συχνότητας, κάθε κανάλι διαιρείται σε μπάντες συχνοτήτων οι οποίες στη συνέχεια δεσμεύονται από τους χρήστες.

Στα συστήματα GSM χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός των παραπάνω δύο μεθόδων. Θα αναπτύξουμε τη μέθοδο για το σύστημα GSM900 μιας και είναι παρόμοια και για τα άλλα GSM συστήματα.

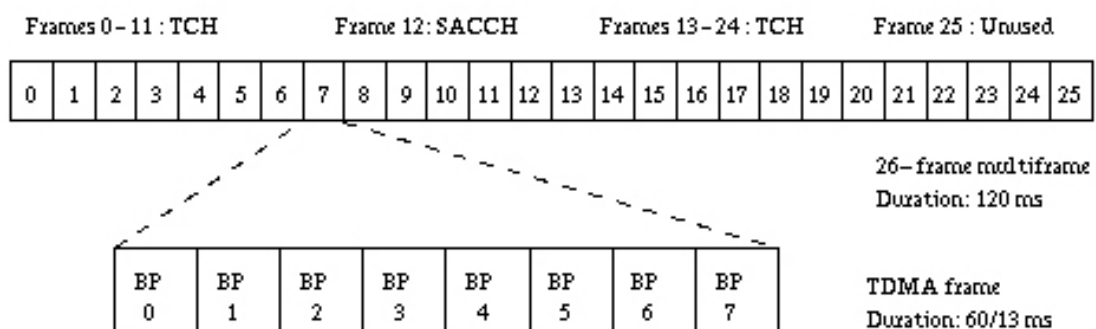
Η διεθνής ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU), η οποία είναι υπεύθυνη για τη χρησιμοποίηση του ραδιοφωνικού φάσματος, καθόρισε τη χρήση των συχνοτήτων από 890 – 915 MHz για την επικοινωνία από τον κινητό σταθμό προς το σταθμό βάσης (**uplink**) και τις συχνότητες 935 – 960 MHz για την επικοινωνία από το σταθμό βάσης προς το κινητό σταθμό (**downlink**). Επειδή αυτές οι συχνότητες χρησιμοποιούνταν ήδη από τα αναλογικά συστήματα που υπήρχαν, το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο (CEPT) κράτησε τα 10 MHz από κάθε συχνότητα για χρήση με το GSM.

Με τη διαίρεση των συχνοτήτων με το σχήμα FDMA, το συνολικό εύρος ζώνης των 25 MHz διαιρείται σε 124 συχνότητες μεταφοράς, οι οποίες απέχουν κατά 200 MHz μεταξύ τους. Μία ή περισσότερες από αυτές τις συχνότητες ανατίθενται σε κάθε σταθμό βάσης. Στη συνέχεια κάθε μια από τις συχνότητες χωρίζεται χρονικά σύμφωνα με το σχήμα της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου TDMA. Η θεμελιώδης μονάδα χρόνου στο σχήμα TDMA, είναι η «περίοδος ριπής» (**burst period**) η οποία διαρκεί περίπου 0.577ms (15/26 ms). Οκτώ τέτοιες περίοδοι ομαδοποιούνται σε ένα πλαίσιο TDMA. Το πλαίσιο TDMA διαρκεί περίπου 4.615 ms (120/26 ms) και είναι η βασική μονάδα ορισμού των λογικών καναλιών επικοινωνίας. Τα κανάλια αυτά μπορεί να είναι *δεσμευμένα κανάλια* (*dedicated channels*) από

κάποιο κινητό σταθμό ή κοινά κανάλια (*common channels*) τα οποία χρησιμοποιούνται από τους κινητούς σταθμούς όταν αυτοί είναι αδρανής.

4.2.1 Κανάλια μεταφοράς (*Traffic channels -TCH*)

Τα κανάλια μεταφοράς χρησιμοποιούνται για την μετάδοση ήχου και δεδομένων. Καθορίζονται με τη χρήση ενός πολυπλασίου (*multiframe*) το οποίο αποτελείται από 26 πλαίσια TDMA. Το μήκος των 26 πλαισίων είναι 120 ms και από αυτό το μήκος καθορίζεται και η περίοδος ριπής (120 / 26 πλαίσια και το αποτέλεσμα δια 8 μονάδες χρόνου). Από τα 26 πλαίσια, τα 24 χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση των δεδομένων και του ήχου, 1 πλαίσιο για έλεγχο (*Slow Associated Control Channel – SACCH*) και 1 αχρησιμοποίητο προς το παρόν. Τα κανάλια μεταφοράς για την μετάδοση από τον κινητό σταθμό προς το σταθμό βάσης χωρίζονται με 3 «ριπές» από τα αντίστοιχα κανάλια μεταφοράς από το σταθμό βάσης προς το κινητό σταθμό. Με αυτόν τον τρόπο δεν είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη λήψη και αποστολή από τους κινητούς σταθμούς και δίνεται η δυνατότητα για κατασκευή απλούστερων (και συνεπώς φθηνότερων, πράγμα που ήταν ένας από τους αρχικούς στόχους) ηλεκτρονικών συσκευών.



Δομή ενός TDMA πολυπλασίου

Πέρα από αυτά τα κανάλια πλήρους ρυθμού (*full-rate*), έχουν καθοριστεί και κανάλια ημίσειας ρυθμού (*half-rate*) τα οποία δεν έχουν υλοποιηθεί ακόμη. Τα κανάλια *half-rate* μπορούν να διπλασιάσουν τη χωρητικότητα του συστήματος με τη χρήση κωδικοποιητών (*coders*) που θα κωδικοποιούν τη φωνή στα 7 kbps αντί για 13 kbps που είναι τώρα. Έχουν

καθοριστεί επίσης κανάλια οκταπλού ρυθμού (eighth-rate) τα οποία χρησιμοποιούνται στη σηματοδότηση και καλούνται *Stand-alone Dedicated Control Channels (SDCCH)*.

4.2.2 Κοινά Κανάλια

Στα κοινά κανάλια (common channels), μπορούν να έχουν πρόσβαση τόσο οι κινητοί σταθμοί που βρίσκονται σε αδρανή κατάσταση, όσο και αυτοί που βρίσκονται στη διάρκεια μιας κλήσης. Όταν ο κινητός σταθμός είναι αδρανής, χρησιμοποιεί τα κοινά κανάλια για την ανταλλαγή πληροφοριών, ώστε να μεταβεί σε ενεργή κατάσταση όταν γίνει κάποια κλήση προς αυτόν. Οι κινητοί σταθμοί που βρίσκονται ήδη σε κάποια κλήση, ελέγχουν μέσω των κοινών καναλιών τους περιβάλλοντες σταθμούς βάσης για τυχόν handovers και άλλες πληροφορίες. Τα κοινά κανάλια ορίζονται από ένα πολυπλαίσιο 51 πλαισίων, ώστε να είναι δυνατή η χρήση του πολυπλαισίου 21 πλαισίων από τους κινητούς σταθμούς σε κλήση, ενώ ταυτόχρονα να έχουν πρόσβαση και στα κανάλια ελέγχου.

Τα κανάλια ελέγχου αποτελούνται από τα:

- Κανάλι Ελέγχου Εκπομπής (Broadcast Control Channel – BCCH)
- Κανάλια Συγχρονισμού και Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Channel – FCCH, Synchronization Channel – SCH)
- Κανάλι Τυχαίας Πρόσβασης (Random Access Channel – RACH)
- Κανάλι Ειδοποίησης (Paging Channel – PCH)
- Κανάλι Χορήγησης Πρόσβασης (Access Grant Channel – AGCH)

Το κανάλι ελέγχου εκπομπής, συνεχώς εκπέμπει από το σταθμό βάσης προς τους κινητούς σταθμούς πληροφορίες όπως η ταυτότητα του σταθμού, οι συχνότητες που είναι δεσμευμένες κ.α

Τα κανάλια συγχρονισμού και διόρθωσης χρησιμοποιούνται για να συγχρονίσουν τους κινητούς σταθμούς στις χρονικές περιόδους των πλαισίων TDMA. Κάθε κυψέλη εκπέμπει ένα κανάλι διόρθωσης και ένα συγχρονισμού στη πρώτη θέση του πλαισίου TDMA.

Το κανάλι τυχαίας πρόσβασης χρησιμοποιείται από τους κινητούς σταθμούς για να αιτηθούν πρόσβαση στο δίκτυο.

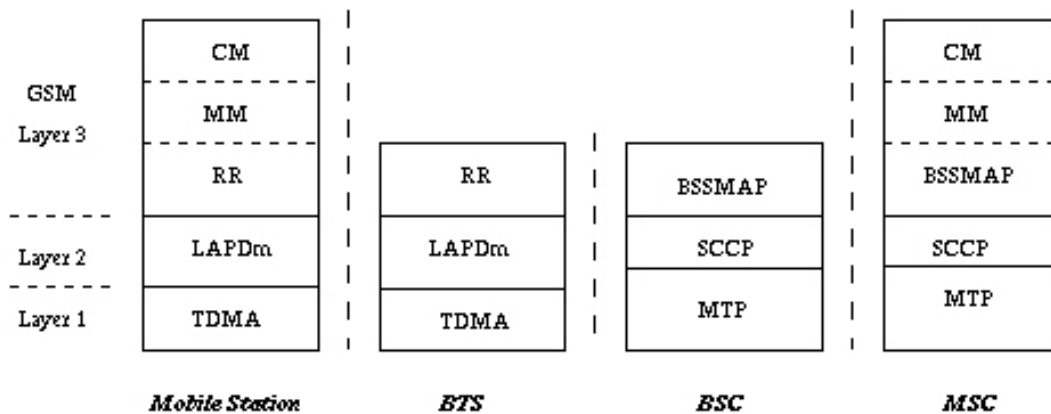
Το κανάλι ειδοποίησης χρησιμοποιείται για να ενημερώσει τον κινητό σταθμό για τις κλήσεις που γίνονται προς αυτόν.

Τέλος, το κανάλι χορήγησης πρόσβασης χρησιμοποιείται για τη δέσμευση ενός SDCCH καναλιού σηματοδότησης.

5. Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΤΟΥ GSM

Η εξασφάλιση της μετάδοσης φωνής και δεδομένων μέσω των ραδιοσυχνοτήτων είναι μέρος μόνο της λειτουργίας ενός κυψελοειδούς δικτύου. Κάποιος κινητός σταθμός μπορεί να βρίσκεται σε περιαγωγή, πράγμα που συνεπάγεται νέες καταχωρήσεις στο δίκτυο, πιστοποίηση ταυτότητας, δρομολόγηση κλήσεων και ενημέρωση της θέσης του. Επιπλέον, το γεγονός ότι η γεωγραφική κάλυψη του χώρου εξασφαλίζεται μέσω της διάσπασής του σε κυψέλες, προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μηχανισμού χειρισμού των handovers. Υπεύθυνο για τις ενέργειες αυτές είναι το υποσύστημα δικτύου (network subsystem) το οποίο κυρίως χρησιμοποιεί το Mobile application part (**MAP**) που βρίσκεται στην κορυφή του πρωτοκόλλου του συστήματος σηματοδότησης No 7.

Το πρωτόκολλο σηματοδότησης του συστήματος GSM, είναι δομημένο σε 3 γενικά επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο το οποίο χρησιμοποιεί τις δομές των καναλιών που προαναφέραμε. Το δεύτερο επίπεδο, είναι το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (data link layer). Από την πλευρά του κινητού σταθμού, το δεύτερο επίπεδο είναι μια τροποποιημένη έκδοση του πρωτοκόλλου LAPD που χρησιμοποιείται στα συστήματα ISDN και ονομάζεται LAPDm. Ανάλογα, στην πλευρά του υποσυστήματος δικτύου, χρησιμοποιείται το δεύτερο επίπεδο του συστήματος No 7 και συγκεκριμένα το Message Transfer Part Layer 2 (SCCP). Τέλος, το 3^ο επίπεδο του πρωτοκόλλου σηματοδότησης χωρίζεται σε τρία υποεπίπεδα :



Δομή του πρωτοκόλλου σηματοδότησης του συστήματος GSM

- Διαχείριση ραδιοφωνικών πόρων (Radio Resources Management – **RR**)
- Διαχείριση κινητικότητας (Mobility Management – **MM**)
- Διαχείριση σύνδεσης (Connection Management – **CM**)

5.1 Διαχείριση ραδιοφωνικών πόρων

Το επίπεδο διαχείρισης ραδιοφωνικών πόρων επιβλέπει την εδραίωση μιας σύνδεσης, ραδιοφωνικής ή σταθερής, ανάμεσα στους κινητούς σταθμούς και στο MSC. Οι οντότητες που λαμβάνουν μέρος στην εδραίωση των συνδέσεων είναι οι κινητοί σταθμοί, το υποσύστημα σταθμού βάσης και το MSC. Το επίπεδο RR είναι αναμεμιγμένο στην διαχείριση μιας ραδιοφωνικής σύνδεσης. Επίσης, κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις στα ραδιοφωνικά κανάλια, όπως και τη δέσμευσή τους στις κλήσεις. Μια σύνδεση αρχικοποιείται πάντα από τον κινητό σταθμό, είτε με την κλήση κάποιου αριθμού, είτε με την απόκριση σε κάποιο σήμα ειδοποίησης. Το πότε θα ανατεθεί ένα αποκλειστικό κανάλι στον κινητό σταθμό, η δομή που θα έχει το σήμα ειδοποίησης και άλλες τέτοιες λεπτομέρειες, καθορίζονται από το RR επίπεδο. Τέλος, σε αυτό το επίπεδο ρυθμίζεται η ισχύς του σήματος και η ασυνεχής εκπομπή και λήψη.

5.2 Διαχείριση κινητικότητας

Το επίπεδο διαχείρισης κινητικότητας (MM) βρίσκεται πάνω από το επίπεδο RR. Είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση όλων των λειτουργιών που προκύπτουν από τη δυνατότητα που έχει ο χρήστης να κινείται μέσα στο δίκτυο. Επίσης διαχειρίζεται θέματα ασφάλειας και πιστοποίησης των χρηστών. Σε αυτό το επίπεδο γίνεται και η διαχείριση της θέσης που βρίσκεται ο κινητός σταθμός την κάθε στιγμή, ώστε να είναι δυνατή η ολοκλήρωση των κλήσεων που γίνονται προς αυτόν.

Όταν μια κλήση γίνει προς έναν ενεργοποιημένο κινητό σταθμό, ένα σήμα στέλνεται προς αυτόν μέσω του καναλιού ειδοποίησης. Για τον εντοπισμό του κινητού σταθμού θα μπορούσε να σταλεί το σήμα σε όλες τις κυψέλες του δικτύου, πράγμα που θα οδηγούσε σε περιττή χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης των ραδιοσυχνοτήτων. Ανάλογα, θα μπορούσε ο κάθε κινητός σταθμός να στέλνει μηνύματα ανανέωσης θέσης κάθε φορά που αλλάζει κυψέλη. Έτσι, το σήμα ειδοποίησης θα σταλεί στη κυψέλη που βρίσκεται κάθε φορά ο κινητός σταθμός. Παρατηρείται όμως υπερφόρτωση από τα συνεχή μηνύματα ανανέωσης θέσης. Για να επιλυθούν με το βέλτιστο δυνατό τρόπο τέτοια ζητήματα, γίνεται ο διαχωρισμός του δικτύου σε ζώνες θέσης (location areas). Ανανέωση της θέσης του κινητού σταθμού γίνεται μόνο όταν αυτός αλλάξει ζώνη θέσης και τα σήματα ειδοποίησης θα σταλούν στην υπεύθυνη για τη ζώνη κυψέλη.

Το ραδιοφωνικό φάσμα μπορεί να είναι προσβάσιμο από τον καθένα. Η πιστοποίηση των χρηστών, ώστε το δίκτυο να είναι σε θέση να γνωρίζει αν ο χρήστης είναι πράγματι αυτός που ισχυρίζεται, είναι θέμα ζωτικής σημασίας. Το ίδιο σημαντική είναι και η κωδικοποίηση – κρυπτογράφηση όλων των μηνυμάτων, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα υποκλοπών. Για την πιστοποίηση των χρηστών συμμετέχουν η κάρτα SIM και το κέντρο πιστοποίησης (AuC). Σε κάθε συνδρομητή ανατίθεται ένα κρυφό κλειδί το οποίο βρίσκεται στην κάρτα SIM. Ένα αντίγραφο του κλειδιού αυτού βρίσκεται στο κέντρο πιστοποίησης. Κατά τη διάρκεια της πιστοποίησης, ένας τυχαίος αριθμός παράγεται από το AuC και αποστέλλεται στον κινητό σταθμό. Στη συνέχεια, βάση του τυχαίου αριθμού και με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου με όνομα A3, ο κινητός σταθμός παράγει ένα σήμα απόκρισης το οποίο και

στέλνει στο κέντρο πιστοποίησης. Αν το σήμα είναι το ίδιο με αυτό που υπολόγισε και το κέντρο πιστοποίησης, τότε ο χρήστης πιστοποιείται. Ανάλογη είναι και η μέθοδος κρυπτογράφησης των μηνυμάτων από και προς τους κινητούς σταθμούς. Η κρυπτογράφηση αυτή χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο A8 και γίνεται σε επίπεδο πλαισίου TDMA.

Ένας επιπλέον έλεγχος ασφάλειας γίνεται σε επίπεδο συσκευής. Όπως έχουμε προαναφέρει κάθε συσκευή έχει το IMEI το οποίο είναι μοναδικό. Όλοι οι αριθμοί IMEI του δικτύου βρίσκονται στον *καταχωρητή ταυτότητας αντικειμένου* (Equipment Identity Register – EIR). Κάθε φορά λοιπόν που η συσκευή στέλνει το IMEI της στο δίκτυο για έλεγχο, η απάντηση του δικτύου κατατάσσει τη συσκευή σε μια από τις επόμενες κατηγορίες :

- Λευκή λίστα – Η συσκευή μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο.
- Γκρι λίστα – Η συσκευή βρίσκεται υπό παρακολούθηση για πιθανά προβλήματα.
- Μαύρη λίστα – Η συσκευή έχει αναφερθεί ως κλεμμένη ή είναι μη συμβατού τύπου και δεν επιτρέπεται η σύνδεσή της στο δίκτυο.

5.3 Διαχείριση Σύνδεσης

Το επίπεδο διαχείρισης σύνδεσης (CM) είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο κλήσεων (Call Control – **CC**), για τη διαχείριση συμπληρωματικών υπηρεσιών του δικτύου και για τη διαχείριση της υπηρεσίας σύντομων μηνυμάτων. Κάθε μια από τις προηγούμενες διαχειρίσεις μπορεί να είναι υποεπίπεδα του CM.

Στον έλεγχο κλήσεων, έγινε προσπάθεια να ακολουθηθούν οι διαδικασίες των δικτύων ISDN, όπως αυτές ορίστηκαν στο Q.931. Μια δυνατότητα όμως που δεν υπάρχει στα ISDN δίκτυα είναι αυτή της περιαγωγής. Άλλες λειτουργίες στο υποεπίπεδο CC, είναι η εδραίωση κλήσεων και ο έλεγχος του είδους της υπηρεσίας (και η εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών) που θα χρησιμοποιηθεί.

6. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στη μέχρι τώρα παρουσίαση των κυψελοειδών δικτύων, μελετήσαμε σε γενικές γραμμές την μετάδοση φωνής μέσω αυτών. Η κύρια υπηρεσία των κυψελοειδών δικτύων είναι η κινητή τηλεφωνία (Cellular Mobile Phone Service – **CMPS**) αλλά όχι μόνο αυτή. Η ψηφιακή φύση των κυψελοειδών δικτύων, επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων και τη χρήση υπηρεσιών που υπάρχουν στα δίκτυα επικοινωνιών όπως τα τοπικά δίκτυα (LAN) και το Internet. Η μετάδοση των δεδομένων μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση των υπαρχόντων CMPS δικτύων, είτε με τη χρήση των κυψελοειδών δικτύων ψηφιακών δεδομένων (Digital Data Cellular Networks – **DDCN**).

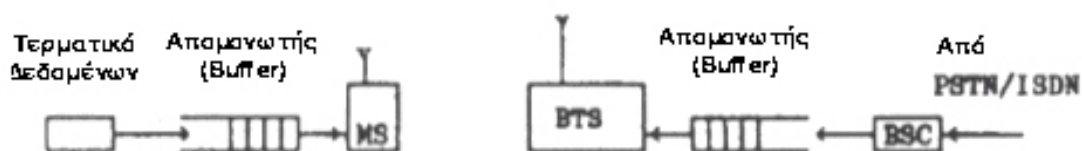
6.1 Μετάδοση δεδομένων μέσω CMPS

Η χρήση των ήδη υπαρχόντων CMPS δικτύων για μετάδοση δεδομένων, δεν προϋποθέτει κάποια αλλαγή ή τροποποίηση της αρχιτεκτονικής τους. Αλλαγές θα γίνουν σε επίπεδο πρωτοκόλλου αλλά όχι σημαντικές. Τα CMPS δίκτυα είναι δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (circuit switched networks), πράγμα που σημαίνει ότι από τη στιγμή που θα δημιουργηθεί μια σύνδεση μεταξύ δύο σταθμών (κινητών ή όχι), θα παραμείνει έως έχει μέχρι το πέρας της συνδιάλεξης. Οι τερματικές συσκευές δεδομένων (data terminals), είναι συνήθως κάποιος φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής που συνδέεται με κάποιο κινητό σταθμό (πχ. ένα κινητό τηλέφωνο ή κάποια άλλη κινητή κυψελοειδή συσκευή που διαθέτει κεραία), ώστε να μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στο κυψελοειδές δίκτυο.

Το μεγάλο πρόβλημα στη μετάδοση των δεδομένων μέσω ενός κυψελοειδούς δικτύου είναι τα handover. Σε αντίθεση με τα όσα ισχύουν στη μετάδοση φωνής, δεν μπορούμε να «συμπληρώσουμε» τα ψηφιακά δεδομένα που χάθηκαν, λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτά που προηγήθηκαν και αυτά που ακολούθησαν. Πρέπει τα δεδομένα που φτάνουν στον προορισμό τους, να είναι αυτά ακριβώς που στάλθηκαν από την πηγή του σήματος. Όταν κάποιος χρήστης κινείται από μια κυψέλη σε μια άλλη τότε δημιουργείται το handover. Ο κινητός σταθμός δεν μπορεί να χρησιμοποιεί πλέον το κανάλι που του είχε

ανατεθεί προηγουμένως. Μιας και τα δίκτυα CMPS είναι δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος, ένα νέο κανάλι θα δεσμευτεί για να γίνει δυνατή η συνεχής σύνδεση. Αυτό το κανάλι θα δεσμευτεί από το σταθμό βάσης της νέας κυψέλης. Η όλη διάρκεια της εναλλαγής αυτής όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα είναι περίπου 400 ms. Σε αυτή τη διάρκεια η σύνδεση είναι νεκρή και πρέπει να βρεθεί τρόπος, ώστε να μην χαθούν δεδομένα σε αυτή τη χρονική διάρκεια.

Το παραπάνω πρόβλημα παρακάμπτεται με τη χρήση απομονωτών (buffers). Όταν συμβεί η εναλλαγή των κυψελών, τόσο ο κινητός σταθμός όσο και ο σταθμός βάσης σταματούν να στέλνουν δεδομένα. Και οι δύο όμως θα συνεχίσουν να δέχονται δεδομένα από το φορητό υπολογιστή και από το τοπικό δίκτυο αντίστοιχα. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχουν απομονωτές σε δύο θέσεις. Ένας μεταξύ του τερματικού δεδομένων και του κινητού σταθμού για την προς τα επάνω μετάδοση (από τον κινητό σταθμό προς το σταθμό βάσης) και ένας μεταξύ του BSC και BTS για την προς τα κάτω μετάδοση (από το σταθμό βάσης προς τον κινητό σταθμό). Έχει αποδειχτεί με μεθόδους της μαθηματικής ανάλυσης, ότι η χρήση των απομονωτών επιλύει σε σημαντικό βαθμό το πρόβλημα των handover.



Σχηματική παράσταση χρήσης ζεύγους απομονωτών

6.2 Κυψελοειδή δίκτυα ψηφιακών δεδομένων

Το γεγονός ότι τα CMPS είναι δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (circuit switched), έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων χρονικά καθυστερήσεων κατά τη διαδικασία της εδραίωσης των κλήσεων. Στη μεταφορά δεδομένων τέτοιες καθυστερήσεις είναι μη αποδεκτές, ειδικά όταν τα δεδομένα έρχονται σε μεγάλα μπλοκ. Για το σκοπό αυτό είναι προτιμότερο ένα ψηφιακό δίκτυο μεταγωγής πακέτων. Σε ένα τέτοιο δίκτυο, οι κινητοί σταθμοί θα έστελναν και θα λάμβαναν πακέτα μόνο όταν τους το ζητούσε ο

σταθμός βάσης. Έτσι, δεν θα υπήρχε μόνιμη σύνδεση μεταξύ των δύο οντοτήτων παρά μονάχα μια εικονική σύνδεση. Με αυτόν τον τρόπο δεν χρειάζεται η εδραίωση κλήσεων και συνεπώς αποφεύγονται οι καθυστερήσεις τους.

Για τη περιγραφή των κυψελοειδών δικτύων ψηφιακών δεδομένων (Digital Data Cellular Networks – DDCN), προτάθηκε ένα εννοιολογικό μοντέλο, το **MCN**, από τον Dr. Sergio Coury. Το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε γενικές γραμμές σε όλα τα κυψελοειδή δίκτυα ψηφιακών δεδομένων, με μικρές ενδεχομένως μετατροπές.

6.2.1 Μετατροπές στην αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η αλλαγή που θα γίνει όσον αφορά την αρχιτεκτονική του δικτύου, αφορά την αντικατάσταση του MSC με έναν μεταγωγέα πακέτων (packet switch exchange). Οι λειτουργίες που γινόταν από το MSC, όπως ο έλεγχος της τοποθεσίας των κινητών σταθμών, εξακολουθούν να υπάρχουν. Γενικά, η λειτουργία της κυψέλης καθώς και η εκμετάλλευση του ραδιοφωνικού φάσματος, παραμένουν αμετάβλητες.

Για να επιτύχουμε μια αξιόπιστη εναλλαγή δεδομένων, δημιουργείται μια ομάδα από πρωτόκολλα με τα οποία καθορίζουμε τη μορφή των δεδομένων αλλά και τους τρόπους με τους οποίους αυτά μεταδίδονται. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι ένας συνδυασμός TDMA και πολικότητας (polling). Την άδεια πρόσβασης σε κάθε κανάλι επικοινωνίας τη δίνει ο σταθμός βάσης. Στα κανάλια αυτά, τα πακέτα δεδομένων μεταδίδονται σε διακριτές χρονικές περιόδους οι οποίες ονομάζονται «χρονικές σχισμές» (time slots). Υπάρχουν τρία είδη καναλιών στη μετάδοση των δεδομένων. Αυτά είναι τα :

- Κανάλι Ελέγχου (Control Channel)
- Κανάλι μεταφοράς δεδομένων από τον κινητό σταθμό προς το σταθμό βάσης (uplink data transfer channel)
- Κανάλι μεταφοράς δεδομένων από το σταθμό βάσης προς το κινητό σταθμό (downlink data transfer channel)

Το κανάλι ελέγχου εκπέμπει τα πακέτα του προς όλους τους κινητούς σταθμούς της κυψέλης που βρίσκονται. Τα σημαντικότερα στοιχεία των πακέτων αυτών είναι η κεφαλίδα (**header**) και ο πίνακας ανάθεσης δεδομένων (Data Assignment Table - **DAT**). Στη κεφαλίδα περιέχονται πληροφορίες σχετικές με τα διαθέσιμα κανάλια επικοινωνίας, καθώς και τις συχνότητες στις οποίες εκπέμπουν. Από τη πλευρά του ο πίνακας ανάθεσης δεδομένων, ενημερώνει για το ποιος κινητός σταθμός επιτρέπεται να λάβει και να εκπέμψει δεδομένα την επόμενη χρονική σχισμή. Ο κινητός σταθμός που έχει σειρά, χρησιμοποιεί το κατάλληλο κανάλι για να στείλει τα δεδομένα προς το σταθμό βάσης ενώ αν δεν έχει δεδομένα, επιστρέφει μια κενή απάντηση ώστε να συνεχίσει ο σταθμός βάσης με τον επόμενο κινητό σταθμό. Ανάλογα, ο κινητός σταθμός ενημερώνεται για το κανάλι από το οποίο θα λάβει δεδομένα, και αφού συντονιστεί σε αυτό γίνεται η μεταφορά τους.

6.2.2 Τεχνικές διαχείρισης απομωνωτών (*buffers*)

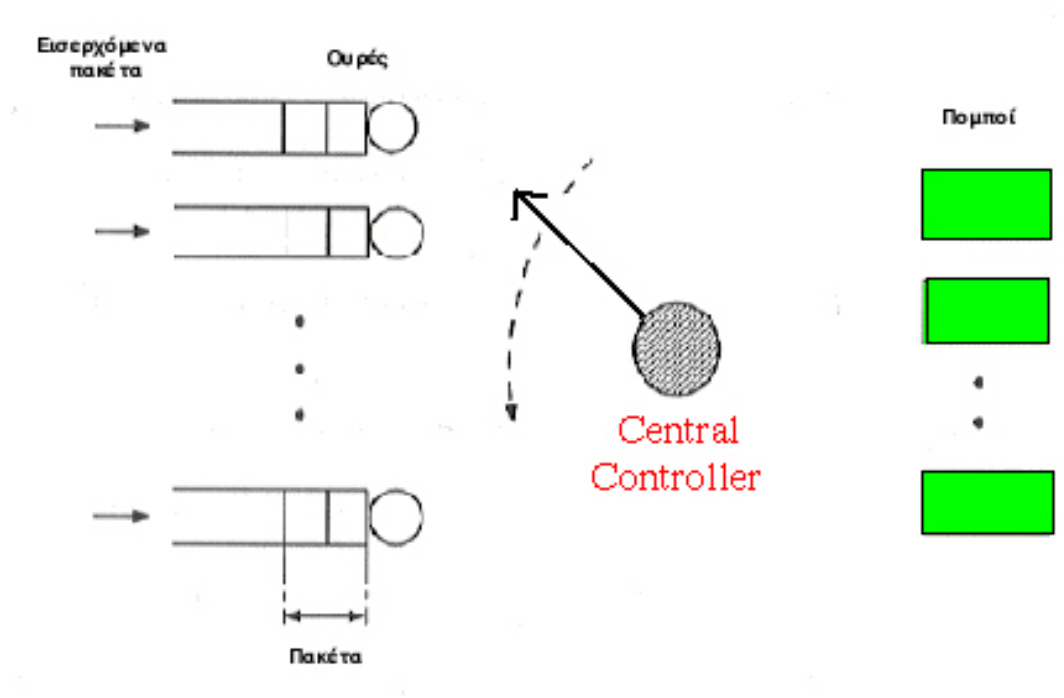
Ο κινητός σταθμός και ο σταθμός βάσης λαμβάνουν και εκπέμπουν πακέτα από δεδομένα. Αν ο κινητός σταθμός έχει έναν μόνο δέκτη, μπορεί να συντονιστεί σε ένα μόνο κανάλι και συνεπώς να λάβει πακέτα από τις χρονικές σχισμές στο συγκεκριμένο κανάλι. Τα πακέτα λοιπόν που καταφτάνουν στο σταθμό βάσης και που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς κινητούς σταθμούς, πρέπει να μπουν σε μια ουρά και να προωθούνται ένα κάθε φορά στο κατάλληλο κανάλι εκπομπής.

Οι τρόποι με τους οποίους τοποθετούνται στην ουρά τα εισερχόμενα πακέτα χωρίζονται στους :

- Κυκλική πολικότητα
- Διαχωρισμός Καναλιών
- Κράτηση

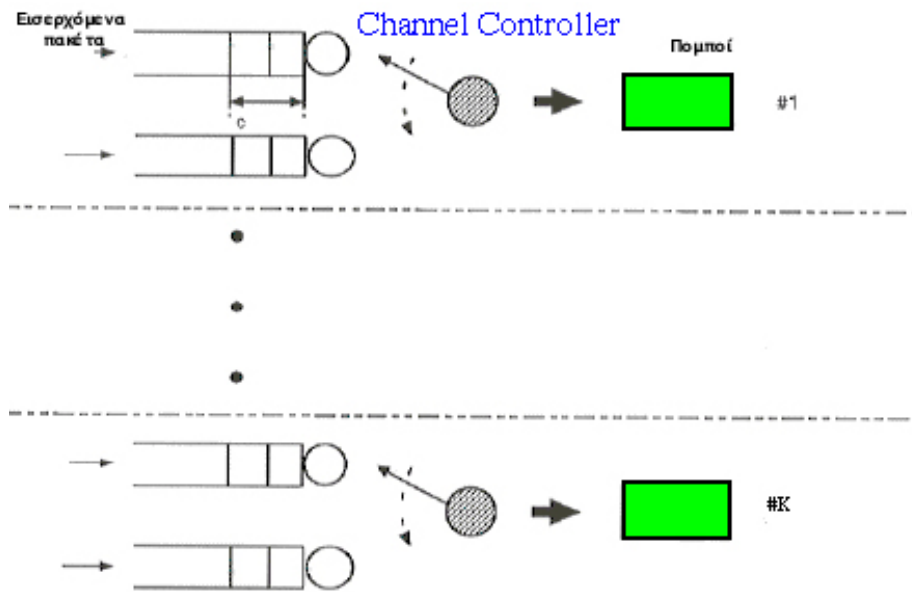
Στη κυκλική πολικότητα, υπάρχει ένας αριθμός από ουρές οι οποίες έχουν καθορισμένη χωρητικότητα. Κάθε κινητός σταθμός έχει τη δική του ουρά η οποία είναι ανεξάρτητη από αυτές των υπόλοιπων κινητών σταθμών.

Υπάρχει ένας αριθμός από πομπούς. Το σύστημα αυτό έχει ένα διακομιστή (channel controller) ο οποίος αρχικά ελέγχει την ουρά για τυχόν πακέτα. Αν υπάρχουν, τα αποστέλλει σε έναν από τους ελεύθερους πομπούς. Αν δεν υπάρχουν, προχωρά στην επόμενη ουρά. Επαναλαμβάνει συνεχώς τις προηγούμενες ενέργειες έως ότου έχει επισκεφθεί όλες οι ουρές ή δεν υπάρχουν ελεύθεροι πομποί. Τέλος, ο διακομιστής πηγαίνει στην πρώτη ουρά της επόμενης χρονικής σχισμής ώστε να επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία.



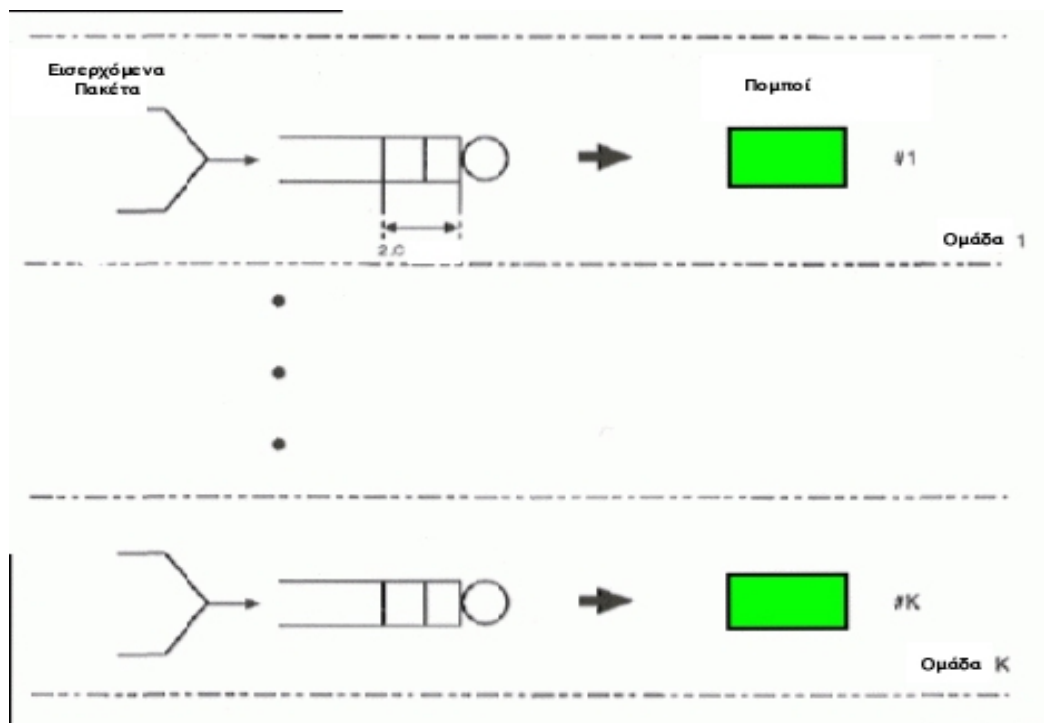
Γενική μορφή λειτουργίας Κυκλικής πολικότητας

Ο τρόπος λειτουργίας στη διαχώριση των καναλιών είναι παρόμοιος με τον παραπάνω. Εδώ, υπάρχουν περισσότεροι του ενός διακομιστές οι οποίοι λειτουργούν παράλληλα. Κάθε διακομιστής αντιστοιχεί και σε μια ομάδα από ουρές για τις οποίες και είναι υπεύθυνος. Επίσης, η κάθε ομάδα ουρών έχει το δικό της πομπό. Τα πακέτα που εισέρχονται στις ουρές μιας ομάδας, μπορούν να μεταφερθούν μόνο μέσω του αντίστοιχου πομπού. Οι ενέργειες των διακομιστών παραμένουν οι ίδιες με αυτές της κυκλικής πολικότητας.



Γενική μορφή λειτουργίας Διαχώρισης καναλιών

Στη μέθοδο της κράτησης, όπως και στη διαχώριση των καναλιών, οι πομποί είναι αποκλειστικοί σε ομάδες ουρών. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η κάθε ομάδα αποτελείται από μία και μόνο ουρά. Τα εισερχόμενα πακέτα λοιπόν θα τοποθετούνται στη μοναδική αυτή ουρά και συνεπώς η χωρητικότητά της θα είναι πολλαπλή από αυτή των δύο άλλων τεχνικών.



Γενική μορφή λειτουργίας Κράτησης

ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Παρακολουθήσαμε την εξέλιξη των κυψελοειδών δικτύων από αναλογικά σε ψηφιακά, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι διάφορες υπηρεσίες τους. Ήδη οι διάφορες εταιρίες υψηλής τεχνολογίας μελετούν τρόπους για την επιτυχή μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων επάνω από τα κυψελοειδή δίκτυα, άλλες φορές με μικρές μετατροπές και αλλαγές στην αρχιτεκτονική τους και άλλες φορές με ριζικές αλλαγές. Στόχος όλων, είναι να δοθεί η δυνατότητα στον απλό χρήστη να μπορεί με μια μικρή τερματική συσκευή, αλλά ταυτόχρονα ένα πανίσχυρο πολυεργαλείο, να χρησιμοποιεί όλες τις υπηρεσίες που του προσφέρουν τα τοπικά δίκτυα LAN και κατ' επέκταση το Internet, με τη μικρότερη δυνατή καθυστέρηση. Έτσι θα έχει επιτευχθεί ο αρχικός στόχος των κυψελοειδών δικτύων, δηλαδή η δυνατότητα μετακίνησης του χρήστη μέσα στο δίκτυο, κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Το περιβάλλον εργασίας, θα είναι πλέον οποιοδήποτε μέρος βρίσκεται ο χρήστης, χωρίς να περιορίζεται πλέον σε κάποιο γραφείο. Το βέβαιο είναι πάντως ότι στο προσεχές μέλλον οι εξελίξεις στα κυψελοειδή δίκτυα θα δώσουν νέα ώθηση στις τηλεπικοινωνίες και κατ' επέκταση στις σχέσεις μεταξύ των ανθρώπων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Mobile Cellular Telecommunications – Analog and digital Systems, Lee W.C.Y, McGraw – Hill
2. Cellular Communications for data Transmission, Flack M., Gronow M., NCC Blackwell Limited
3. Performance Analysis of Cellular Mobile Communication Systems for Data Transmission, Wang C, IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol 44, No.1, 1995
4. CDMA – Principles of Spread Spectrum Communication, Viterbi A.J, Addison – Wesley Wireless Communication Series
5. The Cellular Concept, V.H MacDonald, Bell System Technical Journal, vol 58
6. Handover criterion for Macro and Micro cellular systems, Atsushi Murase, Ian C Symington and Eddie Green, Proceedings of Vehicular Technology Conference, May 1991
7. Network Aspects of the GSM system, Jan Audestad. In EUROCON , June 1988
8. The pan-European system: GSM, D.M Balston, Artech House Boston 1993
9. Overview of the GSM system and protocol architecture, Moe Rahnema, IEEE Communications Magazine, April 1993
10. Telecommunication transmission systems, Robert G. Winch, McGraw – Hill, New York 1993

WEB SITES

1. http://www-dse.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/fjf/report.html
Σε αυτό το web site μπορεί κανείς να δει τα γενικά χαρακτηριστικά των κυψελοειδών δικτύων και τρόπους μετάδοσης δεδομένων και φωνής επάνω από κυψελοειδή δίκτυα.
2. <http://www.gsmdata.com/>
Σε αυτό το site παρουσιάζονται τρόποι και τεχνολογίες για τη μετάδοση πληροφοριών μέσω κυψελοειδών δικτύων, αλλά και πρόσβαση στο Internet μέσω κινητών συσκευών.
3. http://www-dse.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol1/pr4/article1.html
Αυτό το site παρέχει βασικές αρχές της λειτουργίας των κυψελοειδών δικτύων, ενώ έχει και ενδιαφέροντα σχεδιαγράμματα για την ευκολότερη κατανόηση ορισμένων όρων.
4. http://www-dse.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol2/fjf/article2.html
Αυτό το web site παρουσιάζει τρόπους πολλαπλής πρόσβασης στις χώρες της Ευρώπης μέσω του συστήματος GSM.

5. <http://ccnga.uwaterloo.ca/~jscouria/GSM/gsmreport.html>
Εδώ παρέχεται αναλυτική παρουσίαση της δομής και λειτουργίας του συστήματος GSM.
6. <http://www.pcsdata.com>
Το PCS σύστημα που χρησιμοποιείται κυρίως στις χώρες της Βορείου Αμερικής, αναλύεται και παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας του.
7. <http://www.pcsdata.com/3G.htm>
Σε αυτό το άρθρο, παρατίθενται οι εξελίξεις στο τομέα των ασύρματων τηλεπικοινωνιών με στόχο τη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες ταχύτητες πάνω από κυψελοειδή δίκτυα.
8. <http://winwww.rutgers.edu/pub/publications/PBList.html>
Πολύ καλή σελίδα με συνδέσμους σε paper σχετικών με τηλεπικοινωνίες
9. <http://search.ieice.or.jp/1998/files/e000b12.htm>
Άρθρα σχετικά με τις επικοινωνίες
10. <http://www.caasd.org/Papers/MTR/94W035/>
Εδώ μπορεί κανείς να δει τις αρχές λειτουργίας του συστήματος πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου.
11. http://thalia.spec.gmu.edu/~pparis/classes/notes_101/node3.html
Σε αυτό το site γίνεται επεξήγηση των μεθόδων πολλαπλής πρόσβασης
12. <http://www.whatis.com/cellular.htm>
Γενικό site στο οποίο μπορεί κανείς να βρει τις επεξηγήσεις των όρων των σχετικών με τα κυψελοειδή δίκτυα.