



## Πτυχιακή εργασία

Κινητή τηλεφωνία τρίτης γενιάς

Σπουδάστρια  
Δανδόλου Μαρία

Τμήμα  
Π.Σ.Ε. Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων Η/Υ

Επιβλέπων Καθηγητής  
Ε. Αντωνιάδης

Χανιά 20 Απριλίου 2005

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κεφάλαιο 1</b>	Εισαγωγή	
1.1	Ορολογία.....	1
<b>Κεφάλαιο 2</b>	Χαρακτηριστικά κινητής επικοινωνίας	
2.1	Συστήματα κινητών επικοινωνιών 1ης και 2ης γενιάς.....	3
2.2	Συστήματα κινητών επικοινωνιών 3ης γενιάς .....	15
<b>Κεφάλαιο 3</b>	Πρωτόκολλα και Τεχνολογία	
3.1	Προβλήματα διάδοσης .....	20
3.2	Θεμελιώδεις εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού για συστήματα κινητών επικοινωνιών .....	25
3.3	Πρότυπα και συστήματα κινητών επικοινωνιών .....	38
3.4	FDMA, TDMA και CDMA .....	38
3.5	Ψηφιακή μετάδοση σε αναλογικά συστήματα κινητής επικοινωνίας .....	40
3.6	Συστήματα αναζήτησης .....	41
3.7	Συστήματα κινητής υπηρεσίας δεδομένων .....	42
3.8	Συστήματα ψηφιακών κινητών τηλεφώνων .....	44
3.9	Προσωπική επικοινωνία και FPLMTS .....	50
<b>Κεφάλαιο 4</b>	Υποδομή δικτύου UMTS	
4.1	Εισαγωγή .....	51
4.2	Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS .....	52
4.3	Κορμός κυκλώματος μεταγωγής .....	53
4.4	Κορμός πακέτου μεταγωγής .....	61
4.5	Μελλοντικές εξελίξεις .....	73
<b>Κεφάλαιο 5</b>	Επίλογος	
5.1	Εισαγωγή .....	77
5.2	Μεταρρύθμιση τηλεπικοινωνιών στη Δυτική Ευρώπη .....	77
5.3	Κινητές επικοινωνίες ως δοκιμή για ενοποίηση δικτύου .....	80
5.4	Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα .....	86
	Βιβλιογραφία .....	87

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

#### **Οι βασικές τεχνολογικές έννοιες συστημάτων κινητών επικοινωνιών**

##### **1.1 ΟΡΟΛΟΓΙΑ**

Ειδικά σε σχέση με τεχνικά θέματα, είναι αποφασιστικής σημασίας όλοι οι συμμετέχοντες να χρησιμοποιούν την ίδια ορολογία (δηλαδή να αναφέρονται στις συγκεκριμένες οντότητες χρησιμοποιώντας τους ίδιους όρους). Πράγματι οι τηλεπικοινωνίες έχουν τέτοια σημασία ώστε διεθνείς φορείς προτύπων όπως ITU, ISO και IEC δημιούργησαν κοινές ομάδες εργασίας αποκλειστικά για το λεξιλόγιο όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Είναι συνεπώς επιτακτικό να προδιαγραφούν εδώ ουσιώδεις ορισμοί και όροι, ως ακολούθως :

##### **Σταθερή υπηρεσία**

Υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας μεταξύ προσδιοριζόμενων σταθερών σημείων

##### **Κινητή υπηρεσία**

Υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας μεταξύ κινητών και σταθμών ξηράς ή μεταξύ κινητών σταθμών.

##### **Σταθμός βάσης**

Σταθμός ξηράς στην κινητή υπηρεσία ξηράς

##### **Κινητός σταθμός**

Σταθμός στην κινητή υπηρεσία προς χρήση εν κινήσει ή κατά τις στάσεις σε μη προσδιοριζόμενα σημεία .

##### **Κινητός σταθμός ξηράς**

Κινητός σταθμός στην κινητή υπηρεσία ξηράς ικανός για επιφανειακή κίνηση μέσα σε γεωγραφικά όρια ξηράς ή ηπείρου.

##### **Κινητή υπηρεσία**

Υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας μεταξύ κινητών και σταθμών ξηράς ή μεταξύ κινητών σταθμών.

##### **Κινητή υπηρεσία ξηράς**

Κινητή υπηρεσία μεταξύ σταθμός βάσης και κινητών σταθμών ξηράς ή μεταξύ κινητών σταθμών ξηράς.

##### **Κινητή δορυφορική υπηρεσία ξηράς**

Κινητή δορυφορική υπηρεσία στην οποία κινητοί επίγειοι σταθμοί τοποθετούνται στην ξηρά.

### **Γεωστατικός δορυφόρος**

Σύγχρονος δορυφόρος του οποίου η κυκλική και ευθεία τροχιά βρίσκεται μέσα στο επίπεδο του ισημερινού της Γης και έτσι παραμένει σταθερή ως προς τη Γη.

### **Μονόδρομη λειτουργία**

Μέθοδος λειτουργίας στην οποία η μετάδοση γίνεται δυνατή εναλλακτικά σε μία κατεύθυνση καναλιού τηλεπικοινωνίας, για παράδειγμα, μέσω χειρισμού με τα χέρια.

### **Ημιαμφίδρομη λειτουργία**

Μέθοδος λειτουργίας στην οποία η μετάδοση είναι δυνατή στις δύο κατευθύνσεις, αλλά μόνο σε μία κατεύθυνση κάθε φορά.

### **Αμφίδρομη λειτουργία**

Μέθοδος λειτουργίας στην οποία η μετάδοση είναι δυνατή ταυτοχρόνως στις δύο κατευθύνσεις καναλιού τηλεπικοινωνιών.

### **Ορισμός και διαίρεση των επικοινωνιών**

Ο όρος επικοινωνίες όπως ήδη έγινε γνωστό και από την ιστορική εξέλιξη τους, είναι όρος γενικός, αναφερόμενος στις κοντινές και μακρινές (τηλέ) αποστάσεις των επικοινωνιών. Ο όρος αυτός έχει καθιερωθεί πολλές φορές να λέγεται τηλεπικοινωνία χρησιμοποιώντας τη δεύτερη από τις έννοιες, δηλ. τη μακρινή (τηλέ) επικοινωνία. Έτσι σε αυτή την έννοια περιέχεται και η έννοια της κοντινής αποστάσεως.

Σκοπός κάθε συστήματος επικοινωνίας είναι η μεταβίβαση πληροφοριών με οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό φορέα και για διάφορες αποστάσεις. Γενικότερα σκοπός των επικοινωνιών είναι η μετάδοση των πληροφοριών.

Έτσι ως τηλεπικοινωνία εννοούμε κάθε μεταβίβαση, εκπομπή ή λήψη σημάτων, σημείων, εγγραφών ανακοινώσεων, εικόνων, ήχου ή πληροφοριών.

Τηλεπικοινωνιακό σύστημα ονομάζεται κάθε φυσικό σύστημα κάθε επιτρεπτής φύσης που έχει σαν σκοπό την μεταβίβαση πληροφορίας από ένα σημείο στο άλλο. Τα φυσικά αντικείμενα που στέλνουν ή λαμβάνουν την πληροφορία είναι κάθε συνδυασμός ανά δύο, ανθρώπου ή μηχανής από το ένα μέρος και ανθρώπου και μηχανής από το άλλο. Τέτοιου είδους συστήματα είναι το τηλέφωνο, ράδιο, τηλεόραση και δορυφορικές συνδέσεις διαφόρων απομακρυσμένων περιοχών. Τηλεπικοινωνία ορίζεται σαν η διαδικασία με την οποία το σήμα πληροφορίας μεταδίδεται από ένα σημείο στο χώρο και χρόνο που καλείται πηγή σε ένα άλλο που ονομάζεται λήπτης.

### **Περαιτέρω θα δούμε**

Στο κεφάλαιο 2 θα δούμε τα χαρακτηριστικά της κινητής επικοινωνίας της πρώτης και δεύτερης γενιάς. Κατόπιν στο κεφάλαιο 3 θα δούμε τα διάφορα πρωτόκολλα της κινητής τηλεφωνίας. Ακολούθως στο κεφάλαιο 4 θα δούμε αναλυτικότερα για το UMTS και εφαρμογές. Τέλος θα δούμε συμπεράσματα των παραπάνω.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# Χαρακτηριστικά κινητής επικοινωνίας

## 2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΕΑΣ

### 2.1.1 Κυψελοειδής ραδιοεπικοινωνία

#### Η έννοια της κυψελοειδούς ραδιοεπικοινωνίας

Η έννοια της κυψελοειδούς κινητής τηλεφωνίας εξελίχθηκε ουσιαστικά γύρω από την ανάγκη να γίνει αποδοτικότερη χρήση του ραδιοφάσματος για να εξυπηρετήσει έναν ταχέως αυξανόμενο αριθμό χρηστών για υπηρεσίες κινητής επικοινωνίας. Σε αντίθεση με τα κινητά ραδιοσυστήματα, οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας διαφέρουν κατά το ότι λειτουργούν με πλήρως αμφίδρομο τρόπο που είναι πάντοτε συνδεδεμένες με το δημόσιο σταθερό δίκτυο μεταγωγής.

Η πρώτη εμπορική υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας στις Ηνωμένες Πολιτείες ιδρύθηκε το 1946 στο St. Louis του Missouri. Αυτά τα λεγόμενα προκυψελοειδή συστήματα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούσαν αρχιτεκτονική ευρείας επιφάνειας: ένας πολύ ισχυρός πομπός παρείχε κάλυψη 40-50 μιλίων γύρω από τον σταθμό βάσης, ο οποίος συνήθως βρισκόταν στο κέντρο μιας μητροπολιτικής περιοχής. Ωστόσο, αυτός ο σχεδιασμός συστήματος είχε μεγάλους περιορισμούς σε ό,τι αφορά τη χωρητικότητα, επειδή μόνο πολύ λίγα κανάλια ήταν διαθέσιμα για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες κινητών επικοινωνιών ολόκληρης πόλης. Το 1976, για παράδειγμα, η Bell Mobile παρείχε 12 κανάλια για ολόκληρη τη μητροπολιτική περιοχή της Νέας Υόρκης (άνω των 20 εκατομμυρίων κατοίκων) για να εξυπηρετήσει 543 πελάτες, με επιπλέον 3.700 σε λίστα αναμονής.

Από τη δεκαετία του 1930 έγινε εργασία για τη διευκόλυνση και βελτίωση των συστημάτων κινητών επικοινωνιών. Το 1947, οι μηχανικοί στα εργαστήρια Bell επινόησαν την ιδέα της κυψελοειδούς ραδιοεπικοινωνίας. Αντί να καθορίσει πομπό υψηλής ισχύος για την κάλυψη μεγάλης επιφάνειας (διαμέτρου 40-50 μιλίων), η κυψελοειδής ιδέα πρότεινε τη διαίρεση της ζώνης κάλυψης σε μικρότερους τομείς ή "κυψέλες", με καθεμιά εξυπηρετούμενη από πομπό χαμηλής ισχύος. Με μείωση των περιοχών κάλυψης και δημιουργία μεγάλου αριθμού μικρών κυψελών, κατέστη δυνατό να επαναχρησιμοποιείται η συχνότητα και έτσι να αυξάνεται ουσιαστικά η χωρητικότητα του συστήματος. Παρά ταύτα, δεν είναι εφικτό να χρησιμοποιούνται οι ίδιες συχνότητες σε γειτονικές κυψέλες, επειδή αυτά θα είχε ως αποτέλεσμα σοβαρή υποβάθμιση σήματος λόγω της ομοκαναλικής παρεμβολής. Ωστόσο, η έρευνα αποκάλυψε ότι τα προβλήματα παρεμβολής δεν συσχετίζονται με την απόλυτη απόσταση μεταξύ κυψελών, αλλά με τη σχέση της απόστασης μεταξύ κυψελών προς την ακτίνα των κυψελών. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των σχηματομορφών επαναχρησιμοποίησης που επεξηγούνται στο Σχ. 2.1. Πρέπει να τονιστεί ότι το εξαγωνικό σχήμα των κυψελών αντιπροσωπεύει μια απλοποίηση σε σύγκριση με το πραγματικό σχήμα κάλυψης σημάτων .

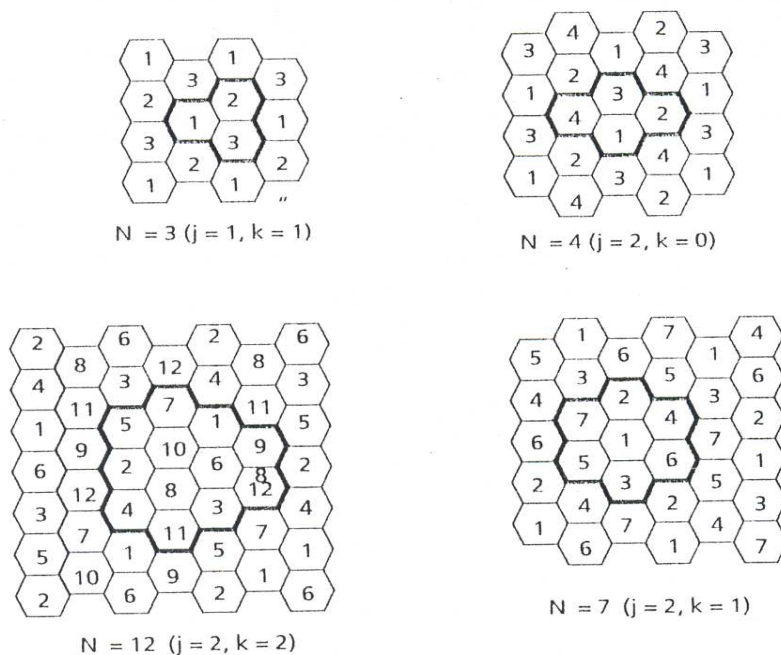
### **Η επέκταση των κυψελοειδών ραδιοσυστημάτων**

Το γεγονός ότι η ακτίνα της κυψέλης προσδιορίζεται από τη μεταδιδόμενη ισχύ και συνεπώς είναι μεταβλητή, δίνει τη δυνατότητα στον μηχανικό συστημάτων να μειώνει συνεχώς το μέγεθος κυψέλης και, κατά συνέπεια, να αυξάνει τη χωρητικότητα του συστήματος. Ειδικότερα, μείωση στην ακτίνα της κυψέλης κατά 50% έχει ως αποτέλεσμα τετραπλασιασμό του αριθμού κυκλωμάτων ανά MHz. Είναι σημαντικό να διαπιστώνεται ότι αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης κυψελών να ρυθμίζουν το σύστημα σε βάση επέκτασης (ή συρρίκνωσης) συνδρομητών, γεγονός που ήταν αδύνατο στα συστήματα προ των κυψελών.

Υπάρχουν τέσσερις συμβατικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να αυξηθεί η χωρητικότητα κυψελοειδούς συστήματος: προσθήκη καναλιών, διαμόρφωση κυψελών σε τομείς, δανεισμός καναλιών, και διαχωρισμός κυψελών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τεχνικές διαμόρφωσης σε τομείς και ο διαχωρισμός των κυψελών. Η διαμόρφωση σε τομείς αναφέρεται στην υποδιαίρεση κυψέλης, συνήθως σε 2 έως 6 τομείς, με συχνότητες επαναχρησιμοποιούμενες μέσα στους τομείς. Η διαμόρφωση σε τομείς πραγματοποιείται με ανάπτυξη κατευθυντικών κεραιών 180°, 120° ή 60°.

Εάν οι ζητήσεις κίνησης μέσα σε μια κυψέλη υπερβαίνουν τη χωρητικότητα, τότε η υπηρεσία του κυψελοειδούς συστήματος αρχίζει να υποβαθμίζεται (δηλαδή αυξάνει η πιθανότητα φραγής της δημιουργίας ή του τερματισμού κλήσεων). Σε τέτοιες περιπτώσεις, η κυψέλη θα πρέπει να υποδιαιρείται σε έναν αριθμό μικρότερων κυψελών, με πομπούς που έχουν ακόμη και χαμηλότερη ισχύ. Η παραπάνω περιγραφόμενη σχηματομορφή επαναχρησιμοποίησης θα μπορούσε τότε να εφαρμόζεται, αν και σε μικρότερη κλίμακα. Εάν είναι αναγκαίο, αυτές οι κυψέλες μπορούν να διαχωρίζονται πάλι για να λαμβάνονται ακόμη μικρότερες κυψέλες με ακτίνα μόνον 1-2 μίλια. Πράγματι, ο διαχωρισμός καναλιών δίνει στους μηχανικούς συστημάτων ένα ευέλικτο εργαλείο για να αυξάνουν τη χωρητικότητα όπου είναι ειδικότερα αναγκαία, και να χρησιμοποιούν μεγάλες κυψέλες (ακτίνας έως 20 μιλίων) για προαστικές περιοχές. Στην πράξη, ωστόσο, η δημιουργία μικρών κυψελών συσχετίζεται επίσης με διάφορα προβλήματα όπως η αυξημένη εμφάνιση ομοκαναλικής παρεμβολής και απωλειών σκίασης. Επιπλέον, ο διαχωρισμός κυψελών είναι επιχείρηση μεγάλης έντασης κεφαλαίου, επειδή πρέπει να αγοραστούν (συμπεριλαμβανομένου του οικοπέδου), να εγκατασταθούν και να συνδεθούν πολυάριθμοι νέοι πομποί. Μπορεί συνεπώς να προκύψει το συμπέρασμα ότι ο σχεδιασμός κινητού κυψελοειδούς συστήματος είναι πολύπλοκο έργο, το οποίο περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση αλληλοσυγκρουόμενων στόχων σχεδιασμού όπως κόστος, κάλυψη, ποιότητα υπηρεσίας και χωρητικότητα.

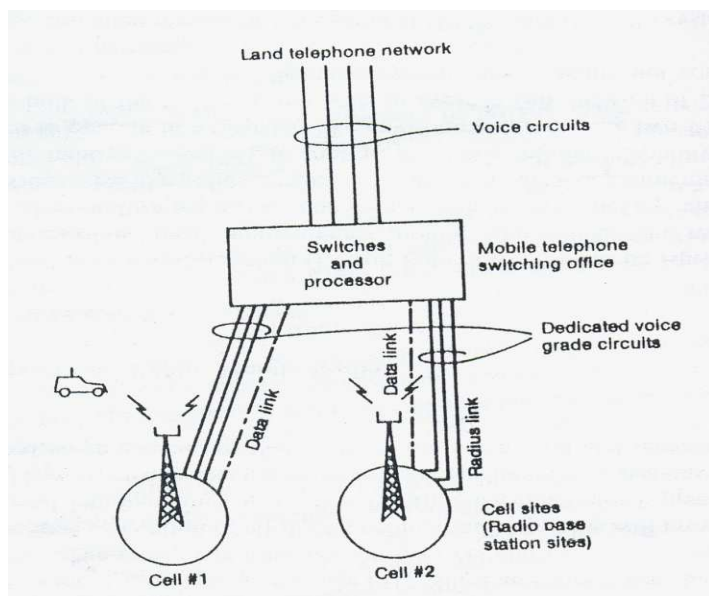
Μια εξ ολοκλήρου διαφορετική προσέγγιση για την αύξηση της χωρητικότητας κυψελοειδών συστημάτων βασίζεται στην ανάπτυξη και εξέλιξη ψηφιακών κυψελοειδών ραδιοσυστημάτων δεύτερης γενεάς. Η βασική τεχνολογία καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αμερικανικών και ευρωπαϊκών ψηφιακών κυψελοειδών συστημάτων εξετάζονται παρακάτω.



Σχήμα 2.1 Συνήθης σχηματομορφή επαναχρησιμοποίησης και εκχώρησης συχνότητας. Οι κυψέλες που περιέχουν τον ίδιο αριθμό χρησιμοποιούν το ίδιο σύνολο συχνοτήτων (Πηγή: Mundra, Singal, Kamal)

**Συστατικά στοιχεία του κυψελοειδούς ραδιοσυστήματος**

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.2, ένα βασικό κυψελοειδές σύστημα αποτελείται από τρία μέρη: μια κινητή μονάδα, μια θέση κυψέλης και μια μονάδα μεταγωγής κινητού τηλεφώνου (MTSO).



Σχήμα 2.2 Συστατικά στοιχεία κυψελοειδούς συστήματος (Πηγή: Lee)

### **Κινητές μονάδες**

Γενικά, μια κινητή μονάδα περιέχει ένα πομποδέκτη, μια μονάδα ελέγχου και ένα σύστημα κεραίας . Για να μπορούν να έχουν πρόσβαση όλα τα διαθέσιμα κανάλια, οι κινητές μονάδες πρέπει να είναι ευμετάβλητες ως προς τη συχνότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια σύνθετων συχνοτήτων. Υπάρχουν σήμερα τρεις κατηγορίες εξοπλισμού τελικού χρήστη: κινητές, φορητές μονάδες και μονάδες χειρός. Οι κινητές μονάδες σχεδιάζονται για μόνιμη εγκατάσταση σε όχημα, γι' αυτό θέματα όπως κατανάλωση ισχύος, βάρους και διαστάσεων έχουν μικρή σημασία. Η τάση στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη, ωστόσο, είναι προς ελαφρότερες, μικρότερες και με χαμηλότερη ισχύ συσκευές που μπορούν να μεταφέρονται παντού, όπως οι φορητές και οι μονάδες χειρός . Οι φορητές έχουν μεγαλύτερες μπαταρίες με αποτέλεσμα μεγαλύτερο χρόνο αναμονής και ομιλίας, αλλά βαρύτερο και μεγαλύτερο εξοπλισμό .

### **Τοποθεσίες κυψελών (σταθμοί βάσης)**

Η τοποθεσία κυψέλης παρέχει τη διεπαφή μεταξύ κινητών μονάδων και της MTSO. Αποτελείται από μονάδα ελέγχου και πομπό/δέκτη, ραδιοκαμπίνα και εγκατάσταση ρεύματος. Ο ελεγκτής τοποθεσίας κυψέλης διευθύνεται από τη MTSO και διαχειρίζεται κάθε ραδιοκάνάλι στους μηνύτορες της τοποθεσίας, καλεί και ελέγχει τις ραδιοζεύξεις και ζεύξεις δεδομένων.

### **Μονάδα μεταγωγής κινητής τηλεφωνίας (MTSO)**

Η MTSO είναι το κεντρικό συντονιστικό στοιχείο για όλες τις τοποθεσίες κυψέλης μέσα σε ένα σύστημα, και αποτελείται από τον κυψελοειδή επεξεργαστή και εφεδρικά συστήματα ισχύος καθώς και τον κυψελοειδή μεταγωγέα (αναλογικό ή ψηφιακό). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2 η MTSO έχει διεπαφή με την κεντρική μονάδα του δημόσιου δικτύου μεταγωγής και επιτελεί άλλες σημαντικές λειτουργίες όπως δραστηριότητες φόρτισης, συγχρονισμό δικτύου, δοκιμή/εντοπισμό σφάλματος, μέτρηση κίνησης και ποιότητας και διαχείριση δικτύου.

### **Συνδέσεις**

Η κινητή μονάδα και η τοποθεσία κυψέλης συνδέονται μέσω ραδιοζεύξεων, οι οποίες μεταφέρουν τα δεδομένα καθώς και τις πληροφορίες σηματοδότησης. Όπως φαίνεται στο Σχ. 2.2, υπάρχουν διάφορες επιλογές όταν γίνεται σύνδεση των τοποθεσιών κυψέλης με τη MTSO. Εάν ο απαιτούμενο αριθμός γραμμών που μεταφέρουν φωνή είναι χαμηλός, τότε συνήθως χρησιμοποιούνται μισθωμένα τετρασύρματα τηλεφωνικά κυκλώματα, αν και υψηλής ταχύτητας μετάδοση δεδομένων δεν μπορεί να περάσει από αυτές τις γραμμές. Με αυξανόμενες απαιτήσεις γραμμών, οι γραμμές  $T_1$  ή ψηφιακές  $T_1$  (DS1) γίνονται οικονομικά εφικτές. Μια ψηφιακή φέρουσα ΤΗ έχει το πλεονέκτημα ότι τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ τοποθεσίας κυψέλης και MTSO δεν χρειάζεται να μετατραπούν σε αναλογικά πριν από τη μετάδοση. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι να συνδέονται η τοποθεσία κυψέλης και η MTSO μέσω μετάδοσης μικροκυμάτων, η οποία είναι ικανή να παρέχει χωρητικότητα της τάξης πολλαπλών φερουσών ΤΗ. Η απόφαση ως προς τη χρήση μικροκυμάτων ή μισθωμένων γραμμών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από οικονομικές απόψεις.



### **Επεξεργασία κλήσης**

Η κυψελοειδής ραδιοεπικοινωνία επιτρέπεται σε καλούντα να φθάσει σε συγκεκριμένη κινητή μονάδα μέσω του δημόσιου δικτύου μεταγωγής. Κάθε κινητή μονάδα μπορεί να έχει πρόσβαση στο δημόσιο δίκτυο μεταγωγής μετά από θετική επαλήθευση του αριθμού ταυτότητας, τερματικού. Είναι επίσης δυνατό να γίνονται κλήσεις μεταξύ δύο κινητών μονάδων. Ένα πρόβλημα συσχετιζόμενο με το σχέδιο της κυψελοειδούς ραδιοεπικοινωνίας είναι το γεγονός ότι μια κλήση θα μπορούσε να μην ολοκληρώνεται κατά τον χρόνο που ένα όχημα φθάνει τα όρια μιας κυψέλης. Η πιθανότητα για τέτοιο συμβάν αυξάνει με το ελαττωμένο μέγεθος των κυψελών (διαχωρισμός κυψελών). Συνεπώς, το σχέδιο κυψελοειδούς ραδιοεπικοινωνίας έπρεπε να επεκταθεί έτσι ώστε να μπορεί να "μεταφέρει" μια κλήση από μία κυψέλη προς άλλη, χωρίς να διακόψει ή να απορρίψει τη διεξαγόμενη κλήση. Αυτή η διεργασία καλείται μεταπομπή και απαιτεί σταθερή παρακολούθηση της ποιότητας του σήματος καθώς και άλλων παραγόντων για να προσδιοριστεί όταν πρέπει να γίνει η μεταπομπή.

Ένα κυψελοειδές σύστημα περιλαμβάνει συνήθως διάφορες κυψέλες σε συγκεκριμένη περιοχή. Για να καλυφθεί μεγαλύτερη εδαφική επιφάνεια, διάφορα συστήματα μπορούν να αλληλοσυνδέονται για να σχηματίσουν μια αγορά. Είναι δυνατό ότι μια μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή μπορεί να αποτελείται από πολλές αγορές που λειτουργούν από διαφορετικούς παροχείς υπηρεσίας. Συνεπώς ο όρος "περιαγόμενος" περιγράφει το γεγονός ότι ένας χρήστης χρησιμοποιεί μια κινητή μονάδα έξω από τη δική του αγορά.

### **Μετάδοση δεδομένων**

Τα σημερινά ψηφιακά ραδιοσυστήματα, τα οποία μεταδίδουν δεδομένα μέσω αναλογικών καναλιών φωνής, έχουν σοβαρούς περιορισμούς σε σχέση με τις ικανότητές τους για χειρισμό δεδομένων. Ένα μείζον πρόβλημα είναι η διακοπή της μετάδοσης κατά τη διάρκεια μεταπομπής, η οποία θα μπορούσε να διαρκεί οπουδήποτε από 0,05-0,2 δευτερόλεπτα. Στη διεργασία μεταπομπής, το σήμα φωνής σβήνει, εξαλείφεται, και μια ριπή σημάτων μεταδίδεται για να εκπληρώσει τη μεταφορά από μία κυψέλη σε άλλη. Ενώ το φαινόμενο αυτής της διακοπής είναι αμελητέο για φωνητική επικοινωνία, μπορεί να διακόπτει τη μετάδοση δεδομένων και συνεπώς απαιτεί αποδιαμορφωτές με ουσιαστικές ικανότητες ανίχνευσης σφάλματος και επαναμετάδοσης .

Ένα άλλο θεμελιώδες εμπόδιο είναι το γεγονός ότι το σήμερα εφαρμοζόμενο πρότυπο FM δεν υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων άνω των 10 kbps. Ωστόσο, λόγω διάφορων παραγόντων που μειώνουν σημαντικά την ποιότητα της ραδιοζεύξης, η πραγματική διεκπεραίωση μειώνεται σε 1200 hps μόνο, κατά μέσον όρο. Επειδή χρησιμοποιείται ολόκληρο κανάλι φωνής για τη μετάδοση χαμηλών ρυθμών δεδομένων, η μετάδοση δεδομένων μέσω κυψέλης μπορεί να είναι δαπανηρή.

Όπως αναφέρεται παρακάτω, η νέα γενεά των εξ ολοκλήρου ψηφιακών κυψελοειδών ραδιοσυστημάτων θα δίνει σημαντικά βελτιωμένες ικανότητες χειρισμού δεδομένων. Μια διαφορετική τεχνολογική προσέγγιση για την επίτευξη ταχύτερης και φθηνότερης μετάδοσης δεδομένων μέσω αναλογικών κυψελοειδών συστημάτων είναι η πολυπλεξία αποκλειστικού καναλιού φωνής έτσι ώστε πολλαπλοί χρήστες να μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα.

## 2.1.2 Ιδιωτική και δημόσια κινητή ραδιοεπικοινωνία

### Η ιδέα της κινητής ραδιοεπικοινωνίας

Το πρώτο κινητό ραδιοσύστημα χώρας (αστυνομία του Detroit) τέθηκε σε εφαρμογή στις 7 Απριλίου 1928. Χάρη σε σειρά τεχνικών βελτιώσεων, η κινητή ραδιοεπικοινωνία σύντομα έγινε αξιόπιστη και αποδοτική ως προς το κόστος, γεγονός που με τη σειρά του οδήγησε ιδιωτικές εταιρείες όπως ταξί, μεταφορές και κατασκευαστικές και δημόσιες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης να δημιουργήσουν τα δικά τους κινητά ραδιοσυστήματα. Σε αντίθεση με την κινητή κυβελοειδή τηλεφωνία, η κινητή ραδιοεπικοινωνία προορίζεται να λειτουργεί σε περιβάλλον ταχύτητας, που απαιτεί αμφίδρομες εγκαταστάσεις στις οποίες ο όγκος της κίνησης προκύπτει με μέση διάρκεια κλήσης 20-30 δευτερολέπτων. Η μεγάλη πλειονότητα των κινητών ραδιοσυστημάτων σήμερα δεν συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο μεταγωγής.

Αυτά τα λεγόμενα ιδιωτικά ή συμβατικά (PMR) κινητά ραδιοσυστήματα, που περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και κινητές μονάδες, είναι σήμερα αναλογικά και λειτουργούν ως επί το πλείστον με μονόδρομο ή ημιαμφίδρομο τρόπο. Ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών και το είδος της παρεχόμενης υπηρεσίας, σε μια εταιρεία ή υπηρεσία μπορούν να εκχωρούνται ένα ή περισσότερα κανάλια είτε για κοινή είτε για αποκλειστική χρήση. Αυτό συνεπάγεται ότι όταν ο αποστολέας στέλνει μήνυμα σε μία κινητή μονάδα, όλες οι άλλες κινητές μονάδες θα λαμβάνουν το ίδιο μήνυμα.

Τα συμβατικά κινητά ραδιοσυστήματα έχουν λιγότερη φασματική απόδοση. Επειδή η εκχώρηση ραδιοκαναλιού είναι σταθερή δεν μπορεί να χρησιμοποιείται από άλλο σταθμό βάσης ή κινητή μονάδα για τη μετάδοση πληροφοριών, ακόμη και όταν δεν υπάρχει ανάγκη να σταλούν ή να ληφθούν δεδομένα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, τα λεγόμενα συγκαναλωμένα κινητά ραδιοσυστήματα χρησιμοποιούνται με αυξανόμενο ρυθμό. Η ιδέα της συγκανάλωσης, είναι ουσιαστικά περισσότερο φασματικά αποδοτική από τα συμβατικά συστήματα. Σε ένα συγκαναλωμένο σύστημα, ένας μεγαλύτερος αριθμός κινητών μονάδων μπορεί να λειτουργεί μέσα στο ίδιο φάσμα με υψηλότερη ποιότητα υπηρεσίας (πιθανότητα φραγής). Υπάρχουν κάποιες διαφορές σε σχέση με την ορολογία. Το FCC στις Ηνωμένες Πολιτείες διακρίνει τώρα τρεις τύπους συστημάτων που παρέχουν κινητές υπηρεσίες χώρας: συμβατικά κινητά ραδιοσυστήματα, αναζήτηση και ειδική κινητή ραδιοεπικοινωνία (SMR). Αντίθετα, οι περισσότερες ευρωπαϊκές εταιρείες PTT (ταχυδρομείων, τηλεγραφίας, τηλεφωνίας) διαφοροποιούν μεταξύ ιδιωτικής και δημόσιας κινητής ραδιοεπικοινωνίας ξηράς. Οι όροι "ιδιωτικής" και "συμβατικής" κινητής ραδιοεπικοινωνίας αναφέρονται στην ίδια διάρθρωση συστήματος και υπηρεσίας. Η δημόσια κινητή ραδιοεπικοινωνία και η SMR διαφέρουν κατά το ότι μόνον λίγοι κάτοχοι άδειας στην Ευρώπη επιτρέπεται να διατηρούν σε λειτουργία εθνικά δημόσια κινητά ραδιοσυστήματα, ενώ υπάρχουν πάνω από 3.000 φορείς SMR στις Ηνωμένες Πολιτείες που έχουν το δικαίωμα να παρέχουν ιδιωτικές κινητές ραδιοϋπηρεσίες χώρας σε εμπορική βάση.

### **Μετάδοση δεδομένων**

Τα ιδιωτικά κινητά ραδιοσυστήματα και SMR είναι πλήρως ικανά να υποστηρίξουν μεταδόσεις χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Πολλά κινητά ραδιοσυστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα για να στέλνουν οδηγίες από κέντρο αποστολής (σταθμό βάσης) προς την κινητή μονάδα, ακολουθούμενες από σύντομη αναγνώριση λήψης από την κινητή μονάδα προς τον σταθμό βάσης. Πράγματι, φαίνεται ότι για τέτοιες συναλλαγές η ανταλλαγή δεδομένων είναι περισσότερο ασφαλής και φασματικά αποδοτική, και έτσι λιγότερο δαπανηρή από τις φωνητικές επικοινωνίες. Η εταιρεία κίτρινων ταξί στον Άγιο Φραγκίσκο, για παράδειγμα, άλλαξε από κινητή ραδιοεπικοινωνία φωνής σε επικοινωνία δεδομένων για την υπηρεσία αποστολής της. Λόγω της αυξημένης φασματικής απόδοσης συγκαταλαμβανόμενων κινητών δικτύων δεδομένων, η εταιρεία χρειάζεται λιγότερα ραδιοκάναλια, γεγονός που κάνει την εξυπηρέτηση φθηνότερη. Επιπλέον, η διεύθυνση του πελάτη είναι τυπωμένη σε οθόνη, γεγονός που μειώνει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα παρανόησης.

### **Προωθημένα κινητά ραδιοσυστήματα**

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις συνδέονται με περαιτέρω βελτίωση της φασματικής απόδοσης και της ποιότητας υπηρεσίας. Η διαθεσιμότητα φθηνών μικροεπεξεργαστών και πολλών VLSI έφερε σημαντικές προόδους στην κινητή ραδιοεπικοινωνία όπως επιλεκτική διευθυνσιοδότηση, σηματοδότηση, σύνθεση συχνοτήτων και άλλες ευκολίες. Συνεπώς, τα τελευταία ιδιωτικά κινητά ραδιοσυστήματα είναι πλήρως ψηφιακά συγκαταλαμβανόμενα συστήματα που παρέχουν αμφίδρομες υψηλής ποιότητας ψηφιακές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.

#### **2.1.3 Δίκτυα κινητής ραδιοεπικοινωνίας δεδομένων**

Τα αποκλειστικά συστήματα κινητής ραδιοεπικοινωνίας δεδομένων βελτιστοποιούνται για να παρέχουν περισσότερο δεδομένα παρά φωνή, επικοινωνίες σε οργανισμούς υπηρεσιών πεδίου. Με βάση την ψηφιακή τεχνολογία, τα ραδιοδίκτυα δεδομένων (RDN) προορίζονται να λειτουργούν ως δημόσια δίκτυα παρέχοντας σχεδόν εθνικής έκτασης κάλυψη. Τα συστήματα κινητής επικοινωνίας δεδομένων εφαρμόζουν τεχνολογίες πακέτων μεταγωγής και μεταδίδουν δεδομένα με ρυθμούς μεταξύ 4.800-19.200 kbps. Ωστόσο, δεδομένης της επιβάρυνσης για λειτουργίες όπως τυχαία πρόσβαση και διόρθωση σφαλμάτων, η πραγματική διεκπεραιωτικότητα κυμαίνεται από 2.048-8.000 kbps. Τα RDN έχουν υψηλή φασματική απόδοση λόγω της χρήσης τεχνικών κατανεμημένης νοημοσύνης, επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων μέσω κυψελοειδούς διαίρεσης, αυτόματης περιαγωγής και συγκατάληψης.

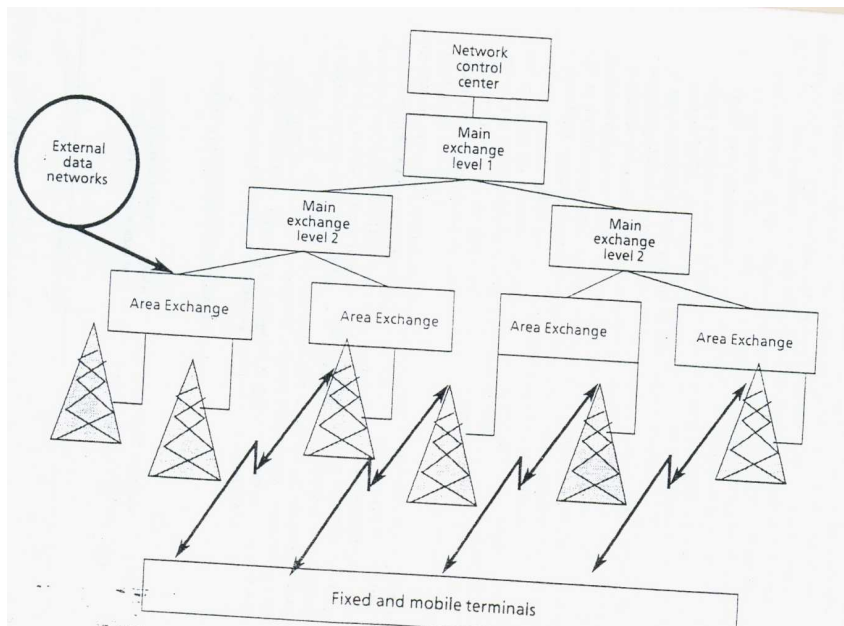
Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3 τα δίκτυα κινητής επικοινωνίας δεδομένων έχουν αρχιτεκτονική τεσσάρων επιπέδων αποτελούμενη από σταθμούς βάσης, κέντρα περιοχών, κύρια κέντρα, και ένα ή περισσότερα κέντρα ελέγχου δικτύου. Οι υπολογιστές ή τα τερματικά του πελάτη συνδέονται στη στάθμη κέντρου περιοχής με χρήση είτε μισθωμένων γραμμών / ιδιωτικών δικτύων είτε δημόσιων δικτύων δεδομένων όπως X.25.

Ως άμεσο αποτέλεσμα της κατανεμημένης νοημοσύνης του δικτύου, λιγότερες πληροφορίες πρέπει να ανταλλάσσονται μεταξύ των ιεραρχιών. Αυτό εξασφαλίζει υψηλότερη γενική επίδοση του συστήματος (λιγότερη επιβάρυνση) και αυξημένη αξιοπιστία. Το γεγονός ότι ο σταθμός βάσης πληροφορεί αυτομάτως την υψηλότερη στάθμη δικτύου εάν μια κινητή μονάδα εισέρχεται σε νέα κυψέλη, δίνει τη δυνατότητα στο σύστημα να εντοπίζει συγκεκριμένη μονάδα οπουδήποτε μέσα στα σύνορά του. Ανάλογα με τη διάρθρωση υλικού και λογισμικού, το εύρος των δυνατών εφαρμογών κλιμακώνεται από απλή αποστολή μηνυμάτων (παρόμοια με τις ικανότητες διαχείρισης δεδομένων των δικτύων SMR) έως πλήρη ενσωμάτωση κινητών μονάδων σε σύστημα υπολογιστών μιας εταιρείας .

#### 2.1.4 Ραδιοαναζήτηση

Σε αντίθεση με τα παραπάνω περιγραφόμενα συστήματα, η ραδιοαναζήτηση γενικά υποστηρίζει μόνο μονόδρομη μετάδοση μηνυμάτων. Ο σκοπός του συστήματος ραδιοαναζήτησης είναι είτε να στέλνει σύντομη οδηγία σε μέλη του προσωπικού σχετικά με την οποία μπορούν να ενεργούν ή, συνηθέστερα, να ειδοποιεί απλώς ένα πρόσωπο ότι θα πρέπει να έλθει σε επαφή με από πριν γνωστή εσωτερική ενσύρματη τηλεφωνική σύνδεση. Διαφορετικά από ό,τι στα ιδιωτικά συστήματα αναζήτησης, η αναζήτηση σε ευρεία περιοχή (ή δημόσια αναζήτηση) εξελίχθηκε από την ανάγκη χρηστών να έρχονται σε επαφή με προσωπικό, ακόμη και αν αυτό δεν βρίσκεται στην άμεση γειτονιά των θέσεων εργασίας του. Η ιδέα της επέκτασης της περιοχής συστήματος αναζήτησης για να καλύψει τοπική ή μητροπολιτική περιοχή εισήχθη για πρώτη φορά το 1936 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα αρχικά συστήματα ήταν σε μεγάλο βαθμό αποκλειστικές λύσεις, οι οποίες με τη σειρά τους οδήγησαν στην ανάπτυξη μη συμβατών συστημάτων αναζήτησης . Κατά τη δεκαετία του 1970, η Βρετανική Ταχυδρομική Υπηρεσία ξεκίνησε διαδικασία τυποποίησης μορφοτύπων κώδικα και σηματοδότησης, η οποία οδήγησε στην εφαρμογή του λεγόμενου κώδικα POCSAC (Συμβουλευτικής Ομάδας Τυποποίησης Κώδικα Ταχυδρομικής Υπηρεσίας). Ο κώδικας POCSAC διεθνοποιήθηκε με την αναγνώριση της CCIR το 1981.

Πράγματι, όλες οι βιομηχανοποιημένες χώρες με εξαίρεση της Ιαπωνίας χρησιμοποιούν συστήματα ραδιοαναζήτησης με βάση την POCSAC. Οι συσκευές αναζήτησης κατατάσσονται, ανάλογα με τη λειτουργικότητά τους, σε τονικές μόνον, αριθμητικές και αλφαριθμητικές συσκευές αναζήτησης. Ένα μήνυμα που στέλνεται σε τονική μόνον συσκευή αναζήτησης θα προκαλέσει την παραγωγή ακουστού τόνου από τη συσκευή. Οι αριθμητικές συσκευές αναζήτησης δίνουν τη δυνατότητα της μετάδοσης αριθμών (συνήθως τηλεφωνικών αριθμών), οι οποίοι κατόπιν εμφανίζονται σε οθόνη LCD συσκευής αναζήτησης, ενώ οι αλφαριθμητικές συσκευές αναζήτησης είναι ικανές να λαμβάνουν αναγνώσιμα μηνύματα κειμένου διαφόρων μηκών. Πρόσφατα, αναπτύχθηκαν συσκευές αναζήτησης δεδομένων που επιτρέπουν σε φορητούς υπολογιστές και υπολογιστές τύπου σημειωματαρίου να λαμβάνουν εκπεμπόμενα σήματα και τηλεομοιότυπα μέσω συμβατικών δικτύων αναζήτησης.



Σχήμα 2.3 Η δομή του δικτύου Mobitex

### 2.1.5 Ασύρματη τηλεφωνία

#### Εισαγωγή

Τα ασύρματα τηλέφωνα προωθήθηκαν αρχικά για αντικατάσταση των ενσύρματων τηλεφώνων μέσα σε κτίρια. Με άλλα λόγια, ένα ασύρματο τηλέφωνο χρησιμοποιεί ραδιοζεύξη χαμηλής ισχύος (μερικά χιλιοστοβάτ), μια ασύρματη επέκταση του σύρματος ενσύρματης τεχνολογίας πρόσβασης κέντρου. Σε αντίθεση με τα παραπάνω περιγραφόμενα συστήματα ευρείας περιοχής ή εκτός τοποθεσίας, ο όρος ασύρματο περιγράφει παραδοσιακά τεχνολογίες που λειτουργούν επιτόπια ή σε εσωτερικούς χώρους. Δεδομένης της πολύ χαμηλής ισχύος του πομπού, τα ασύρματα τηλέφωνα είναι χρησιμοποιήσιμα μόνο μέσα σε περιορισμένη εμβέλεια γύρω από τον σταθμό βάσης. Η χαμηλή κατανάλωση ισχύος καθιστά δυνατή την εξασφάλιση αρκετών ωρών /ημερών ομιλίας /χρόνου αναμονής, διευκολύνοντας συγχρόνως μικρό και ελαφρό σχεδιασμό. Με βάση την κύρια ιδέα των ραδιοζεύξεων χαμηλής ισχύος, σήμερα αναπτύσσονται καινοτομικές νέες εφαρμογές και υπηρεσίες που περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο.

#### Ασύρματο τηλέφωνο

Ένα σύστημα ασύρματου τηλεφώνου περιλαμβάνει έναν σταθμό βάσης και υποστηρίζει μόνο μία χειροσυσκευή. Η χειροσυσκευή προορίζεται να χρησιμοποιείται μόνο με έναν ιδιαίτερο σταθμό βάσης και η κάλυψη του συστήματος περιορίζεται σε 100-300 πόδια. Δεδομένης της δημοτικότητας ασύρματων τηλεφώνων στις Ηνωμένες Πολιτείες, και σε μικρότερη έκταση στην Ευρώπη, τα προβλήματα ομοκαναλικής παρεμβολής γίνονται με αυξανόμενο ρυθμό διεισδυτικά.

Οι προσπάθειες βελτίωσης της κατάστασης στις Ηνωμένες Πολιτείες επικεντρώνονται βασικά γύρω από την εκχώρηση περισσότερου φάσματος (δηλαδή παροχή περισσότερων ραδιοκαναλιών που μπορούν να προσπελάζονται από ασύρματα τηλέφωνα με ταυτόχρονη διατήρηση της τρέχουσας τεχνολογίας). Αντίθετα, υπάρχουν σημαντικές δραστηριότητες καθ' οδόν στην Ευρώπη για τη δημιουργία νέων προτύπων για βελτιωμένα πολυκάναλα αναλογικά και ψηφιακά ασύρματα τηλέφωνα. Θα πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι η ανάπτυξη τέτοιων προηγμένων προτύπων προωθείται περισσότερο από τις τεχνικές απαιτήσεις νέων εφαρμογών και υπηρεσιών όπως τα ασύρματα συστήματα PBX και οι τηλεσταθμοί παρά με την πρόθεση της βελτίωσης των ασύρματων συστημάτων με μία μόνο μονάδα βάσης.

### **Ασύρματο συνδρομητικό κέντρο**

Σήμερα, οι ανάγκες ενσύρματων επικοινωνιών μιας εταιρείας εξυπηρετούνται ουσιαστικά είτε από ιδιωτικά συνδρομητικά κέντρα (PBX) ή Centrex. Ένα σύστημα PBX είναι ένα κέντρο που συνδέει συσκευές τηλεφώνου και δεδομένων σε εγκαταστάσεις της εταιρείας μεταξύ τους και με το σταθερό δημόσιο δίκτυο. Το Centrex παρέχει υπηρεσίες όπως το PBX αφιερώνοντας μέρος της χωρητικότητας μεταγωγής του κεντρικού γραφείου (CO) σε συγκεκριμένη εταιρεία (δηλαδή πελάτη). Σε αντίθεση με το Centrex που απαιτεί κάθε συσκευή τηλεφώνου και δεδομένων να συνδέεται με το CO, ένα σύστημα PBX συνήθως συνδέει όλα τα τηλέφωνα επιτόπου. Επειδή μόνο ένα μικρό ποσοστό όλων των έτσι συνδεδεμένων τηλεφώνων χρησιμοποιούνται συγχρόνως, ένα σύστημα PBX μπορεί να μειώσει ουσιαστικά τον αριθμό των γραμμών που μια εταιρεία πρέπει να μισθώνει από την τοπική τηλεφωνική εταιρεία.

Ανεξάρτητα από το εάν μια εταιρεία χρησιμοποιεί σύστημα Centrex ή PBX, κάθε τηλέφωνο έχει σταθερή θέση. Η περιοχή χρήσης του τηλεφώνου περιορίζεται από το μήκος του σύρματος. Βάσει της επιτυχίας των ασύρματων τηλεφώνων για οικιακή χρήση, έγινε σκέψη ότι υπάρχει κάποια ζήτηση για κινητικότητα μέσα σε χώρο εργασίας, δηλαδή για ασύρματα συνδρομητικά κέντρα (WPBX). Εκτός από το πλεονέκτημα της αυξημένης κινητικότητας, υπάρχουν διάφορα άλλα μη απτά πλεονεκτήματα συσχετιζόμενα με τη χρήση συστημάτων WPBX, όπως αύξηση στην παραγωγικότητα λόγω της αποφυγής επεκτάσεων τηλεφώνων καθώς και η δυνατή χρήση της ασύρματης υποδομής για τη μετάδοση δεδομένων. Περισσότερο απτές θεωρήσεις περιλαμβάνουν εξοικονομήσεις χρημάτων για αρχική συρμάτωση καθώς και πρόσθετο κόστους που προκύπτει από προσθήκες και αλλαγές κατά την ωφέλιμη ζωή του συστήματος PBX. Επιπλέον, ένα WPBX εξαλείφει την ανάγκη για επιτόπια εγκατάσταση αναζήτησης.

Μειονεκτήματα από τη χρήση συστημάτων WPBX μπορούν να προκύψουν από την προβληματική κατάσταση διάδοσης μέσα σε κτίρια. Μέσα σε τέτοια κατάσταση είναι δύσκολο να επιτευχθεί υψηλής ποιότητας μετάδοση χωρίς παρεμβολές. Μια άλλη ανησυχία είναι η αξιοπιστία αυτής της νέας τεχνολογίας κατά τις λειτουργίες στην πράξη, συμπεριλαμβανομένων των θεμάτων όπως η επάρκεια της χωρητικότητας της μπαταρίας. Φαίνεται επίσης σημαντικό να εξεταστεί περαιτέρω η δυνατότητα εφαρμογής των WPBX στο πλαίσιο του διαχειριστικού περιβάλλοντος (δηλαδή πόσο αποδιοργανωτικό ή αντιπαραγωγικό είναι όταν, για παράδειγμα, μπορεί να γίνεται επικοινωνία με τους υπαλλήλους όταν αυτοί βρίσκονται σε σύσκεψη).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα σημερινά ασύρματα τηλέφωνα είναι ικανά να υποστηρίζουν μόνο μία χειροσυσκευή ανά σταθμό βάσης. Ενώ αυτό μπορεί να είναι αρκετό για οικιακή χρήση και μικρές επιχειρήσεις, παρουσιάζει απαράδεκτο περιορισμό για χρήση σε περιβάλλον γραφείου. Επιπλέον, τα περιβάλλοντα γενικά απαιτούν ένα σύστημα όχι μόνον για τον χειρισμό χωρητικότητας υψηλής κίνησης με φασματικά αποδοτικό τρόπο, αλλά επίσης για να εξασφαλίζει ποιότητα φωνής συγκρίσιμη με τα ενσύρματα τηλέφωνα. Για να ικανοποιηθούν οι διάφορες τεχνικές απαιτήσεις και ανάγκες της αγοράς, σήμερα αναπτύσσονται διάφορα σχέδια συστημάτων. Τα δύο κριτήρια που διαφοροποιούν τα συστήματα WPBX είναι ο αριθμός των κυψελών (μονοκυψελικά σε σχέση με πολυκυψελικά) και η ικανότητα να πραγματοποιούνται μεταπομπές. Το απλούστερο WPBX είναι μονοκυψελικό σύστημα χωρίς δυνατότητα να πραγματοποιεί μεταπομπή. Συνεπώς, όλες οι κινητές μονάδες πρέπει να βρίσκονται μέσα στην ενεργό εμβέλεια του πολυγραμμικού σταθμού βάσης. Ο αριθμός των χειροσυσκευών που μπορούν να υποστηρίξονται εξαρτάται απόλυτα από τη χωρητικότητα κίνησης, τον απαιτούμενο βαθμό εξυπηρέτησης (πιθανότητα φραγής) και τον αριθμό των εξερχόμενων γραμμών.

Ένας τρόπος για να παρασχεθούν ικανοποιητικές υπηρεσίες με υψηλή πυκνότητα περιβάλλοντος γραφείου είναι η "διαίρεση" του κτιρίου του πελάτη σε πολύ μικρές κυψέλες, που είναι γνωστές ως πικοκυψέλες, με έναν πολυγραμμικό σταθμό βάσης σε κάθε κυψέλη. Το σύστημα είναι φασματικά αποδοτικό επειδή η κυψελοειδής διάταξη επιτρέπει επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και στις τρεις διαστάσεις. Κάθε χειροσυσκευή μπορεί να έχει πρόσβαση σε διάφορους σταθμούς βάσης ενός πικοκυψελικού WPBX.

Σε πολυκυψελικό WPBX χωρίς μεταπομπή (WPBX σύμφωνα με το μη βελτιωμένο ευρωπαϊκό πρότυπο CT2), ένας χρήστης μπορεί να αρχίζει και να δέχεται κλήσεις σε ολόκληρο το κτίριο αλλά δεν μπορεί να αφήσει μια κυψέλη αφού έχει αποκατασταθεί μια κλήση (καμία μεταπομπή). Συνεχής κάλυψη εξασφαλίζεται με το να επιτρέπεται υπερκάλυψη των γειτονικών κυψελών. Σε αντίθεση με το παραπάνω περιγραφόμενο σύστημα, το πολυκυψελικό WPBX για μεταπομπή (WPBX σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο DECT) επιτρέπει στον χρήστη να μετακινείται σε όλες τις κυψέλες ενώ μια κλήση βρίσκεται σε εξέλιξη. Τέτοιο σύστημα απαιτεί τη χρήση ελεγκτή κυψελών τοποθετημένου μεταξύ PBX και σταθμών βάσης, επειδή το σύστημα PBX το ίδιο δεν έχει μέσα να πραγματοποιήσει διαδικασία μεταπομπής.

### **Ασύρματο τοπικό δίκτυο**

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) χρησιμοποιεί ραδιοεπικοινωνία χαμηλής ισχύος για να προσφέρει κινητές υπηρεσίες δεδομένων μέσα σε κτίρια. Επιπλέον, υπάρχουν προϊόντα που χρησιμοποιούν υπέρυθρο φως για να μεταδώσουν και να λάβουν δεδομένα, ενώ τα LAN υπέρυθρων δεν είναι επιρρεπή σε ηλεκτρική παρεμβολή, είναι ευαίσθητα σχετικά με την απόσταση και απαιτούν σύνδεση με οπτική επαφή. Η συχνότητα του υπέρυθρου φωτός βρίσκεται αρκετές τάξεις μεγέθους πάνω από το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, γεγονός για το οποίο δεν εξετάζεται περαιτέρω σ' αυτό το βιβλίο. Τα συνήθη προϊόντα WLAN προσφέρουν χαμηλούς, μέσους και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (1200 bps έως 10 Mbps). Υπάρχουν δύο κύριες αιτιολογήσεις για την ανάπτυξη των WLAN. Όπως τα WPBX, τα WLAN μπορούν να είναι ικανά να παρέχουν φθηνή, αισθητικά προτιμότερη σύνδεση μεταξύ διάφορων συστημάτων υπολογιστών. Ωστόσο, αντί να αντικαθιστούν απλώς το ενσύρματο δίκτυο τα WLAN είναι ικανά να παρέχουν αμφίδρομες υπηρεσίες δεδομένων για περιβάλλοντα που δεν προσφέρονται εύκολα για σταθερές ζεύξεις δεδομένων (π.χ. αποθήκες εμπορευμάτων).

Συνεπώς, τα WLAN έχουν σε κάποια έκταση, το δυναμικό να αντικαθιστούν εργασίες και εφαρμογές που κινούνται από χαρτί με πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο κινούμενες από δεδομένα, γεγονός που με τη σειρά του θα μπορούσε να οδηγήσει σημαντικά επιμελής κέρδη παραγωγικότητας.

### **Τηλεσταθμός**

Η ιδέα του τηλεσταθμού που αναπτύχθηκε στη Βρετανία, χρησιμοποιεί προηγμένες ασύρματες τεχνολογίες για να παρέχει πρόσβαση στο δημόσιο δίκτυο μεταγωγής. Οι τηλεσταθμοί είναι πολυκαναλικοί πολυγραμμικοί σταθμοί βάσης που συνήθως βρίσκονται σε θέσεις όπου συγκεντρώνεται κόσμος όπως ζώνες πεζών, αεροδρόμια και σταθμοί σιδηροδρόμου ή μετρό. Φαίνεται ότι οι τεχνολογικές εξελίξεις καθώς και η τυποποίηση διάφορων πρωτοκόλλων περιορίζονται κυρίως στην Ευρώπη.

Στην αρχική τους πραγματοποίηση, οι τηλεσταθμοί δεν υποστηρίζουν μεταπομπή και επιτρέπουν μόνο σε έναν χρήστη να ξεκινήσει –αλλά όχι να λάβει– κλήσεις. Διαφορετικά από άλλες δημόσιες υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών ξηράς (κυψελοειδής τηλεφωνία, αναζήτηση PMR), οι τηλεσταθμοί δεν παρέχουν συνεχή ή σχεδόν συνεχή κάλυψη, που σημαίνει ότι ο χρήστης πρέπει να βρει ένα σταθμό βάσης και να παραμείνει μέσα στην κάλυψη του τηλεσταθμού (100-300 πόδια) κατά τη διάρκεια της κλήσης. Υπάρχουν τρεις θεμελιωδώς διαφορετικές προσεγγίσεις για τη σύνδεση τηλεσταθμών με τα δημόσια δίκτυα μεταγωγής: αυτόνομη δομή, μέσω δομής δικτύου επικάλυψης και μέσω δομής νοήμονος δικτύου (IN).

Στην περίπτωση της αυτόνομης λύσης, οι τηλεσταθμοί έχουν άμεση πρόσβαση στο δημόσιο δίκτυο μεταγωγής. Δεδομένα που απαιτούνται για παρακολούθηση, συντήρηση και ειδικότερα χρέωση αποθηκεύονται τοπικά και μεταδίδονται μέσω διαποδιαμορφωτή κατά τις νυκτερινές ώρες όταν ο όγκος κίνησης είναι χαμηλός. Επειδή δεν μπορούν όλοι οι προσωπικοί αριθμοί αναγνώρισης (PIN) εξουσιοδοτημένων χρηστών τηλεσταθμών να αποθηκευτούν μέσα στον σταθμό βάσης, θα διατηρείται μόνο ένας κατάλογος γνωστών χρηστών των οποίων δεν γίνεται δεκτή η πρόσβαση στο σύστημα. Ενώ αυτή η προσέγγιση δεν ευνοεί τηλεφωνικές εταιρείες (PTT, RBOC κ.λπ.), μέσω ιδιωτικών φορέων υπηρεσιών, παρέχει μόνο χαμηλή στάθμη προστασίας έναντι απάτης.

Σε αντίθεση με την αυτόνομη λύση, η προσέγγιση του δικτύου επικάλυψης δεν παρέχει άμεση πρόσβαση δικτύου στον τηλεσταθμό. Τοποθετημένος μεταξύ του σταθμού βάσης και του δικτύου υπάρχει ένας ενδιάμεσος τερματικός μεταγωγέας. Πληροφορίες σχετικά με έγκριση, χρέωση, παρακολούθηση και έλεγχο του δικτύου μεταδίδονται μέσω χωριστού δικτύου πακέτων μεταγωγής (X25), ενώ η φωνητική κίνηση διοχετεύεται μέσω αναλογικών γραμμών προς το δημόσιο δίκτυο μεταγωγής. Τα δίκτυα επικάλυψης εξασφαλίζουν αξιόπιστη επαλήθευση της εξουσιοδότησης του χρήστη. Ωστόσο, το γεγονός ότι ο ενδιάμεσος τερματικός μεταγωγέας είναι τοποθετημένος συνήθως στο κεντρικό γραφείο της τηλεφωνικής εταιρείας κάνει αυτή την τεχνική ενσωμάτωσης ακατάλληλη για ιδιώτες φορείς λειτουργίας τηλεσταθμών. Η παροχή υπηρεσίας τηλεσταθμών με βάση νοήμονα δίκτυα υποστηρίζει εξουσιοδότηση πραγματικού χρόνου μέσω κεντρικά διατηρούμενης βάσης δεδομένων και προσφέρει άμεση πρόσβαση δικτύου στο δημόσιο δίκτυο μεταγωγής.



## 2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΕΑΣ

### 2.2.1 Δίκτυα προσωπικών επικοινωνιών

Σε σημερινό περιβάλλον επικοινωνίας, ένας τηλεφωνικός αριθμός συσχετίζεται με ορισμένη γεωγραφική θέση. Η κύρια ιδέα πίσω από δίκτυα προσωπικών επικοινωνιών (PCN) είναι να εκδίδεται ένας μοναδικός αριθμός αναγνώρισης χρήστη για κάθε άτομο. Μέσω αυτού του αριθμού ένα πρόσωπο μπορεί να είναι προσιτό σε οποιοδήποτε χρόνο και σε οποιαδήποτε θέση από έναν καλούντα, ο οποίος, με τη σειρά του, δεν χρειάζεται να γνωρίζει τη θέση του καλούμενου ατόμου. Κατά το παρόν, δεν υπάρχει παγκόσμια αποδεκτός ορισμός ή ιδέα σχεδιασμού ενός PCN. Παρά ταύτα υπάρχει ευρεία συναίνεση για τις διάφορες γενικές απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιούν στο μέλλον τα δίκτυα PCN. Συνεπώς, τα δίκτυα προσωπικών επικοινωνιών σχεδιάζονται κυρίως για πεζούς που χρησιμοποιούν φορητά τηλέφωνα για φθηνές φωνητικές και μετρίου ρυθμού υπηρεσίες για επικοινωνίες σε διάφορες συνθήκες εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Επειδή το PCN αναμένεται να εξυπηρετεί μαζική αγορά, το δίκτυο θα πρέπει να αντιμετωπίζει φορτίο κίνησης το οποίο είναι μεγαλύτερο από ό,τι στα προηγούμενα διατεθέντα στην αγορά συστήματα κινητής ραδιοεπικοινωνίας και του οποίου η εμφάνιση είναι σημαντικά λιγότερο προβλέψιμη, τόσο γεωγραφικά όσο και σε ό,τι αφορά τον χρόνο. Επιπλέον, οι απαιτήσεις που αφορούν τα χαρακτηριστικά υπηρεσίας του PCN, όπως φραγή και ποιότητα φωνής, αναμένεται να είναι συγκρίσιμες με τις ενσύρματες υπηρεσίες. Με βάση τον αναμενόμενο όγκο κίνησης και την αποσκοπούμενη στάθμη υπηρεσίας, όλες οι προτάσεις PCN προϋποθέτουν μεγάλη ποσότητα μικρών κυψελών. Ένα δίκτυο PCN πρέπει πάντοτε να γνωρίζει τη θέση ενός συνδρομητή. Αυτό απαιτεί να χρησιμοποιούν τα συστήματα μεγάλες, αποκεντρωμένες βάσεις δεδομένων (νοημοσύνη δικτύου) που περιέχουν την τρέχουσα θέση συνδρομητή και είναι, επιπλέον, ικανά να μετασχηματίζουν ένα λογικό αριθμό αναγνώρισης χρήστη σε φυσικό αριθμό θέσης και να δρομολογούν κλήσεις ανάλογα. Επιπλέον, αναγνωρίζεται ρητά ότι το PCN θα πρέπει να κάνει τη μεγαλύτερη δυνατή χρήση υπάρχουσας και σχεδιαζόμενης δομής σταθερού δικτύου. Πράγματι, μία από τις βασικές παραδοχές του PCN είναι ότι δεν είναι απλώς επέκταση σταθερών δικτύων όπως συστήματα κινητής κυψελοειδούς τηλεφωνίας, αλλά είναι ανεξάρτητο δίκτυο με δυναμικό αντικατάστασης του τοπικού βρόχου και αμφισβήτησης της μονοπωλιακής θέσης διάφορων τηλεφωνικών εταιρειών των ΗΠΑ, καθώς και των ευρωπαϊκών ΡΤΤ. Παρά τη συμφωνία σχετικά με τους στόχους ενός PCN, υπάρχουν θεμελιώδεις διαφορές σε ό,τι αφορά το ερώτημα του πώς θα πρέπει να σχεδιαστεί ένα τέτοιο δίκτυο για να εκπληρώνει αυτές τις ανάγκες. Ενώ έχουν γίνει διάφορες προτάσεις, αυτές μπορούν ουσιαστικά να ομαδοποιούνται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η λεγόμενη κυψελική προσέγγιση PCN, όπως ευνοήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο, διαφέρει από τα συμβατικά κυψελοειδή συστήματα μόνο κατά το ότι σχεδιάζεται κυρίως για πεζούς και χρησιμοποιεί μικρότερες κυψέλες. Αντιθέτως, οργανισμοί όπως ο Bellcore στις Ηνωμένες Πολιτείες συνηγορούν για την ανάπτυξη πολλών αν και ουσιαστικά φθηνότερων και λιγότερο πολύπλοκων πομπών χαμηλής ισχύος που θα παρέχουν πρόσβαση στη νοημοσύνη δικτύου περισσότερο μέσω του CO (κεντρικού γραφείου) παρά μέσω αποκλειστικής MTSO.

## 2.2.2 Προηγμένα συστήματα κινητών επικοινωνιών

### Εισαγωγή

Κατά την αναθεώρηση συστημάτων πρώτης και δεύτερης γενεάς καθώς και προσωπικών επικοινωνιών κατέστη προφανές ότι όλες οι κινητές υπηρεσίες παρέχονται σήμερα από πολλά χωριστά δίκτυα επικάλυψης, τα οποία συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο μεταγωγής μόνο σε λίγα σημεία. Σήμερα, υπάρχουν δύο στρατηγικά σχέδια τα οποία πραγματεύονται το ερώτημα του πώς αυτή η πληθώρα υπηρεσιών και δικτύων κινητών επικοινωνιών μπορεί να προχωρήσει προς λιγότερα – κατά το δυνατόν ακόμη και ένα– δίκτυα τα οποία είναι ικανά να παρέχουν όλες τις υπάρχουσες καθώς και νέες υπηρεσίες. Στην Ευρώπη, αυτά είναι τα Παγκόσμια Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS) και, εντός του CCIR, τα Μελλοντικά Δημόσια Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών Ξηράς (FPLMTS). Θα πρέπει να τονιστεί ότι και οι δύο πρωτοβουλίες διαφέρουν ως προς το αντικείμενό τους. Ενώ το UMTS αντιπροσωπεύει τον στόχο των σε μεγάλο βαθμό τεχνολογικού περιεχομένου ευρωπαϊκών σχεδίων (RACE), τα FPLMTS της CCIR επικεντρώνονται περισσότερο στη δημιουργία παγκόσμιου προτύπου.

### Η ευρωπαϊκή ιδέα: UMTS και UPT

Τον Δεκέμβριο του 1987, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Υπουργών ενέκρινε το πρόγραμμα RACE για αρχική περίοδο πέντε ετών. Ο στόχος του προγράμματος RACE είναι "συμβολή στην εισαγωγή ενοποιημένης ευρείας ζώνης επικοινωνίας (IBC), λαμβανομένης υπόψη της εξέλιξης του Ψηφιακού Δικτύου Ενοποιημένων Υπηρεσιών (ISDN)" καθώς και η εισαγωγή "νέων και βελτιωμένων υπηρεσιών πληροφοριών". Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το RACE είναι πρωτοποριακό πρόγραμμα έρευνας και έτσι σκοπεύει να έχει αλληλοεπίδραση με άλλους οργανισμούς προτύπων. Αν και το RACE ενσωματώνει εργασία από άλλους φορείς προτύπων εάν φαίνεται κατάλληλο, κυρίως συνεισφέρει τα ευρήματά του σχετικά με τη διεργασία δημιουργίας προτύπων σε φορείς προτύπων που θεωρούνται ότι είναι ιδιαίτερα σημαντικοί όπως ETSI, CEN/CENELEC, CCITT, CCIR, ISO, IEC και ITU. Το RACE, ωστόσο, αναγνώρισε ότι το ETSI αντιπροσωπεύει τον πρωτεύοντα οργανισμό για την εργασία του στη σύνταξη προτύπων. Πράγματι, η Τεχνική Συνέλευση του ETSI αποφάσισε κατά τη σύσκεψη στη Sophia Antipolis στις 6 Μαρτίου 1990 να δημιουργήσει νέα επιτροπή το 1990 για να ξεκινήσει εργασία στα προτεινόμενα UMTS. Ειδικότερα, το κινητό σχέδιο RACE R 1043 αποσκοπεί στην έρευνα τεχνολογικών λύσεων που επιτρέπουν τη φθηνή ενοποίηση, ενδεχομένως, όλων των υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών σε IBC. Το R 1043 περιλαμβάνει δύο κύριες κατηγορίες κινητών υπηρεσιών: Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS) και Κινητά Ευρείας Ζώνης Συστήματα (MBS).

Όπως αναφέρεται περαιτέρω παρακάτω τόσο η κινητικότητα κινητού δικτύου (όπως παρέχεται από την κυψελική τηλεφωνία, PCN και UMTS) όσο και η ανεξάρτητα εξελισσόμενη κινητικότητα σταθερού δικτύου (λειτουργίες IN παρεχόμενες από ISDN και SS7) συγκλίνουν προς την παροχή προσωποποιημένων υπηρεσιών. Το δίκτυο IBCN θα ενσωματώσει UMTS και προσωπικές τηλεπικοινωνίες (κινητικότητα σταθερού και κινητού δικτύου) για να εξελιχθεί προς τον στόχο παγκόσμιων προσωπικών τηλεπικοινωνιών (UPT).

### **Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS)**

Όπως υπονοεί ο όρος παγκόσμιο, οι στόχοι του UMTS είναι η δημιουργία μιας τυποποιημένης υποδομής που επιτρέπει σε ένα πρόσωπο να χρησιμοποιεί μια μαζικής παραγωγής χαμηλού κόστους ασύρματη συσκευή επικοινωνίας τσέπης για υπηρεσία ομιλίας και μέσου έως χαμηλού ρυθμού δεδομένων στο σπίτι και στο γραφείο καθώς και στον εξωτερικό χώρο σε αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Το UMTS κάνει χρήση τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών δικτύων, τα οποία συνεργάζονται με τρόπο ώστε ένας πελάτης να μπορεί να εντοπίζεται επακριβώς και να χρεώνεται.

Επειδή το UMTS αποσκοπεί στην ενοποίηση όλων των προσφερόμενων σήμερα κινητών υπηρεσιών, πρέπει να είναι εξαιρετικά ευέλικτο. Ένα από τα κύρια θέματα αυτού του τεχνολογικά πολύ φιλόδοξου και πολύπλοκου σχεδίου είναι ο σχεδιασμός μιας προσαρμοστικής ραδιοεπαφής που μπορεί να χρησιμοποιείται για την παροχή όλων των κινητών υπηρεσιών μέσα σε ευρύ περιβάλλον. Προβλέπεται ότι χωρητικότητα περίπου 2 Mbps θα μπορούσε είτε να πολυπλέκεται μεταξύ πολλών χρηστών φωνητικών επικοινωνιών είτε να είναι διαθέσιμη μόνο σε έναν χρήστη για υπηρεσία υψηλού ρυθμού δεδομένων όπως η μετάδοση εικόνας.

Αν και δεν αναμένεται ότι το UMTS θα λειτουργήσει πριν από το τέλος του αιώνα, μία από τις περισσότερο κρίσιμες προϋποθέσεις για συνεχή πρόοδο ανάπτυξης –η εκχώρηση επαρκούς φάσματος συχνοτήτων – πρέπει να λυθεί κατά τη διάρκεια της Παγκόσμιας Διοικητικής Διάσκεψης Ραδιοεπικοινωνιών (WARC 92). Για να προετοιμαστεί η ευρωπαϊκή θέση για την ITU WARC 92, το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) δημιούργησε μια ad hoc ομάδα RES "Φασματικές ανάγκες" που θα προδιαγράψει τις απαιτήσεις εύρους ζώνης και συχνότητας για το σύστημα UMTS.

### **Κινητά ευρείας ζώνης συστήματα**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το UMTS θα έχει χωρητικότητα περίπου 2 Mbps. Υπάρχουν ωστόσο εφαρμογές που απαιτούν την υψηλού ψηφιακού ρυθμού συνδέσεις προς κινητές μονάδες όπως η μετάδοση γραφικών, βίντεο και μεγάλων αρχείων. Σε αντίθεση με το UMTS, που θα λειτουργεί στην περιοχή φάσματος 1,7 GHz-2 GHz, το MBS θεωρείται ότι θα λειτουργεί σε συχνοτήτες 30 GHz και 60 GHz. Όπως εκτίθεται περαιτέρω παρακάτω, τα χαρακτηριστικά διάδοσης μέσα σ' αυτές τις ζώνες υψηλών συχνοτήτων δημιουργούν διάφορες τεχνολογικές προκλήσεις.

### **Η ιδέα CCIR : FPLMTS**

Η σύσταση 205 "Μελλοντικά Δημόσια Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών Ξηράς" που υιοθετήθηκε κατά την Παγκόσμια Διοικητική Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών για κινητές υπηρεσίες (WARC MOB-87) του 1987, εξουσιοδότησε την CCIR να εξετάσει, επειγόντως, τις τεχνικές απαιτήσεις και κατάλληλες συχνότητες του ραδιοφάσματος εξοπλισμού και συστημάτων για τις μελλοντικές κινητές υπηρεσίες ξηράς. Συνεπώς, το 1985 η CCIR συγκρότησε Προσωρινή Ομάδα Εργασίας 8/13 μέσα στην Ομάδα Μελέτης 8 –η οποία είναι υπεύθυνη για όλες τις κινητές υπηρεσίες– για να μελετήσει τους μακροπρόθεσμους στόχους για ραδιοτηλεφωνικές επικοινωνίες (δηλαδή τα μελλοντικά δημόσια συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών ξηράς (FPLMTS). Αναφέρθηκε ότι η CCIR είναι ένα από τα πέντε μόνιμα όργανα της ITU. Ως τέτοιο το αντικείμενο της IWP 8/13 είναι διεθνές ενώ το σχέδιο RACE είναι ουσιαστικά ευρωπαϊκή πρωτοβουλία.

Πράγματι σήμερα μετέχουν 29 διοικήσεις και 10 διεθνείς οργανισμοί, αναγνωρισμένες ιδιωτικές υπηρεσίες λειτουργίας (RDOA) και επιστημονικοί, βιομηχανικοί και διεθνείς οργανισμοί (SIO). Κατά την ολομέλεια της CCIR τον Μάιο του 1990, αποφασίστηκε να αναδομηθεί η Ομάδα Μελέτης (SG) 8. Συνεπώς η SG 8 έχει τέσσερα μόνιμα μέλη εργασίας 8A-8b, και η Προσωρινή Ομάδα Εργασίας (IWP) 8/13 μετονομάστηκε σε Ομάδα Έργου 8/1, ενώ όλα αναφέρονται άμεσα στη SG 8. Αν και η CCIR IWP 8/1 μέχρι τώρα δεν έλαβε συγκατάθεση σχετικά με παγκόσμιο πρότυπο FPL MTS και άλλες σημαντικές προδιαγραφές σχεδιασμού, φαίνεται ότι ο ορισμός των παραμέτρων σχεδιασμού συστημάτων προόδευσε περισσότερο από ό,τι με το ευρωπαϊκό σχέδιο RACE.

### **Τα Μελλοντικά Δημόσια Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών Ξηράς (FPLMTS)**

Οι μελέτες που διεξήχθησαν από την CCIR IWP μεταξύ 1986 και 1990 είχαν ως αποτέλεσμα τη συμφωνία για 29 στόχους που θα πρέπει να επιτύχουν τα FPLMTS. Για να ανταποκριθούν σε μεταβολές ως προς την ξηρά και την περιφέρεια, αυτοί οι στόχοι διαιρούνται σε 10 πρωτεύοντες και σε 10 δευτερεύοντες. Το κεντρικό στοιχείο γύρω από το οποίο θα πρέπει να σχεδιάζονται τα FPLMTS είναι ελαφρή προσωπική ραδιοσυσκευή τσέπης ή προσωπικός σταθμός (PS), ο οποίος μπορεί θεωρητικά να χρησιμοποιείται σε όλον τον κόσμο. Αυτό με τη σειρά του συνεπάγεται ότι όλες οι συμμετέχουσες χώρες και οργανισμοί συμφωνούν σε ένα απλό πρότυπο ραδιοεπαφής. Σύμφωνα με την τελική έκθεση της Προσωρινής Ομάδας Εργασίας 8/1, ωστόσο, φαίνεται ότι ενώ η διεθνής περιδιάβαση μέσα σε μια περιφέρεια θα είναι απαίτηση του συστήματος, υπάρχουν διάφορα ενδιαφερόμενα μέρη που συνηγορούν για την ανάγκη περισσότερο ευαίσθητων περιφερειακών προτύπων. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο ότι ενώ προωθείται η ιδέα ραδιοσυσκευής τσέπης, ο Πρωτεύων Στόχος Αριθμός Πέντε αναφέρει ρητώς ότι υποστηρίζεται μια ποικιλία κινητών τερματικών. Παρά ταύτα, η Ομάδα Εργασίας 8-A τονίζει την ανάγκη για συμβατότητα συστήματος για να εξασφαλίζεται ότι το πραγματικό κόστος συνδρομητή για τον χρήστη είναι ουσιωδώς χαμηλότερο από ό,τι με τα τωρινά συστήματα .

Όπως με την ιδέα του UMTS, το FPLMTS προτείνει την παροχή φωνητικών και μη φωνητικών υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών για χρήστες που κινούνται σε ευρεία περιοχή πυκνοτήτων χρηστών και γεωγραφικών περιοχών κάλυψης. Αποσκοπείται το FPLMTS να μπορεί να υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων έως το πρωτεύον ISDN, δηλαδή 1.356 kbps (Βόρεια Αμερική) ή 1.920 kbps (Ευρώπη), διατηρώντας συγχρόνως συμβατότητα με το σταθερό δίκτυο (PSTN/ISDN). Για να επιτευχθεί αυτό, το FPLMTS ορίζει νέα ψηφιακή διεπαφή με το δίκτυο ISDN χρησιμοποιώντας τεχνικές πολυπλεξίας. Αντί του καναλιού B (φορέα) και D (σηματοδότησης), το FPLMTS θα χρησιμοποιεί κανάλι I (πληροφοριών) και C (ελέγχου). Ανάλογα με την απόφαση για τις διάφορες ανταλλαγές μεταξύ φασματικής απόδοσης, τεχνικών κωδικοποίησης και ποιότητα ομιλίας, το κανάλι I θα μεταδίδει φωνή στα 32 kbps ή, πιθανότερα, στα 16 kbps και χαμηλότερα .

Σε αντίθεση με το UMTS, που προτείνει μία τυποποιημένη υποδομή για όλα τα περιβάλλοντα, η μελέτη FPLMTS βρήκε ενδείξεις ότι λόγω της ποικιλίας των καταστάσεων ραδιοκάλυψης –από μικρής εμβέλειας / υψηλής πυκνότητας μέσα σε κτίρια και μεγάλης εμβέλειας αγροτικές έως συνδέσεις με αεροσκάφη και δορυφόρους– φαίνεται πιθανό ότι "ένας αριθμός απαιτήσεων μετάδοσης RF και ζωνών συχνοτήτων" είναι αναγκαίος .

Προτάθηκε ο PS να μπορεί να χρησιμοποιείται ως ασύρματος, δηλαδή χαμηλής ισχύος συσκευή επικοινωνίας που έχει πρόσβαση σε άλλο κινητό σταθμό (ή κινητό γήινο σταθμό) για να αποκαταστήσει ζεύξη σειράς με άλλο κινητό δίκτυο (ή δορυφόρο), η οποία βελτιστοποιείται για επικοινωνίες μέσα σε περιβάλλοντα υψηλής ταχύτητας. Τέτοιος κινητός σταθμός θα μπορούσε να εγκαθίσταται σε σιδηροδρομικούς συρμούς, αεροσκάφη ή λεωφορεία και να χρησιμεύει ως σχεδόν κινητός τηλεσταθμός.

# Πρωτόκολλα και τεχνολογία

### 3.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

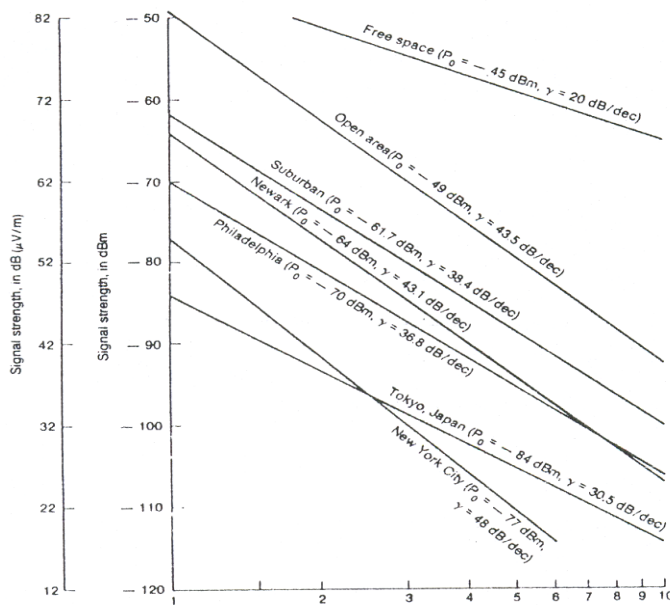
#### 3.1.1 Ειδικά προβλήματα διάδοσης

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών λειτουργούν κυρίως μέσα σε περιβάλλοντα τα οποία είναι, σε διάφορους βαθμούς, εχθρικά προς την επικοινωνία RF. Ωστόσο, προτού εξετάσουμε περαιτέρω τα προβλήματα διάδοσης, θα είναι χρήσιμο να διακρίνουμε μεταξύ εξωτερικών, εσωτερικών και υβριδικών συστημάτων κινητών επικοινωνιών. Τα εξωτερικά συστήματα έχουν σταθμούς βάσης στον ανοιχτό αέρα και οι κινητοί σταθμοί είναι σχεδιασμένοι κυρίως για χρήση εκτός κτιρίων. Σε εσωτερικά συστήματα, ο(οι) σταθμός (οί) βάσης εγκαθίστανται μέσα σε οίκημα, κτίρια γραφείων, εργοστάσιο, αποθήκη ή κάποιο άλλο είδος εγκατάστασης, και οι κινητοί σταθμοί σχεδιάζονται κυρίως για να λειτουργούν σ' αυτό το περιβάλλον. Τα υβριδικά συστήματα ορίζονται ως συστήματα κινητών επικοινωνιών με σταθμούς βάσης που βρίσκονται μέσα ή έξω από κτίρια ή/και συστήματα των οποίων οι κινητοί σταθμοί σχεδιάζονται για να λειτουργούν επαρκώς μέσα και έξω από κατασκευές στέγασης.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει ομοιόμορφο εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον. Κάθε περιοχή σχηματίζεται ενιαία από μεγάλο αριθμό οντοτήτων που μπορούν να επηρεάζουν έντονα την ένταση του σήματος σε δεδομένο σημείο μέσα στην κάλυψη. Σημαντικές μεταβλητές που ορίζουν το κινητό εξωτερικό περιβάλλον είναι το φυσικό έδαφος (ορεινό σε σχέση με λοφώδες σε σχέση με επίπεδο ή γη σε σχέση με νερό), κατασκευές από τον άνθρωπο: αριθμός, ύψος, διάταξη και κατασκευαστικό υλικό (πέτρα ή χάλυβας κ.λπ.), χαρακτηριστικά δέντρων και βλάστησης (μέγεθος φύλλων, κλάδοι, κορμοί κ.λπ.), κανονικές και ανώμαλες καιρικές συνθήκες και ραδιοθόρυβος προκαλούμενος από τον άνθρωπο. Το Σχήμα 3.1 δείχνει παραδείγματα απωλειών οδεύσεων μετάδοσης σε διάφορες περιοχές.

Για εσωτερικά συστήματα κινητών επικοινωνιών, η διάδοση επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες όπως κατασκευή, σύνθεση υλικών (σκυρόδεμα, πηλός, χάλυβας), επίπλωση και εξοπλισμός γραφείου και θόρυβος προκαλούμενος από τον άνθρωπο. Η ραδιοεπικοινωνία εσωτερικού χώρου καθώς και μερικά υβριδικά συστήματα πρέπει να αντιμετωπίζουν τα χαρακτηριστικά διάδοσης ραδιοκυμάτων και στις τρεις διαστάσεις, σε σύγκριση με τους κινητούς σταθμούς εγκατεστημένους πάνω σε οχήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα εξωτερικού χώρου και ουσιαστικά λαμβάνουν υπόψη "μόνο" δύο διαστάσεις. Πριν από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, μόνο λίγη έρευνα είχε γίνει για τον χαρακτηρισμό της ραδιοδιάδοσης μέσα σε κτίρια. Η περισσότερη εργασία επικεντρωνόταν στα αποτελέσματα διάδοσης ή τις αναλυτικές λύσεις, με χρήση κεραιών πομπών ύψους μεγαλύτερου ή ίσου με 30 m και αποστάσεων μεταξύ TA και RA άνω του 1 km.

Πιο πρόσφατες μελέτες, ωστόσο, δείχνουν σαφώς ότι τα εσωτερικά περιβάλλοντα είναι ιδιαίτερα εχθρικά προς τη ραδιοδιάδοση . Διαπιστώθηκε, για παράδειγμα, ότι τα σήματα RF μπορούν να φτάσουν σε υψηλότερες στάθμες μέσω κλιμακοστασίων ή ανάκλασης από τα απέναντι κτίρια η οποία με τη σειρά της μπορεί να αποτρέπει την αύξηση συχνοτήτων μεταξύ των ορόφων κτιρίου.



Σχήμα 3.1 Απώλεια όδευσης διάδοσης σε διάφορες περιοχές (Πηγή: Lee)

Παρά τα περιγραφόμενα προβλήματα, μετρήσεις διάδοσης σε 900 και 1700 MHz δείχνουν την καταλληλότητα αυτών των συχνοτήτων για επικοινωνίες εσωτερικού χώρου χαμηλής ισχύος. Αν και η ψηλότερη συχνότητα (1700 MHz) θα αυξήσει την απώλεια διάδοσης, λόγω μείωσης στο άνοιγμα της κεραίας (5 dB) καθώς και υψηλότερης απορρόφησης μέσω τοίχων και δαπέδων (3-6 dB), είναι χρήσιμη κατά το ότι μια περισσότερο περιορισμένη ραδιοκάλυψη επιτρέπει σχήμα επαναχρησιμοποίησης υψηλότερων συχνοτήτων μέσα σε πολυώροφα κτίρια .

Σε σχέση με τα υβριδικά συστήματα κινητών επικοινωνιών, είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να τονιστούν τα χαρακτηριστικά διάδοσης αρχιτεκτονικής που περιλαμβάνει σταθμό βάσης έξω από κτίριο και κινητών μονάδων μέσα σ' αυτό. Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε για κύματα 800 MHz δείχνει ότι η εξασθένηση σημάτων μετά τη διείσδυση σε κτίρια είναι πολύ υψηλή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρόμοιες απώλειες διείσδυσης μπορούν να προκύψουν σε εσωτερικές καταστάσεις, εάν το σήμα πρέπει να διατρέξει μέσω αρκετών τοίχων στη διαδρομή του από τον πομπό προς τον κινητό δέκτη.

Συνεπώς, σε περιβάλλον πλούσιο σε χαρακτηριστικά, η ένταση του σήματος μπορεί να πέσει δραματικά μέσα σε κλάσμα δευτερολέπτου μόνο. Αυτό το συμβάν αναφέρεται ως διάλειψη. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ένταση του σήματος σε ελεύθερο διάστημα κανονικά μειώνεται σύμφωνα με τον νόμο του αντίστροφου τετραγώνου ( $r^{-2}$ ). Σε ρεαλιστική εγκατάσταση εξωτερικού χώρου μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι ο νόμος για τη μείωση της ισχύος ως συνάρτηση της διάδοσης είναι της τάξης του  $r^{-3}$  έως  $r^{-5}$  για μεγάλες κυψέλες και  $r^{-2}$  έως  $r^{-6}$  για μικρές κυψέλες .

### 3.1.2 Γενικά προβλήματα διάδοσης

Το ραδιοσήμα δεδομένου καναλιού επηρεάζεται από τον θόρυβο και την παρεμβολή. Ο όρος θόρυβος ορίζεται ως "ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα που υπάρχουν πάντοτε σε ηλεκτρικά συστήματα". Μπορεί κανείς να διακρίνει μεταξύ ανθρωπογενούς θορύβου όπως ο θόρυβος της καύσης αυτοκινήτου και φυσικού θορύβου όπως ο θερμικός ή ατμοσφαιρικός θόρυβος (κεραυνός). Ο θερμικός θόρυβος προκαλείται από τη θερμική κίνηση ηλεκτρονίων, που υπάρχουν σε όλα τα καταναλωτικά στοιχεία όπως αντιστάσεις και καλώδια, και συνεπώς είναι αναπόφευκτος. Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο της ποιότητας σήματος είναι η λεγόμενη σχέση σήματος προς θόρυβο (SNR), η οποία είναι η σχέση μεταξύ έντασης σήματος και στάθμης θορύβου. Ο θόρυβος και το εύρος ζώνης έχουν αντίστροφη σχέση, δηλαδή αύξηση στο εύρος ζώνης θα έχει ως αποτέλεσμα μείωση θορύβου.

Μια άλλη κατηγορία μη φυσικών προβλημάτων μετάδοσης είναι η λεγόμενη παρεμβολή. Υπάρχουν δύο είδη παρεμβολής: παρεμβολή παρακείμενου καναλιού και ομοκαναλική παρεμβολής. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1 η παρεμβολή παρακείμενου καναλιού συμβαίνει όταν επαρκώς μεγάλη ποσότητα ενέργειας ραδιοκαναλιού διαχέεται σε παρακείμενο ραδιοκάνάλι. Η ομοκαναλική παρεμβολή συμβαίνει όταν δύο πομποί που χρησιμοποιούν το ίδιο ραδιοκάνάλι έχουν υπερκαλυπτόμενες περιοχές κάλυψης. Ο βαθμός της ομοκαναλικής παρεμβολής μετριέται με τη λεγόμενη σχέση φέροντος προς παρεμβολή (C/I), η οποία είναι ίση με τη σχέση του φέροντος προς την παρεμβολή και από τις δύο πηγές.

Εκτός από τη SNR και C/I, ο προϋπολογισμός ζεύξης αντιπροσωπεύει σημαντική έννοια διάδοσης που ορίζει την ποιότητα της ραδιοζεύξης και μετριέται με decibels ή dB (ακριβέστερα dBm). Ένας προϋπολογισμός ζεύξης μπορεί να θεωρηθεί ως μια εξίσωση που προσθέτει ή αφαιρεί παράγοντες που συμβάλλουν ή μειώνουν την ποιότητα μιας ραδιοζεύξης. Μεταβλητές που συμβάλλουν είναι η εκπεμπόμενη ισχύς  $P_t$ , η απολαβή των TA και RA,  $G_t$  και  $G_r$ . Σε αντίθεση, οι σημαντικότεροι παράγοντες που μειώνουν την ένταση του σήματος είναι η απώλεια στο χώρο (εξαρτώμενη από την απόσταση και τη συχνότητα), ο φυσικός θόρυβος και ο θερμικός θόρυβος καθώς και ένα ευρύ σύνολο άλλων απωλειών. Εάν το υπολογιζόμενο έτσι περιθώριο  $M$ (dB) είναι θετικό όταν έχουν ληφθεί υπόψη όλοι οι σχετικοί παράγοντες, τότε το σήμα θα εξασφαλίζει επαρκή επίδοση.

Για συστήματα κινητών επικοινωνιών εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, η διάδοση πολλαπλής διαδρομής δημιουργεί μερικά από τα πιο σοβαρά προβλήματα σε ραδιοπεριβάλλον. Και στα δύο περιβάλλοντα, τα ραδιοκύματα μπορούν να ανακλώνται από ένα ευρύ σύνολο φυσικών και ανθρωπογενών οντοτήτων όπως κτίρια, αυτοκίνητα, λόφοι, νερό ή ιονόσφαιρα (στον εξωτερικό χώρο).

Όπως αναφέρθηκε, τα ραδιοκύματα στο φάσμα συχνοτήτων (30 MHz έως 3 GHz), που είναι το κύριο ενδιαφέρον για τα συστήματα κινητών επικοινωνιών που εξετάζονται στο παρόν βιβλίο χαρακτηρίζονται από πολύ σταθερά άμεσα κύματα. Συνεπώς η διάδοση πολλαπλής διαδρομής είναι επιθυμητή κατά το ότι επιτρέπει στα ραδιοσήματα να φθάνουν στις RA πίσω από λόφους και κτίρια, για παράδειγμα, όταν δεν μπορεί να διατηρηθεί άμεση διαδρομή με οπτική επαφή. Από την άλλη πλευρά, η διάδοση πολλαπλής διαδρομής αναγκάζει τους σχεδιαστές συστημάτων να αντιμετωπίσουν σημαντικά θέματα όπως η εξάπλωση καθυστέρησης του λαμβανόμενου σήματος, η τυχαία μετατόπιση φάσης (που δημιουργεί γρήγορες διακυμάνσεις στην ένταση του σήματος, γνωστές ως διάλειαση Rayleigh) και η μετατόπιση Doppler.

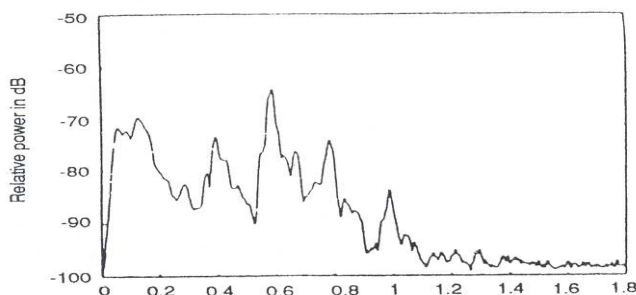


### **Εξάπλωση καθυστέρησης**

Επειδή όλα τα ανακλώμενα ή άμεσα ραδιοκύματα που φτάνουν στην RA ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός χρησιμοποιώντας διάφορες διαδρομές, κάθε σήμα χρειάζεται λίγο διαφορετικό χρόνο. Συνεπώς, ένας ακριβής μεταδιδόμενος παλμός θα γίνει εξαπλωμένο σήμα, που με τη σειρά του μπορεί να παρεμβληθεί στο επόμενο ή προηγούμενο σύμβολο, προκαλώντας έτσι αυτό που αναφέρεται ως διασυμβολική παρεμβολή. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της μετάδοσης δύο συμβόλων σε ψηφιακά συστήματα κινητών επικοινωνιών (δηλαδή χρόνος συμβόλων) προσδιορίζεται άμεσα ή έμμεσα από την απόσταση, συχνότητα, τον απαιτούμενο ρυθμό δυφίων και τη διαμόρφωση. Όσο μεγαλύτερη είναι η σχέση της μέσης εξάπλωσης καθυστέρησης προς τον χρόνο συμβόλου, τόσο σοβαρότερα γίνονται τα προβλήματα της διασυμβολικής παρεμβολής. Η εξάπλωση καθυστέρησης, συνεπώς, στην πραγματικότητα θέτει όρια στον ρυθμό μετάδοσης συμβόλων σε κανάλι ψηφιακής κινητής επικοινωνίας.

Το Σχήμα 3.2 απεικονίζει την κατατομή εξάπλωσης καθυστέρησης παλμικού σήματος σε περιβάλλον εσωτερικού χώρου (γραφείο) στα 850 MHz. Η έρευνα απέδειξε ότι γι' αυτή τη συχνότητα και εγκατάσταση, η μέση εξάπλωση καθυστέρησης ήταν 1 μικροδευτερόλεπτο.

Σε εγκατάσταση εξωτερικού χώρου, οι διαδρομές των σημάτων είναι συνήθως ουσιαστικά μεγαλύτερες, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα εξαπλώσεις καθυστέρησης που είναι αρκετές φορές μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρούνται σε ραδιοεπικοινωνίες εσωτερικού χώρου. Γενικά, η εξάπλωση σήματος αυξάνει με τον αριθμό των αντικειμένων που μπορούν να ανακλούν ραδιοκύματα μέσα στην περιοχή κάλυψης του πομπού. Συνεπώς, μεγάλες εξαπλώσεις καθυστέρησης παρατηρούνται συνήθως σε αστικές περιοχές. Οι μεγαλύτερες εξαπλώσεις καθυστέρησης απαιτούν είτε μείωση στη μετάδοση σήματος ή τη χρήση προσαρμοστικής εξίσωσης. Η CCIR IWP 8/1 σημείωσε στο σχέδιο έκθεσής της ότι η μέση εξάπλωση καθυστέρησης για μεγάλες κυψέλες (ύψος κεραίας 100 m) είναι 3 μικροδευτερόλεπτα (μεγ. 16 μικροδευτερόλεπτα) ενώ η μέση καθυστέρηση για μικρότερες κεραίες (κεραία <10 m) μειώνεται σε 0,15 μικροδευτερόλεπτα (μεγ. 0,5 μικροδευτερόλεπτα). Σε ό,τι αφορά τη σχέση μεταξύ συχνότητας και εξάπλωσης χρονικής καθυστέρησης, συγκριτικές μετρήσεις στις –για μελλοντικά συστήματα κινητής ραδιοεπικοινωνίας– σημαντικές συχνότητες (850 MHz, 1,7 GHz και 4,0 GHz) δεν αποκάλυψαν στατιστικά σημαντική εξάπλωση χρονικής καθυστέρησης στις τρεις συχνότητες.



Σχήμα 3.2 Μετρηθείσα κατατομή μέσης λαμβανόμενης ισχύος σε σχέση με χρονική καθυστέρηση στα 850 MHz (Πηγή: Cox, Hamilto, Porter)

### **Διάλειαση Rayleigh**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα ανακλώμενα ραδιοκύματα πρέπει να ταξιδεύουν σε μεγαλύτερη απόσταση από ό,τι τα άμεσα σήματα. Τα ανακλώμενα σήματα, συνεπώς, όχι μόνον έχουν μειωμένη ένταση σήματος, αλλά έχουν επίσης διαφορετική φάση σε σύγκριση με αυτά που λαμβάνονται με συντομότερη οδό. Ωστόσο, δύο σήματα ίδιας έντασης με αντίθεση φάσης αλληλοεξουδετερώνονται με αποτέλεσμα μηδενικό σήμα και αντιστρόφως. Συνεπώς, η προκύπτουσα ένταση σήματος είναι ίση με το άθροισμα όλων των άμεσων και ανακλώμενων ραδιοκυμάτων σε δεδομένο σημείο. Πράγματι, μέσα σε απόσταση λίγων ιντσών από δεδομένο σημείο, η ένταση του σήματος μπορεί είτε να βελτιώνεται ελαφρά ή να πέφτει σημαντικά (να διαλείπει). Φαίνεται ότι αυτές οι ξαφνικές πτώσεις στην ένταση του σήματος ακολουθούν ορισμένη καμπύλη στατιστικής κατανομής, που είναι γνωστή ως η κατανομή Rayleigh και συσχετίζεται με τη ραδιοσυχνότητα. Αυτές οι πτώσεις ονομάζονται συνεπώς διάλειαση Rayleigh και αντιπροσωπεύουν την κύρια πρόκληση για οποιοδήποτε ψηφιακό σύστημα κινητής ραδιοεπικοινωνίας.

### **Μετατόπιση Doppler**

Ένα άλλο πρόβλημα διάδοσης προκύπτει όταν ο κινητός δέκτης βρίσκεται σε κίνηση σχετικά με τον πομπό συστήματος κινητών επικοινωνιών. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, ο δέκτης θα αντιληφθεί μετατόπιση στη λαμβανόμενη συχνότητα σε σύγκριση με την ονομαστικά εκπεμπόμενη συχνότητα στον σταθμό βάσης, η οποία είναι γνωστή ως μετατόπιση Doppler. Η τιμή των μετατοπίσεων συχνότητας είναι ίση με  $f_a = v f_0 / c$ , όπου  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός,  $f_0$  η ονομαστική συχνότητα και  $v$  η σχετική ταχύτητα.

#### **3.1.3 Αντίμετρα**

Σε αναλογικά συστήματα κινητής επικοινωνίας, εφαρμόζονται διάφορα μέσα για να εξουδετερώσουν προβλήματα συσχετιζόμενα με τη μετάδοση πολλαπλής διαδρομής. Οι πιο σημαντικές ιδέες είναι ο διαφορισμός χώρου, η αύξηση περιθωρίου διάλειασης και η ανάπτυξη πρόσθετων σταθμών βάσης.

### **Διαφορισμός χώρου**

Ο διαφορισμός χώρου αποσκοπεί ειδικότερα στην αντιμετώπιση ξαφνικών βαθιών πτώσεων στη στάθμη του σήματος που είναι χαρακτηριστικό της διάλειασης Rayleigh. Συνεπώς προτάθηκε χρήση δύο ή περισσότερων κεραιών. Αυτές οι κεραιές χωρίζονται μεταξύ τους με απόσταση που μεταβάλλεται συναρτήσει της συχνότητας του συστήματος. Όταν η ένταση σήματος σε μία κεραία πέφτει ξαφνικά, το σύστημα μεταγεται στην άλλη κεραία, η οποία μπορεί να λαμβάνει αποδεκτό σήμα επειδή είναι τοποθετημένη σε διαφορετική θέση. Άλλες μορφές διαφορισμού περιλαμβάνουν διαφορισμό πόλωσης και συχνότητας.

### **Αύξηση περιθωρίου διάλειψης**

Όπως εξηγείται στο πλαίσιο του προϋπολογισμού ζεύξης στην παράγραφο 3.1.2, το περιθώριο αντιπροσωπεύει το υπόλειμμα, αφού έχουν προστεθεί όλοι οι παράγοντες που συμβάλλουν στην ένταση του σήματος ή τη μειώνουν. Αύξηση των περιθωρίων διάλειψης σε αναλογικό σύστημα είναι συνεπώς ίδια με ενίσχυση της ισχύος του πομπού ή αύξηση της απολαβής κεραίας.

### **Πρόσθετοι σταθμοί βάσης**

Για να αντιμετωπιστεί η διάλειψη που οφείλεται σε απώλεια σκιάς (π.χ. πίσω από κτίρια ή λόφους), μπορούν να αναπτύσσονται πρόσθετοι σταθμοί βάσης. Ο σταθμός βάσης θα μεταπέμψει (δηλαδή θα μεταφέρει την κινητή μονάδα) στον πομποδέκτη με τη μεγαλύτερη σχέση σήματος προς θόρυβο. Αν και αυτή η προσέγγιση μπορεί να βοηθά την ελαχιστοποίηση των δυσκολιών που περιγράφηκαν, έχει και μειονεκτήματα. Σε ζώνες κάλυψης με υπερκάλυψη, όπου η ένταση του σήματος μεταξύ διάφορων σταθμών βάσης είναι παρόμοια, ξαφνικές βαθιές διαλείψεις θα μπορούσαν να προκαλέσουν σταθερές ανεπιθύμητες μεταπομπές μεταξύ των κυψελών και έτσι να καταπονήσουν τον κεντρικό επεξεργαστή του συστήματος. Για ψηφιακά συστήματα, υπάρχουν πολυάριθμες άλλες επιλογές όπως στιβαρή κωδικοποίηση φωνής, διαμόρφωση, προσαρμοστική εξίσωση και διόρθωση σφάλματος για να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά τα προβλήματα διάδοσης σε κινητά περιβάλλοντα. Αυτές εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## **3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

Στην αρχή του σχεδιασμού συστημάτων κινητής επικοινωνίας, οι μηχανικοί πρέπει να προσδιορίσουν διάφορες παραμέτρους συστήματος, οι οποίες είναι θεμελιώδεις εφόσον είναι αμοιβαία αποκλειστικές και δεν μπορούν να αναστραφούν σε μεταγενέστερο χρόνο χωρίς να θέσουν σε κίνδυνο ολόκληρο το σχέδιο. Η σημασία αυτών των παραγόντων εκδηλώνεται επίσης με τον ουσιαστικό χρόνο που απαιτείται για τους φορείς τυποποίησης να συμφωνήσουν σχετικά με τις κύριες παραμέτρους σχεδιασμού όπως ψηφιακά έναντι αναλογικών, ευρεία ζώνη έναντι στενής ζώνης και χρησιμοποιούμενη τεχνική πολυπλεξίας (FDMA, TDMA, CDMA).

### **3.2.1 Ψηφιακά έναντι αναλογικών**

Στα πρόσφατα χρόνια υπήρξε μεταβολή από διαμόρφωση πλάτους και αναλογική διαμόρφωση συχνότητας προς παλμική FM ψηφιακοποιημένων σημάτων ομιλίας. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους τα συστήματα κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούν με αυξανόμενο ρυθμό ψηφιακή τεχνολογία. Όπως αναφέρθηκε, τα ραδιοσήματα υπόκεινται σε εξασθένηση, η οποία επιβαρύνεται από παράγοντες όπως θόρυβος, παρεμβολή και διάλειψη. Σε αντίθεση με τα αναλογικά σήματα τα οποία μπορούν να πάρουν άπειρη ποικιλία σχημάτων, τα ψηφιακά σήματα μπορούν να έχουν δύο καταστάσεις, δηλαδή πλήρως εντός και πλήρως εκτός ή 1 και 0 (δυαδικό σύστημα). Ενώ ακόμη και μικρές διαταραχές μπορεί να είναι αρκετές για να παραμορφώσουν ουσιαστικά ένα αναλογικό σήμα, ένα ψηφιακό σήμα μπορεί να αλλοιωθεί μόνον εάν η διαταραχή είναι αρκετά σημαντική για να αλλάξει τον μεταδιδόμενο παλμό από τη μία κατάσταση στην άλλη.

Επιπλέον, ένα παραμορφωμένο ή υποβαθμισμένο αναλογικό σήμα δεν μπορεί να ανακτηθεί με ενίσχυση, διαφορετικά από ό,τι το ψηφιακό σήμα .

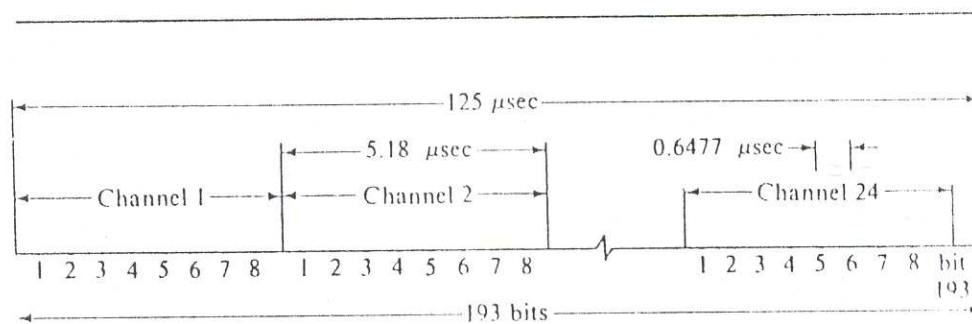
Συνεπώς, τα ψηφιακά σήματα παρέχουν συγκριτικά υψηλότερη πιστότητα σήματος, η οποία μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με χρήση ανίχνευσης σφάλματος και διόρθωση, από τις οποίες καμία δεν διατίθεται για τα αναλογικά. Επιπλέον, η ψηφιακοποιημένη ομιλία προσφέρεται για κρυπτογράφηση, εξασφαλίζοντας έτσι μυστικότητα. Ένα άλλο πλεονέκτημα των ψηφιακών συστημάτων είναι η εγγενής ευελιξία σχεδιασμού. Τα ψηφιακά κινητά συστήματα είναι κατασκευασμένα από πολυάριθμα λειτουργικά συγκροτήματα, από τα οποία το καθένα μπορεί να σχεδιάζεται σχετικά αυτόνομα. Με τυποποίηση εισόδων και εξόδων για ολόκληρο το ψηφιακό σύστημα καθώς και με καθορισμό εσωτερικών διεπαφών μεταξύ των στοιχείων, γίνεται δυνατό να διαιρεθεί το έντασης εργασίας έργο του σχεδιασμού και δοκιμών σύνθετων συστημάτων. Αυτή η προσέγγιση καθιστά επίσης εφικτό να δοκιμαστούν πολυάριθμες επιλογές σχεδιασμού για κάθε δομοστοιχείο χωρίς να μεταβληθούν άλλα στοιχεία του συστήματος. Συνεπώς, οι προσπάθειες έρευνας για τη βελτίωση της επίδοσης του συστήματος μπορούν να επικεντρώνονται σε μεμονωμένα στοιχεία όπως κωδικοποίηση φωνής ή διαμόρφωση και βελτιώσεις μπορούν να εφαρμόζονται εύκολα χωρίς ανάγκη επανασχεδιασμού ολόκληρου του συστήματος. Όλα αυτά κάνουν τα ψηφιακά συστήματα από τη φύση τους περισσότερο ανοιχτά για νέες τεχνολογίες από ό,τι τα αναλογικά συστήματα.

Διαφορές μεταξύ αναλογικών και ψηφιακών συστημάτων είναι επίσης προφανείς σε σχέση με την ευελιξία μορφοποίησης. Το περιεχόμενο και η οργάνωση (μορφοποίηση) του μηνύματος σε αναλογικά συστήματα είναι κατά το πλείστον ενσωματωμένα με τρόπο που είναι δύσκολο να χωριστούν. Στα ψηφιακά συστήματα, ωστόσο, το περιεχόμενο (δηλαδή οι δυαδικές τιμές) μπορούν να ομαδοποιούνται, να φράζονται και να πλαισιώνονται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Το Σχήμα 3.3 απεικονίζει τον μορφότυπο του προτύπου DSI της Bell που χρησιμοποιείται για εκπομπή υψηλής ταχύτητας. Το πρότυπο DSI προσδιορίζει ρυθμό εκπομπής (1.544 Mbps) καθώς και μορφότυπο πολυπλεξίας για 24 ταυτόχρονα εκπεμπόμενα κυκλώματα, καθένα με 64 kbps.

Ο βορειοαμερικανικός μορφότυπος DID DSI PCM απαιτεί πλαίσιο 24 δυφιοσυλλαβών οκτώ δυφίων συν ένα δυφίο μεταβλητού πλαισίου, που έχει ως αποτέλεσμα μήκος πλαισίου 193 δυφίων. Δώδεκα από αυτά τα πλαίσια αποτελούν ένα υπερπλαίσιο. Επειδή 8000 πλαίσια (ίσα με 125 μικροδευτερόλεπτα ανά χρόνο εκπομπής πλαισίου) εκπέμπονται ανά δευτερόλεπτο, η συνολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 1.544 Mbps. Η ευελιξία ψηφιακού μορφοτύπου υπογραμμίζεται από το γεγονός ότι χαμηλότεροι ρυθμοί δεδομένων μπορούν εύκολα να υποστηρίξονται μέσω πολυπλεξίας υπορυθμού. Αυτό απαιτεί πρόσθετα δυφία σήματος ανά κανάλι, που ωστόσο έχουν ως αποτέλεσμα χωρητικότητα 48 kbps αντί 56 kbps. Αυτά τα 48 kbps μπορούν να εξυπηρετήσουν είτε πέντε 9,6 kbps είτε δέκα 4,8 kbps είτε 20 2,4 kbps.

Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα ψηφιακών συστημάτων επικοινωνιών είναι ότι ψηφιακά μεταδιδόμενες πληροφορίες συνήθως απαιτούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από ό,τι τα αναλογικά. Παρά ταύτα πρέπει να σημειωθεί ότι βασικά όλα τα πρόσφατα αναπτυγμένα συστήματα κινητών επικοινωνιών που περιγράφονται σ' αυτό το βιβλίο είναι ψηφιακά. Πράγματι, επισημάνθηκε ότι η μετατόπιση από τον σχεδιασμό αναλογικών προς ψηφιακά συστήματα δεν προκαλείται κυρίως από τρέχουσες ικανότητες των ψηφιακών συστημάτων –οι οποίες είναι σήμερα σχεδόν ίδιες ως προς το εύρος ζώνης και την οικονομία– αλλά από την προσδοκία αυτού που ονομάστηκε ψηφιακή εξέλιξη (επανάσταση).

Η ψηφιακοποίηση του δημόσιου δικτύου μεταγωγής η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα την παροχή νέων ή βελτιωμένων υπηρεσιών παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Σχεδόν όλα τα συστήματα κινητών



Σημειώσεις:

1. Το δυφίο 193 είναι δυφίο πλαισίωσης, που χρησιμοποιείται για συγχρονισμό.
2. Κανάλια φωνής:
  - 8-δυφίων PCM που χρησιμοποιούνται σε πέντε ή έξι πλαίσια.
  - 7-δυφίων PCM που χρησιμοποιούνται σε κάθε έκτο πλαίσιο το δυφίο 8 κάθε καναλιού είναι δυφίο σηματοδότησης.
3. Δυφία δεδομένων:
  - Το κανάλι 24 χρησιμοποιείται για σηματοδότηση μόνο σε μερικά σχήματα.
  - Το δυφίο 8 είναι δυφίο ελέγχου.
  - Τα δυφία 1-7 χρησιμοποιούνται για υπηρεσία 56 kbps.
  - Τα δυφία 2-7 χρησιμοποιούνται για υπηρεσία 9,6 kbps, 4,8 kbps και 2,4 kbps.

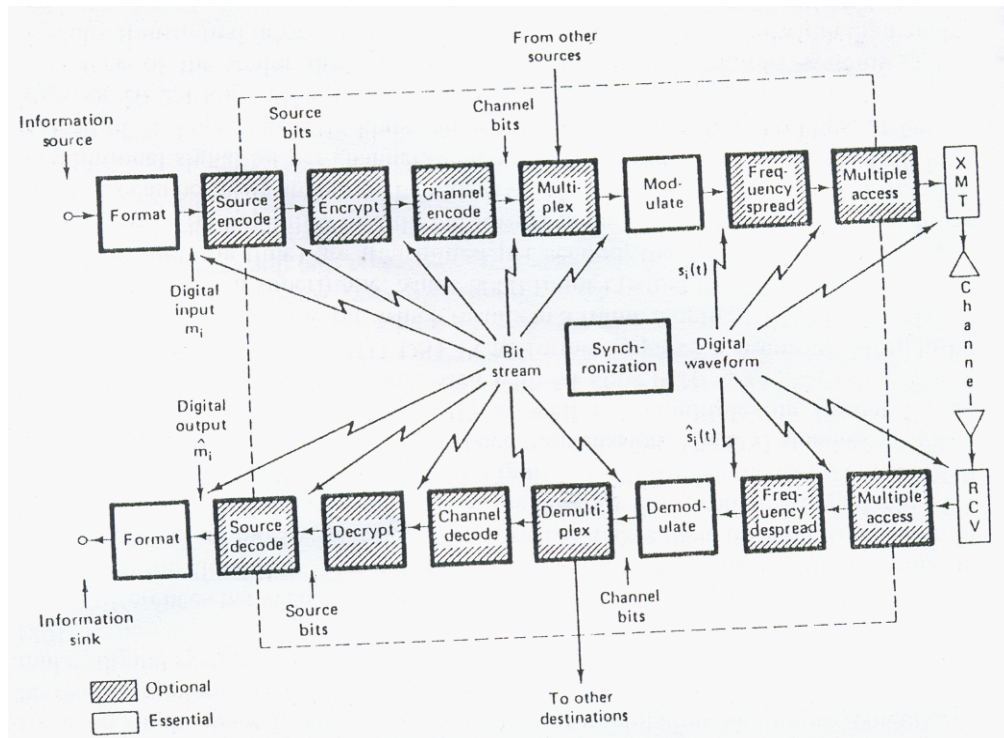
Σχήμα 3.3 Πλαίσιο εκπομπής D1-1 (Πηγή: Stallings)

επικοινωνιών που λειτουργούν σήμερα κάνουν χρήση του δημόσιου δικτύου μεταγωγής. Έτσι, η ενσωμάτωση ψηφιακών συστημάτων επικοινωνιών σε δίκτυα PSTN/IN είναι όχι μόνο εύκολη (δηλαδή φθηνότερη) αλλά φαίνεται ότι είναι η μόνη λύση για να γίνουν χρησιμοποιήσιμες αυτές οι προηγμένες υπηρεσίες για τον χρήστη κινητού. Ένας άλλος αποφασιστικός παράγοντας που επηρέασε αυτή τη μετατόπιση ήταν η γενική πεποίθηση ότι λόγω της ωριμότητας του σχεδιασμού και των στοιχείων αναλογικών συστημάτων, μπορεί να υπάρχει μόνο λίγο αντικείμενο για περαιτέρω βελτιώσεις κόστους και φασματικής απόδοσης σε σύγκριση με την ψηφιακή τεχνολογία. Η ισχύς αυτού του επιχειρήματος θα εξεταστεί σ' αυτό το βιβλίο.

### **Κύρια στοιχεία ψηφιακών συστημάτων**

Το Σχήμα 3.4 απεικονίζει τα λειτουργικά συγκροτήματα τυπικού ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας. Στην ουσία, επτά βασικά στάδια επεξεργασίας σημάτων μπορούν να διαφοροποιηθούν: Μορφοτύπηση και κωδικοποίηση πηγής, διαμόρφωση/αποδιαμόρφωση, κωδικοποίηση καναλιών, πολυπλεξία και πολλαπλή πρόσβαση, εξάπλωση, κρυπτογράφηση και συγχρονισμός.

Η μορφοτύπηση –ο μετασχηματισμός αναλογικών ή υπό μορφή κειμένου πληροφοριών σε ψηφιακά σύμβολα– περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο. Ομοίως η πολυπλεξία/πολλαπλή πρόσβαση θα εξεξηγηθεί στην παράγραφο 3.2.3. Ωστόσο είναι πέρα από το αντικείμενο της παρούσας πραγματείας η επεξεργασία στο ευρύ φάσμα των διαθέσιμων επιλογών για καθένα από τους βασικούς ψηφιακούς μετασχηματισμούς. Συνεπώς το Σχήμα 3.5 δίνει μια σχηματική επισκόπηση των επιλογών και για τις επτά βασικές λειτουργίες επεξεργασίας σημάτων.



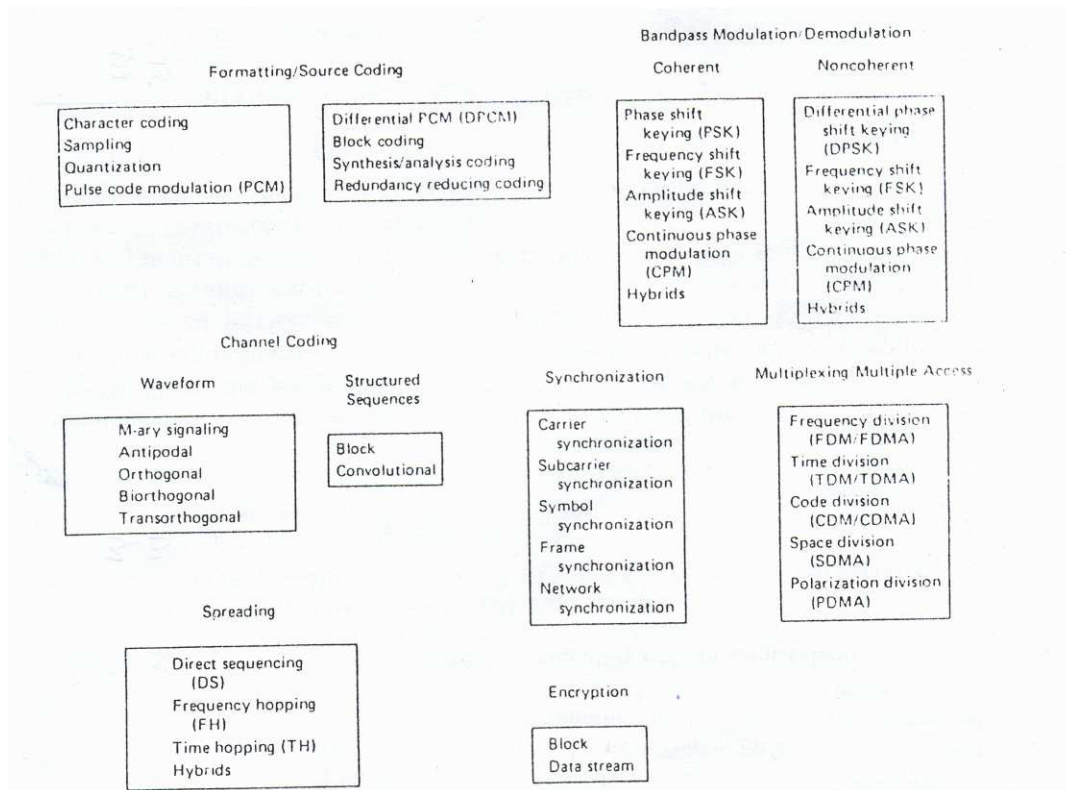
Σχήμα 3.4 Σχηματικό διάγραμμα τυπικού συστήματος επικοινωνιών (Πηγή: Sklar)

### Μορφοτύπηση

Η μορφοτύπηση μπορεί να οριστεί ως "το να γίνει το σήμα πηγής συμβατό με ψηφιακή επεξεργασία". Η μορφοτύπηση αντιπροσωπεύει διεργασία τριών σταδίων: δειγματοληψία, κβαντισμός και κωδικοποίηση. Ενώ τα ψηφιακά δεδομένα δεν απαιτούν καθόλου μορφοτύπηση, τα μηνύματα με μορφή κειμένου όπως ένα αλφαριθμητικό κείμενο με σύστημα υπολογιστή, απαιτούν κωδικοποίηση. Τα ψηφιακά συστήματα αναγνωρίζουν μόνο δύο καταστάσεις εντός/εκτός ή "0" και "1". Χαρακτήρες όπως "a", "b" και 123, για παράδειγμα, πρέπει να μετατραπούν σε ακολουθίες εντός/εκτός. Αυτή η διεργασία ονομάζεται κωδικοποίηση. Οι σημαντικότεροι κώδικες είναι Baudot, ASCII, EBCDIC, Manchester και NRZ.

Ωστόσο, ο μετασχηματισμός αναλογικών σημάτων όπως η φωνή σε ψηφιακά σήματα είναι περισσότερο περίπλοκος. Το έργο της ψηφιακοποίησης ομιλίας πραγματοποιείται συνήθως με χρήση παλμοκωδικής διαμόρφωσης (PCM) και ξεκινά με τη λήψη δειγμάτων.

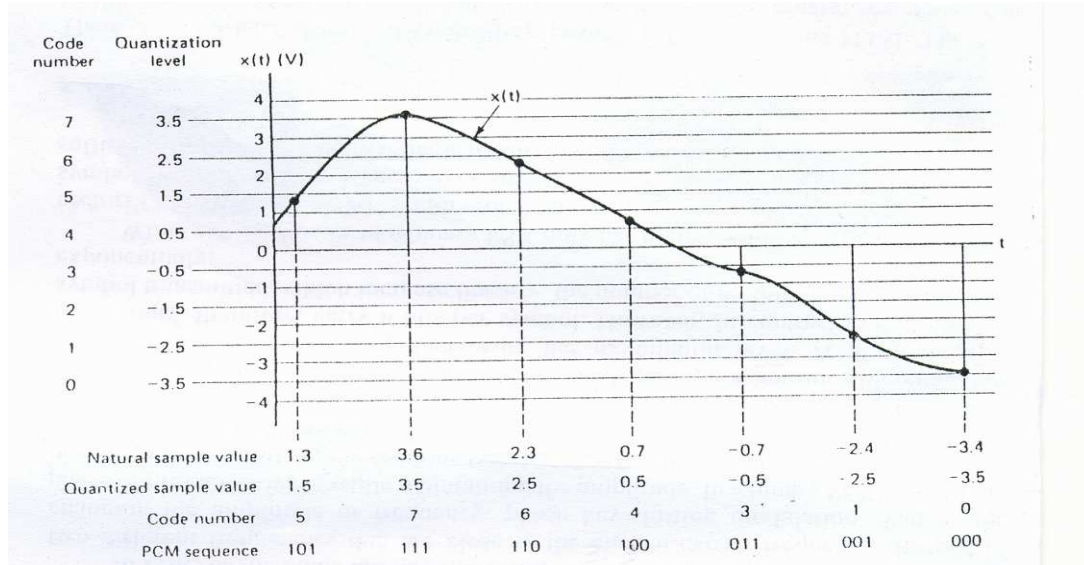




Σχήμα 3.5 Βασικοί μηχανισμοί ψηφιακών επικοινωνιών (Πηγή: Sklar)

Στην πραγματικότητα κάθε 1/8000 δευτερολέπτου, το αναλογικό σήμα δειγματοληπτείται και το πλάτος του συλλαμβάνεται στις εν λόγω ιδιαίτερες φάσεις, σχηματίζοντας έτσι τη λεγόμενη διαμόρφωση πλάτους παλμού (PAM). Αν και συμβαίνει σε διακριτά χρονικά σημεία, η PAM εξακολουθεί να θεωρείται αναλογικά κύματα. Το σήμα PAM κατόπιν μετασχηματίζεται σε ψηφία με διεργασία που λέγεται κβαντισμός (δηλαδή σε κάθε δείγμα εκχωρείται μια τιμή), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6. Η ακρίβεια του κβαντισμού αυξάνει με τον αριθμό των δυνατικών τιμών (δηλαδή επιπέδων κβαντισμού).

Ωστόσο, ο συνολικός ρυθμός δυφίων αυξάνει με τον αυξανόμενο αριθμό επιπέδων κβαντοποίησης. Για ISDN, για παράδειγμα, διακρίνονται 256 δυνατές τιμές. Για να αντιπροσωπευτούν 256 αριθμοί με δυαδικό μορφότυπο, απαιτείται ακολουθία PCM οκτώ δηφίων ( $2^8=256$ ), με αποτέλεσμα  $8000 \times 8 = 64000$  bit/s. Η ψηφιακοποίηση της ομιλίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα υποβαθμισμένη ποιότητα λόγω σφαλμάτων δειγματοληψίας και κβαντοποίησης. Αν και τα παραπάνω περιγραφόμενα πρότυπα ISDN (Ευρώπη: 8.000 δείγματα/256 στάθμες) είναι αυτά καθεαυτά επαρκή για υψηλή ποιότητα σημάτων, σοβαρά προβλήματα μπορούν να προκύψουν εάν ψηφιακοποιηθεί το ίδιο αναλογικό σήμα αρκετές φορές. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν δρομολογούνται κλήσεις μέσω ψηφιακών δικτύων.

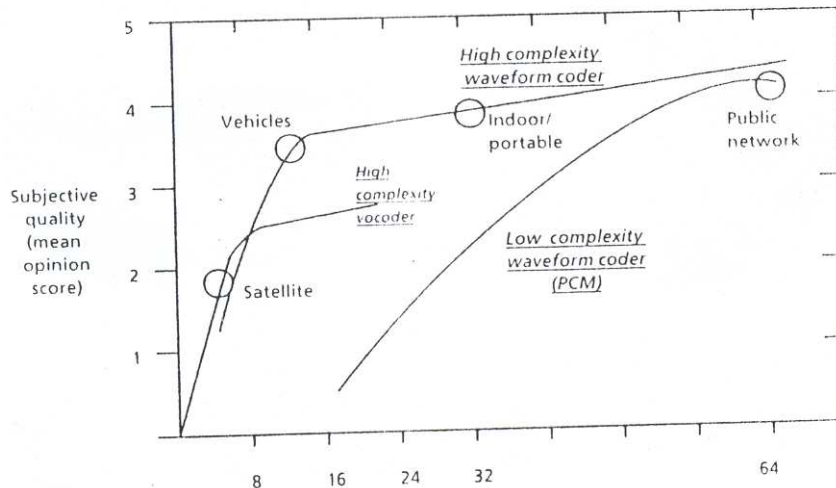


Σχήμα 3.6 Διαμόρφωση παλμικού κώδικα με οκτώ στάθμες κβαντισμού (Πηγή: Taub και Schilling)

Τα σχήματα κωδικοποίησης υψηλού ρυθμού δυφίων χαμηλής πολυπλοκότητας όπως το PCM λειτουργούν καλά μέσα σε ενσύρματα συστήματα επικοινωνίας όπου η διαθεσιμότητα εύρους ζώνης δεν είναι θέμα. Ωστόσο, σε σχέση με το περιβάλλον κινητής ραδιοεπικοινωνίας, υψηλά ρεύματα δυφίων (δηλαδή απαιτήσεις εύρους ζώνης) και φασματική απόδοση είναι σε άμεση αντίθεση μεταξύ τους. Συνεπώς, ουσιαστικές προσπάθειες έγιναν για να μειωθεί ο ρυθμός δυφίων ανά κανάλι φωνής (συμπύεση φωνής), χωρίς θυσία της ποιότητας. Η βέλτιστη τεχνολογία κωδικοποίησης φωνής για δεδομένη λύση συνεπώς αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα συγκριτικής ανάλυσης μεταξύ παραγόντων όπως επιθυμητή ποιότητα ομιλίας, ρυθμός δυφίων και κόστος υλισμικού. Το Σχήμα 3.7 απεικονίζει τις κατάλληλες τεχνολογίες κωδικοποίησης φωνής για διάφορες κινητές ραδιοεφαρμογές.

Ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος συμπιεστής ομιλίας που έγινε πρότυπο τα τελευταία χρόνια ονομάζεται προσαρμοστική διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (ADPCM). Η υποκείμενη τεχνική συμπύεσης επωφελείται από το γεγονός ότι τα περισσότερα από τα διαδοχικά δείγματα έχουν πλάτη που δεν είναι πολύ διαφορετικά. Επειδή η διαφορά μπορεί να αντιπροσωπευτεί επαρκώς με μικρότερη τιμή, απαιτούνται λιγότερα δυφία. Η ADPCM χρησιμοποιείται συνήθως σε ευρυζωνικά κανάλια για τη μετάδοση ψηφιακοποιημένης ομιλίας με 32 kbps μόνο. Η υποβάθμιση θα συμβεί μόνον όταν η αλλαγή μεταξύ δύο διαδοχικών δειγμάτων είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή που επιλέγεται για τη διαφορά. Στο παραπάνω παράδειγμα, 8000 δείγματα με 256 δυνατικές τιμές χρησιμοποιούνται για τη ψηφιακοποίηση αναλογικής ομιλίας. Εάν διαπιστώνεται ότι τα περισσότερα από τα διαδοχικά δείγματα δεν διαφέρουν περισσότερο από  $\pm 16$  στάθμες κβαντοποίησης, τότε μια ακολουθία 4 δυφίων είναι επαρκής, μειώνοντας έτσι τον συνολικό απαιτούμενο ρυθμό δυφίων σε  $8000 \times 4 = 32$  kbps. Υποβάθμιση στην ποιότητα θα συμβεί μόνον όταν η μετατόπιση μεταξύ δύο δειγμάτων έχει τιμή μεγαλύτερη από 16 ( $2^4$ ). Με περαιτέρω ελαχιστοποίηση της μέγιστης παρουσιάσιμης διαφοράς, ο ρυθμός δυφίων μπορεί να μειωθεί σε 16 kbps και λιγότερο, ενώ ακόμα διατηρούνται αποδεκτές στάθμες ποιότητας ομιλίας.





Σχήμα 3.7 Σύγκριση ποιότητας ομιλίας και τεχνολογιών κωδικοποίησης φωνής (Πηγή: Chien, Goodman και Russell)

Τα ακόλουθα σχήματα κωδικοποίησης φωνής έχουν ουσιαστικό ενδιαφέρον για ψηφιακά ραδιοσυστήματα: προσαρμοστική κωδικοποίηση υποζώνης (SBC), γραμμική προλεκτική κωδικοποίηση διεγερόμενη από υπόλειμμα (REL P) και κβαντισμός φορέα. Ενώ οι κωδικοποιητές κυματορφής όπως ο PCM και ADPCM δεν παρέχουν καλή ποιότητα ομιλίας για 32 kbps, η προσαρμοστική κωδικοποίηση υποζώνης δίνει καλή έως εξαιρετική ποιότητα ομιλίας με ρυθμούς δυφίων περίπου 16 kbps. Χαμηλότεροι ρυθμοί δυφίων απαιτούν τεχνικές ανάλυσης κυματομορφής που λαμβάνουν υπόψη τη γνώση της διεργασίας μηχανισμού παραγωγής ανθρώπινης φωνής. Αυτά τα συστήματα συμπίεσης φωνής –που ονομάζονται κωδικοποιητές φωνής– χρησιμοποιούν κωδικοποίηση πηγής όπως γραμμική προλεκτική κωδικοποίηση (LPC), που έχει ως αποτέλεσμα χαμηλούς ρυθμούς δυφίων έως 2400 bps. Σ' αυτούς τους χαμηλούς ρυθμούς, η ψηφιακοποιημένη ομιλία είναι χαμηλής ποιότητας αλλά κατανοητή. Σύγχρονη έρευνα στον τομέα της κωδικοποίησης ομιλίας προσπαθεί να παράγει καλή ποιότητα φωνής με ρεύματα δυφίων 8-16 kbps χρησιμοποιώντας υβριδικές τεχνικές κωδικοποίησης φωνής κυματομορφής. Οι κωδικοποιητές φωνής βασιζόμενοι σ' αυτές τις τεχνολογίες ονομάζονται κωδικοποιητές RELP. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση των ρευμάτων δυφίων απαιτεί εκθετική αύξηση σε πολυπλοκότητα και κόστος υλισμικού για τον κωδικοποιητή φωνής.

### Διαμόρφωση

Αφού η φωνή έχει διαμορφωθεί σε ρεύμα δυφίων αποτελούμενο από 0 και 1, αυτοί οι αριθμοί πρέπει να μεταδοθούν μέσω του αέρα με τη μορφή συμβόλων. Τα σχήματα διαμόρφωσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις διαφορετικές υποκατηγορίες: διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους (ASK), διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK) και διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (FSK). Όπως απεικονίζει το Σχήμα 3.8, η διαμόρφωση ASK μετατοπίζει το πλάτος φέροντος κύματος σύμφωνα με το επόμενο δυφίο προς μετάδοση από το ρεύμα δυφίων. Σε ASK με δύο στάθμες, μόνο ένα δυφίο μπορεί να μεταδίδεται ανά σύμβολο, ενώ μια ASK με τέσσερις στάθμες επιτρέπει να στέλνονται δύο δυφία συγχρόνως.

Στην FSK, όπως ήδη δείχνει το όνομα, τα μηδενικά και οι μονάδες διαμορφώνονται με χρήση δύο διαφορετικών συχνοτήτων που είναι κοντά στην επιλεγόμενη συχνότητα φέροντος. Αντί να μεταβάλλεται το πλάτος ή η συχνότητα, η διαμόρφωση μετατόπισης φάσης μεταβάλλει τη βάση του φέροντος κύματος ενώ διατηρεί το πλάτος. Σε δυαδική PSK, το 0 και 1 διαιρούνται σε δύο τμήματα 180 μοιρών, ενώ η PSK τετραγωνισμού επιτρέπει τη μετάδοση δύο δυφίων ανά σύμβολο με διαφοροποίηση τεσσάρων τομέων από τους οποίους καθένας είναι 90°.

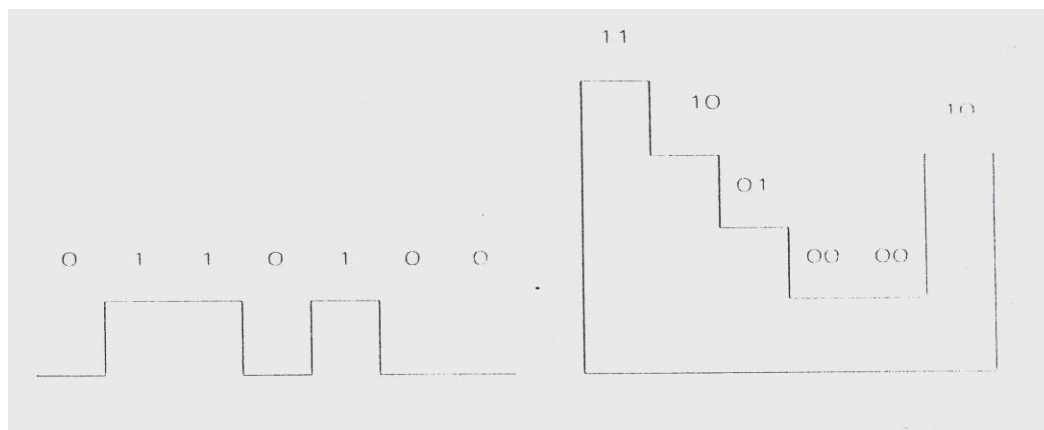
Φαίνεται ότι ο ρυθμός δυφίων ανά σύμβολο και επομένως η φασματική απόδοση, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με αύξηση της στάθμης διαμόρφωσης. Μια 2<sup>η</sup> στάθμη διαμόρφωσης θα μπορούσε επομένως να μεταφέρει η δυφία ανά σύμβολο. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα μεταδιδόμενα δυφία ανά σύμβολο, τα οποία αυξάνονται γραμμικά, ο αριθμός των σταθμών διαμόρφωσης αυξάνεται εκθετικά.

Ενώ ένας αποδιαμορφωτής δυαδικής PSK έχει μόνο να διακρίνει μεταξύ δύο τομέων 180° (1 δυφίο/σύμβολο) ή τομέων 90° για 2 δυφία/σύμβολο, μειώνεται σε 22,5° εάν μεταδίδονται 3 δυφία/σύμβολο. Επομένως, μερικές φορές μικρότερες παραμορφώσεις φάσης ή πλάτους είναι επαρκείς για να κάνουν τον αποδιαμορφωτή να διαβάσει λάθος τις ορθές πληροφορίες.

### Ρυθμός δυφίων και έλεγχος σφάλματος

Υπάρχουν δύο βασικές μορφές ελέγχου σφαλμάτων σε ψηφιακά συστήματα. Η πρώτη μέθοδος προσθέτει ένα δυφίο ισοτιμίας (πλεονάζον δυφίο) στο τέλος της δυαδικής ακολουθίας. Για παράδειγμα, το άθροισμα ακολουθίας 4 δυφίων 1101 είναι περιττός αριθμός (δηλαδή έχει 3 μονάδες), λόγος για τον οποίο προστίθεται ένα 1 ως δυφίο ισοτιμίας (11011). Εάν η συσκευή λήψης βρίσκει ασυμφωνία μεταξύ δεδομένων και δυφίων ισοτιμίας (π.χ. εάν μία από τις μονάδες αλλοιώθηκε σε μηδέν), ζητά την επανεκπομπή της ακολουθίας (δηλαδή ο δέκτης δεν προσπαθεί να διορθώσει το λάθος). Ο δεύτερος τύπος μεθόδων διόρθωσης σφάλματος λέγεται εμπροσθόδοτη διόρθωση σφάλματος.

Με προσθήκη περισσότερων από ένα πρόσθετο δυφίο επιτρέπει στον δέκτη όχι μόνον να ανιχνεύει ένα σφάλμα αλλά επίσης να το διορθώνει χωρίς επανεκπομπή ακολουθίας.



Σχήμα 3.8 Διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους με δύο στάθμες και τέσσερις στάθμες.

Στην περίπτωση κωδίκων πλοκάδων, οι πληροφορίες διαχωρίζονται σε δύο τμήματα  $t$  δυφίων (δυφίων μηνυμάτων). Ο κωδικοποιητής τότε προσθέτει πρόσθετο αριθμό  $x$  δυφίων (δηλαδή πλεοναζόντων δυφίων) για να πραγματοποιήσει διόρθωση σφαλμάτων και επανεκπομπή ή εμπροσθόδοτη διόρθωση σφαλμάτων. Η σχέση επιβάρυνσης είναι ίση με το  $x$  διαιρούμενο με  $t$ , και επειδή αυτά τα πλεονάζοντα δυφία δεν μεταφέρουν νέες πληροφορίες, αντιπροσωπεύουν επιβάρυνση και μειώνουν τον πραγματικό ρυθμό δεδομένων που μεταφέρεται μέσω καναλιού.

### 3.2.2 Ευρεία ζώνη έναντι στενής ζώνης

Η δεύτερη θεμελιώδης απόφαση σχεδιασμού επικεντρώνεται στο θέμα του εάν ένα σύστημα κινητής επικοινωνίας θα πρέπει να χρησιμοποιεί σχεδιασμό στενής ζώνης ή ευρείας ζώνης. Στην ουσία, οι διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων μπορούν να ιδωθούν στον τρόπο που τα συστήματα κινητών επικοινωνιών κάνουν χρήση ολόκληρου του φάσματος συχνοτήτων που εκχωρείται στην υπηρεσία, μόλις αποκαθίσταται η ραδιοζεύξη μεταξύ AS + BS.

#### Συστήματα στενής ζώνης

Σχεδόν όλα τα συστήματα κινητής επικοινωνίας καναλοποιούνται ανεξάρτητα από το εάν είναι αναλογικά ή ψηφιακά. Σε καναλοποιημένο σύστημα, ολόκληρο το εκχωρούμενο φάσμα RF διαιρείται σε έναν αριθμό στενών ραδιοκαναλιών, καθένα με τη συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος. Σε σύστημα επικοινωνίας με πλήρη αμφιδρομία, κάθε ραδιοκάνάλι συνήθως αποτελείται από δύο ζεύγη συχνοτήτων. Ένα χρησιμοποιείται για εκπομπή από τον σταθμό βάσης προς τον κινητό σταθμό (εμπροσθόφορο κανάλι) και το άλλο χρησιμοποιείται για εκπομπή από τον κινητό σταθμό προς τον σταθμό βάσης (αντίστροφο κανάλι). Και τα δύο κανάλια είναι συνήθως τόσο ευρέως διαχωρισμένα όσο επιτρέπει η εκχώρηση του συνολικού φάσματος. Το εύρος αυτών των στενών καναλιών (διαπόσταση καναλιών) προσδιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το απαιτούμενο εύρος ζώνης της υπηρεσίας, το οποίο με τη σειρά του είναι συνάρτηση της απαιτούμενης ταχύτητας και ποιότητας εκπομπής.

Όλα τα συστήματα στενής ζώνης μοιράζονται έναν αριθμό χαρακτηριστικών. Πρώτον, υπάρχει ανάγκη να περιορίζεται η εκπομπή του πομπού για να αποφεύγεται η εμφάνιση της παραπάνω περιγραφόμενης παρεμβολής παρακείμενου καναλιού. Ωστόσο, μια αυστηρά ορισμένη μάσκα εκπομπής έχει άμεση επίδραση στον σχεδιασμό του πομπού και του δέκτη (ειδικά φίλτρα) και συνεπώς επηρεάζει το κόστος του κινητού σταθμού. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό συστημάτων στενής ζώνης είναι το γεγονός ότι ολόκληρη η επικοινωνία θα διεξάγεται μέσω του αρχικά επιλεγμένου ζεύγους συχνοτήτων. Επειδή η άνω και η κάτω συχνότητα που ορίζουν τη στενή ζώνη είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, ολόκληρο το ραδιοκάνάλι θα επηρεάζεται από την εμφάνιση παρεμβολής πολλαπλής διαδρομής. Έτσι, όλες οι συχνότητες μέσα σε στενή ζώνη θα παρουσιάσουν συσχετιζόμενη διάλειψη και συνεπώς δεν έχουν αυτό που λέγεται ενσωματωμένη στιβαρότητα. Η ελάχιστη συχνότητα για την οποία τα σήματα αρχίζουν ακριβώς να γίνονται μη συσχετισμένα ονομάζεται εύρος ζώνης συνοχής.

Το τρίτο σημαντικό χαρακτηριστικό συστημάτων στενής ζώνης είναι το γεγονός ότι φράζονται. Σε πλήρως αμφίδρομο σύστημα με συνολικό φάσμα RF διαπόστασης καναλιών mKHz και n KHz, μόνο  $m/2n$  συνομιλίες μπορούν να διατηρούνται κατά τον ίδιο χρόνο. Συνεπώς, πρόσθετες προσπάθειες κλήσης θα φράζονται. Η πιθανότητα να συμβεί φραγή (πιθανότητα φραγής) αυξάνει με τον μέσο αριθμός χρηστών ανά κανάλι, καθώς και με τον μέσο χρόνο κλήσης. Σημαντικό μέτρο είναι το ονομαζόμενο προσφερόμενο φορτίο, που εκφράζεται σε erlangs και είναι ίσο με:

$A = (\text{μέσος χρόνος κλήσης [min]} \times \text{σύνολο πελατών}) / 60 \text{ min (erlangs)}$ .

Δεδομένου του προσφερόμενου φορτίου και του αριθμού των χρηστών ανά κανάλι, η πιθανότητα φραγής μπορεί να προσδιορίζεται με τη βοήθεια πινάκων. Η ποιότητα υπηρεσίας, ή ακόμη και η χρησιμότητα υπηρεσίας, εξαρτάται από την επίτευξη χαμηλών πιθανοτήτων φραγής. Μείωση της πιθανότητας μπορεί να επιτευχθεί είτε με εκχώρηση περισσότερου φάσματος RF στην υπηρεσία, με δημιουργία κατ' αυτόν τον τρόπο περισσότερων καναλιών στενής ζώνης ή με αύξηση του αριθμού των διαθέσιμων καναλιών με μείωση των απαιτήσεων εύρους ζώνης για κάθε κανάλι. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση διάφορων σχημάτων κωδικοποίησης, τα οποία, ωστόσο, θα έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερη ποιότητα ομιλίας. Επιπλέον, το πρόβλημα μπορεί να μετριαστεί με τη δημιουργία πρόσθετης χωρητικότητας συστήματος με διαχωρισμό κυψελών (δηλαδή περιορισμού της κάλυψης των τόπων κυψελών του συστήματος), με δημιουργία νέων τόπων κυψελών και περισσότερη επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

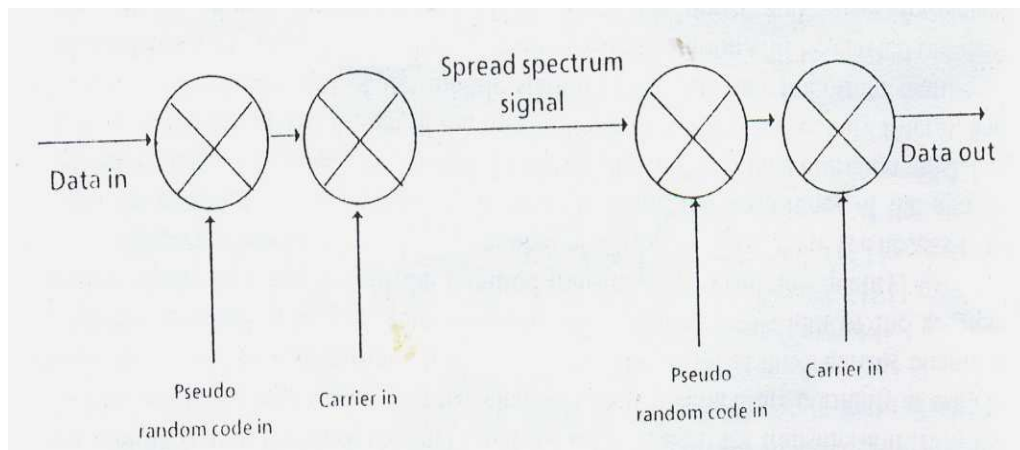
### **Συστήματα ευρείας ζώνης**

Σε αντίθεση με ένα σύστημα στενής ζώνης, το εκχωρούμενο φάσμα RF για την υπηρεσία δεν διαχωρίζεται σε αριθμούς καναλιών. Μάλλον ολόκληρο το φάσμα γίνεται το κανάλι για όλους τους χρήστες ταυτοχρόνως. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αυτές τις γενικές ιδέες είναι γνωστά ως συστήματα φασματικής εξάπλωσης. Η βασική τεχνολογία κατοχυρώθηκε το 1940 στον Hedy La Mar, αν και αρχικά εφευρέθηκε από έναν Ιταλό στη δεκαετία του 1920. Τα συστήματα φασματικής εξάπλωσης ορίζονται μέσω τριών διακριτών χαρακτηριστικών. Πρώτον, το σήμα καταλαμβάνει εύρος ζώνης πολύ πέρα από το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης. Δεύτερον, η εξάπλωση πραγματοποιείται με σήμα εξάπλωσης (σήμα κώδικα), το οποίο δεν συσχετίζεται με τα δεδομένα που πρέπει να μεταδοθούν.

Ειδικότερα, το φέρον είναι διαμορφωμένο κατά φάση με ψευδοτυχαίο σήμα, το οποίο επιτυγχάνεται με πολλαπλασιασμό των δεδομένων με ακολουθία ψευδοτυχαίου κώδικα (βλέπε Σχ. 3.9). Επιπλέον, το λαμβανόμενο σήμα απεξάπλώνεται με συσχετισμό των λαμβανόμενων δεδομένων με συγχρονισμένη παράσταση του αρχικά χρησιμοποιηθέντος σήματος εξάπλωσης.

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνικής φασματικής εξάπλωσης είναι ότι δίνει τη δυνατότητα σε αρκετούς χρήστες να χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων χωρίς παρεμβολή, εάν ολόκληρο το εύρος ζώνης συστήματος υπερβαίνει το εύρος ζώνης συνοχής. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η εγγενής υψηλή στάθμη ασφάλειας αυτού. Εάν συλληφθεί ένα σήμα φασματικής εξάπλωσης, τα δεδομένα δεν μπορούν να αποκωδικοποιηθούν χωρίς τη γνώση του κατάλληλου κώδικα.

Συνεπώς, δεν είναι εκπληκτικό ότι ο στρατός έχει χρησιμοποιήσει τεχνικές φασματικής εξάπλωσης για πολλές δεκαετίες, γεγονός που μπορεί να εξηγήσει γιατί δεν δημοσιεύτηκαν νέες ανακαλύψεις σχετικά με έρευνα CDMA. Επιπλέον, τα συστήματα φασματικής εξάπλωσης δεν φράζονται. Επιχειρηματολογήθηκε ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών, η ποιότητα του κυκλώματος θα υφίσταται βαθμιαία υποβάθμιση ποιότητας, γεγονός που θα αναγκάσει τότε τους χρήστες είτε να αναβάλλουν είτε να συντομεύουν τη συνομιλία τους. Οι προτείνοντες τεχνικές φασματικής εξάπλωσης ισχυρίζονται επίσης ότι αυτά τα συστήματα είναι αρκετές φορές περισσότερο φασματικά αποδοτικά από τα συγκρίσιμα συστήματα στενής ζώνης.



Σχήμα 3.9 Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση CDMA (Πηγή: Lucas)

Μπορούν να διακρίνονται τρεις κύριες μορφές φασματικής εξάπλωσης: άμεση ακολουθία SS (SS), αναπήδηση συχνότητας SS (DH) και αναπήδηση χρόνου SS (TH). Όπως δείχνει το όνομα άμεση ακολουθία, το φέρον κύμα διαμορφώνεται πρώτα με σήμα δεδομένων και κατόπιν διαμορφώνεται με ακολουθία κώδικα ψευδοτυχαίου θορύβου, η οποία κατόπιν διαμορφώνει το φέρον κατά φάση. Ειδικότερα, το πρώτο στάδιο διαμόρφωσης χρησιμοποιεί συνήθως χρησιμοποιούμενες ψηφιακές τεχνικές διαμόρφωσης όπως δυαδική ή τετραγωνική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK, QPSK). Στη συνέχεια, τα αρχικά διαμορφωμένα φέροντα διαμορφώνονται πάλι μια φορά κατά φάση με ψευδοτυχαίους παλμούς, οι οποίοι, όμως, προκύπτουν κατά πολύ ταχύτερα από ό,τι με την QPSK. Συνεπώς, το σήμα πρέπει να εξαπλώνεται σε ουσιαστικά ευρύτερο φάσμα με τη βοήθεια ενός λεγόμενου ψευδοτυχαίου αριθμού (PN). Για να συγχρονιστούν ο πομπός και ο δέκτης, το κυψελοειδές τηλέφωνο λαμβάνει τον PN μέσω πιλοτικού φέροντος που στέλνεται από τον σταθμό βάσης CDMA. Είναι προφανές ότι το σύστημα αυτό καθεαυτό δεν έχει ενσωματωμένα όρια όπως το σύστημα TDMA ή FDMA. Κατά συνέπεια, εάν πάρα πολλοί συνδρομητές χρησιμοποιούν το σύστημα, οι διαφορές εκπομπές παρεμβάλλονται μεταξύ τους, γεγονός που με τη σειρά του εκδηλώνεται με αυξανόμενο λόγο σφαλμάτων δυφίων (BER) και, κατά συνέπεια, με υποβάθμιση της ποιότητας ομιλίας που είναι ακουστή από όλους τους χρήστες.

Σε σύστημα αναπήδησης συχνότητας, η θέση της συχνότητας φέροντος μετατοπίζεται ψευδοτυχαία από τον συνθετητή συχνότητας σε ολόκληρο το εύρος ζώνης εξάπλωσης. Ένα σύστημα αναπήδησης χρόνου είναι σύστημα φασματικής εξάπλωσης στο οποίο εκπέμπονται ταχείες ριπές φερόντων, ενώ κάθε ριπή έχει ψευδοτυχαία διάρκεια. Εάν ο δέκτης είναι συγχρονισμένος με την ίδια ψευδοτυχαία σχηματομορφή, τότε μπορούν να εκπέμπονται πληροφορίες με τρόπο που καθιστά δύσκολη την ανίχνευση ή την παρεμβολή. Φαίνεται ότι η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιείται για να επιτρέπει εκπομπή επικάλυψης σε εμπορικά χρησιμοποιούμενα εύρη ζώνης.

Πρέπει να τονιστεί, ωστόσο, ότι υπάρχει έντονη ασυμφωνία για πολλά σημεία που αφορούν συστήματα ευρείας ζώνης γενικώς και τα προηγουμένως περιγραφέντα πλεονεκτήματα συστημάτων φασματικής εξάπλωσης ειδικότερα. Πολυάριθμες αρχές έχουν θεμελιωδώς διαφορετικές γνώμες σε σχέση με τη δυνατότητα εφαρμογής των τεχνικών φασματικής εξάπλωσης για διάφορα συστήματα κινητών επικοινωνιών – ειδικότερα το PCN. Για να επαληθευτεί η χρησιμότητα συστημάτων φασματικής εξάπλωσης, υπάρχουν σήμερα διάφορες επιτόπιες δοκιμές που διεξάγονται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Έως ότου αξιολογηθούν τα αποτελέσματα από αυτές τις δοκιμές, το θέμα του εάν τα συστήματα ευρείας ζώνης προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε ό,τι αφορά τη φασματική απόδοση και ποιότητα παραμένει ασαφές.

### 3.2.3 Πολυπλεξία / πολλαπλή πρόσβαση

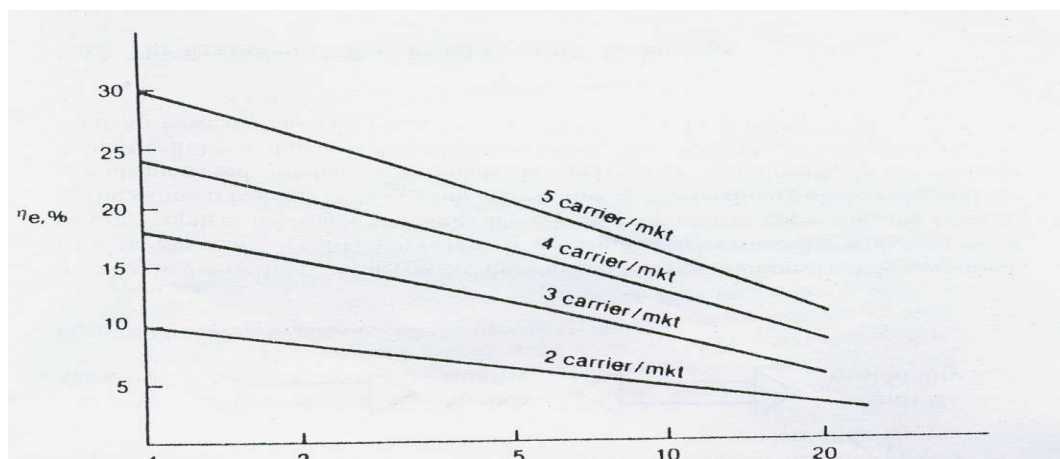
Η παρούσα παράγραφος επικεντρώνεται στους διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιείται αποδοτικά δεδομένος επικοινωνιακός πόρος (CR) (δηλαδή το σύνολο του εκχωρούμενου φάσματος). Αν και τόσο η πολυπλεξία όσο και η πολλαπλή πρόσβαση συνεπάγονται μερισμό πόρων, διαφέρουν κατά το ότι η πολυπλεξία λαμβάνει χώρα τοπικά (π.χ. μέσα σε τυπωμένο κύκλωμα ή σταθμό βάσης), ενώ η πολλαπλή πρόσβαση λαμβάνει χώρα απομακρυσμένα (π.χ. πολλαπλοί χρήστες μοιράζονται έναν δορυφορικό αναμεταδότη). Μια άλλη διάκριση είναι ότι η πολυπλεξία περιλαμβάνει έναν αλγόριθμό, που είναι προκαθορισμένος και κανονικά συρματωμένος, ενώ η πολλαπλή πρόσβαση είναι συνήθως προσαρμοστική και συνεπώς απαιτεί πρόσθετες πληροφορίες (επίφορτες) για να δοθεί η δυνατότητα στον αλγόριθμο να λειτουργήσει. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επιλογή μεθόδου πολλαπλής πρόσβασης έχει περαιτέρω επιπτώσεις στα οικονομικά και τον σχεδιασμό συστημάτων

Οι τρεις συνηθέστερες τεχνικές πολυπλεξίας είναι πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας, πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου και πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα. Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDMA) διαιρεί το σύνολο του εκχωρούμενου εύρους ζώνης σε λεγόμενα υποκανάλια. Καθένα από αυτά τα κανάλια στενής ζώνης μπορεί τότε να χρησιμοποιείται ως χωριστό κανάλι για εκπομπή. Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM) διαιρεί τη χωρητικότητα του καναλιού περισσότερο ως προς τον χρόνο παρά ως προς το εύρος ζώνης. Οι TDM σαρώνουν τα σήματα εισόδου των διάφορων εισερχόμενων σημείων για σταθερό, ή διαφορετικά προσδιορισμένο, χρόνο (χρονοθυρίδες). Αυτά τα δυφία, δυφιοσυλλαβές ή πλοκάδες δεδομένων διεμπλέκονται σε πλαίσια και κατόπιν εκπέμπονται μέσω μεμονωμένης γραμμής επικοινωνιών υψηλής ταχύτητας .

Η πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (CDM) σημαίνει ότι "εκχωρούνται συγκεκριμένα μέλη συνόλου ορθογωνικών, ή σχεδόν ορθογωνικών, κωδίκων φασματικής εξάπλωσης (καθένα με χρήση πλήρους εύρους ζώνης καναλιού)". Τόσο η TDM όσο και CDM είναι διακριτά συστήματα και θα δέχονται μόνον ψηφιακά δεδομένα. Κατά συνέπεια, οι τρεις συνηθέστερες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης είναι πολλαπλή πρόσβαση διάμεσης συχνότητας (FDM), η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDM) και η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA). Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, δεν υπάρχει θεμελιώδης διαφορά στην βασική τεχνική μεταξύ FDM και FDMA, TDM και TDMA, ή CDM και CDMA. Παρά ταύτα, τα συστήματα TDMA είναι ανώτερα από το σύστημα FDMA σε σχέση με τη μέση καθυστέρηση μηνύματος. Το CDMA αντιπροσωπεύει υβριδικό συνδυασμό TDMA και FDMA με την έννοια ότι τεμαχίζονται ως προς τη συχνότητα και τον χρόνο.

Στενή σχέση με το θέμα της πολλαπλής πρόσβασης είναι η συγκανάωση. Εάν συγκαταλωμένο σύστημα μπορεί να διαχειρίζεται σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα επικοινωνιακής κίνησης από ό,τι ένα μη συγκαταλωμένο σύστημα. Στην ουσία, η συγκανάωση αναφέρεται στο γεγονός ότι όλοι οι χρήστες ραδιοσυστήματος μπορούν να έχουν πρόσβαση σε όλα τα διαθέσιμα κανάλια. Εάν, για παράδειγμα, ένα μεμονωμένο κανάλι μπορεί να υποστηρίξει μόνο δύο ή τρεις χρήστες κινητού τηλεφώνου (10% πιθανότητα φραγής και μέση διάρκεια κλήσης 150 sec), τότε ένα μη συγκαταλωμένο σύστημα 20 καναλιών θα μπορούσε να υποστηρίξει μόνο περίπου 50 πελάτες, ενώ ένα συγκαταλωμένο σύστημα 20 καναλιών θα μπορούσε να υποστηρίξει 420 χρήστες. Αυτό το κέρδος αναφέρεται συνήθως ως απόδοση συγκανάωσης και προκύπτει επειδή, στατιστικώς, είναι απίθανο να θέλουν όλοι οι χρήστες να κάνουν τηλεφωνική κλήση ταυτοχρόνως.

Η απόδοση συγκανάωσης υποβαθμίζεται επίσης με αύξηση στον αριθμό ραδιοχειριστών που μοιράζονται δεδομένο σταθερό φάσμα. Έτσι, το Σχήμα 3.10 δίνει μια επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσεται ο παράγοντας απόδοσης συγκανάωσης για το αναλογικό κυψελοειδές τηλεφωνικό σύστημα των ΗΠΑ με 666 κανάλια, εάν δύο, τρία, τέσσερα ή πέντε φέροντα μοιράζονται το ραδιοφάσμα των 40 MHz. Με πιθανότητα φραγής 2% η υποβάθμιση στην απόδοση εάν 2 φέροντα μοιράζονται το κανάλι είναι 8,5%, αυξανόμενη σε 26% εάν τα μοιράζονται 5 φέροντα.



Σχήμα 3.10



### 3.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η παρούσα παράγραφος επικεντρώνεται ειδικότερα στην τεχνική και οικονομική σημασία προτύπων σε σχέση με το περιβάλλον συστημάτων κινητής επικοινωνίας.

Έχουμε τέσσερις βασικούς τύπους κατηγοριών προτύπων όπως εφαρμόζονται στα συστήματα κινητής επικοινωνίας: πρότυπα ραδιοδιεπαφής, πρότυπα διασυστημικών συστατικών στοιχείων, πρότυπα ενδοσυστημικών συστατικών στοιχείων και πρότυπα για την πρόσβαση δημόσιων δικτύων. Σε περιβάλλον πολλών φορέων λειτουργίας για κινητή υπηρεσία (A), τα πρότυπα διεπαφής βασικά δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες κινητού τερματικού εξοπλισμού T(A/1), T(A/2) ... T(A/n) να επικοινωνούν μονόδρομα ή αμφίδρομα με τη σταθερή υποδομή I(A/1), I(A/2) ... I(A/n). Οι χρήστες τέτοιου εξοπλισμού συνεπώς είναι σε θέση να εκλέξουν μεταξύ παροχών υπηρεσιών A(A) B(A), ... N(A).

Οι κατασκευαστές με τη σειρά τους δεν χρειάζεται να τροποποιούν, ή ακόμη να επανασχεδιάζουν πλήρως, τα προϊόντα τους σύμφωνα με συγκεκριμένη υποδομή I(1) ή I(2) αλλά μπορούν να πραγματοποιούν πλήρεις οικονομίες κλίμακας. Το μεγαλύτερο δυναμικό αγοράς προσελκύει περισσότερους κατασκευαστές εξοπλισμού, διεγείρει τον ανταγωνισμό και έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες τιμές τερματικών.

Στην ουσία, οι παροχές υπηρεσιών χρεώνουν τους πελάτες τους για την παροχή σύνδεσης μεταξύ κινητού τερματικού και του δημόσιου δικτύου. Έτσι, ένας παροχέας υπηρεσιών πρέπει να επαληθεύει θετικά ότι ο ιδιοκτήτης τερματικού είναι εξουσιοδοτημένος συνδρομητής και μπορεί να χρεώνεται ακριβώς, πριν από την παροχή πρόσβασης στην υποδομή. Εάν διάφοροι φορείς λειτουργίας υπηρεσιών (A... N) παρέχουν ίδια κινητή υπηρεσία (A) σε μη συνεχή ή γεωγραφικά περιορισμένη περιοχή μέσα σε ορισμένη περιφέρεια, τότε είναι κατανοητό ότι ένας χρήστης X τερματικού εξοπλισμού T(A/1) είναι εκτός της εμβέλειας του συνήθους παροχέα υπηρεσιών A, αλλά μέσα στην περιοχή υπηρεσιών του B. Πρώτον, η διεπαφή πρέπει να είναι ίδια για εξοπλισμό T(A/1) και T(A/2). Δεύτερον, και οι δύο παροχείς υπηρεσιών πρέπει να έχουν συμφωνία για τους όρους βάσει των οποίων ο B παρέχει υπηρεσίες στον χρήστη X. Αυτό περιλαμβάνει την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την εξουσιοδότηση και τη χρέωση. Για να διευκολύνεται εξουσιοδότηση σε πραγματικό χρόνο, η διαδικασία χρέωσης και μεταγωγής, εάν είναι αναγκαία, I(A/1), I(A/2) πρέπει να αλληλοσυνδέονται.

Δεδομένου ότι ο αριθμός των παροχών υπηρεσιών είναι επαρκώς μεγάλος, απαιτείται ενδοσυστημικό πρότυπο. Το σταθερό (δηλαδή σχετικό με την υποδομή) μέρος των περισσότερων δημόσιων και, σε κάπως λιγότερη έκταση, ιδιωτικών συστημάτων κινητής επικοινωνίας, περιλαμβάνει πολυάριθμα συστατικά στοιχεία συστήματος.

### 3.4 FDMA, TDMA και CDMA

Πολλά κανάλια πρέπει να ετοιμάζονται για να εξυπηρετήσουν έναν αριθμό χρηστών σε συστήματα κυκλωματομεταγωγής. Έχουμε τρεις τρόπους να δημιουργήσουμε κανάλια που χρησιμοποιούν δεδομένο εύρος ζώνης: πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας, χρόνου και κώδικα. Όταν εξετάζουμε την ανερχόμενη ζεύξη (συνδρομητής προς σταθμό βάσης), τα προετοιμασμένα κανάλια προσπελάζονται από πολλούς χρήστες (πολλαπλή πρόσβαση).



Έτσι έχουμε συστήματα FDMA (πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας), TDMA (πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου) και CDMA (πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα).

Το σύστημα ραδιομετάδοσης διαφέρει σημαντικά μεταξύ αυτών των συστημάτων πολλαπλής πρόσβασης, έτσι ώστε το ποιο σύστημα πολλαπλής πρόσβασης επιλέγεται είναι αντικείμενο έντονης συζήτησης.

Το FDMA χρησιμοποιείται για αναλογικά κινητά ραδιοσυστήματα. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται με ελάχιστη επεξεργασία σήματος. Ο αριθμός καναλιών που δίνονται με αυτό το σύστημα αποφασίζεται από τη διαπόσταση φέρουσας συχνότητας. Επειδή τα κανάλια χωρίζονται σε διαίρεσεις συχνοτήτων, απαιτείται σταθερή πηγή φέρουσας συχνότητας και φίλτρο επιλογής καναλιών με αυστηρά αναπτυσσόμενη λειτουργία μεταφοράς. Ένα εύρος ζώνης στενότερου φάσματος του διαμορφωμένου σήματος φέρουσας είναι πλεονεκτικό. Το εύρος ζώνης διαμορφωμένου σήματος ανά χρήστη για ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα γίνεται πολύ στενό λόγω της εξέλιξης της χαμηλού ρυθμού κωδικοποίησης φωνής και της αποδοτικής ως προς το φάσμα γραμμικής διαμόρφωσης. Επιπλέον, έχει την τάση να χρησιμοποιείται ζώνη υψηλότερης συχνότητας. Σ' αυτή την κατάσταση, μια ζώνη φύλαξης μεταξύ καναλιών που δίνεται για διάκριση στη διαίρεση συχνοτήτων γίνεται σχετικά κρίσιμη έτσι ώστε να μη μειώνεται η αποδοτικότητα του φάσματος. Αν και τα συστήματα FDMA έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι άτρωτα έναντι συχνοεπιλεκτικής διάλειψης λόγω του στενού φάσματος, δεν έχουν ευνοηθεί στα πρόσφατα επιχειρήματα σχετικά με τα ψηφιακά συστήματα κινητής επικοινωνίας. Αυτό συμβαίνει επειδή τα συστήματα FDMA δεν είναι ανώτερα από τα συστήματα TDMA ή CDMA ως προς άλλες απόψεις που περιγράφονται αργότερα.

Τα συστήματα TDMA έχουν γίνει εφικτά για ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας, όπου τα φωνητικά σήματα μπορούν να μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα και συνεπώς η πολυπλεξία σε διαίρεση χρόνου είναι εύκολο έργο. Στα κανάλια δίνονται περιοδικές χρονοθυρίδες μέσα σε χρονικό διάστημα που ονομάζεται πλαίσιο. Επειδή τα κανάλια είναι ορθογωνικά στον χρόνο, είναι εύκολο να επιλεγεί ένα κανάλι: ανοίγουμε απλώς μια πύλη στην επιθυμητή χρονοθυρίδα. Επιπλέον, δεν συμβαίνει παρεμβολή μεταξύ των καναλιών με διαίρεση χρόνου, ακόμη και αν υπόκεινται σε μη γραμμικό κανάλι εφόσον γίνεται υπόθεση για μια μοναδική φέρουσα. Ο αριθμός των πομποδεκτών του σταθμού βάσης μειώνεται κατά συντελεστή  $1/N$ , όπου  $N$  είναι ο αριθμός των πολυπλεγμένων καναλιών με διαίρεση χρόνου σε μια φέρουσα.

Εφόσον πολυπλέονται  $N$  κανάλια, ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων γίνεται  $N$  φορές ο ρυθμός ενός μόνον καναλιού. Η αύξηση του ρυθμού δεδομένων απαιτεί  $N$  φορές το εύρος ζώνης και  $N$  φορές την ισχύ κορυφής σε σύγκριση με σύστημα FDMA. Ωστόσο, το εύρος ζώνης ανά κανάλι και ο μέσος ρυθμός ισχύος είναι τα ίδια. Ένας υψηλός ρυθμός δεδομένων μπορεί να προκαλέσει διασυμβολική παρεμβολή σε συχνοεπιλεκτικό κανάλι διάλειψης.

Σε σύστημα TDMA, ο συγχρονισμός χρονοθυρίδων σε ένα πλαίσιο γίνεται σημαντικός επειδή, εάν χαθεί ο συγχρονισμός, τα κανάλια μπορούν να συγκρουστούν μεταξύ τους. Για να αποκατασταθεί ο συγχρονισμός, ο σταθμός βάσης στέλνει περιοδικά ένα σήμα χρονισμού πλαισίων, το οποίο χρησιμοποιούν οι σταθμοί των συνδρομητών για συγχρονισμό. Όταν σταθμοί συνδρομητών είναι τοποθετημένοι μέσα σε περιοχή κάλυψης με διάφορες αποστάσεις από τον σταθμό βάσης, η διαφορά καθυστέρησης της διάδοσης σήματος γίνεται πρόβλημα. Μια λύση για το πρόβλημα είναι να ρυθμιστούν οι χρονισμοί συνδρομητών με αποστολή σήματος ελέγχου από τον σταθμό βάσης:

Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας συγχρονισμού, ο σταθμός συνδρομητή στέλνει σήμα ριπής που είναι αρκετά σύντομο για να αποφευχθούν συγκρούσεις ακόμη και όταν ο συνδρομητής βρίσκεται στην πιο απομακρυσμένη θέση στην προκαθορισμένη περιοχή κάλυψης.

Ο σταθμός βάσης τότε μετρά το σφάλμα χρονισμού για τον εν λόγω σταθμό και ανατροφοδοτεί τις πληροφορίες στον εν λόγω σταθμό. Για να αποφεύγονται τα φαινόμενα παραμενόντων σφαλμάτων σ' αυτό το σύστημα ελέγχου χρονισμού, χρονόμετρα φύλαξης τοποθετούνται μεταξύ χρονοθυρίδων. Αυτό το χρονόμετρο φύλαξης και το σήμα προοιμίου που φέρει το σταθερό σήμα είναι οι επιβαρύνσεις που μειώνουν την αποδοτικότητα του φάσματος των συστημάτων TDMA.

Τα συστήματα CDMA χρησιμοποιούν διαφορετικούς κώδικες εξάπλωσης φάσματος για να διακρίνουν τα κανάλια μεταξύ τους. Τα συστήματα ευθείας ακολουθίας (DS) και με άλμα συχνότητας (FH) είναι γνωστά ως συστήματα εξαπλωμένου φάσματος. Εξετάζουμε πρώτα το σύστημα DS. Εάν χρησιμοποιούμε ορθογωνικούς κώδικες όπως οι συναρτήσεις Welsh, N κανάλια είναι ορθογώνια πολυπλεγμένα στην ίδια συχνότητα και στον ίδιο χρόνο χρησιμοποιώντας N φορές το εύρος ζώνης ενός καναλιού πριν από την εξάπλωση. Ένα σύστημα CDMA έχει τα οφέλη των επικοινωνιών SS (spread-spectrum= εξαπλωμένου φάσματος): Υψηλή διακριτική ικανότητα χρόνου και μεγάλο εύρος ζώνης. Επιπλέον, δεν απαιτείται διαχείριση συχνοτήτων ή χρονοθυρίδων γι' αυτό το σύστημα.

Επειδή τα συστήματα CDMA βασίζονται στην ορθογωνικότητα μεταξύ κωδίκων εξάπλωσης φάσματος, ο βαθμός συσχετισμού γίνεται κρίσιμος για υπάρχοντα συστήματα.

Μια παραμένουσα διασυσχέτιση μεταξύ κωδίκων, και διαφορές χρονισμού μεταξύ κωδίκων εξάπλωσης φάσματος, μειώνουν την ορθογωνικότητα. Όταν εφαρμόζεται σε κινητές ραδιοεπικοινωνίες, το πρόβλημα κοντινής-μακρινής διαδρομής επιταχύνει την απώλεια της ορθογωνικότητας. Γι' αυτό το σύστημα, είναι αναγκαίος αυτόματος έλεγχος μετάδοσης ισχύος, ο οποίος διατηρεί τη στάθμη του λαμβανόμενου σήματος σταθερή στον σταθμό βάσης.

Τα συστήματα FH είναι σημαντικά διαφορετικά από τα συστήματα DS σχετικά με το παραπάνω επιχείρημα. Για ένα αργό σύστημα FH, η ορθογωνικότητα καναλιού είναι παρόμοια με αυτή ενός συστήματος FDMA, λόγω της διαφοράς στις συχνότητες. Τα συστήματα FH μπορούν να κάνουν τυχαία τα φαινόμενα ομοκαναλικής παρεμβολής και διάλειψης.

### **3.5 ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ**

Σε αναλογικά συστήματα κινητής επικοινωνίας, ψηφιακά σήματα πρέπει να μεταδίδονται για σκοπούς ελέγχου συστήματος. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων είναι χαμηλή. Κύρια μέρη κυκλωμάτων συμπεριλαμβανομένου διαμορφωτή FM και περιοριστή-διευκρινιστή χρησιμοποιούνται από κοινού μεταξύ της ψηφιακής μετάδοσης και της αναλογικής μετάδοσης FM φωνητικού σήματος. Τα ψηφιακά δεδομένα μεταδίδονται μέσω αναλογικών φωνητικών καναλιών, όπου η συνιστώσα συνεχούς ρεύματος φράζεται. Συνεπώς, χρησιμοποιούνται συστήματα κωδικοποίησης Manchester ή υποφέρουσας.

### 3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ

Ένα σύστημα αναζήτησης είναι ένα μονόδρομο σύστημα ψηφιακής μετάδοσης. Αρχικά εμφανίστηκαν τονικά συστήματα όπου παράγεται ακουστικός τόνος όταν καλείται ένα τερματικό.

Τα συστήματα της επόμενης γενεάς μεταδίδουν ψηφιακά σήματα για να απεικονίζονται σε δέκτη. Κανονικά μηνύματα μπορούν να στέλλονται σε σύγχρονα συστήματα αναζήτησης. Τα συστήματα αναζήτησης μηνυμάτων θα αναπτύσσονται με την εξέλιξη των υπηρεσιών ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Η ανακοίνωση μηνύματος σχεδόν δεν διακόπτει το πρόσωπο που καλείται, και ένας τρόπος δονητή μιας κλήσης προειδοποίησης δεν προκαλεί παρεμβολή σε άλλους ανθρώπους.

Τα τερματικά αναζήτησης έχουν γίνει συμπαγή, ελαφρά και λεπτά. Συστήματα άμεσης μετατροπής χρησιμοποιούνται για μερικούς δέκτες τύπου κάρτας για να μειώσουν το μέγεθος του τερματικού.

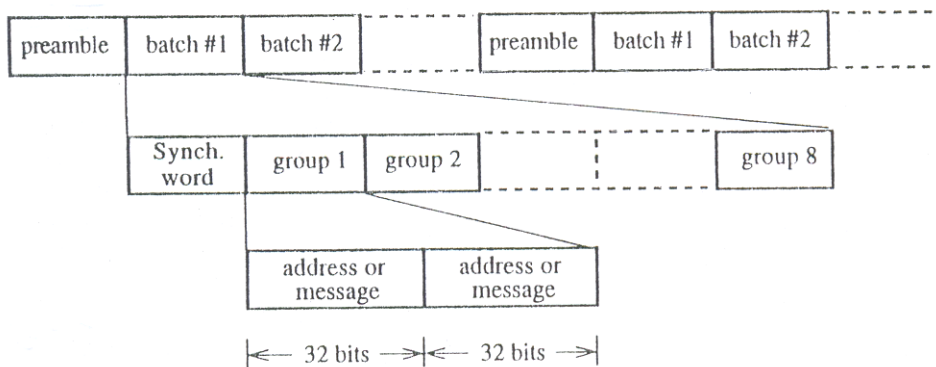
Τα συστήματα POCSAC (Post Office Code Standardisation Advisory Group = Συμβουλευτική ομάδα τυποποίησης κώδικα ταχυδρομείων) είναι ευρέως γνωστά. Η προδιαγραφή συνοψίζεται στον πίνακα 3.1 και μορφότυπος σήματος φαίνεται στο Σχ. 3.11. Για τονική υπηρεσία, 230.000 συνδρομητές μπορούν να εξυπηρετούνται ανά κανάλι. Για να αντιμετωπιστεί ο αυξανόμενος αριθμός των συνδρομητών που κινούνται μέσα στην Ευρώπη, το ETSI (Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτύπων Τηλεπικοινωνίας) σχεδιάζει σύστημα αναζήτησης που λέγεται ERMES (European Radio Messaging System = Ευρωπαϊκό Σύστημα Ραδιομηνυμάτων). Η προδιαγραφή φαίνεται στον πίνακα 3.2. Ο ρυθμός δεδομένων των καναλιών αυξάνεται σε 6.250 bps και χρησιμοποιείται πολυσταθμική FM για να επιτευχθεί μετάδοση υψηλής ταχύτητας μέσα σε διάσταση καναλιών 25 kHz. Χρησιμοποιείται ταυτόχρονη μετάδοση από πολλαπλούς σταθμούς βάσης. Σ' αυτό το σύστημα, σήματα από διάφορους σταθμούς βάσης θα πρέπει να συγχρονίζονται ως προς τον χρόνο με ήχους. Το ERMES παρέχει τονικές, αριθμητικές, αλφαριθμητικές και διαφανείς υπηρεσίες δεδομένων. Σχεδιάζονται συμπληρωματικές υπηρεσίες όπως νομιμοποίηση επανάληψης περιεχόμενου μηνύματος, ένδειξη επείγοντος μηνύματος και ούτω καθεξής. Τα τερματικά αναζήτησης πρέπει να είναι ικανά να σαρώνουν μέσω 16 καναλιών RF.

**Πίνακας 3.1** Σύστημα αναζήτησης POCSAG

Συχνότητα	Ζώνη 280 MHz
Διαπόσταση καναλιών	25 kHz
Διαμόρφωση	NRZ-FSK
Ταχύτητα καναλιού	512 bps
Κώδικας διόρθωσης σφάλματος	BCH (31,21)

**Πίνακας 3.2** Προδιαγραφή ERMES

Τύπος κωδικής λέξης	Συντομευμένος κυκλικός κώδικας (30,18)
Χωρητικότητα διεύθυνσης	32 εκατομμύρια για κάθε χώρα
Ζώνη συχνοτήτων	169.425-169.8 MHz
Αριθμός καναλιών RF	16
Διαπόσταση καναλιών	25 kHz
Διαμόρφωση	4PAM/FM (FSK 4επιπέδων)
Ρυθμός δυφίων συστήματος	6250 bps



Σχ. 3.11 Μορφότυπος σήματος για σύστημα αναζήτησης

Στην Ιαπωνία ένα προωθημένο σύστημα ραδιοαναζήτησης τυποποιείται βασισμένο σε σύστημα που λέγεται FLEX\* (\*καταχωρημένο εμπορικό σήμα της Motorola). Τρεις ρυθμοί δεδομένων 1600, 3200 και 6400 bps μπορούν να επιλεγούν για προσαρμογή στις απαιτήσεις εξυπηρέτησης: ένας ρυθμός δεδομένων επιλέγεται με συμβιβασμό της πυκνότητας κίνησης και του μεγέθους, της περιοχής κάλυψης: εξυπηρέτηση υψηλού ρυθμού δεδομένων χρησιμοποιείται για περιοχή υψηλής πυκνότητας συνδρομητών με συντομευμένη μέγιστη εμβέλεια εξυπηρέτησης. FSK τεσσάρων επιπέδων χρησιμοποιείται για ρυθμούς δεδομένων 6400 και 3200 bps και FSK δύο επιπέδων για ρυθμούς δεδομένων 3200 και 1600 bps. Ένα σύστημα διαφορισμού χρόνου, όπου τα ίδια δεδομένα στέλνονται έως τέσσερις φορές, υιοθετείται για να επιτύχει μεγάλες εμβέλειες εξυπηρέτησης. Μια κωδική λέξη συνίσταται από BCH (31,21) και ένα δυφίο ισοτιμίας. Η ευέλικτη λειτουργία του συστήματος επιτελείται μέσω της αποστολής πληροφοριακού σήματος πλαισίου που αναφέρει τους ρυθμούς δεδομένων, τον αριθμό των επαναλαμβανόμενων μεταδόσεων και ούτω καθεξής. Μια ποικιλία υπηρεσιών όπως τονική, αριθμητική, αλφαβητική και μετάδοση μηνυμάτων και δεδομένων εξυπηρετούνται αποτελεσματικά μέσω της χρήσης διάφορων πεδίων (δηλαδή πεδίων διεύθυνσης, φορέα και μηνύματος). Τα δεδομένα πεδίου φορέα δείχνουν τις θέσεις εκκίνησης και τέρματος του μηνύματος για καλούμενο τερματικό.

### 3.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι υπηρεσίες κινητής ραδιοεπικοινωνίας όπως κίνηση αποστολής βελτιώνονται με την εισαγωγή συστημάτων ψηφιακής ραδιομετάδοσης: Η μετάδοση κειμένου και άλλων μηνυμάτων δεδομένων μπορούν να αντικαταστήσουν ή να βοηθήσουν τη φωνητική επικοινωνία. Αυτά τα είδη συστημάτων ψηφιακής κινητής επικοινωνίας ήταν σε εμπορική χρήση.

### 3.7.1 MOBITECH

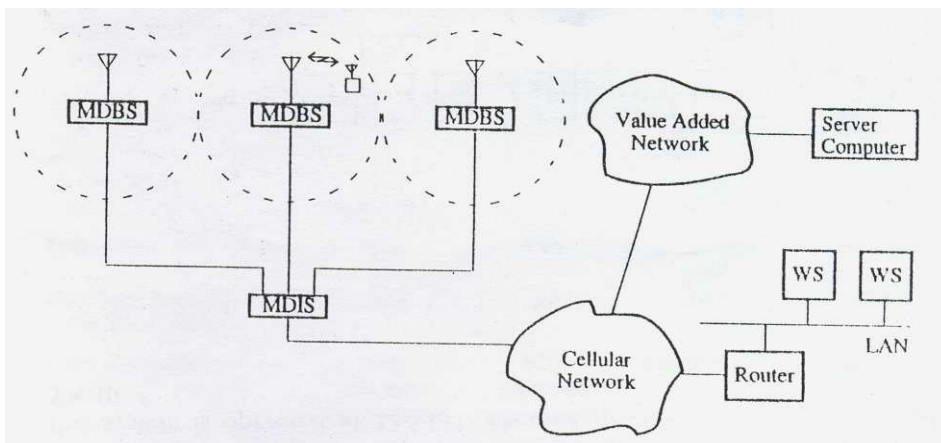
Το MOBITECH είναι σύστημα κινητής επικοινωνίας το οποίο αναπτύχθηκε από τη Σουηδική Υπηρεσία Τηλεπικοινωνιών και στο οποίο ψηφιακά δεδομένα καθώς και αναλογικά φωνητικά σήματα μεταδίδονται μέσω συγκαταλεωμένων καναλιών συχνοτήτων. Οι σταθμοί βάσης λειτουργούν αμφίδρομα, ενώ οι κινητές μονάδες λειτουργούν σε μονοδρομία ή αμφίδρομία δύο συχνοτήτων. Η διαπόσταση καναλιών είναι 25 kHz. Η ψηφιακή διαμόρφωση είναι FFSK με ρυθμό δεδομένων 1200 kbps. Ένας κώδικας BCH (15,10) για κωδικοποίηση δεδομένων και ARQ χρησιμοποιούνται στο ραδιοκανάλι.

### 3.7.2 Σύστημα τηλετερματικού

Το τηλετερματικό είναι δημόσιο σύστημα κινητής ραδιοεπικοινωνίας δεδομένων ξηράς που αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία. Τα σήματα δεδομένων μεταδίδονται σε συγκαταλεωμένα κανάλια πακετομεταγωγής. Μια σύνοψη των προδιαγραφών του συστήματος. Ο κώδικας Reed-Solomon (15, 11, 5) και ARQ υιοθετούνται για έλεγχο σφαλμάτων στο ραδιοκανάλι. Η μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης είναι σύστημα σταθμοσκόπησης, όπου ένα σταθμοσκοπημένο τερματικό μπορεί να μεταδίδει πακέτα δεδομένων.

### 3.7.3 Κινητά συστήματα δεδομένων σε αναλογικά κυψελοειδή συστήματα

Επειδή τα κυψελοειδή συστήματα συνδέονται στα δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα μεταγωγής (PSTN) ενσύρματης γραμμής, είναι επιθυμητό να επεκτείνονται οι υπηρεσίες δεδομένων στο PSTN σε υπάρχοντα αναλογικά κυψελοειδή κινητά συστήματα. Γι' αυτό το σκοπό προτείνονται το σύστημα CDLC (κυψελοειδούς ελέγχου ζεύξης δεδομένων) και το σύστημα CDPD (κυψελοειδών ψηφιακών δεδομένων πακέτου).



Σχήμα 3.12 Δίκτυο CDPD

Στο σύστημα CDLC, χρησιμοποιείται ο διαμορφωτής CCITT V26 για ζεύξη καναλιού φωνής ζώνης βάσης από PSTN σε αναλογικό κυψελοειδές σύστημα FM. Οι κώδικες BCH (16,8) και Reed-Solomon (72,68) επιλέγονται για το εμπροσθόρορο κανάλι ανάλογα με τις συνθήκες κυκλώματος, και ο κώδικας Golay χρησιμοποιείται στο οπισθόρορο κανάλι. Το πρωτόκολλο είναι αμφίδρομο με πρωτόκολλο στρώματος 2 βασισμένο σε πρότυπα HDLC.

Στο σύστημα CDPD, τα σήματα δεδομένων μεταδίδονται ως πακέτα μέσω αμφίδρομου ραδιοκαναλιού με ρυθμούς δεδομένων καναλιού 19,2 kbps. Το δίκτυο CDPD φαίνεται στο Σχ. 3.12. Οι κινητοί σταθμοί βάσης δεδομένων είναι πιθανώς συντοποθετημένοι με αναλογικούς σταθμούς κυψελοειδούς βάσης FM. Το σύστημα CDPD ανιχνεύει τα κανάλια του κυψελοειδούς συστήματος που δεν χρησιμοποιούνται για φωνητική επικοινωνία και τα χρησιμοποιεί για μετάδοση δεδομένων. Όταν φωνητική επικοινωνία ξεκινά στο κανάλι, διακόπτει την επικοινωνία δεδομένων σ' αυτό το κανάλι και τη μετάγει σε άλλο κανάλι που βρίσκεται σε ηρεμία (άλμα καναλιών). Το άλμα καναλιών ελέγχεται από τον κινητό σταθμό βάσης δεδομένων που εκπέμπει το σήμα άλματος καναλιών προς τα τεμαχικά δεδομένων.

Το πρωτόκολλο CDPD υποστηρίζει το φυσικό στρώμα και το στρώμα ζεύξης δεδομένων.

### 3.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ

Η ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών ψηφιακής κινητής ραδιοεπικοινωνίας παρακινείται έντονα από δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης για συστήματα ψηφιακών κινητών τηλεφώνων. Ένα πρωτοποριακό πειραματικό σύστημα TDMA αναφέρθηκε το 1982 που αναγνωρίζει τα πλεονεκτήματα μιας προσέγγισης TDMA. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δοκιμών στην πράξη έδειξαν δυσκολία σε ψηφιακή μετάδοση TDMA υψηλής ταχύτητας λόγω των ταχέων φαινομένων συχνοεπιλεκτικής διάλειψης. Το πρώτο Σκανδιναβικό Σεμινάριο για Ψηφιακές Κινητές Ραδιοεπικοινωνίες Ξηράς το 1985 εξέπληξε τους ερευνητές των ψηφιακών κινητών ραδιοεπικοινωνιών, ή τουλάχιστον τον συγγραφέα αυτού του βιβλίου, με την παρουσίαση τόσο πολλών φιλόδοξων προτάσεων, μερικές από τις οποίες επηρέασαν τα μεταγενέστερα πανευρωπαϊκά (GSM) ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα. Η πανευρωπαϊκή οργάνωση για τυποποίηση συστήματος GSM ξεκίνησε. Δεν μεσολάβησε πολύς χρόνος ώσπου να ξεκινήσουν προσπάθειες για τυποποίηση συστημάτων ψηφιακών κινητών τηλεφώνων στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία. Σ' αυτό το τμήμα, περιγράφονται σε συντομία το GSM, το αμερικανικό ψηφιακό κυψελοειδές και το (ιαπωνικό) προσωπικό ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα.

#### 3.8.1 Το σύστημα GSM

Οι ευρωπαϊκές χώρες συγκρότησαν μια επιτροπή που ονομάζεται GSM (Ειδική Επιτροπή Κινητών Επικοινωνίας) για να δημιουργήσει ένα πρότυπο πανευρωπαϊκό σύστημα ψηφιακών κινητών τηλεφώνων που θα μπορούσε να καθιερωθεί στη δεκαετία του 1990. Κριτήρια για τα συστήματα GSM (που μεταγενέστερα ονομάστηκαν Παγκόσμια Συστήματα για Κινητή Επικοινωνία) είναι όπως:

- Αποδοτικότητα φάσματος
- Υποκειμενική ποιότητα φωνής
- Κόστος κινητού
- Δυνατότητα μεταφοράς στα χέρια
- Κόστος σταθμού βάσης
- Συνύπαρξη με υπάρχοντα συστήματα

Πολλά συστήματα προτάθηκαν ως υποψήφια για το σύστημα GSM. Αξίζει τον κόπο να ανακληθούν εδώ. Ο πίνακας 3.3 συνοψίζει τα προταθέντα συστήματα. Περιλαμβάνονται όλες οι μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης –FDMA, TDMA και CDMA–. Ένας αυτόματος εξισορροπητής θεωρείται ότι χρησιμοποιείται στα συστήματα TDMA. Μέσω των προσπαθειών πολλών ανθρώπων, το σύστημα GSM τυποποιήθηκε. Ο πίνακας 3.4 συνοψίζει τις προδιαγραφές του συστήματος GSM.

Ένα σύστημα TDMA επιλέχθηκε με σύγκριση μεταξύ αναλογικού σε σχέση με ψηφιακό, FDMA σε σχέση με TDMA, και TDMA στενής ζώνης σε σχέση με ευρείας ζώνης. Υιοθετήθηκε η RPE-LTP (προβλεπόμενη κωδικοποίηση διεγερόμενη με κανονικό παλμό με μακροπρόθεσμη πρόβλεψη) με ρυθμό κωδικοποίησης φωνής 13 kbps. Για ψηφιακή διαμόρφωση, η DPM επιλέχθηκε δοκιμαστικά. Αργότερα επιλέχθηκε GMSK με φιλτράρισμα ζώνης βάσης, όπου το εύρος ζώνης 3 dB κανονικοποιημένο με τον ρυθμό δυφίων BbT είναι 0,3. Αυτό το σχήμα ψηφιακής διαμόρφωσης είναι σταθερή διαμόρφωση περιβάλλουσας που είναι διαφορετική από τη γραμμική διαμόρφωση που χρησιμοποιείται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας των ΗΠΑ και της Ιαπωνίας. Δεν είναι σαφές εάν η γραμμική διαμόρφωση συζητήθηκε ως υποψήφια μέθοδος. Η πρόταση για γραμμική διαμόρφωση για κινητή επικοινωνία εμφανίστηκε το 1997.

Η δομή πλαισίου TDMA φαίνεται στο Σχ. 3.13. Ένα πλαίσιο TDMA περιλαμβάνει 8 χρονοθυρίδες. Οι χρονοθυρίδες για την ανερχόμενη ζεύξη είναι σκόπιμα καθυστερημένες σχετικά με αυτές για την κατερχόμενη ζεύξη (βάση προς κινητό) για χρήση μεταγωγέα αντί φίλτρου αμφιδρομίας για σκοπούς αμφιδρομίας εκπομπής-λήψης. Οι ρυθμοί εκπομπής γίνονται 270,833 kbps, που εξυπηρετούν 8 χρονοθυρίδες κωδικοποιημένες ως προς τα κανάλια. Αυτός ο ρυθμός μετάδοσης δεν μπορεί να επιτευχθεί για σύστημα κινητής τηλεφωνίας εκτός εάν χρησιμοποιείται αυτόματος εξισορροπητής. Ως τυποποιημένη επίδοση του εξισορροπητή, πρέπει να αντιμετωπιστεί η (μέση) εξάπλωση καθυστέρησης των 16μs. Τυποποίηση για τον εξισορροπητή δεν είναι αναγκαία. Η επιλογή του εξισορροπητή αφήνεται στους κατασκευαστές εξοπλισμού. Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούνται εξισορροπητές Viterbi ή ανατροφοδότησης απόφασης. Τα εκπαιδευτικά σήματα μήκους 26 bits χρησιμοποιούνται για εκπαίδευση εξισορροπητή όπως φαίνεται στον πίνακα 9.9. Η λειτουργία αυτοσυσχετισμού του σήματος εκπαίδευσης φαίνεται στο Σχ. 3.14. Αυτή υπολογίζεται όταν ληφθεί συσχετισμός μεταξύ του κώδικα σήματος εκπαίδευσης και του κέντρου 26 bits του κώδικα, με υπόθεση  $-1$  για  $0$ .

Η συνάρτηση αυτοσυσχετισμού παρουσιάζει μια έντονη κορυφή στο κέντρο και ένα μηδέν μέσα σε  $\pm$  χρόνο συμβόλου. Έτσι, με αυτόν τον κώδικα, προκύπτει απόκριση παλμού καναλιού με διάρκεια χρόνου μέσα σε  $\pm 5$  σύμβολα.

Ο πομποδέκτης GSM πρέπει να είναι ευμετάβλητος ως προς την συχνότητα για δύο σκοπούς: (i) για έναν κινητό σταθμό να παρακολουθεί ένα κανάλι σε διάφορες συχνότητες κατά τη διάρκεια μήκους πλαισίου 4,6 ms συμπεριλαμβανομένων των χρονικών διαστημάτων εκπομπής και λήψης και (ii) για να κατανέμεται τυχαία η ομοκαναλική παρεμβολή. Ο σταθμός βάσης κάνει άλμα σε κάθε θυρίδα πλαισίου με αποτέλεσμα ρυθμό αλμάτων 217 άλματα/s.

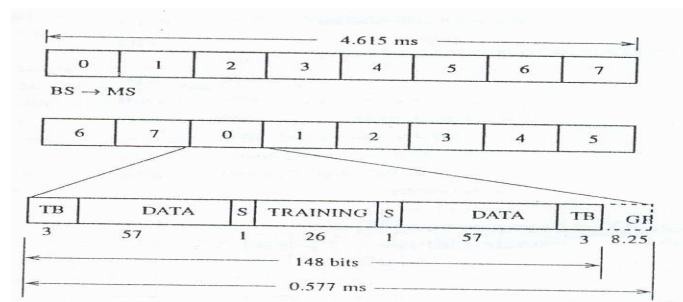
**Πίνακας 3.3** Προτεινόμενα συστήματα για το GSM

Σύστημα	Εταιρεία	Πολλαπλή πρόσβαση	Διαμόρφωση	Ρυθμός δυφίων (kbps)	Διαπόσταση καναλιών (kHz)
	Bosch/Ant/Matra	TDMA	FSK 4 επιπέδων	128	250
	Ericsson	TDMA	GMSK	340	300
	LCT/TRT	TDMA/CDMA	GMSK	200	150
	SEL/AEG/ATR/SAT/ITALTEL	TDMA/CDMA	QPSK	4000	6000
	TeKaDe/TRT		QAM	1218	1250

Τα κανάλια διαιρούνται λογικά σε κανάλια κίνησης (TCH) και κανάλια ελέγχου. Το TCH είναι κανάλι που φέρει πληροφορίες. Τα κανάλια ελέγχου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

**Πίνακας 3.4** Σύνοψη συστήματος GSM

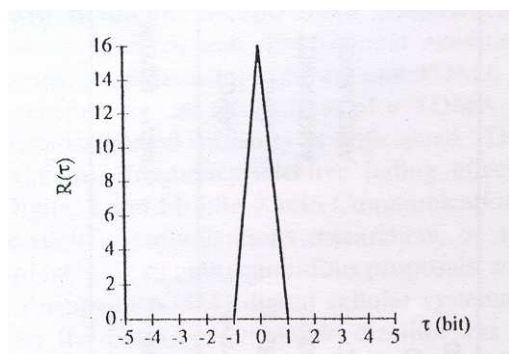
Ζώνη συχνοτήτων	890-915 MHz (κινητός προς βάση) 935-960 MHz (βάση προς κινητό)
Διαπόσταση καναλιών	200 kHz (με διεμπλοκή)
Αριθμός καναλιών συχνοτήτων	124
Πολλαπλή πρόσβαση	TDMA 8 καναλιών
Διαμόρφωση	Μήκος χρονοθυρίδας 577 $\mu$ s (156,25 bit)
Ταχύτητα καναλιών	GMSK ( $B_bT=0,3$ )
Ταχύτητα καναλιών	270,833 kbps
Κωδικοποίηση φωνής	PRE-LTP (13 kbps, 22,8 kbps με FEC)
Ταχύτητα δεδομένων χρήστη	9,6, 4,8, 2,4 kbps
Αυτόματος εξισορροπητής	Ικανός για τη μέγιστη εξάπλωση καθυστέρησης 16 $\mu$ s
Άλμα συχνότητας	217 άλματα/s
Κάλυψη σταθμού βάσης (ακτίνα)	0,5 – 35 km
Ισχύς εκπομπής	0,8-20 W (κινητός), 2,5-320 W (βάση)



**Σχήμα 3.13** Μορφότυπος frame (πλαisiού) συστήματος GSM



- **BCCH** Broadcast Control Channels (κανάλια ελέγχου εκπομπής) είναι για πληροφορίες εκπομπής για το σύστημα προς όλους τους κινητούς σταθμούς.
- **FCCH** Frequency Correction Channels (κανάλια διόρθωσης συχνότητας) είναι για κινητούς σταθμούς για να ρυθμίζουν τη συχνότητά τους προς σταθερή συχνότητα σταθμού βάσης.
- **PCH** Paging Channels (κανάλι αναζήτησης) είναι για αναζήτηση κινητών σταθμών.
- **RACH** Random Access Channels (κανάλια τυχαίας πρόσβασης) είναι κανάλια ανερχόμενης ζεύξης όπου οι κινητοί σταθμοί κάνουν τυχαία πρόσβαση στα κανάλια για να στείλουν σήματα ελέγχου.

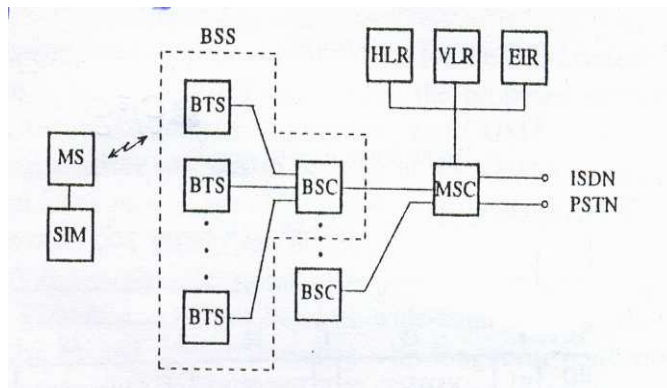


Σχήμα 3.14 Συνάρτηση αυτοσυσχετισμού σήματος εκπαίδευσης για συστήματα GSM

- **SACCH** Slow Associated Control Channels (αργά συσχετιζόμενα κανάλια ελέγχου) είναι κανάλια για μετάδοση αργών σημάτων ελέγχου μαζί με σήματα πληροφοριών.
- **FACCH** Fast Associated Control Channels (γρήγορα συσχετιζόμενα κανάλια ελέγχου) κλέβουν χρονοθυρίδες κίνησης για να χρησιμοποιούνται για απαιτήσεις γρήγορου ελέγχου όπως μεταπομπή.

Η διάρθρωση του δικτύου GSM φαίνεται στο Σχ. 3.15. Μερικοί ελεγκτές σταθμών βάσης συνδέονται με κινητό κέντρο μεταγωγής. Οι σταθμοί πομποδεκτών βάσης συνδέονται με τον ελεγκτή σταθμών βάσης, όπου η χρήση ραδιοκαναλιού ελέγχεται για αναζήτηση, μεταπομπή και ούτω καθεξής. Ένας κινητός σταθμός μπορεί να χρησιμοποιείται μεταξύ διαφορετικών προσώπων με χρήση της κάρτας ταυτότητας συνδρομητή. Τα κινητά κέντρα μεταγωγής είναι εξοπλισμένα με συστήματα αρχείου όπως πάτριος καταχωρητής θέσης αναζήτησης, επισκέπτης καταχωρητής θέσης αναζήτησης και καταχωρητής ταυτότητας εξοπλισμού. Πολλές υπηρεσίες δεδομένων καθώς και υπηρεσία φωνής παρέχονται με τυποποιημένα πρωτόκολλα, τα οποία είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής αυτού του βιβλίου.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η έλλειψη χωρητικότητας του υπάρχοντος αναλογικού συστήματος (AMPS) ήταν αναμενόμενη με την αύξηση σε συνδρομητές ειδικότερα στις μεγάλες πόλεις όπως η Νέα Υόρκη, το Σικάγο και το Los Angeles. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, άρχισαν προσπάθειες προς σύστημα μεγαλύτερης χωρητικότητας. Έγινε αποδεκτός ένας όρος να μην εκχωρείται νέο φάσμα συχνοτήτων σ' αυτό το σύστημα, αλλά το σύστημα AMPS να αντικατασταθεί βαθμιαία με το νέο σύστημα. Η TIA (Ένωση Βιομηχανίας Τηλεπικοινωνιών) που ήταν ο κύριος φορέας για την τυποποίηση του νέου συστήματος, αποφάσισε να υιοθετήσει σύστημα TDMA το 1990. Το 1991 η TIA εξέδωσε το πρότυπο σύστημα (15-54). Εξετάστηκε ένα σύστημα διπλού τρόπου (αναλογικό και ψηφιακό) λόγω της απαίτησης για βαθμιαία αντικατάσταση.



- MCS: Mobile Service Switching Center (κέντρο μεταγωγής κινητής υπηρεσίας)  
 HLR: Home Location Register (πάτριος καταχωρητής θέσης αναζήτησης)  
 VLR: Visitor Location Register (επισκέπτης καταχωρητής θέσης αναζήτησης)  
 EIR: Equipment Identity Register (καταχωρητής ταυτότητας εξοπλισμού)  
 BSS: Base Station System (σύστημα σταθμών βάσης (BTS+BSC))  
 BSC: Base Station Controller (ελεγκτής σταθμών βάσης)  
 BTS: Base Transceiver Station (σταθμός πομποποδέκτη βάσης)  
 MS: Mobile Station (κινητός σταθμός)  
 SIM: Subscriber Identity Module (δομοστοιχείο ταυτότητας συνδρομητή)  
 ISDN: Integrated Services Digital Network (ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών)  
 PSTN: Public Switched Telephone Network (δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής)

Σχήμα 3.15 Διάρθρωση δικτύου GSM

Η διεμπλεγμένη διαπόσταση καναλιών 30 kHz είναι η ίδια όπως αυτή για το σύστημα AMPS για ευκολία της λειτουργίας διπλού τρόπου. Υιοθετείται σύστημα TDMA 3 καναλιών με έξι χρονοθυρίδες. Ένα φωνητικό σήμα χρησιμοποιεί τις θυρίδες 0 και 3 ή 1 και 4 ή 2 και 5. Εάν υιοθετηθεί κωδικοποίηση φωνής μισού ρυθμού, γίνεται σύστημα TDMA 6 καναλιών. Για κωδικοποίηση φωνής χρησιμοποιείται VSELP ME 7,95 kbps και 13,5 kbps χωρίς και με προστασία σφάλματος αντίστοιχα. Η ψηφιακή διαμόρφωση είναι GFSK με μετατόπιση  $\pi/4$  η οποία ήταν η γραμμική διαμόρφωση που εισήχθη για πρώτη φορά σε κυβελοειδή συστήματα.

Μια μέγιστη διαφορά καθυστέρησης 40  $\mu$ s σε ραδιοκάναλια πρέπει να αντιμετωπίζεται με αυτόματο εξισορροπητή. Ένα μεγάλο μήκος θυρίδας 6,7 ms απαιτεί υψηλή ταχύτητα ιχνηλάτησης για τον εξισορροπητή, επειδή τα χαρακτηριστικά των καναλιών μεταβάλλονται σημαντικά κατά τη διάρκεια του μήκους χρόνου ριπής με γρήγορη διάλειαση.

Το σύστημα IS-54 έχει τριπλάσια χωρητικότητα από το σύστημα AMPS, εάν ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης είναι ο ίδιος μεταξύ των δύο συστημάτων. Η συζήτηση του παράγοντα επαναχρησιμοποίησης είναι δύσκολη επειδή αυτός εξαρτάται από απαιτούμενη σχέση προστασίας για ομοκαναλική παρεμβολή, την πιθανότητα η σχέση σήματος προς θόρυβο να πέσει κάτω από δεδομένο κατώφλι και την απαιτούμενη ποιότητα φωνής υπό συνθήκες ομοκαναλικής παρεμβολής και διάλειψης. Για σύγκριση ποιότητας φωνής μεταξύ διάφορων συστημάτων κωδικοποίησης φωνής συμπεριλαμβανομένου αναλογικού συστήματος FM, η δοκιμή γνώμης πολλών χρηστών πρέπει να διεξάγεται σε πραγματικό περιβάλλον καναλιού επικοινωνίας. Μετά την τυποποίηση του συστήματος TDMA IS-54, ένα υποψήφιο σύστημα με χρήση αρχιτεκτονικής CDMA προτάθηκε από τη Qualcomm, Inc. Αυτό το σύστημα CDMA υιοθετήθηκε επίσης ως ένα άλλο πρότυπο (IS-94) σύστημα. Είναι ένα άμεσης ακολουθίας σύστημα φασματικής εξάπλωσης. Το πολλαπλής πρόσβασης σύστημα είναι CDMA άμεσης ακολουθίας, το οποίο είναι το πρώτο σύστημα φασματικής εξάπλωσης που τυποποιήθηκε για κυψελοειδή συστήματα. Ο παράγοντας εξάπλωσης είναι 128. Ο κώδικας εξάπλωσης είναι συνδυασμός κωδικών PN (ψευδοθορύβου) και συναρτήσεων Walsh. Με χρήση των συναρτήσεων Walsh με μήκος 64 δυάδων, παρέχονται 64 ορθογωνικά κανάλια για ένα σταθμό βάσης. Με χρήση διαφορετικών κωδικών PN μεταξύ σταθμών βάσης, η ίδια συχνότητα χρησιμοποιείται για κάθε σταθμό βάσης, δηλαδή ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης ή ομάδα κυψελών είναι 1.

Διεκδικείται απόδοση φάσματος περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή του συστήματος AMPS. Γι' αυτό το αποτέλεσμα, επιπλέον της επαναχρησιμοποίησης μιας συχνότητας, υποτίθενται αυτόματος έλεγχος ισχύος εκπομπής, λογισμική μεταπομπή ή μακροδιαφορισμός, μετάδοση ενεργοποιούμενη με τη φωνή και τομεοποίηση. Αυτόματος έλεγχος ισχύος εκπομπής, για τη διατήρηση της στάθμης του λαμβανόμενου σήματος μέσα σε δεδομένη περιοχή στον σταθμό βάσης, είναι αναγκαίος για φασματικά αποδοτικό σύστημα CDMA για να αντιμετωπίζεται το φαινόμενο κοντά-μακριά. Λογισμική μεταπομπή σημαίνει ότι η μεταπομπή γίνεται βαθμιαία όπως στον μακροδιαφορισμό μεταξύ σταθμών βάσης. Αυτή η τεχνική είναι αποτελεσματική υπό συνθήκες σκίασης. Μερικά κανάλια πρέπει να δεσμεύονται για σκοπούς λογισμικής μεταπομπής.

Η ενεργοποιούμενη από τη φωνή μετάδοση, όπου το φέρον σήμα μεταδίδεται μόνον όταν ανιχνεύεται φωνητικό σήμα, μειώνει τη διακαναλική παρεμβολή κατά τη σχέση του χρονικού διαστήματος σιωπής προς το συνολικό χρονικό διάστημα ομιλίας.

Σ' αυτό το σύστημα, θεωρούνται επίσης κυψέλες με τομείς. Το φαινόμενο της τομεοποίησης έχει ως αποτέλεσμα αύξηση κατά  $N$  φορές στην φασματική απόδοση με μείωση της περιοχής υπηρεσίας σε  $1/N$ , όπου  $N$  είναι ο αριθμός των τομέων.

Ζώνες φύλαξης συχνοτήτων πρέπει να δεσμεύονται μεταξύ διάφορων φερουσών συχνοτήτων, γεγονός που μειώνει τη φασματική απόδοση.

Έτσι, η υψηλή χωρητικότητα του συστήματος CDMA διατηρείται μέσω πολλών προωθημένων τεχνικών. Η επικύρωση της διεκδικούμενης χωρητικότητας του συστήματος CDMA είναι δύσκολη επειδή όλοι οι κινητοί σταθμοί πρέπει κατ' αρχήν να λάβουν μέρος στο πείραμα. Αντίθετα, το πείραμα διακαναλικής παρεμβολής για συστήματα TDMA ή FDMA μπορεί να διεξαχθεί με χρήση μικρού αριθμού κινητών σταθμών που παρεμβάλλονται σε εξεταζόμενο κανάλι.

### 3.9 ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΚΑΙ FPLMTS

Πολλά σχέδια έχουν προταθεί για μελλοντικά συστήματα τηλεπικοινωνίας. Η προσωπική επικοινωνία ή UPT (παγκόσμια προσωπική τηλεπικοινωνία) είναι κοινά αναφερόμενο σχέδιο. Σε συνάντηση CCITT το 1991, η UPT ορίστηκε ως ακολούθως:

Η UPT καθιστά δυνατή πρόσβαση σε υπηρεσίες τηλεπικοινωνίας ενώ επιτρέπει προσωπική επικοινωνία.

Δίνει τη δυνατότητα σε κάθε χρήστη UPT να συμμετέχει σε οριζόμενο από τον χρήστη σύνολο εγγεγραμμένων υπηρεσιών και να ξεκινά και να λαμβάνει κλήσεις βάσει προσωπικού, διαφανούς ως προς το δίκτυο αριθμού UPT μέσω πολλαπλών δικτύων σε οποιοδήποτε σταθερό ή κινητό τερματικό, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική θέση, με περιορισμό μόνον από ικανότητες τερματικού και δικτύου και περιορισμούς που επιβάλλονται από τον φορέα λειτουργίας δικτύου.

Για να αυξηθεί η προσωπική κινητικότητα, ένα προσωπικό τερματικό θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιείται οπουδήποτε σε δίκτυο επικοινωνίας (κινητικότητα τερματικού). Η κινητικότητα τερματικού μεγιστοποιείται με κινητές ραδιοεπικοινωνίες και πολλά συστήματα κινητής ραδιοεπικοινωνίας είναι υπό μελέτη για προσωπικές υπηρεσίες επικοινωνίας. Στην Ευρώπη το UMTS (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Τηλεπικοινωνίας) τυποποιείται από το ETSI. Η μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης είναι κύριο θέμα γι' αυτό το σύστημα. Τόσο η εναλλακτική λύση TDMA όσο και η CDMA είναι υπό έρευνα στο πρόγραμμα RACE (Έρευνα και Ανάπτυξη σε Προωθημένες Τεχνολογίες Επικοινωνιών στην Ευρώπη). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, επτά ομάδες εργασίας έχουν δημιουργηθεί για ένα τυποποιημένο σύστημα προσωπικής υπηρεσίας επικοινωνίας (PCS).

Το FPLMTS (Μελλοντικό Δημόσιο Σύστημα Κινητής Τηλεπικοινωνίας Ξηράς) τυποποιείται στην Ομάδα Εργασίας 8/1 της CCIR (Διεθνούς Συμβουλευτικής Επιτροπής Ραδιοεπικοινωνιών). Αυτό είναι ένα παγκόσμιο τυποποιημένο σύστημα. Το FPLMTS είναι εξελικτικό σύστημα κινητής επικοινωνίας που μπορεί να παρέχει ποικιλία υπηρεσιών ποιότητας συγκρίσιμης με αυτή των σταθερών επικοινωνιών με πρόσβαση σε δημόσια δίκτυα, με χρήση πολλών ειδών κινητών τερματικών, τα οποία υποστηρίζονται με τυποποιημένες ραδιοδιεπαφές.

Γίνονται εκτενείς μελέτες.

## Υποδομή Δικτύου UMTS

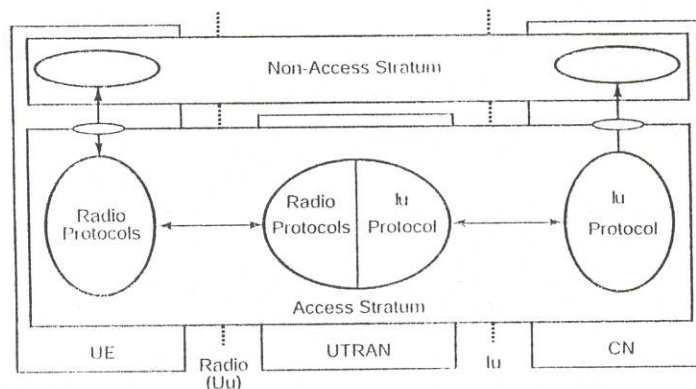
### 4.1 Εισαγωγή

Όπως τα άλλα κυβελοειδή συστήματα κινητής ραδιοεπικοινωνίας, το UMTS αναγνωρίζεται συχνά με τα χαρακτηριστικά του, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ότι υπάρχει επίσης ένα μεγάλο και σύνθετο δίκτυο που μεταφέρει τον όγκο των πληροφοριών, είτε είναι φωνή είτε δεδομένα, που προέρχονται από τα κινητά τερματικά.

Ο πυρήνας του δικτύου είναι το συστατικό στοιχείο αυτού του δικτύου που αποκαθιστά επικοινωνία μεταξύ των διάφορων τομέων του δικτύου πρόσβασης, το οποίο συγκεντρώνει την κίνηση άμεσα από τους διάφορους ραδιοσταθμούς βάση.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, το Επίγειο Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης λέγεται UTRAN.

Ο ρόλος του UTRAN φαίνεται στο Σχήμα 4.1, το οποίο απεικονίζει την υψηλής στάθμης αρχιτεκτονική UMTS ως συνάρτηση των ακόλουθων οντοτήτων: UE (Εξοπλισμός Χρήστη) ή με άλλα λόγια το κινητό τερματικό), UTRA και CN (Δίκτυο Πυρήνα). Στο UMTS, επιπλέον, έγινε προσπάθεια να εισαχθεί κάποιος βαθμός ανεξαρτησίας μεταξύ της ραδιοδιεπαφής και των άλλων μερών του συστήματος. Αυτή η ανεξαρτησία, που ερευνήθηκε



Σχήμα 4.1 Λειτουργική αρχιτεκτονική UMTS υψηλής στάθμης

στο πλαίσιο ειδικών προγραμμάτων έρευνας, εφαρμόστηκε εν μέρει μέσω λογικού διαχωρισμού μεταξύ Συστρώματος Πρόσβασης και Συστρώματος μη Πρόσβασης UMTS. Εδώ, το Σύστημα Πρόσβασης είναι το σύνολο πρωτοκόλλων και ικανοτήτων που συνδέονται πιο στενά με την εξεταζόμενη ραδιοτεχνική, ενώ ο όρος Σύστημα μη Πρόσβασης χρησιμοποιείται για να σημαίνει αυτά που είναι ανεξάρτητα από το δίκτυο ραδιοπρόσβασης.

Θεωρητικά, αυτό επιτρέπει σε ένα κινητό ραδιοσύστημα να χρησιμοποιεί διάφορα δίκτυα πρόσβασης, ελευθερώνοντας το Δίκτυο Πυρήνα από την ιδιαίτερη τεχνολογία που επιλέγεται για την πρόσβαση. Ως αποτέλεσμα, διάφοροι τύποι δικτύου πρόσβασης μπορούν να συνδέονται με το ίδιο κινητό ραδιοσύστημα.

Οι ικανότητες του Συστήματος μη Πρόσβασης περιλαμβάνουν έλεγχο κλήσης και συνόδου (δηλαδή τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση, την τροποποίηση και την απελευθέρωση λογικών πόρων μετάδοσης σχετικών με την απαιτούμενη υπηρεσία) και έλεγχο κινητικότητας (ή με άλλα λόγια, όλες τις διαδικασίες που δίνουν στον χρήστη τη δυνατότητα να επικοινωνεί ανεξάρτητα από τη θέση του και από το εάν είναι ή όχι σε κίνηση). Αυτή η τελευταία ικανότητα έχει εφαρμογή σε κινητικότητα μεταξύ διάφορων περιοχών του δικτύου πρόσβασης και η διαχείρισή της ως τέτοιας γίνεται από το CN. Αντίθετα, η διαχείριση της κινητικότητας μέσα σε περιοχή πρόσβασης γίνεται ανεξάρτητα στο Σύστημα Πρόσβασης. Ουσιαστικά, οι ικανότητες του Συστήματος Πρόσβασης αντιστοιχούν με το σύνολο των λειτουργιών που εφαρμόζονται στο UTRAN.

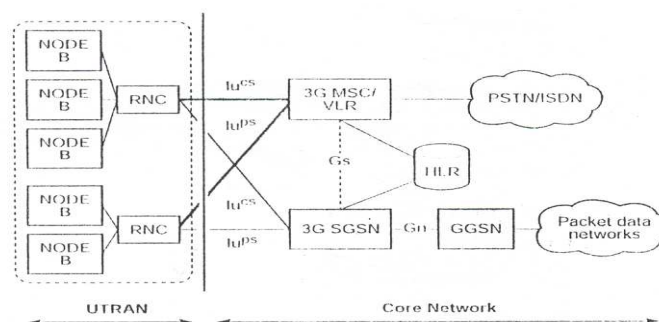
Για να δοθεί γενική επισκόπηση του δικτύου ραδιοπρόσβασης και να τονιστούν οι καινοτομικές πλευρές του, τα ακόλουθα θέματα θα ερευνηθούν σε βάθος παρακάτω, με βάση τις προδιαγραφές 3GPP :

- Γενική αρχιτεκτονική του UTRAN, με λεπτομερή εξέταση σε AAL2 (Στρώμα Προσαρμογής 2 ATM) και μακροδιαφορισμό.
- Αρχιτεκτονική των ραδιοπρωτοκόλλων, με ιδιαίτερη προσοχή στον RRC (Έλεγχο Προσαρμογής 1 ATM) και μακροδιαφορισμό.
- Αρχιτεκτονική των ραδιοπρωτοκόλλων, με ιδιαίτερη προσοχή στον RRC (Έλεγχο Ραδιοπόρου), RLC (Έλεγχο Ραδιοζεύξης) και MAC (Έλεγχο Πρόσβασης Μέσων) και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

#### 4.2 Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS

Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Ολόκληρο το σύστημα μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κύρια τμήματα: το δίκτυο πρόσβασης, που λέγεται Επίγειο Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης του UMTS ή UTRAN, όπως περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, και την υποδομή μεταγωγής και δρομολόγησης ή Δίκτυο Πυρήνα, που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο.

Η αρχιτεκτονική UMTS συνίσταται από δύο τομείς δικτύου: τον τομέα κυκλωματομεταγωγής που επικεντρώνεται στα MSC (Κινητά κέντρα μεταγωγής) και τον τομέα πακετομεταγωγής που επικεντρώνεται στους GSN (Κόμβοι υποστήριξης GPRS). Έτσι οι δύο τομείς στηρίζονται σε δύο χωριστούς και παράλληλους κορμούς. Ο πρώτος κορμός, βασισμένος σε τεχνολογίες που παράγονται από το ISDN (Ψηφιακό σύστημα ενοποιημένων υπηρεσιών), μεταφέρει



Σχήμα 4.2 Αρχιτεκτονική συστήματος UMTS

φωνητική κίνηση, ενώ ο δεύτερος βασίζεται σε τεχνολογίες που προέρχονται από τον κόσμο IP και την κίνηση δεδομένων μεταφοράς. Οι δύο τομείς συνδέονται με το δίκτυο πρόσβασης το οποίο μερίζεται από τους δύο τύπους κίνησης, μέσω της διεπαφής Iu που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Όπως μπορεί να δει κανείς από το Σχήμα 4.2, αυτή η διεπαφή είναι στην πραγματικότητα χωρισμένη σε δύο μέρη: Iu<sup>cs</sup>, η οποία συνδέει το δίκτυο πρόσβασης με τον κορμό κυκλώματος μεταγωγής και Iu<sup>ps</sup> η οποία συνδέει το δίκτυο πρόσβασης με τον κορμό πακέτου μεταγωγής.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο κορμός κυκλώματος μεταγωγής του UMTS προέρχεται άμεσα από την κλασική δομή δικτύου GSM, ενώ ο κορμός πακέτου μεταγωγής του UMTS προέρχεται από την υποδομή που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή της GPRS (Γενική Πακετική Ραδιοϋπηρεσία) στο δίκτυο GSM. Πράγματι, ενώ το δίκτυο πρόσβασης UMTS είναι εξ ολοκλήρου νέο και χωριστό από αυτό που χρησιμοποιείται για GSM, η υποδομή του δικτύου πυρήνα είναι άμεση εξέλιξη της υποδομής GSM.

Στα πρώτα στάδια της εξέλιξης της υπηρεσίας UMTS, οι φορείς λειτουργίας GSM θα μπορούν έτσι να μερίζουν την υποδομή δικτύου μεταξύ δικτύων πρόσβασης 2G και 3G.

Εν όψει των αρχιτεκτονικών επιλογών και της άμεσης παραγωγής από τα GSM και GPRS, το παρόν κεφάλαιο θα εξετάσει χωριστά τους δύο κορμούς που αποτελούν τη δομή του δικτύου UMTS και θα παρουσιάσει τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων GSM και GPRS, στα οποία βασίζονται αυτοί οι κορμοί.

Για κάθε τομέα, θα περιγραφούν η αρχιτεκτονική, οι κύριες διαδικασίες σηματοδότησης και οι περισσότερο σημαντικές καινοτομίες που εισάγονται στη διεργασία εξέλιξης προς UMTS.

Τέλος, το κεφάλαιο θα εξετάσει τις μείζονες τάσεις για μελλοντικές εκδόσεις του συστήματος, που θα μπορούσαν να καταστήσουν δυνατή την εξάλειψη της σημερινής διαίρεσης τομέων δικτύου και την εισαγωγή μιας λύσης εξ ολοκλήρου IP για κίνηση εξίσου φωνής και δεδομένων.

### **4.3 Κορμός κυκλώματος μεταγωγής**

Δεν μπορεί να υπάρξει αμφιβολία ότι μέρος κυκλώματος μεταγωγής της αρχιτεκτονικής UMTS θα κληρονομήσει πολλά από τα χαρακτηριστικά της σημερινής πλατφόρμας δικτύου GSM. Αν και είναι αλήθεια ότι οι κύριες τεχνολογικές καινοτομίες θα ενσωματωθούν στους κόμβους πακέτου μεταγωγής IP, το μέρος κυκλώματος μεταγωγής θα έχει παρά ταύτα θεμελιώδη ρόλο, επειδή θα είναι υπεύθυνο για την παροχή φωνητικών υπηρεσιών όπως στο σημερινό δίκτυο GSM. Δεν είναι ακόμη σαφές εάν η πλατφόρμα κυκλώματος μεταγωγής του UMTS θα χρησιμοποιείται επίσης για την υποστήριξη υπηρεσιών πολυμέσων ή ενοποιημένων υπηρεσιών φωνής-δεδομένων. Υπό το φως της εκρηκτικής επιτυχίας που είχε το Διαδίκτυο στα τελευταία χρόνια, ωστόσο, μπορούμε εύλογα να αναμένουμε ότι καινοτομικές υπηρεσίες (δηλαδή υπηρεσίες εκτός φωνής) θα χρησιμοποιούν κυρίως την πλατφόρμα IP. Ένας αριθμός σύγχρονων τάσεων φαίνεται να δείχνουν ότι οι φωνητικές υπηρεσίες θα μπορούσαν επίσης να μετακινηθούν προς IP σε προηγμένες εκδόσεις του UMTS.

Επειδή οι περισσότερες αρχιτεκτονικές δομές για φωνητικές υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται σε κινητά συστήματα δεύτερης γενεάς θα μεταφερθούν σε UMTS, μια πλήρης γνώση των βασικών αρχών και χαρακτηριστικών του δικτύου GSM είναι πιθανώς το καλύτερο εφευρέσιο για ανάλυση των νέων συστημάτων.



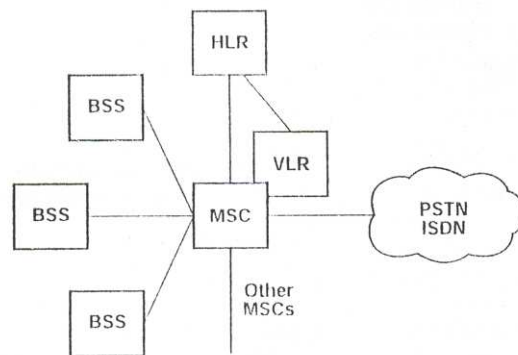
### 4.3.1 Επισκόπηση του δικτύου GSM

#### Αρχιτεκτονική δικτύου

Η βασική αρχιτεκτονική μεταγωγής του δικτύου GSM φαίνεται στο Σχήμα 4.3 (λευκά συστατικά στοιχεία). Τα κύρια στοιχεία δικτύου είναι ως ακολούθως:

- BSS (Υποσύστημα Σταθμών Βάσης), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση ραδιοπόρων για τη διεπαφή μεταξύ των ραδιοκαναλιών και των καναλιών φυσικής ζεύξης που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών στο έδαφος.
- MSC (Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών). Αυτό είναι ο επόμενος υψηλότερος κόμβος στην ιεραρχία του δικτύου και είναι υπεύθυνο για ομάδα φυσικά παρακαείμενων BSS. Ενεργεί ως το νευρικό κέντρο του συστήματος, ελέγχοντας τη σηματοδότηση κλήσεων και συντονίζοντας τις διαδικασίες μεταπομπής μεταξύ BSS (ή στα ίδια BSS) τα οποία ενεργοποιούνται όταν ένα κινητό τερματικό αλλάζει φυσική θέση.

Η αρχιτεκτονική GSM που ελέγχει την κινητικότητα του τερματικού αντιπροσωπεύεται με πιο σκούρους κόμβους στο Σχήμα 4.3 και αποτελείται από δύο στοιχεία δικτύου ή βάσεις δεδομένων:



Σχήμα 4.3 Αρχιτεκτονική δικτύου GSM.

- HLR (Πάτριος καταχωρητής θέσης αναζήτησης), που περιέχει και ενημερώνει πληροφορίες σχετικές με τη θέση των κινητών τερματικών ως προς την περιοχή VLR (ή με άλλα λόγια, το αναγνωριστικό της γεωγραφικής περιοχής που ελέγχεται από συγκεκριμένο VLR). Επιπλέον, ο HLR αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με κατατομές χρηστών και παραμέτρους αναγνώρισης-επαλήθευσης ταυτότητας.
- VLR (Καταχωρητής θέσης αναζήτησης επισκέπτη), ο οποίος διαχειρίζεται λεπτομερέστερες πληροφορίες σχετικά με τη θέση του τερματικού, ιχνηλατώντας τις κινήσεις του σε στάθμη Περιοχής Αναζήτησης Θέσης (δηλαδή στη στάθμη υποτμήματος της περιοχής της οποίας η διαχείριση γίνεται από VLR του οποίου το μέγεθος μπορεί να κυμαίνεται από λίγες ραδιοκυψέλες έως ολόκληρη την περιοχή που καλύπτεται από ένα BSS). Επιπλέον, οι παράμετροι επαλήθευσης ταυτότητας και αναγνώρισης αποθηκεύονται τοπικά από τον VLR.

Η σύνδεση μεταξύ της πλατφόρμας μεταγωγής και της αρχιτεκτονικής ελέγχου κινητικότητας βρίσκεται στη στάθμη των κόμβων MSC, η οποία περιέχει δομή στοιχείου ικανό να ζητά τη θέση κινητού τερματικού και την κατατομή χρήστη. Αυτές οι πληροφορίες χρειάζονται για να γίνεται διαχείριση κλήσης που προέρχεται από κινητό ή τερματίζει σε κινητό.



Οι κατασκευαστές συνήθως προμηθεύουν τους κόμβους δικτύου MSC και VLR σε μοναδικό ενοποιημένο προϊόν, ακόμη και αν οι λειτουργίες τους είναι χωριστές και συγκεκριμένες. Στην πράξη, τότε, οι δύο οντότητες εφαρμόζονται ως μοναδικό φυσικό στοιχείο.

### **Θέματα σηματοδότησης και μεταγωγής**

Η συνολική αρχιτεκτονική του δικτύου GSM είναι παρόμοια με αυτή του δικτύου ISDN: κλήσεις δρομολογούνται προς και από το κινητό δίκτυο με χρήση του σχεδίου αρίθμησης E.164 και του αριθμού κινητού ISDN (MSISDN) σε οποιαδήποτε δεδομένη χώρα και πρέπει να συμμορφώνονται με το σχέδιο αρίθμησης ISDN.

Όπως στα δικτυακά κέντρα ISDN, επιπλέον, για κάθε κλήση που αποκαθίσταται χρησιμοποιείται ένα δίκτυο 64 kbit/s PCM (Παλμοκωδικής Διαμόρφωσης) σε κάθε ζεύξη μεταξύ των MSC και μεταξύ των MSC και του κόμβου πύλης προς άλλα δίκτυα ISDN/PSTN.

Διαφορετικά από το δίκτυο ISDN, ένα κύκλωμα 16 kbit/s χρησιμοποιείται στη διεπαφή μεταξύ MSC και BSS για κάθε κλήση. Αυτή η τιμή 16 kbit/s προκύπτει από κωδικοποίηση φωνής GSM: για να εξοικονομηθούν σπάνιοι πόροι στη ραδιοεπαφή, η φωνή κωδικοποιείται περισσότερο στα 13 kbit/s παρά με τα κλασικά 64 kbit/s της κωδικοποίησης PCM. Ο χαμηλότερος ρυθμός κωδικοποίησης διατηρείται από το κινητό τερματικό έως το MSC, όπου τα δεδομένα επανακωδικοποιούνται σε ρεύμα 64 kbit/s συμβατό με την κωδικοποίηση PCM του PSTN.

Όπως το τηλεφωνικό δίκτυο, το δίκτυο σηματοδότησης της αρχιτεκτονικής GSM χρησιμοποιεί πρωτόκολλα και υπηρεσίες Κοινού Καναλιού (SS7). Αυτή η στοίβα πρωτοκόλλων χρησιμοποιήθηκε ως βάση για ανάπτυξη του πρωτοκόλλου MAP (Κινητού Μέρους Εφαρμογής), το οποίο είναι συγκεκριμένο για το GSM και χειρίζεται διάλογο μεταξύ HLR, VLR και MSC για διαχείριση διαδικασιών κινητικότητας και επαλήθευσης ταυτότητας.

### **Κύριες διαδικασίες διαχείρισης κινητικότητας**

Αυτή η παράγραφος περιγράφει τις κύριες διαδικασίες διαχείρισης κινητικότητας που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο GSM.

### **Διαδικασία ενημέρωσης θέσης**

Για να μπορεί να γίνεται προσιτό από εισερχόμενη κλήση, το κινητό τερματικό που συνδέεται με το δίκτυο GSM πρέπει να πληροφορεί τη νοημοσύνη του δικτύου (ή, με άλλα λόγια, τις λειτουργίες που διαχειρίζονται τις πληροφορίες που περιέχονται στον HLR και στον VLR) για τη θέση του.

Αυτό πραγματοποιείται μέσω των διαδικασιών Ενημέρωσης Θέσης, στις οποίες οι πληροφορίες σχετικά με την Περιοχή Θέσης και την περιοχή VLR στέλνονται στους VLR και HLR αντίστοιχα.

Ξεκινώντας από το κινητό τερματικό, η διαδικασία μπορεί να υφίσταται σκανδάλη από αλλαγή στη θέση του κινητού ή να ενεργοποιείται περιοδικά.

### Διαδικασίες αναζήτησης και δρομολόγησης

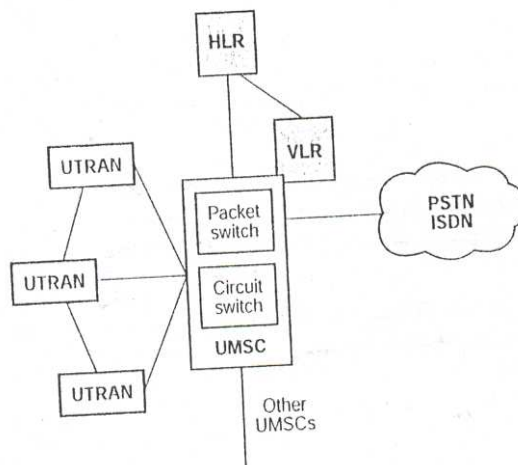
Στην περίπτωση εισερχόμενης κλήσης για κινητό συνδρομητή, από το δίκτυο GSM ζητείται να προσπελάσει και να συνδέσει το κινητό τερματικό χρησιμοποιώντας τον MSISDN του.

Κάθε MSC στο δίκτυο είναι δυνητικά ικανό να αποδεχτεί αυτή την αίτηση από εξωτερικό δίκτυο. Επειδή ο HLR είναι το μόνο στοιχείο δικτύου που γνωρίζει και διαχειρίζεται τη θέση όλων των ενεργών κινητών τερματικών, το MSC ζητά αυτόν τον κόμβο για την περιοχή VLR στην οποία μπορεί να βρεθεί το τερματικό. Εάν καταλήγει επιτυχώς αυτό το αρχικό μέρος της διαδικασίας (το οποίο λαμβάνει χώρα εάν το κινητό τερματικό είναι εντός λειτουργίας και ενεργό) και προσδιορίζεται μια διεύθυνση MSC/VLR, η κλήση δρομολογείται προς το MSC/VLR που στην περίπτωση αυτή συσχετίζεται με τον χρήστη.

Σ' αυτό το σημείο, ζητείται από τον VLR να ανακτήσει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη θέση του κινητού τερματικού, δηλαδή την Περιοχή Θέσης. Ένα μήνυμα αναζήτησης εκπέμπεται στην Περιοχή Θέσης που προσδιορίζεται έτσι, το οποίο περιέχει το αναγνωριστικό του καλούμενου χρήστη. Αυτό το αναγνωριστικό επιτρέπει στα άλλα κινητά τερματικά που βρίσκονται στην ίδια Περιοχή Θέσης να αγνοήσουν την αίτηση και δίνει τη δυνατότητα στο κινητό του καλούμενου χρήστη να κατανοήσει ότι η κλήση απευθύνεται σ' αυτό. Εάν το κινητό τερματικό είναι στην περιοχή κάλυψης και στον χρήστη επιτρέπεται να λάβει την κλήση (π.χ. το δίκτυο έχει επαρκείς πόρους διαθέσιμους), ένα ραδιοκάνάλι αφιερώνεται στο τερματικό και η κλήση δρομολογείται μέσω του κατάλληλου BSS προς τη ραδιοκυψέλη που εξυπηρετεί τον χρήστη.

#### 4.3.2 Αρχιτεκτονική δικτύου CS του UMTS

Όπως μπορεί να φανεί από το Σχήμα 4.4, η αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS είναι παρόμοια με αυτή του GSM. Μετά την εισαγωγή της νέας ραδιοδιεπαφής, το BSS αντικαταστάθηκε από το UTRAN. Το UMSC (MSC του UMTS) παρέχεται τώρα με ικανότητες τόσο κυκλώματος μεταγωγής όσο και πακέτου μεταγωγής, αν και οι κύριες διεπαφές και η αρχιτεκτονική ελέγχου παραμένουν οι ίδιες.



Σχήμα 4.4 Δίκτυο UMSC κυκλώματος μεταγωγής

### 4.3.3 Καινοτομικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το GSM

Η κύρια διαφορά μεταξύ κινητών συστημάτων δεύτερης γενεάς όπως το GSM και του συστήματος UMTS τρίτης γενεάς βρίσκεται χωρίς αμφιβολία στην υιοθέτηση της νέας ραδιοδιεπαφής. Πρώτα απ' όλα, αυτή η διεπαφή θα δώσει τη δυνατότητα να φτάσουμε σε υψηλότερους ρυθμούς δυφίων, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη ευελιξία.

Αν και είναι αλήθεια ότι ο υψηλότερος ρυθμός δυφίων που μπορεί να επιτευχθεί με διεπαφή W-CDMA είναι 2 Mbit/s, μια ευρεία κλίμακα ενδιάμεσων ρυθμών θα είναι επίσης διαθέσιμη, έτσι ώστε θεωρητικά θα είναι δυνατό να υποστηριχθεί οποιοσδήποτε τύπος παρούσας ή μελλοντικής υπηρεσίας. Αυτή είναι μια αποφασιστική αλλαγή σε σχέση με το σύστημα GSM, όπου το μόνο κανάλι πρόσθετο στο κανάλι φωνής είναι το κανάλι δεδομένων 9,6 kbit/s, το οποίο συχνά δεν μπορεί να εξασφαλίζει ταχεία και αποδοτική μετάδοση πληροφοριών. Επιπλέον, η υποδομή κυκλωματομεταγωγής UMTS πρέπει να είναι ικανή να αποκαθιστά, να διατηρεί και να απολύει κυκλώματα σε διάφορες ταχύτητες, με στάθμη πολυπλοκότητας σημαντικά ανώτερη από τη σημερινή άκαμπτη αρχιτεκτονική μεταγωγή των 64 kbit/s.

Από την αρχή, η αρχιτεκτονική μεταφοράς του UMTS πρέπει να είναι ικανή να παρέχει τις υπηρεσίες της τόσο στο μέρος κυκλωματομεταγωγής της πλατφόρμας όσο και στο μέρος με βάση IP. Αντίθετα, το GPRS σε συστήματα δεύτερης γενεάς σχεδιάστηκε ως πρόσθετο στο GSM. Ως αποτέλεσμα, το δίκτυο μεταφοράς του ήταν χωριστό από αυτό που χρησιμοποιούνταν για μεταφορά φωνής. Στο UMTS, η εκπομπή τηλεφωνίας και δεδομένων ήταν αναπόσπαστα μέρη των στόχων της αρχιτεκτονικής δικτύου από την αρχή και ήταν άμεσα σαφές ότι ήταν αναγκαίο να υιοθετηθεί τεχνολογία μεταφοράς η οποία ήταν βελτιστοποιημένη και για τα δύο.

Η ανάγκη για νέα αρχιτεκτονική μεταφοράς και μεταγωγής αναγνωρίστηκε έτσι κατά τη διεργασία της προδιαγραφής UMTS.

### Χρήση ATM

Όταν χρειάζεται τεχνολογία μεταφοράς που ανταγωνίζεται τα κυκλώματα μετάδοσης φωνής και συγχρόνως επιτρέπει μεταφορά δεδομένων, η επιλογή πέφτει κατ' ανάγκη στην ATM.

Η ATM, πράγματι, είναι μία από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες για δίκτυα ευρείας περιοχής IP (και έτσι επιτελεί τον ρόλο του πρωτοκόλλου στρώματος Ζεύξης Δεδομένων). Χάρη σε τεράστια κλίμακα τυποποιημένων χαρακτηριστικών και πρωτοκόλλων επίδοσης για δρομολόγηση και διευθυνσιοθέτηση κλήσεων, επιπλέον, μπορεί να ενσωματώνει τις ικανότητες σηματοδότησης, μεταφοράς και δικτύωσης που είναι τυπικές των τηλεφωνικών δικτύων, γεγονός που τον ξεχωρίζει από άλλα πρωτόκολλα μεταφοράς IP όπως Ethernet, Fast Ethernet, Frame Relay και FDDI. Ο λόγος που η ATM μπορεί να ικανοποιεί τέτοιες ανόμοιες ανάγκες με τόσο υψηλή στάθμη ευελιξίας είναι ότι σχεδιάστηκε από την αρχή για να λειτουργεί σε περιβάλλον πρωτοκόλλου: για να δώσουν στην ATM τη δυνατότητα να υποστηρίξει πολύ ανόμοιες υπηρεσίες, προδιαγράφηκαν Στρώματα Προσαρμογής ATM (AAL) που διαφέρουν ευρέως στα χαρακτηριστικά τους.

Δύο AAL περιλήφθηκαν στις υπηρεσίες UMTS πλατφόρμας μεταφοράς: AAL5 και AAL2.

AAL2 είναι το στρώμα προσαρμογής που δίνει τη δυνατότητα να μεταφερθεί ένα πακέτο IP (του οποίου το μήκος μπορεί εξ' ορισμού να ποικίλλει έως ένα μέγιστο 65536 byte) σε σειρά κυψελών ATM σταθερού μήκους (53 byte, συμπεριλαμβανομένων 5 bytes κεφαλίδας και 48 bytes ωφέλιμου φορτίου).

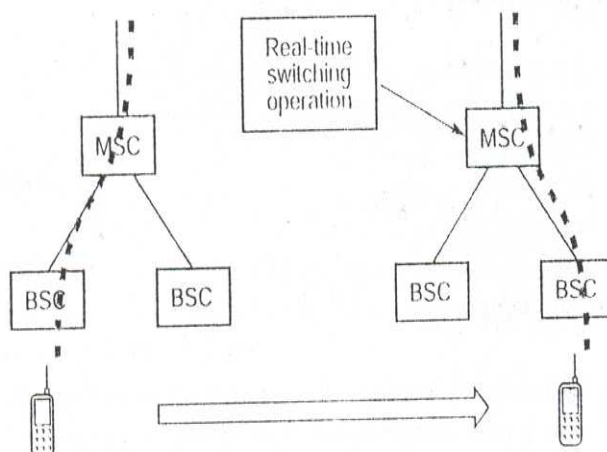
Οι κύριες λειτουργίες του AAL5 είναι έτσι κατάτμηση και επανασυναρμολόγηση: ένα πακέτο IP διαιρείται σε μικρότερες PDU του AAL5, που είναι το ωφέλιμο φορτίο των κυψελών ATM (αυτή η επιχείρηση περιλαμβάνει παρεμβολή ορισμένων δυφίων πλήρωσης εάν το μέγεθος του πακέτου IP δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο των 48 bytes) και τα διαιρεμένα πακέτα μεταδίδονται και επανασυναρμολογούνται στο άκρο λήψης.

Το AAL2 παίζει πρωτεύοντα ρόλο στο UMTS και ιδιαίτερα στο δίκτυο πρόσβασης.

### **Από τη μετατροπή GSM στον εκσυγχρονισμό UMTS**

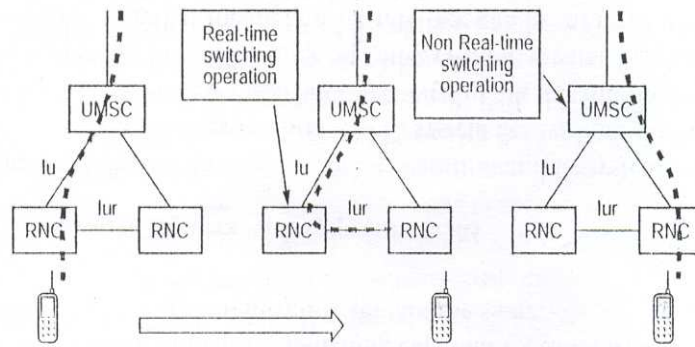
Η μετατροπή, όπως γνωρίζουμε, είναι ο μηχανισμός που δίνει τη δυνατότητα αντιμετώπισης της κίνησης του χρήστη κατά τη διάρκεια της κλήσης με δυναμική αλλαγή του ραδιοσταθμού βάσης με τον οποίο συνδέεται το κινητό τερματικό. Στην εξέλιξη της αρχιτεκτονικής του δικτύου από το GSM στο UMTS, αυτή η διαδικασία αναθεωρήθηκε σε μεγάλη έκταση χάρη στην εισαγωγή της διεπαφής Iur.

Στο GSM, πράγματι, στη μετατροπή μεταξύ διάφορων BSC, εμπλεκόταν το MSC μέσω επιχείρησης που απαιτούσε μεταγωγή της διαδρομής φωνής από την παλαιά διεπαφή MSC-BSC στη νέα (Σχήμα 4.5). Αυτή η ενέργεια έπρεπε να πραγματοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο για να μειωθεί η επίπτωση της μετατροπής στην ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.



Σχήμα 4.5 Μετατροπή μεταξύ BSC στο σύστημα GSM.

Στο UMTS, χάρη στη χρήση της διεπαφής Iur, το δίκτυο πρόσβασης μπορεί να διαχειρίζεται τη μετατροπή ανεξάρτητα χωρίς την εμπλοκή του MSC. Η διαδικασία έτσι είναι ταχύτερη και απλούστερη, επειδή δεν είναι ανάγκη να συγχρονιστεί η μήτρα μεταγωγής με την κίνηση του ραδιοσταθμού βάσης (Σχήμα 4.6). Η αρχική επίδραση της μετατροπής UMTS είναι έτσι η "επέκταση" της διεπαφής UMSC-RNC μέσω της Iur, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης του νέου RNC. Μόνο μεταγενέστερα, χωρίς ανάγκη επιχείρησης πραγματικού χρόνου, θα αποκατασταθεί η σύνδεση με τον νέο RNC και θα απολυθεί η επέκταση Iur.



Σχήμα 4.6 Εκσυγχρονισμός UMTS για αλλαγές RNC.

Η διαδικασία επανακατεύθυνσης της διεπαφής Iur, που είναι γνωστή επίσης ως εκσυγχρονισμός, σχεδιάζεται για να βελτιστοποιήσει τους πόρους (ή με άλλα λόγια, να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό και το μήκος των χρησιμοποιούμενων γήινων κυκλωμάτων και έτσι να αποφύγει μια "αλυσίδα" RNC) μόλις σταθεροποιηθεί η μετατροπή.

Η διαδικασία εκσυγχρονισμού συμπίπτει με τη διαδικασία μετεγκατάστασης SRNS (Υποσυστήματος Ραδιοδικτύου Εξυπηρέτησης) η οποία μετακινεί τη νοημοσύνη ελέγχου τερματικού από τον παλιό RNC στον νέο.

Η καθυστέρηση αυτής της επιχείρησης σχετικά με την κίνηση του τερματικού εμποδίζει το MCS από το να επηρεαστεί από "ταλαντωτικά" φαινόμενα ή με άλλα λόγια μικρές κινήσεις τερματικού (ή αλλαγές στις συνθήκες ραδιοδιεπαφής) που μπορούν να ενεργοποιήσουν μετατροπή σε μία κατεύθυνση ακολουθούμενη από άμεση επιστροφή, που είναι επίσης γνωστή ως το φαινόμενο πινγκ-πονγκ.

### **Θέση διακωδικοποιητή και μεταγωγή στην πλατφόρμα μεταφοράς**

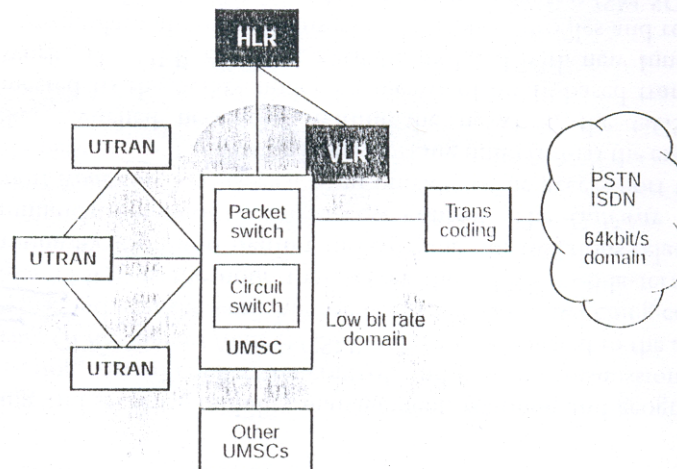
Σε όλα τα σύγχρονα ραδιοσυστήματα, το εύρος ζώνης ραδιοεπικοινωνίας είναι ο σπανιότερος και συνεπώς ο πολυτιμότερος πόρος. Γι' αυτό τον λόγο, η κωδικοποίηση φωνής στη ραδιοδιεπαφή πρέπει να εξασφαλίζει τις μέγιστες εξοικονομήσεις ή με άλλα λόγια τον υψηλότερο δυνατό παράγοντα συμπίεσης. Ενώ η κωδικοποίηση φωνής του GSM παράγει ρεύμα δεδομένων 13 kbit/s, ο νέος τύπος διακωδικοποιητή που χρησιμοποιείται για το UMTS δίνει τη δυνατότητα να περιέχεται μεταβλητός ρυθμός δυφίων στην περιοχή 4-13 kbit/s.

Για να επιτραπεί η διασύνδεση κινητής ραδιοεπικοινωνίας με τον κόσμο των σταθερών δικτύων (όπου η μεταφορά βασίζεται σε κωδικοποίηση φωνής PCM 64 kbit/s), η κωδικοποίηση χαμηλού ρυθμού δυφίων πρέπει να μετασχηματίζεται σε κωδικοποίηση PCM (με επακόλουθη αύξηση στον ρυθμό δυφίων) όπως περιγράφεται στις προηγούμενες παραγράφους.

Οι μέγιστες εξοικονομήσεις σχετικά με την κατάληψη ζεύξης θα επιτευχθούν με διατήρηση της κωδικοποίησης φωνής 4-13 kbit/s σε ολόκληρη την υποδομή του δικτύου κινητής ραδιοεπικοινωνίας ή με άλλα λόγια με τοποθέτηση των διακωδικοποιητών στα άκρα του δικτύου (Σχήμα 4.7).

Αυτή η διάρθρωση θα επιτρέψει μεγάλες εξοικονομήσεις κόστους μεταφοράς σε σύγκριση με τα δίκτυα GSM, ενώ η διακωδικοποίηση γίνεται στο MSC και ολόκληρο το δίκτυο μεταφοράς μεταξύ κέντρων μεταγωγής χρησιμοποιεί κυκλώματα 64 kbit/s.

Σαφώς, υπάρχει μια τιμή που πρέπει να πληρωθεί γι' αυτή τη βελτιστοποίηση: μεταφορά χαμηλού ρυθμού δυφίων μπορεί να γίνεται μόνο σε ATM με AAL2 και θα πρέπει να μεταβληθούν ολόκληρη η μεταφορά που βασίζεται σε PCM και η δομή μεταγωγής που βασίζεται σε μήτρα 64 kbit/s.



Σχήμα 4.7 Θέση διακωδικοποιητή

### Έλεγχος κλήσης UMTS για υπηρεσίες πολυμέσων

Καθώς οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων που επιτρέπονται από τη νέα ραδιοδιεπαφή θα μπορούσαν θεωρητικά να κυμαίνονται από λίγα byte/s έως 2 Mbit/s, συμβατικές υπηρεσίες, όπως τηλεφωνία και νέες υπηρεσίες πολυμέσων όπως βίντεο, ξεφύλλισμα και ανταλλαγή μηνυμάτων ή εικόνας, θα διατίθενται μέσω τόσο πακέτου μεταγωγής όσο και κυκλώματος μεταγωγής.

Γι' αυτό τον λόγο, ο Έλεγχος Κλήσεων UMTS (ή με άλλα λόγια η ικανότητα που εποπτεύει θέματα όπως ανάλυση αριθμών, κωδωνισμός καλούμένου και αποσύνδεση στο τέλος της κλήσης) απαιτεί χαρακτηριστικά πρόσθετα προς αυτά που παρέχονται από το GSM, όπου το μόνο επιτρεπόμενο συστατικό στοιχείο ήταν η φωνή.

Στο νέο σύστημα, θα είναι ανάγκη διαχείρισης δύο ή περισσότερων συστατικών στοιχείων (ή μέσων) κατά τη διάρκεια κλήσης. Για παράδειγμα, θα πρέπει να είναι δυνατό να ξεκινήσει μια τηλεφωνική κλήση και μετά να προστεθεί βίντεο.

Υπήρχαν δύο δυνατοί τρόποι να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός: ανάπτυξη νέου προτύπου για πολυμέσα και κινητή τηλεφωνία ή επαναχρησιμοποίηση υπάρχοντων προτύπων.

Για λόγους απλότητας, αποφασίστηκε να υιοθετηθεί η δεύτερη προσέγγιση και, ειδικότερα, ένας συνδυασμός Ελέγχου Κλήσης GSM και H.324, η οικογένεια προτύπων η οποία χρησιμοποιείται συνήθως στο Διαδίκτυο για τη διαχείριση εφαρμογών πολυμέσων. Έτσι, ο Έλεγχος Κλήσης GSM θα δώσει τη δυνατότητα "να ανοιχτεί ζεύξη" μεταξύ καλούντος και καλούμένου όπως γίνεται σε μια τηλεφωνική κλήση σήμερα, ενώ ο H.323 θα δώσει τη δυνατότητα να προστεθούν και να αφαιρεθούν τα διάφορα μέσα.



#### 4.4 Κορμός πακέτου μεταγωγής

Το μέρος πακέτου μεταγωγής της αρχιτεκτονικής UMTS θα κληρονομήσει πολλά από τα χαρακτηριστικά της σημερινής πλατφόρμας δικτύου GPRS.

Αναπτυγμένη από το ETSI, η υπηρεσία GPRS είναι το πρότυπο που επιτρέπει να εισαχθεί μετάδοση δεδομένων πακέτου στο σύστημα GSM. Η GPRS έγινε επίσης αποδεκτή από την ΤΙΑ των Ηνωμένων Πολιτειών (Ένωση Βιομηχανίας Τηλεπικοινωνιών) ως το πρότυπο δεδομένων για το σύστημα TDMA/136.

Η GPRS επιτρέπει εκπομπή και λήψη δεδομένων με τρόπο πακέτου τόσο στη ραδιοδιεπαφή όσο και στην υποδομή δικτύου χωρίς χρησιμοποίηση πόρων κυκλωμάτων μεταγωγής.

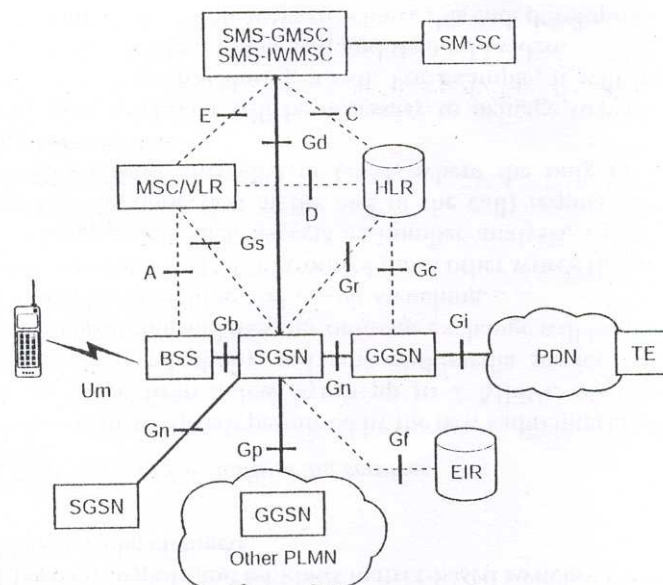
Με προσθήκη GPRS στο δίκτυο GSM, ο φορέας λειτουργίας μπορεί έτσι να προσφέρει αποτελεσματική ραδιοπρόσβαση σε εξωτερικά δίκτυα βασιζόμενα σε IP όπως το Διαδίκτυο και το συλλογικό Ενδοδίκτυο.

#### 4.4.1 Επισκόπηση του δικτύου GPRS

##### Αρχιτεκτονική δικτύου

Το κλασικό δίκτυο GSM δεν παρέχει επαρκείς ικανότητες για δρομολόγηση δεδομένων πακέτου. Γι' αυτό τον λόγο, επεκτάθηκε η συμβατική δομή GSM (Σχήμα 4.8) με εισαγωγή νέας κλάσης λογικής οντότητας δικτύου που λέγεται GSN (Κόμβος Υποστήριξης GPRS).

Οι κόμβοι GSN διαχειρίζονται τη διασύνδεση με τα άλλα δίκτυα και επιτελούν ποικιλία λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένων διαχείρισης, χρέωσης και ασφάλειας συνδρομητή, διαχείρισης κινητικότητας, περιαγωγής και γεωγραφικής επαναδρομολόγησης, ελέγχου ιδεατής σύνδεσης και μετάδοσης πακέτου.



Σχήμα 4.8 Λογική αρχιτεκτονική GPRS

Ο Κόμβος Υποστήριξης GPRS Εξυπηρέτησης (SGSN) που συνδέεται με το δίκτυο πρόσβασης και είναι στην ίδια ιεραρχική στάθμη με τα κέντρα μεταγωγής (MSC/VLR), είναι ο κόμβος που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό GPRS συγκρατώντας πληροφορίες θέσης και επιτελώντας λειτουργίες σχετικές με την ασφάλεια επικοινωνίας και έλεγχο πρόσβασης.

Ο Κόμβος Υποστήριξης GPRS Πύλης (GGSN) γίνεται αντιληπτός από έξω ως η πύλη πρόσβασης στο δίκτυο GPRS και ενεργεί ως μονάδα διασυνεργασίας απέναντι στα εξωτερικά δίκτυα πακέτου μεταγωγής. Μέσα στο δίκτυο, ο GGSN συνδέεται με τους κόμβους SGSN μέσω βασιζόμενου σε IP δικτύου μεταφοράς. Η βάση δεδομένων HLR πρέπει να ενημερώνεται με νέες λειτουργίες για αποθήκευση δεδομένων σχετικά με κατατομές συνδρομής και πληροφορίες δρομολόγησης χρηστών GPRS. Τέλος, τα κέντρα υπηρεσίας Σύντομου Μηνύματος (SM-SC) αυξάνονται, έτσι ώστε μετάδοση SM να είναι επίσης δυνατή μέσω των ραδιοκαναλιών GPRS.

Η περιοχή κάλυψης, δηλαδή το τμήμα εδάφους στο οποίο εξασφαλίζεται η υπηρεσία, οργανώνεται λογικά σε ζώνες θέσης οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα στο δίκτυο να γνωρίζει πού βρίσκεται το κινητό τερματικό κατά τις μετακινήσεις του. Αυτές οι ζώνες, που είναι παρόμοιες με τις Περιοχές Θέσης Αναζήτησης (LA) που χρησιμοποιούνται από το δίκτυο κυκλωμάτων μεταγωγής, ονομάζονται Περιοχές Δρομολόγησης (RA) και είναι μικρότερες από τις LA.

Για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες διάφορων τμημάτων της αγοράς, το πρότυπο GPRS προδιαγράφει τρία διαφορετικά είδη κινητού τερματικού:

- **Τερματικό κλάσης A:** το τερματικό μπορεί να συνδέεται ταυτοχρόνως με το κλασικό δίκτυο MSC για να χρησιμοποιεί υπηρεσίες κυκλωμάτων μεταγωγής και με το δίκτυο GPRS για να εκπέμπει και να λαμβάνει δεδομένα πακέτου. Με άλλα λόγια, αυτή η κλάση τερματικού μπορεί να χρησιμοποιεί ταυτοχρόνως κίνηση πακέτου μεταγωγής και κυκλώματος μεταγωγής.
- **Τερματικό κλάσης B:** το τερματικό μπορεί να καταχωρείται ταυτοχρόνως στα δίκτυα τόσο κυκλώματος μεταγωγής όσο και πακέτου μεταγωγής, αλλά δεν μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει κίνηση με τους δύο τρόπους ταυτοχρόνως.
- **Τερματικό κλάσης C:** το τερματικό μπορεί να καταχωρείται για τον τρόπο είτε πακέτου μεταγωγής είτε κυκλώματος μεταγωγής, και μπορεί έτσι να υποστηρίζει μόνο κίνηση για τον τύπο υπηρεσίας για τον οποίο καταχωρείται.

### **Θέματα δρομολόγησης και σηματοδότησης**

Η υποδομή δικτύου για εφαρμογή της υπηρεσίας GPRS βασίζεται στην τεχνολογία IP. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας για μετάδοση προς και από κινητά τερματικά απαιτεί ειδικές λύσεις δρομολόγησης. Πράγματι, η εκδοχή IP που χρησιμοποιείται στο πρότυπο GPRS δεν αντιμετωπίζει μηχανισμό διαχείρισης κινητικότητας. Κατά συνέπεια, στο πρότυπο GPRS εισήχθη ειδική μέθοδος δρομολόγησης, η οποία θα περιγραφεί εν συντομία παρακάτω. Για μετάδοση πακέτου δεδομένων στο δίκτυο GPRS, το κινητό τερματικό αναγνωρίζεται από διεύθυνση IP που εκχωρείται σ' αυτό είτε μόνιμα είτε δυναμικά κατά τον χρόνο που αποκαθίσταται η σύνδεση. Τα πακέτα που φθάνουν από τα εξωτερικά δίκτυα παραδίδονται στον GGSN στο δίκτυο GPRS στο οποίο ανήκει το κινητό τερματικό. Ο GGSN έχει τις πληροφορίες δρομολόγησης που χρειάζονται για να αποσταλεί το πακέτο (με χρήση της μεθόδου σηράγγωσης που περιγράφεται στη λεπτομέρεια 4.1) στην οντότητα δικτύου SGSN που εξυπηρετεί τη γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται τότε το κινητό τερματικό.



Με τη σειρά του, ο SGSN αποκαθιστά λογική ζεύξη με το κινητό τερματικό μέσω της οποίας παραδίδεται το πακέτο. Στην περίπτωση εκπομπής που προέρχεται από κινητό, ο SGSN ενθυλακώνει τα εισερχόμενα πακέτα και τα μεταφέρει στον SGSN αναφοράς, όπου προωθούνται στο δίκτυο δεδομένων του προορισμού.

Όλα τα δεδομένα για συνδρομητές GPRS τα οποία χρειάζεται ο κόμβος SGSN για να δρομολογήσει και να μεταφέρει δεδομένα αποθηκεύονται στον καταχωρητή GPRS, ο οποίος εννοιολογικά είναι μέρος του κόμβου HLR του συστήματος GSM. Ο καταχωρητής GPRS περιέχει αναγνώριση ταυτότητας δρομολόγησης και το αντίστοιχο μεταξύ του αναγνωριστικού συνδρομητή (IMSI – Διεθνούς Ταυτότητας Κινητού Συνδρομητή) και της εκχωρημένης διεύθυνσης IP και μεταξύ της τελευταίας και του GGSN.

Η GPRS έχει σειρά παραμέτρων που χαρακτηρίζουν εκπομπή δεδομένων σε κάθε ενεργητικό πλαίσιο. Η κύρια παράμετρος που επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο μεταφέρονται τα πακέτα IP είναι ποιότητα υπηρεσίας. Η παράμετρος ορίζεται μέσω των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

1. **Προτεραιότητα:** δείχνει πώς η υπηρεσία έχει προτεραιότητα μεταξύ διάφορων χρηστών. Διατίθενται τρεις στάθμες: υψηλή, μέση και χαμηλή.
2. **Καθυστέρηση:** αναφέρεται στη διατεμαστική καθυστέρηση κατά τη μετάδοση πακέτου από την προέλευση έως τον προορισμό. Προδιαγράφονται τρεις κλάσεις με καθιερωμένη καθυστέρηση, συν μια κλάση καλύτερης προσπάθειας.
3. **Αξιοπιστία:** η κλάση αξιοπιστίας μιας υπηρεσίας διαφέρει σύμφωνα με την ικανότητα διόρθωσης και ανοχή σφάλματος αυτής.
4. **Διεκπεραιωτικότητα:** δείχνει τη διεκπεραιωτικότητα που απαιτείται για τον χρήστη. Διαπραγμάτευση μπορεί να γίνεται για δύο χαρακτηριστικά: μέγιστος ρυθμός δυφίων και μέσος ρυθμός δυφίων.

#### Λεπτομέρεια 4.1 – Μηχανισμός σήραγγωσης στο δίκτυο GPRS

Η λειτουργία σήραγγωσης δίνει τη δυνατότητα σε ροές δεδομένων, στις οποίες εκχωρήθηκαν προηγουμένως πληροφορίες διευθυνσιοδότησης και ελέγχου, να σήραγγώνονται μέσω δύο σημείων δικτύου ή μέσω διάφορων δικτύων. Στη GPRS, αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της κινητικότητας χρήστη και με αυτό τον τρόπο των κινήσεων δικτύου των διευθύνσεων IP που εκχωρούνται στους χρήστες. Οι κανονικές λειτουργίες δρομολόγησης σε δίκτυο IP είναι στατικής φύσης, επειδή πακέτα που περιέχουν δεδομένη διεύθυνση στέλνονται πάντοτε στον ίδιο προορισμό. Για τη GPRS, από την άλλη πλευρά, πακέτα που προορίζονται για ορισμένο χρήστη πρέπει να δρομολογούνται στην τρέχουσα θέση του εν λόγω χρήστη, η οποία μπορεί συνήθως να μεταβληθεί. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, ο GGSN "ενθυλακώνει" κάθε πακέτο IP που εισέρχεται στο δίκτυο GPRS, μέσα σε άλλο πακέτο IP που περιέχει τη διεύθυνση του κόμβου SGSN που ελέγχει το κινητό τερματικό κατά τον χρόνο που το πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο, όλα τα πακέτα που διευθύνονται στους χρήστες που ελέγχονται από ορισμένο SGSN μεταφέρονται στον εν λόγω κόμβο, δημιουργώντας "σήραγγες" μεταξύ GGSN και SGSN. Όταν ο χρήστης αλλάζει θέση στο δίκτυο και έρχεται υπό τον έλεγχο άλλου SGSN, ο GGSN αλλάζει τη διεύθυνση ενθυλάκωσης, μεταβάλλοντας έτσι τον προορισμό της σήραγγας που ανοίγεται για τον εν λόγω συγκεκριμένο χρήστη. Κατά τη διάρκεια όλων των κινήσεων του χρήστη στο δίκτυο, θα υπάρχει μια ενεργός σήραγγα για την τρέχουσα σύνοδο δεδομένων, η οποία ανοίγει από το GGSN και καταλήγει στον SGSN ελέγχοντάς τον συγχρόνως.

### **Κύριες διαδικασίες ελέγχου**

Οι κύριες διαδικασίες ελέγχου που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο GPRS περιγράφονται στην παρούσα παράγραφο.

### **Διαδικασίες ενεργοποίησης προσάρτησης και πλαισίου εφαρμογής GPRS**

Πριν να μπορεί ένα κινητό τερματικό να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες GPRS, πρέπει να πληροφορεί το δίκτυο για την παρουσία του εφαρμόζοντας διαδικασία προσάρτησης GPRS (Λεπτομέρεια 4.2) στον κόμβο SGSN. Η διαδικασία προσάρτησης συνεπάγεται: ενημέρωση πληροφοριών θέσης στον HLR, μεταφορά πληροφοριών από τον παλαιό, όπου ήταν προηγουμένως καταχωρημένο το κινητό τερματικό, και τον νέο SGSN, και διαγραφή δεδομένων από τον παλαιό SGSN (καθώς και από τον παλαιό VLR εάν το κινητό τερματικό ήταν επίσης καταχωρημένο με το δίκτυο GSM για υπηρεσίες κυκλώματος μεταγωγής).

Για να εκπέμπει και να λαμβάνει δεδομένα ένα MS πρέπει τότε να ενεργοποιεί ένα πλαίσιο εφαρμογής PDP (βλέπε λεπτομέρεια 4.3). Η ενεργοποίηση πλαισίου εφαρμογής PDP πληροφορεί τον SGSN αναφοράς ότι το κινητό τερματικό είναι παρόν και καθιστά δυνατή τη μεταφορά πακέτων δεδομένων προς και από τον αντίστοιχο χρήστη.

#### **Λεπτομέρεια 4.2 – Διαδικασία προσάρτησης GPRS**

Οι διαδικασίες Προσάρτησης GPRS και Ενεργοποίησης Πλαισίου Εφαρμογής PDP (Πρωτοκόλλου Δεδομένων Πακέτου) πρέπει να διεξάγονται για να επιτραπεί στον χρήστη GPRS να συνδεθεί με τα εξωτερικά δίκτυα δεδομένων. Για όλες τις προθέσεις και σκοπούς, η διαδικασία Προσάρτησης GPRS, όπως η αντίστοιχη διαδικασία στον κόσμο κυκλωμάτων μεταγωγής (Προσάρτησης IMSI) χρησιμοποιείται για να εξασφαλίζει ότι το δίκτυο πληροφορείται για την παρουσία του κινητού τερματικού. Μόλις καταχωρηθεί το τερματικό, το δίκτυο γνωρίζει τη θέση του σε στάθμη Περιοχής Δρομολόγησης και τα χαρακτηριστικά υπηρεσίας αυτού. Η διαδικασία Προσάρτησης GPRS συνίσταται σε εφαρμογή των ακόλουθων σταδίων:

1. Το κινητό τερματικό ζητά από το δίκτυο να ενεργοποιήσει τη διαδικασία. Η αίτηση που το τερματικό στέλνει στο SGSN δείχνει την ικανότητα του τερματικού να χειρίζεται υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (ταυτόχρονη χρήση διάφορων χρονοθυρίδων ραδιοδιεπαφής), τον χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο κρυπτογράφησης και τον τύπο τρόπου (κυκλώματος μεταγωγής, πακέτου μεταγωγής ή και τους δύο) για τα οποία ζητείται καταχώρηση.
2. Διεξάγεται η διαδικασία επαλήθευσης ταυτότητας.
3. Δεδομένα συνδρομής μεταφέρονται από τον καταχωρητή HLR στους κόμβους SGSN και MSC/VLR.
4. Ο κόμβος SGSN πληροφορεί το κινητό τερματικό ότι η ζητούμενη διαδικασία ολοκληρώθηκε επιτυχώς.

Το πακέτο εφαρμογής PDP περιέχει ειδικές πληροφορίες διευθυνσιοδότησης για μεταφορά πακέτου. Για κάθε πλαίσιο εφαρμογής PDP, στο κινητό τερματικό μπορεί να εκχωρείται στατική διεύθυνση (ETSI X.121, IETF IPv4 ή IPv6) που καθορίζεται κατά τον χρόνο της εγγραφής συνδρομητή ή δυναμική διεύθυνση που εκχωρείται κατά τον χρόνο που ο GGSN ενεργοποιεί το πλαίσιο εφαρμογής PDP με τον φορέα λειτουργίας του πάτριου δικτύου του χρήστη (HPLMN – Πάτριο Δημόσιο Κινητό Δίκτυο Ξηράς) ή του δικτύου επισκέπτη (VPLMN – Δημόσιο Κινητό Δίκτυο Ξηράς Επισκέπτη). Οι δυναμικές διευθύνσεις επιτρέπουν μόνο μεταφορές δεδομένων που δημιουργούνται από το κινητό τερματικό.

Για κλήσεις που τερματίζονται από το κινητό, εάν ο GGSN λαμβάνει πακέτα προτού το κινητό τερματικό ενεργοποιήσει ένα πλαίσιο εφαρμογής, μπορεί να ξεκινήσει μια προκαλούμενη από το δίκτυο διαδικασία ενεργοποίησης πλαισίου εφαρμογής PDP (τέτοια διαδικασία είναι δυνατή μόνο στην περίπτωση στατιστικά εκχωρούμενων διευθύνσεων).

Όταν ζητείται η διαδικασία απόσπασης (από το δίκτυο ή από το κινητό τερματικό), απενεργοποιούνται όλα τα πλαίσια εφαρμογής PDP για δεδομένο τερματικό. Η διαδικασία απόσπασης μπορεί επίσης να προκαλείται σιωπηρά όταν λήγει προκαθορισμένος χρόνος κατά το χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν υπάρχει δραστηριότητα κινητού τερματικού (π.χ. δεν στέλνονται ούτε λαμβάνονται δεδομένα).

Για περιαγόμενους συνδρομητές που έχουν διεύθυνση PDP εκχωρούμενη από το HPLMN, δημιουργείται διαδρομή προώθησης μεταξύ του HPLMN και του VPLMN για επικοινωνία με το κινητό τερματικό και στις δύο κατευθύνσεις. Πρωτόκολλα όπως BGR (Πρωτόκολλα Πύλης Συνόρων) (IETF RFC 1771) μπορούν να χρησιμοποιούνται μεταξύ των δρομολογητών BG (Πύλης Συνόρων) βάσει διμερών συμφωνιών μεταξύ των φορέων λειτουργίας.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι διευθύνσεις IP μπορούν να εκχωρούνται σε κινητά τερματικά στατικά (σε δεδομένο χρήστη εκχωρείται πάντοτε η ίδια διεύθυνση IP που είναι αποθηκευμένη στον καταχωρητή HLR) ή δυναμικά (η εκχωρούμενη διεύθυνση IP μεταβάλλεται σε κάθε ενεργοποίηση πλαισίου εφαρμογής).

Ο όρος διαφανής πρόσβαση χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου στο κινητό τερματικό εκχωρείται μια διεύθυνση από τον χώρο διευθυνσιοδότησης του φορέα λειτουργίας κινητού ραδιοδικτύου. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, δεν αντιμετωπίζεται μηχανισμός ασφάλειας όταν ενεργοποιείται το πλαίσιο εφαρμογής PDP, δεδομένου ότι επαλήθευση ταυτότητας και κρυπτογράφηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διατερματική βάση (π.χ. μέσω πρωτοκόλλου όπως IPsec).

Η πρόσβαση ορίζεται ως "μη διαφανής" όταν στο κινητό τερματικό εκχωρείται μια διεύθυνση IP από τον χώρο διευθυνσιοδότησης συνδεδεμένου ISP (Παροχέα Υπηρεσιών Διαδικτύου) ή Ενδοδικτύου. Σ' αυτή την περίπτωση, το κινητό τερματικό πρέπει να διεξάγει τη διαδικασία επαλήθευσης ταυτότητας σε σχέση με το GGSN κατά τον χρόνο που ενεργοποιείται το πλαίσιο εφαρμογής, ενώ ο GGSN με τη σειρά του πρέπει να ζητήσει επαλήθευση ταυτότητας για λογαριασμό του χρήστη από εξυπηρετητή ISP ή Ενδοδικτύου. Παραδείγματα πρωτοκόλλων που μπορούν να χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίζεται η επαλήθευση ταυτότητας χρήστη στη ζεύξη GGSN-ISP/Ενδοδικτύου περιλαμβάνουν Ακτίνα και DHCP (Πρωτόκολλο Δυναμικής Διάρθρωσης Ξενιστή). Στο τέλος αυτής της επιχείρησης, το κινητό τερματικό θεωρείται χρήστης του δικτύου στο οποίο ανήκει η εκχωρούμενη διεύθυνση και τα πακέτα που περιέχουν αυτή τη διεύθυνση θα ταξιδέψουν έτσι μέσω αυτού του δικτύου προτού φτάσουν στον GGSN.

#### Λεπτομέρεια 4.3 – Διαδικασία ενεργοποίησης πλαισίου εφαρμογής PDP

Για να επικοινωνεί το κινητό τερματικό με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων, το πλαίσιο εφαρμογής για το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων πακέτου πρέπει να ενεργοποιείται μέσω διαδικασίας που λέγεται Ενεργοποίηση Πλαισίου Εφαρμογής PDP. Το πλαίσιο εφαρμογής PDP περιγράφει τα χαρακτηριστικά της ζεύξης με το εξωτερικό δίκτυο δεδομένων, δηλ. τον τύπο δικτύου, διεύθυνση προορισμού, τη διεύθυνση του GGSN που πρέπει να χρησιμοποιηθεί και την ποιότητα των χαρακτηριστικών υπηρεσίας.

1. Το κινητό τερματικό ζητά ενεργοποίηση πλαισίου εφαρμογής PDP προσδιορίζοντας έναν αριθμό παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένου του εάν η εκχώρηση διεύθυνσης πρέπει να είναι στατική ή δυναμική και τη ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας.
2. Ο κόμβος SGSN επικυρώνει την αίτηση βάσει των δεδομένων συνδρομής που ελήφθησαν από τον καταχωρητή HLR κατά τον χρόνο της καταχώρησης.
3. Ο SGSN προσδιορίζει τη διεύθυνση του κόμβου GGSN βάσει των πληροφοριών που παρέχονται από το κινητό τερματικό και τα δεδομένα συνδρομής.
4. Μια λογική ζεύξη –που λέγεται σήραγγα GTP– δημιουργείται μεταξύ SGSN και GGSN.
5. Ο κόμβος SGSN ζητά από τον GGSN να εκχωρήσει διεύθυνση IP και τη μεταφέρει στο κινητό τερματικό.
6. Σ' αυτό το σημείο, μπορεί να αρχίσει επικοινωνία μεταξύ του κινητού τερματικού και του εξωτερικού δικτύου δεδομένων.

#### Διαχείριση κινητικότητας GPRS

Το κινητό τερματικό γνωρίζει τη θέση του ως προς την κυψέλη επίσκεψης και τη RA (Περιοχή Δρομολόγησης). Στο δίκτυο, η θέση του τερματικού ιχνηλατεί σε δύο στάθμες, ανάλογα με την κατάσταση της διαδικασίας διαχείρισης κινητικότητας. Όταν το κινητό τερματικό έχει διεξαγάγει τη διαδικασία Προσάρτησης για το δίκτυο GPRS, αλλά δεν συμμετέχει σε ενεργό σύνδεση, το δίκτυο ιχνηλατεί τις κινήσεις του σε στάθμη RA (Λεπτομέρεια 4.4). Όταν το κινητό τερματικό συμμετέχει σε ενεργό σύνδεση, η θέση του ιχνηλατεί σε στάθμη κυψέλης.

Η διαχείριση της κινητικότητας SGSN και GGSN γίνεται μέσω του Πρωτοκόλλου Σηράγωσης GPRS (GTP). Το πρωτόκολλο GTP επιτρέπει επίσης μεταφορά πληροφοριών μεταξύ δύο ή περισσότερων SGSN κατά τον χρόνο που το κινητό τερματικό αλλάζει SGSN.

Για να διατηρεί ενημερωμένη τη θέση του με το δίκτυο, το κινητό τερματικό εφαρμόζει διαδικασία διαχείρισης κινητικότητας όταν εισέρχεται σε νέα κυψέλη ή σε νέα RA. Η ενημέρωση της RA μπορεί να συνεπάγεται αλλαγή SGSN (κινητικότητα εντός SGSN). Σ' αυτή την περίπτωση, ενεργοποιείται διαδικασία που περιλαμβάνει:

- Τον παλιό SGSN, για να μεταφέρει πληροφορίες πλαισίου εφαρμογής FDP σχετικά με τα ενεργά πλαίσια εφαρμογής και να αποκαταστήσει διαδρομή προώθησης για τα δεδομένα που είναι ακόμη υπό διαμετακόμιση μεταξύ του GGSN και του παλαιού SGSN.
- Τον GGSN σε κάθε ενεργό πλαίσιο εφαρμογής PDP, για να ενημερώσει τις σήραγγες GTP.

- Τον HLR, για να αποθηκεύσει τις νέες πληροφορίες SGSN και να αφαιρέσει πληροφορίες που αφορούν τον παλαιό SGSN.

Ένα κρίσιμο στοιχείο στη μεταφορά υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, όπως φωνή μέσω IP σε GPRS είναι ενημέρωση RA. Αυτή η διαδικασία πρέπει να είναι αρκετά γρήγορη για να επιτρέπει κινητικότητα τερματικού χωρίς διακοπές στην υπηρεσία. Στην GPRS, πράγματι, η έννοια της μεταγωγής εφαρμόζεται σχετικά με την επανεπιλογή κυψέλης και ενημέρωση RA.

#### Λεπτομέρεια 4.4 – Διαδικασία ενημέρωσης περιοχής δρομολόγησης

Η διαδικασία Ενημέρωσης Περιοχής Δρομολόγησης (RAU) διεξάγεται όταν το κινητό τερματικό GPRS (δυσανάγνωστο) μια άλλη περιοχή δρομολόγησης. Αυτή η περιοχή που ορίζεται ανεξάρτητα από την οργάνωση Περιοχή Θέσης Αναζήτησης GSM δίνει τη δυνατότητα διανομής μηνυμάτων βάσει ειδικών κριτηρίων υπηρεσίας.

Το κινητό τερματικό αναγνωρίζει μια αλλαγή σε Περιοχές Δρομολόγησης με ανάγνωση των περιεχομένων του καναλιού σηματοδότησης στις εκπομπές που γίνονται από τον ραδιοσταθμό βάσης ο οποίος εγγυάται ραδιοκάλυψη στην εμπλεκόμενη κυψέλη. Αυτό το κανάλι στην πραγματικότητα εκπέμπει το αναγνωριστικό στην Περιοχή Δρομολόγησης στην οποία ανήκει η κυψέλη. Όταν η επιλογή κυψέλης μεταβάλλεται, το κινητό τερματικό ελέγχει το εκπεμπόμενο αναγνωριστικό και εάν διαφέρει από αυτό της προηγούμενης κυψέλης, το τερματικό αρχίζει τη διαδικασία Ενημέρωσης Περιοχής Δρομολόγησης ενώ ενημερώνει τις πληροφορίες θέσης για τον χρήστη στους καταχωρητές του δικτύου.

#### Συντονισμός μεταξύ τρόπων πακέτου και κυκλώματος

Ο συντονισμός μεταξύ τρόπων πακέτου και κυκλώματος πραγματοποιείται μέσω διεπαφής που ονομάζεται Gs (Σχήμα 4.8), με την οποία μπορεί να δημιουργεί συσχέτιση μεταξύ MSC/VLR και SGSN. Αυτή η συσχέτιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις που είναι αναγκαία η διαχείριση κινητών τερματικών που μπορούν να συνδέονται ταυτοχρόνως με υπηρεσίες κυκλώματος μεταγωγής και υπηρεσίες πακέτου μεταγωγής (τερματικά κλάσης B).

Η συσχέτιση δημιουργείται μεταξύ δύο οντοτήτων όταν ο κόμβος SGSN που εξυπηρετεί συγκεκριμένο κινητό τερματικό γνωρίζει τη διεύθυνση του MSC/VLR στον οποίο καταχωρείται ταυτοχρόνως το ίδιο τερματικό και αντιστρόφως. Ένα από τα πλεονεκτήματα της διεπαφής Gs είναι ότι περιορίζει την κίνηση σηματοδότησης στη ραδιοδιεπαφή. Όταν ένα κινητό τερματικό συνδέεται με SGSN, πράγματι, μπορεί, αν είναι αναγκαίο, να διεξάγει συνδυασμένη διαδικασία Ενημέρωσης Περιοχής Θέσης Αναζήτησης και Ενημέρωσης Περιοχής Δρομολόγησης για την ενημέρωση της θέσης του για τρόπους τόσο κυκλώματος μεταγωγής όσο και πακέτου μεταγωγής. Επιπλέον, το μήνυμα αναζήτησης για εισερχόμενη κλήση κυκλώματος μεταγωγής μπορεί να προωθείται μέσω της διεπαφής Gs προς τον κόμβο SGSN και από εκεί στο κινητό τερματικό.

Η διαδικασία Συνδυασμένης Ενημέρωσης LA/RA είναι ως ακολούθως: όταν το κινητό τερματικό μετακινείται σε νέα RA (Περιοχή Δρομολόγησης), στέλνει μήνυμα Αίτησης Ενημέρωσης RA στον SGSN. Εάν η LA (Περιοχή Θέσης Αναζήτησης) έχει επίσης μεταβληθεί κατά τον ίδιο χρόνο, ο κόμβος SGSN θα στείλει Αίτηση Ενημέρωσης LA στον VLR. Έτσι οι πληροφορίες θέσης θα ενημερωθούν επίσης για τον τομέα κυκλώματος μεταγωγής χωρίς να χρειάζεται να εμπλακεί άμεσα το κινητό τερματικό.

Επειδή η RA είναι συνήθως μικρότερη από την LA και το πολύ θα έχει το ίδιο μέγεθος, γίνεται η παραδοχή ότι ο αριθμός των ενημερώσεων RA θα είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των ενημερώσεων LA, ενώ μια αλλαγή σε LA θα συνεπάγεται αμετάβλητα συντρέχουσα αλλαγή σε RA.

Στην περίπτωση της διαδικασίας αναζήτησης, εάν ο κόμβος MSC/VLR χρειάζεται να προωθήσει μήνυμα αναζήτησης για υπηρεσίες κυκλώματος μεταγωγής προς κινητό τερματικό καταχωρημένο στο δίκτυο GPRS, θα στείλει αυτό το μήνυμα στον SGSN μέσω της διεπαφής Gs. Ο SGSN θα εκπέμψει τότε το μήνυμα αναζήτησης στην RA όπου βρίσκεται το κινητό τερματικό.

#### **4.4.2 Αρχιτεκτονική δικτύου πακέτου μεταγωγής UMTS**

Η δομή του μέρους πακέτου μεταγωγής του δικτύου UMTS είναι παρόμοια με αυτή της GPRS, όπου το τμήμα πρόσβασης BSS αντικαθίσταται από το δίκτυο πρόσβασης UTRAN με βάση W-CDMA (Σχήμα 4.2). Η σύνδεση μεταξύ Δικτύου Πυρήνα και UTRAN εξασφαλίζεται από νέα διεπαφή που λέγεται Ius και ειδικεύεται στη διαχείριση τόσο του συστατικού στοιχείου πακέτου μεταγωγής όσο και του συστατικού στοιχείου κυκλώματος μεταγωγής.

#### **4.4.3 Καινοτομικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την GPRS**

Οι οργανισμοί τυποποίησης λαμβάνουν τώρα μέτρα για να προσαρμόσουν τον κορμό GPRS με συστήματα τρίτης γενεάς, ξεκινώντας από την αρχιτεκτονική GPRS και τα πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας που περιγράφονται παραπάνω. Δύο τομείς είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι: διαχείριση κινητικότητας και έλεγχος ποιότητας υπηρεσίας. Και στους δύο αυτούς τομείς, συμβολές από τον κόσμο της τεχνολογίας πληροφοριών γίνονται σημαντικές με αυξανόμενο βαθμό. Η χρήση κορμού IP όπως η εκδοχή GPRS, πράγματι, δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής μηχανισμών που προδιαγράφονται από ομάδες εργασίας IETF (Ομάδα Έργου Τεχνικής Διαδικτύου) στο τμήμα πακέτου μεταγωγής του δικτύου UMTS. Φυσικά, εφαρμογή αυτών των μηχανισμών σε πλαίσιο εφαρμογής UMTS θα απαιτεί δημιουργία καλής στάθμης διασυνεργασίας με παρόμοιες διαδικασίες, τυπικές των ραδιοτηλεπικοινωνιών, που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο πρόσβασης UTRAN. Οι νέοι μηχανισμοί που εξετάζονται τώρα για το δίκτυο UMTS θα περιγραφούν εν συντομία παρακάτω.

#### **Διαχείριση κινητικότητας IP (Κινητό IP)**

Μελέτες εξετάζουν τώρα τη χρήση πρωτοκόλλου Κινητού IP (MIP) (Λεπτομέρεια 4.5) για τη διαχείριση της κινητικότητας στο δίκτυο UMTS. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, το κινητό IP είναι μηχανισμός που εισήχθη για να εξασφαλίζει την κινητικότητα υπολογιστή μεταξύ διάφορων δικτύων IP. Επειδή ο κορμός UMTS πακέτου μεταγωγής βασίζεται σε τεχνολογία IP, γίνεται προσπάθεια να εξασφαλιστεί

διασυνεργασία μεταξύ των κλασικών διαδικασιών κινητικότητας GSM που χρησιμοποιούνται στη GPRS και αυτών που προδιαγράφονται για κινητό IP.

Τρία διαδοχικά στάδια περιγράφηκαν για την εισαγωγή του μηχανισμού IP στο δίκτυο UMTS.

- **Στάδιο 1:** αυτή είναι η ελάχιστη διάρθρωση για φορέα λειτουργίας που επιθυμεί να παρέχει υπηρεσία κινητού IP. Οι σημερινοί μηχανισμοί διατηρούνται για διαχείριση κινητικότητας μέσα στο δίκτυο UMTS, ενώ το κινητό IP χρησιμοποιείται για τη διαχείριση περιαγωγής μεταξύ διάφορων συστημάτων (π.χ. δικτύων τοπικής περιοχής) και UMTS, χωρίς απώλεια της συνόδου εργασίας που είναι σε εξέλιξη.
- **Στάδιο 2:** ο μηχανισμός Κινητού IP θα μπορούσε να χρησιμοποιείται στο δίκτυο UMTS για κινητικότητα μεταξύ διάφορων GGSN. Για να επιτευχθεί αποδοτικότερη διεύθυνση, το κινητό τερματικό θα μπορούσε –ως αποτέλεσμα μεταπομπής– να μεταβάλλει τις ικανότητες του Ξένου Πράκτορα (FA) που κατέχει τον GGSN. Σ' αυτή την περίπτωση, το ενεργό πλαίσιο εφαρμογής PDP και η συσχετιζόμενη διεύθυνση προώθησης ενημερώνονται με χρήση του μηχανισμού Κινητού IP μόνον εάν δεν βρίσκεται σε εξέλιξη μεταφορά δεδομένων. Αυτός ο μηχανισμός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος εάν υπάρχουν ορισμένοι GGSN/FA ή όταν οι κόμβοι GGSN και SGSN είναι μαζί τοποθετημένοι. Στην περίπτωση μεταφοράς δεδομένων, η μετακίνηση του κινητού τερματικού μεταξύ του παλαιού και του νέου SGSN θα μπορούσε να διατηρήσει ενεργό το πλαίσιο PDP για το παλιό GGSN και, μόλις ολοκληρωθεί μεταφορά, να συσχετίσει το νέο SGSN με το νέο GGSN/FA.
- **Στάδιο 3:** τα SGSN και GGSN θα μπορούσαν να ενοποιηθούν σε ένα μοναδικό κόμβο, προκαλώντας έτσι κατάρρευση της συσχετιζόμενης διεπαφής Gn, αλλά συγκρατώντας όλες τις άλλες διεπαφές χωρίς μεταβολή. Σ' αυτή την περίπτωση, ο μηχανισμός Κινητού IP θα μπορούσε να χρησιμοποιείται τόσο μέσα στο δίκτυο UMTS για κινητικότητα μεταξύ διάφορων SGSN/GGSN όσο και μεταξύ διάφορων δικτύων. Σε τέτοιες καταστάσεις, ο μηχανισμός Κινητών IP θα μπορούσε επίσης να διαχειρίζεται μεταπομπή με μεταφορά δεδομένων σε εξέλιξη.

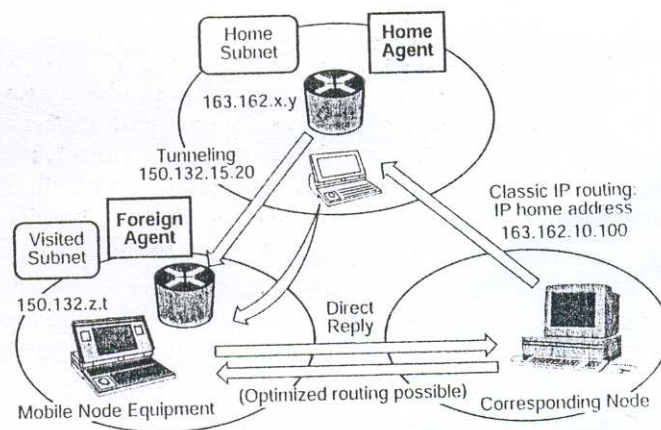
#### Λεπτομέρεια 4.5 – Κινητό IP

Το κινητό IP είναι πρωτόκολλο που επιτρέπει σε κινητούς υπολογιστές να μετακινούνται ελεύθερα (δηλαδή να περιάγουν) σε δίκτυα, ενώ συγκρατούν την ίδια διεύθυνση IP. Το κινητό IP αποτελείται από τρία στοιχεία: κινητό κόμβο, πάτριο πράκτορα και ξένο πράκτορα. Ενώ τα δύο τελευταία στοιχεία είναι ουσιαστικά δρομολογητές με λίγες ειδικές ιδιότητες, ένας κινητός κόμβος είναι κινητός υπολογιστής. Η ύπαρξη πάτριου πράκτορα σε δίκτυο δίνει τη δυνατότητα σε κινητούς υπολογιστές να μετακινούνται σε άλλα δίκτυα. Ένας ξένος πράκτορας επιτρέπει σε κινητούς υπολογιστές που φθάνουν από άλλα δίκτυα να επισκέπτονται το δίκτυο στο οποίο βρίσκεται. Ένας ξενιστής που ανταλλάσσει μηνύματα με κινητό υπολογιστή ονομάζεται αντίστοιχος κόμβος. Μπορεί να είναι συνήθης ξενιστής Διαδικτύου ή άλλος κινητός υπολογιστής.

Το Κινητό IP δίνει τη δυνατότητα σε κινητούς υπολογιστές να χρησιμοποιούν δύο διευθύνσεις IP ουσιαστικά: μία για αναγνώριση (την πάτρια διεύθυνση) και μία για προώθηση κίνησης (τη διεύθυνση φροντίδας). Υπάρχουν δύο δυνατότητες για τη διεύθυνση φροντίδας: μπορεί να είναι διεύθυνση που εκχωρείται προσωρινά στον κινητό υπολογιστή ή μπορεί απλώς να είναι η διεύθυνση του ξένου πράκτορα με τον οποίο καταχωρείται ο κινητός υπολογιστής.

Ο κινητός υπολογιστής χρησιμοποιεί πρωτόκολλο ανακάλυψης πράκτορα για να αναγνωρίσει τον ξένο πράκτορα ο οποίος θέλει να παράσχει υποστήριξη κινητικότητας στο δίκτυο που επισκέπτεται ο υπολογιστής. Οι ξένοι πράκτορες και πάτριοι πράκτορες εκπέμπουν περιοδικά μηνύματα ειδοποίησης πράκτορα πολύ εκπομπής και ευρείας εκπομπής για να δείξουν ότι είναι παρόντες στο δίκτυο. Επιπλέον, ένας κινητός υπολογιστής μπορεί να ζητά ένα μήνυμα αυτού του είδους να στέλνεται μέσω ρητής αίτησης που λέγεται επίκληση πράκτορα. Ο κινητός υπολογιστής μπορεί να ανακαλύψει την ταυτότητα και διεύθυνση φροντίδας του ξένου πράκτορα με τη λήψη μηνύματος ειδοποίησης. Μόλις ανακαλυφθεί ένας ξένος πράκτορας, ο κινητός κόμβος ειδοποιεί τον πάτριο πράκτορά του για τη διεύθυνση φροντίδας και την περίοδο ισχύος της καταχώρησης. Ο πάτριος πράκτορας συμπληρώνει την καταχώρηση με ενημέρωση του πίνακα διευθυνσιοδότησής του και δημιουργία ζεύξης κινητικότητας η οποία συσχετίζει την πάτρια διεύθυνση του κινητού υπολογιστή με τη διεύθυνση φροντίδας που του εκχωρείται προσωρινά.

Όταν τα πακέτα IP που στέλνονται από αντίστοιχο κόμβο φτάνουν στο δίκτυο στο οποίο ανήκει ο κινητός υπολογιστής, ο πάτριος πράκτορας τα προωθεί στη διεύθυνση φροντίδας μέσω μεθόδου ενθυλάκωσης που ονομάζεται επίσης σιηράγωση (βλέπε λεπτομέρεια 4.1), χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση φροντίδας ως τη διεύθυνση νέου πακέτου IP στο οποίο παρεμβάλλεται το αρχικό πακέτο. Ο ξένος πράκτορας, στον οποίο τερματίζει η σιηράγα, ανακτά το αρχικό πακέτο και το στέλνει στον κινητό υπολογιστή. Στην αντίθετη κατεύθυνση, ο κινητός υπολογιστής στέλνει απλώς τα πακέτα του μέσω δρομολογητή στο δίκτυο επίσκεψης, δεδομένου ότι η εκπομπή είναι ανεξάρτητη από την αρχική διεύθυνση (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9 Μηχανισμός Κινητού IP

Οι διατεματικές υπηρεσίες δικτύου (δηλαδή μεταξύ δύο τερματικών) χαρακτηρίζονται από ορισμένη Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS), η οποία παρέχεται στον χρήστη, ο οποίος θα έχει έτσι προσωπική αντίληψη αυτής της ποιότητας. Για να παρέχεται δεδομένη QoS δικτύου, είναι ανάγκη να δημιουργηθεί κομιστική υπηρεσία, με προσδιοριζόμενα χαρακτηριστικά και ικανότητες, από την πηγή της υπηρεσίας έως τον προορισμό της.



Στον ορισμό κλάσεων QoS για το σύστημα UMTS, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί και τα όρια που προκύπτουν από την ύπαρξη της ραδιοδιεπαφής.

Δεδομένων των διάφορων χαρακτηριστικών σφάλματος που είναι τυπικά της ραδιοδιεπαφής, δεν θα ήταν έτσι λογικό να οριστούν πολύπλοκοι μηχανισμοί όπως αυτοί για το σταθερό δίκτυο. Οι μηχανισμοί QoS που πρέπει να παρέχονται σε κυψελοειδή δίκτυα πρέπει να είναι στιβαροί και, συγχρόνως, ικανοί για την εξασφάλιση εύλογης λύσης.

Για το σύστημα UMTS αντιμετωπίζονται οι ακόλουθες κλήσεις QoS:

1. Κλήση συνομιλίας,
2. Κλήση ρευμάτωσης,
3. Διαδραστική κλήση,
4. Κλήση υποβάθρου.

Το κύριο χαρακτηριστικό που δίνει τη δυνατότητα διάκρισης μεταξύ των διάφορων κλάσεων είναι η ευαισθησία τους σε καθυστέρηση. Η ευαισθησία είναι μέγιστη στην κλάση συνομιλίας, η οποία είναι κατάλληλη για κίνηση υψηλής ευαισθησίας και μειώνεται από κλάση σε κλάση για να φτάσει σε ελάχιστο στην κλάση υποβάθρου, η οποία είναι σχεδόν αναίσθητη σε καθυστέρηση.

Κατά συνέπεια, οι πρώτες δύο κλάσεις είναι κατάλληλες για τη μεταφορά κίνησης πραγματικού χρόνου, ενώ η διαδραστική και η κλάση υποβάθρου σχεδιάζονται για συμβατικές εφαρμογές Διαδικτύου όπως ξεφύλλισμα ιστού, e-mail, Telnet, FTP και Νέα. Χάρη στους λιγότερο αυστηρούς περιορισμούς τους, οι τελευταίες δύο κλάσεις παρέχουν καλύτερη ανοχή σφαλμάτων χρησιμοποιώντας καλύτερους μηχανισμούς κωδικοποίησης καναλιών και αναμετάδοσης από τις κλάσεις συνομιλίας και ρευμάτωσης. Η κίνηση της διαδραστικής κλάσης έχει υψηλότερη προτεραιότητα από την κίνηση υποβάθρου, η οποία μπορεί να χρησιμοποιεί πόρους μετάδοσης μόνον όταν δεν απαιτούνται για εφαρμογές που ανήκουν σε άλλες κλάσεις.

### **Κλήση συνομιλίας**

Αυτή η κλάση χρησιμοποιείται για συνομιλίες πραγματικού χρόνου μεταξύ χρηστών, όπως οι υπηρεσίες φωνής συνομιλίας, φωνής μέσω IP και βιντεοδιάσκεψης. Σ' αυτές τις υπηρεσίες, ο χρόνος μεταφοράς πρέπει να διατηρείται μικρός και, συγχρόνως, η προσωρινή σχέση μεταξύ των διάφορων συστατικών στοιχείων ρεύματος δεδομένων πρέπει να διατηρείται σταθερή. Ιδιαίτερα, τα χαρακτηριστικά αυτών των παραμέτρων προσδιορίζονται από την ανθρώπινη αντίληψη.

### **Κλήση ρευμάτωσης**

Αυτή η κλάση χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης επιθυμεί να δει (ή να ακούσει) ρεύματα βίντεο (ή ακουστικά) πραγματικού χρόνου. Η υπηρεσία εκπομπής είναι πάντοτε μόνο κατευθυντική, από εξυπηρετητή δικτύου προς τον χρήστη. Όσο για την κλάση συνομιλίας, η προσωρινή σχέση μεταξύ των διάφορων συστατικών στοιχείων ρεύματος δεδομένων πρέπει να διατηρείται σταθερή, αν και δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για μικρή καθυστέρηση μεταφοράς. Το ρεύμα, πράγματι, ξανά ευθυγραμμίζεται με την εφαρμογή λήψης, και τα όρια των μηχανισμών αυτής της ευθυγράμμισης είναι πολύ υψηλότερα από τα όρια της ανθρώπινης αντίληψης.

### **Διαδραστική κλήση**

Αυτή η κλάση χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης ζητά δεδομένα και αλληλεπιδρά με απομακρυσμένη συσκευή. Τυπικές εφαρμογές περιλαμβάνουν ξεφύλλισμα ιστού, ερωτήματα βάσης δεδομένων, πρόσβαση προς εξυπηρετητές δικτύου και πρόσκτηση δεδομένων μέτρησης. Οι κύριες απαιτήσεις γι' αυτή την κλάση αφορούν καθυστέρηση κυκλικής διαδρομής, δεδομένου ότι η εφαρμογή που ζητά δεδομένα θα τα περιμένει τότε για προκαθορισμένο χρόνο, και ακεραιότητα δεδομένων, δηλαδή εξασφαλισμένο χαμηλό ρυθμό σφαλμάτων ψηφίων.

### **Κλήση υποβάθρου**

Οι υπηρεσίες σ' αυτή την κλάση είναι αυτές κατά τις οποίες ο χρήστης ζητά φακέλους δεδομένων και τους περιμένει να ληφθούν σε διεργασία υποβάθρου, η οποία έτσι είναι δευτερεύουσα σε σύγκριση με διεργασίες υψηλότερης προτεραιότητας. Εφαρμογές αυτού του είδους περιλαμβάνουν e-mail και μετάδοση SMS, μεταφορά δεδομένων και λήψη δεδομένων μέτρησης σε τρόπο υποβάθρου. Γι' αυτή την κλάση, η εφαρμογή λήψης δεν δημιουργεί χρονικά όρια για λήψη των ζητούμενων δεδομένων και έτσι είναι σχεδόν αναίσθητη σε καθυστέρηση. Η ακεραιότητα δεδομένων, από την άλλη πλευρά, είναι εξαιρετικά σημαντική.

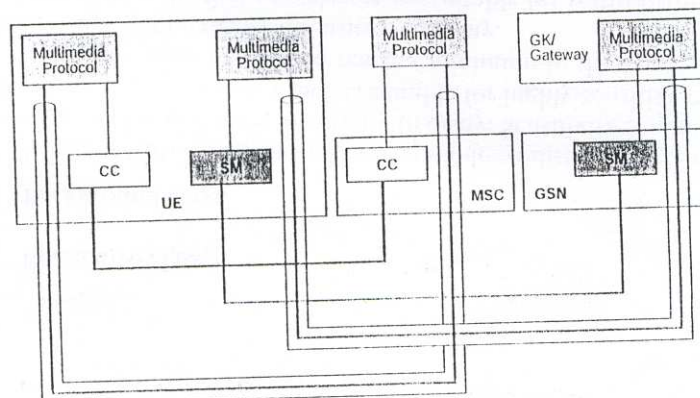
### **Διαχείριση υπηρεσίας πολυμέσων**

Στο δίκτυο UMTS, έχουν σχεδιαστεί νέες υπηρεσίες πολυμέσων τόσο για το μέρος κυκλώματος μεταγωγής, όσο και για το μέρος πακέτου μεταγωγής.

Σ' αυτή τη σύνδεση, ο έλεγχος κλήσης επεκτάθηκε για να περιλάβει πρόσθετα καθήκοντα που δίνουν τη δυνατότητα διαχείρισης των διάφορων μέσων που χρησιμοποιούνται κατά την επικοινωνία, π.χ. μετάβαση από μόνο φωνή σε βίντεο και αντιστρόφως. Η λύση που υιοθετήθηκε για το μέρος πακέτου μεταγωγής UMTS είναι το μοντέλο κλήσης πολυμέσων H.323. Ειδικότερα, το πρότυπο H.323 συνδυάζεται αφενός με σηματοδότηση που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο φωνής GSM (βλέπε παράγραφο 5.2.3) και αφετέρου με διαχείριση συνόδου GPRS (Δημιουργία Πλαισίου Εφαρμογής PDP). Αυτή η απόφαση αντανακλά την επιθυμία να παρέχεται πολύ αγοραστικό περιβάλλον μεταξύ του κινητού τερματικού και του δικτύου, καθώς και την επιθυμία να μην αποκλειστεί η δυνατότητα επιλογής άλλων πρωτοκόλλων για μελλοντικές αναπτύξεις συστήματος UMTS.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο διαχείρισης υπηρεσίας πολυμέσων παρέχεται με διαφανή τρόπο, μέσω της συνόδου πλαισίου εφαρμογής PDP που δημιουργείται με χρήση τυπικής σηματοδότησης GPRS.

Το Σχήμα 4.10 απεικονίζει τις σχέσεις μεταξύ πρωτοκόλλων πολυμέσων τόσο για μέρη κυκλώματος μεταγωγής όσο και πακέτου μεταγωγής. Το συγκρότημα Πρωτοκόλλου Πολυμέσων δείχνει ότι οι ικανότητες που χρειάζονται για τον έλεγχο υπηρεσίας πολυμέσων στο μέρος πακέτου μεταγωγής πρέπει να υπάρχουν τόσο στο κινητό τερματικό όσο και στην πύλη H.323 του δικτύου. Είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η λειτουργία Πρωτοκόλλου Πολυμέσων διαχειρίζεται τόσο το επίπεδο ελέγχου, δηλαδή το ρεύμα σηματοδότησης, όσο και το επίπεδο χρήστη, δηλαδή το ρεύμα δεδομένων.



Σχήμα 4.10 Διαχείριση υπηρεσίας πολυμέσων

#### 4.5 Μελλοντικές εξελίξεις

Οι προδιαγραφές συστήματος UMTS εξελίσσονται συνεχώς μέσω του ορισμού και επακόλουθης εισαγωγής ετήσιων εκδόσεων. Η περιγραφή που δίνεται στις προηγούμενες παραγράφους έχει εφαρμογή στην έκδοση 1999 (R 99) Δομή δικτύου UMTS που συμπληρώθηκε και εγκρίθηκε από τη 3 GPP το 1999 και μεταφέρθηκε στους αντίστοιχους περιφερειακούς φορείς τυποποίησης (ARIB/TTC για την Ιαπωνία, GW TS – Κινεζική Ομάδα Προτύπων Ασύρματης Τηλεπικοινωνίας για την Κίνα, ETSI για την Ευρώπη, TI για τις Ηνωμένες Πολιτείες και TTA για την Κορέα). Στη 3 GPP, η δυνατότητα προδιαγραφής λύσης δικτύου UMTS για την Έκδοση 2000 (R 2000) με βάση εξ ολοκλήρου την τεχνολογία IP λαμβάνει με αυξανόμενο βαθμό συγκεκριμένο σχήμα. Σ' αυτή τη λύση, η δομή του διπλού κορμού εγκαταλείπεται για τη μετάβαση σε μία μόνο δομή δικτύου στην οποία η διαχείριση της κίνησης φωνής γίνεται επίσης μέσω πακέτου μεταγωγής. Η εργασία για την προδιαγραφή του δικτύου UMTS R 2000 επικεντρώνεται στις ακόλουθες παραδοχές:

1. Η αρχιτεκτονική δικτύου βασίζεται στην τεχνολογία πακέτου IP για να παρέχει ταυτοχρόνως υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και μη πραγματικού χρόνου.
2. Η υποδομή δικτύου βασίζεται σε εξέλιξη του σημερινού δικτύου GPRS.
3. Τα κινητά τερματικά βασίζονται σε IP και η ενοποίηση υπηρεσίας επιτυγχάνεται μέσω IP.
4. Το δίκτυο πρέπει να εξασφαλίζει προσωπική κινητικότητα και διασυνεργασία μεταξύ των κινητών και σταθερών δικτύων τόσο για την υπηρεσία φωνής όσο και την υπηρεσία δεδομένων.
5. Το σύστημα πρέπει να παρέχει ποιότητα φωνής συγκρίσιμη ή καλύτερη από αυτή που εξασφαλίζεται από τα υπάρχοντα δίκτυα τηλεπικοινωνιών.
6. Το σύστημα πρέπει να εξασφαλίζει στάθμη αξιοπιστίας δικτύου συγκρίσιμη με αυτή που παρέχεται τώρα.
7. Το δίκτυο εξ ολοκλήρου IP πρέπει να παρέχει ελάχιστο σύνολο υπηρεσιών δικτύου δεύτερης γενεάς.
8. Όλες οι διεπαφές που βασίζονται σε IP και οι διεπαφές που συσχετίζονται με το δίκτυο πρέπει να βελτιώνονται για να εξασφαλίζουν υποστήριξη για υπηρεσίες πολυμέσων πραγματικού χρόνου.
9. Το σύστημα πρέπει να παρέχει διαχωρισμό μεταξύ των διαδικασιών ελέγχου υπηρεσίας και των διαδικασιών ελέγχου κλήσης και σύνδεσης.

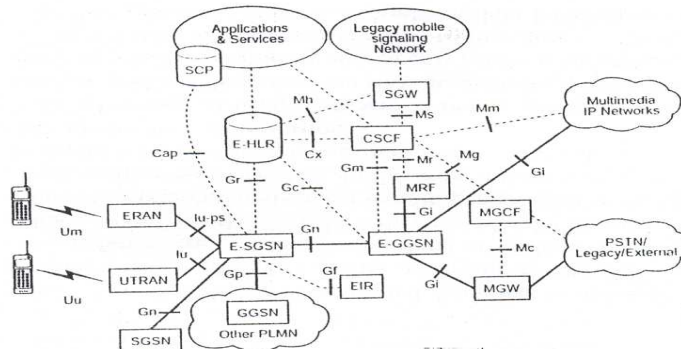
10. Στο δίκτυο σηματοδότησης, η σημερινή μεταφορά κοινού καναλιού (SS 7) αντικαθίσταται από μεταφορά βασιζόμενη σε IP.
11. Η αρχιτεκτονική δικτύου πρέπει να είναι ανεξάρτητη από στρώματα ένα (L.1) και δύο (L.2) μεταφοράς OSI.

#### 4.5.1 Αρχιτεκτονική δικτύου

Αρχικές μελέτες έδωσαν τη δυνατότητα της οριοθέτησης αρχιτεκτονικής αναφοράς για την Έκδοση 2000 όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11. Αυτή η αρχιτεκτονική, που είναι σε μεγάλο βαθμό καινοτομική και σχεδιάζεται για την παροχή ενοποιημένων υπηρεσιών IP, επιτυγχάνεται με βελτίωση του βασιζόμενου σε GPRS τμήματος πακέτου μεταγωγής του δικτύου UMTS R 99. Έλεγχος κλήσης εξακολουθεί να παρέχεται από το δίκτυο του φορέα λειτουργίας, αλλά τώρα βασίζεται σε τεχνολογία IP και προέρχεται από πρωτόκολλα τύπου SIP ή H.323. Αντιμετωπίζονται δύο δυνατά δίκτυα πρόσβασης: το δίκτυο UTRAN που ορίζεται από τη 3 GPP και ένα ..., ονομαζόμενο ERAN (Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης EDGE), που βασίζεται σε πρόσβαση EDGE (Αυξημένου ρυθμού δεδομένων για εξέλιξη GSM), το οποίο εισάγει νέο σχήμα διαμόρφωσης για την αύξηση του παρεχόμενου ρυθμού δυφίων.

Στην αρχιτεκτονική UMTS R 2000, προστίθενται νέα στοιχεία δικτύου (Σχήμα 4.11) για την εφαρμογή ενός μόνο κορμού δικτύου βασιζόμενου σε IP. Αυτά τα νέα στοιχεία περιγράφονται εν συντομία παρακάτω:

- **Λειτουργία Ελέγχου Κατάστασης Δικτύου (CSCF):** επιτελεί λειτουργίες ελέγχου κλήσης, μεταγωγής υπηρεσίας, μετάφρασης διεύθυνσης και διαπραγμάτευσης τύπου κωδικοποίησης.
- **Λειτουργία Ελέγχου Πύλης Μέσων (MGCF):** αυτή είναι το σημείο διεπαφής για σηματοδότηση μεταξύ του βασιζόμενου σε IP δικτύου UMTS 2000 και των δικτύων κυκλωμάτων μεταγωγής.
- **Λειτουργία Πύλης Μέσων (MGW):** αυτή είναι η οντότητα διεπαφής για κίνηση φωνής μεταξύ του βασιζόμενου σε IP δικτύου UMTS 2000 και των δικτύων κυκλωμάτων μεταγωγής.
- **Λειτουργία Πόρου Πολυμέσων (MRF):** διεξάγει όλες τις λειτουργίες που χρειάζονται για να αποκαθίστανται πολυμερείς κλήσεις και κλήσεις διάσκεψης.
- **Λειτουργία Πύλης Σηματοδότησης (SGW):** εκτελεί μετατροπή μεταξύ σηματοδότησης βασιζόμενης σε κοινό κανάλι (SS 7) και σηματοδότησης βασιζόμενης σε IP.



Σχήμα 4.11 Αρχιτεκτονική εξ ολοκλήρου IP

Φυσικά, θα απαιτείται επίσης να αυξηθούν οι ικανότητες των σημερινών στοιχείων δικτύου UMTS R 99 όπως οι κόμβοι GSN και HLR έτσι ώστε να μπορεί να γίνει διαχείριση ενοποιημένων υπηρεσιών στο IP.

Το βασιζόμενο σε IP δίκτυο UMTS R 2000 θα πρέπει προφανώς να εξασφαλίζει πλήρη οπισθόδρομη συμβατότητα με την προηγούμενη Έκδοση (R 99).

#### **4.5.2 Ποιότητα υπηρεσίας σε δίκτυα πακέτου μεταγωγής**

Όπως σημειώνεται παραπάνω, μία από τις κρίσιμες απόψεις μιας λύσης δικτύου UMTS που βασίζεται εξ ολοκλήρου σε IP είναι αυτή της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε ό,τι αφορά το εύρος ζώνης, συνολική διατεματική καθυστέρηση και τρέμουλο.

Κατά παράδοση, τα δίκτυα IP παρέχουν μία μόνο κλάση υπηρεσίας που ονομάζεται η καλύτερη προσπάθεια, η οποία σημαίνει ότι τα πακέτα μπορούν να χαθούν και οι καθυστερήσεις δεν ελέγχονται. Κάθε πακέτο IP ή διάγραμμα δεδομένων, αποστέλλεται ανεξάρτητα από όλα τα άλλα πακέτα: επειδή το διαθέσιμο εύρος ζώνης και οι καθυστερήσεις εξαρτώνται από τη στιγμιαία κατάσταση του δικτύου, δεν υπάρχουν έτσι εγγυήσεις για το εάν τα διαγράμματα δεδομένων θα παραδοθούν στον σταθμό λήψης και για την προκύπτουσα διατεματική καθυστέρηση.

Ενώ η κλάση υπηρεσίας της καλύτερης προσπάθειας μπορεί να είναι αποδεκτή για υπηρεσίες στις οποίες δεν υπάρχουν αυστηροί περιορισμοί για την καθυστέρηση (π.χ. μηνύματα, e-mail, μεταφορά φακέλου, δικτύωση με επιλογή κ.λπ.), γίνεται σοβαρός περιορισμός για εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως υπηρεσία φωνής, βιντεοτηλεφωνία και βιντεοδιάσκεψη. Για δημόσια δίκτυα, είναι ανάγκη να οριστούν νέοι μηχανισμοί με τους οποίους μπορούν να διαφοροποιούνται οι διάφοροι τύποι υπηρεσίας για να προστατεύεται η κίνηση πραγματικού χρόνου.

Γι' αυτό τον σκοπό αναπτύχθηκε αρχιτεκτονική που είναι γνωστή ως Ενοποιημένες Υπηρεσίες (Int-Serv), η οποία δίνει τη δυνατότητα συνδυασμού της στιβαρότητας δικτύου χωρίς συνδέσεις με τις εγγυήσεις υπηρεσίας πραγματικού χρόνου δικτύου προσανατολισμένου σε σύνδεση.

Αυτή η αρχιτεκτονική, ωστόσο, δεν μπορεί να σφραγιστεί και συνεπάγεται φορτία διαχείρισης σε ό,τι αφορά το φορτίο σηματοδότησης. Έτσι, αναπτύχθηκε νέα πρόταση που ονομάζεται Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (Diff-Serv) η οποία είναι καταλληλότερη για εφαρμογή σε δίκτυα ευρείας περιοχής.

Στην αρχιτεκτονική Int-Serv, η ποιότητα υπηρεσίας εξασφαλίζεται για κάθε επιμέρους ροή δεδομένων για την οποία έχει γίνει αίτηση. Σ' αυτό το πλαίσιο εφαρμογής, μια ροή ορίζεται ως ακολουθία διαγραμμάτων δεδομένων IP που συνδέονται με τη δραστηριότητα του ίδιου χρήστη.

Για να δεσμεύονται οι πόροι που χρειάζονται για να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη QoS για δεδομένη ροή στη διαδρομή πομπού-δέκτη, χρησιμοποιείται το RSVP (Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων). Το κύριο πλεονέκτημα από την εφαρμογή της αρχιτεκτονικής Int-Serv και ιδιαίτερα του πρωτοκόλλου δέσμευσης πόρων RSVP, είναι ότι μπορεί να εξασφαλίζεται αποτελεσματικά διατεματική QoS για κάθε επικοινωνία. Προφανώς, αυτό είναι δυνατό μόνον εάν όλα τα δίκτυα που μετέχουν στην επικοινωνία μεταξύ πηγής και προορισμού υποστηρίζουν RSVP. Αν αυτό δεν συμβαίνει, θα υπάρχουν μεγάλα διαστήματα κατά τα οποία η σηματοδότηση δέσμευσης πόρων δεν θα έχει επίδραση.

Επιπλέον, το πρωτόκολλο RSVP δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να διαπραγματεύεται και εάν χρειάζεται να μεταβάλλει την επιθυμητή QoS για δεδομένη υπηρεσία κατά τη διάρκεια συνόδου.

Δυστυχώς, υπάρχει εγγενής περιορισμός στον τρόπο που λειτουργεί το RSVP. Το πρωτόκολλο δεν μπορεί να σφραγιστεί και είναι αποτελεσματικό μόνο για μικρά LAN (Τοπικά Δίκτυα). Καθώς αυξάνεται το μέγεθος του δικτύου, αυξάνει σημαντικά η ποσότητα της απαιτούμενης κίνησης σήμανσης, απαιτώντας μεγάλο πρόσθετο φορτίο στους δρομολογητές οι οποίοι πρέπει να αποθηκεύουν μια κατάσταση για κάθε ροή. Αυτοί είναι μείζονος σημασίας περιορισμοί σε πλαίσιο εφαρμογής UMTS, όπου, δεδομένης της ανεξαρτησίας πρωτοκόλλου για αλγορίθμους δρομολόγησης, μπορεί να αναδρομολογούνται πακέτα κατά τη διάρκεια κλήσης σε νέα διαδρομή όπου δεν μπορεί να εξασφαλιστεί η ίδια QoS (ποιότητα υπηρεσίας).

Με την αρχιτεκτονική Diff-Serv, η κίνηση μηνυμάτων σηματοδότησης μειώνεται σημαντικά με ομαδοποίηση διάφορων ροών σε κλάσεις υπηρεσίας, γεγονός που επίσης συμβάλλει σε δραστική μείωση στο φορτίο υπολογισμού διάφορων δρομολογητών.

Κάθε ροή που εισέρχεται στον εν λόγω τομέα ταξινομείται από δρομολογητή συνόρων (BR) έτσι ώστε ο χειρισμός της να μπορεί να γίνεται με συνέπεια από τους εσωτερικούς δρομολογητές μεταβίβασης (TR). Ο διαφοροποιημένος χειρισμός πραγματοποιείται με διαχωρισμό της κίνησης σε ουρές σύμφωνα με τις ορισμένες κλάσεις υπηρεσίας. Οι ροές ταξινομούνται με σήμανση πεδίου DS κεφαλίδας IP. Η τιμή που περιέχεται στο πεδίο DS χρησιμοποιείται τότε από τους εσωτερικούς δρομολογητές του δικτύου για διαφοροποιημένο χειρισμό πακέτων σε σχέση με την QoS που συσχετίζεται με κάθε κλάση υπηρεσίας. Με αυτό τον τρόπο δεν είναι πλέον ανάγκη να διατηρείται η ήπια κατάσταση κάθε ροής σε κάθε κόμβο, όπως χρειαζόταν με την αρχιτεκτονική Int-Serv.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Επίλογος

#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αλλαγές στο παγκόσμιο οικονομικό και πολιτικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 προς μεγαλύτερη ενοποίηση και συνεργασία, προκάλεσαν συνθήκες υπό τις οποίες θα μπορούσαν να ανθήσουν οι νέες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Όπως αυξανόταν η ανάγκη για καλύτερες εγκαταστάσεις επικοινωνίας, λόγω των αυξημένων εμπορικών και επενδυτικών ροών, έγιναν περισσότερο εφαρμόσιμες και βιώσιμες οι λύσεις που δίνουν οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις.

Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών επωφελήθηκε τόσο από κινήσεις προς τη δημιουργία περισσότερο ανταγωνιστικών αγορών σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, όσο και από διεθνείς συμφωνίες τυποποίησης που αποδείχτηκαν αναγκαίες στην εκμετάλλευση μερικών από τις νέες τεχνολογικές λύσεις. Ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη στις υπηρεσίες τηλεπικοινωνίας στην τελευταία δεκαετία έγινε ταχύτερη από τη γενική οικονομική ανάπτυξη. Σε πολλές χώρες, η ποικιλία των υπηρεσιών αυξήθηκε καθώς μειώθηκαν οι τιμές γι' αυτές τις υπηρεσίες. Ειδικότερα, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών (όπως αναζήτησης, ιδιωτικής κινητής ραδιοεπικοινωνίας και κυψελοειδών εφαρμογών), ενεργούν ως καταλύτης στην παροχή μέσων εισαγωγής ανταγωνισμού στη φωνητική τηλεφωνία, καθώς και την παροχή τρόπου εισαγωγής ανταγωνισμού στον τοπικό βρόχο. Επειδή τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών επωφελούνται από την απελευθέρωση των υπηρεσιών τηλεπικοινωνίας παγκοσμίως, βοηθούν στην προώθηση της διεργασίας με παροχή ευκαιριών ανταγωνισμού τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

#### 5.2 ΜΕΤΑΡΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ

##### 5.2.1 Ευρωπαϊκή ενοποίηση

Κατά παράδοση, οι ευρωπαϊκές υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών παρέχονταν κυρίως από μονοπώλια κυβερνητικής ιδιοκτησίας ελεγχόμενα από κυβερνητικό υπουργείο. Εξαιρέσεις αυτού είναι η ύπαρξη λειτουργικά διαιρεμένων και περιφερειακών μονοπωλίων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τις πολλές υπεύθυνες εταιρείες στην Ιταλία και την Πορτογαλία, την ύπαρξη ιδιωτικών τοπικών μονοπωλίων στη Φινλανδία (και προηγουμένως στη Δανία) και τη λειτουργία μικρών τοπικών επιχειρήσεων στα κρατικά μονοπώλια της Ισπανίας και της Ιταλίας. Η κύρια απόκλιση από τον κανόνα προέκυψε όταν το Ηνωμένο Βασίλειο αποφάσισε να επιτρέψει ανταγωνισμό το 1981 δίνοντας δυνατότητα στην είσοδο στη δημόσια παροχή επικοινωνιών, και αργότερα το 1984 με την ιδιωτικοποίηση του φορέα λειτουργίας τηλεπικοινωνιών.

Οι αλλαγές στη δομή της παροχής τηλεπικοινωνιών που γίνονταν στη δεκαετία του 1980 οφείλονται σε τεχνολογική ώθηση που επιταχύνθηκε όχι μόνο με ψηφιακό κέντρο και ψηφιακή μετάδοση, αλλά με την αύξηση της ζήτησης. Ως αποτέλεσμα των εθνικών μονοπωλίων που χαρακτήριζαν τις εθνικές προσεγγίσεις για την παροχή υπηρεσιών τον προηγούμενο αιώνα, τα πρότυπα τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, τα τιμολόγια και το φάσμα των υπηρεσιών διέφεραν σημαντικά μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Η εμφάνιση μίας μόνο αγοράς με ελεύθερη κυκλοφορία αγαθών και κεφαλαίου απαιτεί περισσότερο ολοκληρωμένη προσέγγιση στη ροή πληροφοριών.

Η σημερινή ευρωπαϊκή αγορά τηλεπικοινωνιών λαμβάνει νέο σχήμα γύρω από τις πολιτικές που εκφράζονται στην Πράσινη Βίβλο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία δημοσιεύτηκε το 1987. Με αυτή τη βίβλο, δίνονταν στα κράτη μέλη σαφείς οδηγίες για τους τομείς στους οποίους κάθε κράτος είναι ελεύθερο να ακολουθεί τις δικές του πολιτικές και εκείνους στους οποίους θα αναλαμβάνεται κοινοτική δράση. Οι κύριες προτάσεις που γίνονται από την Πράσινη Βίβλο είναι για πλήρη απελευθέρωση της προμήθειας τερματικού εξοπλισμού, την εξάλειψη όλων των περιορισμών ανταγωνισμού στον τομέα υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας, τη σύνταξη προτύπων για όλη την κοινότητα, την ανάπτυξη αρχών που θα διέπουν την παροχή ανοιχτού δικτύου και την παρακολούθηση ανταγωνιστικών πρακτικών. Η υποδομή δικτύου και η φωνητική τηλεφωνία θεωρούνται δεσμευμένες υπηρεσίες και η κρίση σχετικά με τη δομή ιδιοκτησίας των κύριων παροχών τηλεπικοινωνιών αφήνεται στη διάκριση των κρατών μελών.

Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο, ο χωρισμός παροχών ταχυδρομείων και τηλεπικοινωνιών, η ενσωμάτωση και / ή ιδιωτικοποίηση φορέων λειτουργίας τηλεπικοινωνιών, που επιτρέπει ανταγωνισμό στην προμήθεια τερματικού εξοπλισμού πελατών και η είσοδος σε υπηρεσίες χωριστά από "δεσμευμένες υπηρεσίες" γίνονται με διαφορετικούς ρυθμούς στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Οι χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης (CEE) μεταρρυθμίζουν επίσης τις υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών τους με τον ίδιο τρόπο που αντικατοπτρίζει τις εξελίξεις αλλού στην Ευρώπη.

### **5.2.2 Απελευθέρωση σε εξέλιξη**

Η απελευθέρωση είναι για να επιτρέπεται ανταγωνισμός. Στις τηλεπικοινωνίες, είσοδος σ' αυτή την παραδοσιακά κυριαρχούμενη από το κρατικό μονοπώλιο παροχή υπηρεσιών γίνεται προοδευτικά σε μερικούς κύριους τομείς, σε πολλές χώρες. Η δομή ιδιοκτησίας πολλών δημόσιων οργανισμών τηλεπικοινωνιών (PTO) μεταβάλλεται επίσης από την ιδιοκτησία του κράτους στην ιδιωτική ιδιοκτησία. Αυτή η αλλαγή στη δομή ιδιοκτησίας συνεπάγεται αλλαγές στη διοίκηση και ρύθμιση προς τη δημιουργία ανεξάρτητων ρυθμιστικών φορέων.

#### **Ανταγωνισμός**

Οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιαπωνία και αργότερα η Νέα Ζηλανδία αποφάσισαν να επιτρέψουν ανταγωνισμό στην παροχή των βασικότερων (δηλαδή φωνητικών) δικτύων και υπηρεσιών, ακολουθούμενες από την Αυστραλία, τον Καναδά, τη Φινλανδία και τη Σουηδία.



Στην Αυστραλία και το ΗΒ δημιουργήθηκε πρώτα διπώλιο, ακολουθούμενο από περισσότερο ανοιχτό ανταγωνισμό. Στη δεκαετία του 1990 πολλές χώρες επιτρέπουν ανταγωνισμό σε υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας και σε κινητές τηλεπικοινωνίες. Η Δανία, η Φινλανδία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ελλάδα, η Νορβηγία και η Πορτογαλία παρέχουν πανευρωπαϊκά ψηφιακά κυβελοειδή δίκτυα. Η Σουηδία έχει δύο ιδιωτικές κοινοπραξίες που ανταγωνίζονται με τους εθνικούς της ΡΤΟ και το ΗΒ έχει δύο ιδιωτικές εταιρείες που ανταγωνίζονται (αν και η British Telecom είναι εν μέρει ιδιοκτήτης μίας από αυτές).

Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) του Ιουνίου 1993 αναθέτει τώρα στα κράτη μέλη της ΕΕ (με μερικές εξαιρέσεις) να ανοίξουν τα σταθερά δίκτυά τους στον ανταγωνισμό έως τον Ιανουάριο του 1998. Στους "λιγότερο αναπτυγμένους" ΡΤΟ όπως αυτούς στην Πορτογαλία, Ιρλανδία, Ελλάδα και Ισπανία, δίνονται πέντε επιπλέον έτη και στους μικρότερους ΡΤΟ όπως αυτός του Λουξεμβούργου, δίνονται δύο επιπλέον έτη για να ανοίξουν τα δίκτυά τους στον ανταγωνισμό. Από την ΕΕ αναμένεται επίσης να δημοσιεύσει Πράσινη Βίβλο σε θέματα σχετικά με την υποδομή έως τον Ιανουάριο του 1995.

Στην Ευρώπη μόνο το ΗΒ έχει πλήρως ανταγωνιστική αγορά σε λειτουργία για σταθερά δίκτυα. Σήμερα υπάρχουν δύο ανταγωνιστικοί πλήρως ιδιωτικοί οργανισμοί σταθερού δικτύου και άδειες, συμπεριλαμβανομένων εθνικών αδειών, δίνονται σε πολλές εταιρείες. Το διπώλιο της British Telecom (BT) και της Mercury (πλήρως ιδιοκτήτης θυγατρικής εταιρείας της Cable and Wireless), που δημιουργήθηκε το 1981 στη φωνητική τηλεφωνία καθώς και στην υποδομή, άνοιξε στον ανταγωνισμό πλήρως μετά τη δημοσίευση Λευκής Βίβλου τον Μάρτιο του 1991. Στην Ολλανδία και τη Φινλανδία, χορηγούνται επίσης δεύτερες άδειες εθνικού δικτύου.

**Μετατροπή σε εταιρεία και ιδιωτικοποίηση ΡΤΟ:** πολλές ευρωπαϊκές κυβερνήσεις ψήφισαν νομοθεσία που δίνει τη δυνατότητα στον ΡΤΟ τους να ενεργεί όπως μια ιδιωτική εταιρεία με λιγότερο άμεσο έλεγχο από το κράτος ακόμη και όταν εξακολουθεί να ανήκει πλήρως στο κράτος. Σε μερικές περιπτώσεις αυτό συνεπαγόταν χωρισμό των υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών από τις ταχυδρομικές υπηρεσίες. Στη Γερμανία και την Ολλανδία, η μετατροπή σε εταιρεία θεωρείται πρώτο βήμα προς την ιδιωτικοποίηση. Η μετατροπή εθνικών ΡΤΟ σε εταιρείες έγινε στη Δανία (1990), στη Φινλανδία (1987), στη Γαλλία (1990), στη Γερμανία (1990), στην Ελλάδα (1992), στην Ιρλανδία (1984), στην Πορτογαλία (1989), στην Ισπανία (1994), στη Σουηδία (1993), την Ελβετία (1992) και το ΗΒ (1968-81).

Στην Ευρώπη, το ΗΒ ήταν η πρώτη χώρα που ιδιωτικοποίησε τους ΡΤΟ της. Η ιδιωτικοποίηση της BT άρχισε το 1984 και ολοκληρώθηκε το 1993 με την πώληση του τελευταίου 22% των μετοχών της στο κοινό. Η Ισπανία, η Ιταλία και η Πορτογαλία είχαν ιδιωτική συμμετοχή για πολλά χρόνια και στη Φινλανδία υπάρχουν περιφερειακές ιδιωτικές εταιρείες. Η Ιταλία πώλησε 40% του SIP και 42% του STET (που είναι ο κύριος ιδιοκτήτης του SIP) σε ιδιώτες επενδυτές. Στην Ισπανία, 65% της Telefonica και στη Δανία 49% της TeleDenmark κατέχονται από ιδιώτες. Η Γερμανία και η Ολλανδία είναι κοντά στην ιδιωτικοποίηση και περισσότερες κρατικές μετοχές αναμένεται να πωληθούν στην Ισπανία και την Ιταλία.

### **Ρυθμιστικό περιβάλλον**

Σε μερικές ευρωπαϊκές χώρες, η ρύθμιση των τηλεπικοινωνιών γίνεται τώρα από ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, όπως συμβαίνει στο ΗΒ με το OfTel. Το Βέλγιο, η Δανία, η Φινλανδία, η Νορβηγία, η Πορτογαλία, η Σουηδία και η Ελβετία ακολούθησαν επίσης αυτή την πορεία. Ωστόσο η Γαλλία, η Γερμανία, η Ιταλία και η Ισπανία ρυθμίζουν μέσω του υπουργείου που είναι υπεύθυνο για τις τηλεπικοινωνίες. Η ανεξαρτησία της ρυθμιστικής αρχής από το κράτος απομακρύνει τους ΡΤΟ από τις επιδράσεις πολιτικών μεταβολών και τους καθιστά αυτάρκεις μέσω τελών αδειοδότησης. Οι όροι απασχόλησης και οι μισθοί αυτών των ΡΤΟ είναι διαφορετικοί από αυτούς των δημόσιων υπηρεσιών. Ωστόσο, υπάρχουν αμφιβολίες για την αποτελεσματικότητα των εξουσιών ανεξάρτητων ρυθμιστικών αρχών στην επιβολή αποφάσεων σε σύγκριση με κυβερνητικό υπουργείο.

### **5.3 ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΩΣ ΔΟΚΙΜΗ ΓΙΑ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Το 1993, 7 περίπου εκατομμύρια άτομα στην Ευρώπη, 12 εκατομμύρια στη Βόρεια Αμερική και 4 εκατομμύρια στην Άπω Ανατολή ήταν χρήστες κυψελοειδούς τηλεφώνου. Κατά το τέλος του 1993, μόνο στο ΗΒ, περισσότεροι από 2 εκατομμύρια χρήστες είναι συνδρομητές σε δύο αναλογικά κυψελοειδή δίκτυα. Στο τέλος του αιώνα, αυτοί οι αριθμοί αναμένεται να αυξηθούν τουλάχιστον 3 φορές. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης στην Ευρώπη εκτιμάται ότι είναι περίπου 33% και αυτή η καταπληκτική αύξηση επηρέασε τη βιομηχανία καθώς και τους οργανισμούς τηλεπικοινωνιών.

#### **5.3.1 Θέματα για Νέα Αναπτυσσόμενη Υπηρεσία**

##### **Δομή της αγοράς**

Στις περισσότερες προηγμένες οικονομίες, οι περισσότερες από τις υπάρχουσες κινητές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες είναι συμπληρωματικές προς τις υπηρεσίες σταθερού δικτύου και συνεπώς είναι ευκολότερα αποδεκτές για λειτουργία σε δομή ανταγωνιστικής αγοράς χωρίς να απειλούν τα σταθερά δίκτυα των μονοπωλιακών φορέων. Οι κινητές υπηρεσίες ωφελούν τους φορείς λειτουργίας σταθερού δικτύου μέσω τελών που πληρώνονται για σύνδεση και μέσω αυξημένου όγκου κλήσεων όταν η χωρητικότητα είναι επαρκώς μεγάλη. Σε χώρες όπου οι υποδομές τηλεπικοινωνιών είναι καλά αναπτυγμένες, η χρήση κινητών υπηρεσιών οφείλεται στον "κινητό" ρόλο τους που παρέχει όχι μόνο βασικές τηλεφωνικές υπηρεσίες αλλά επεκτείνει την υπηρεσία σε χώρους και χρόνους στους οποίους δεν θα μπορούσε κανείς να κάνει κλήσεις από σταθερό δίκτυο. Ως αποτέλεσμα, οι άνθρωποι δεν είναι υποχρεωμένοι να μένουν δεμένοι στα γραφεία τους και η χρήση του χρόνου τους είναι περισσότερο αποδοτική. Αυτό το είδος χρήσης δεν μειώνει τα έσοδα για τους φορείς λειτουργίας σταθερού δικτύου. Με αυτή την έννοια, το θέμα του εάν αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται με μονοπωλιακές ή ανταγωνιστικές δομές είναι δευτερεύον για την εξήγηση της επιτυχίας. Στις σκανδιναβικές χώρες, όπου οι αναλογικές υπηρεσίες παρέχονταν από τα κρατικά μονοπώλια, αλλά και σε άλλες χώρες, όπως το ΗΒ και οι ΗΠΑ, όπου σε ιδιωτικούς φορείς δόθηκε άδεια να παρέχουν κινητές υπηρεσίες, είδαμε τη ζήτηση γι' αυτές τις υπηρεσίες να αυξάνεται πολύ γρήγορα.

Οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις και η πείρα στην εγκατάσταση και λειτουργία αυτών των δικτύων στη Δυτική Ευρώπη καθώς και οι οικονομίες κλίμακας που επιτεύχθηκαν με παραγωγή εξοπλισμού υποδομής, έκαναν τις υπηρεσίες κινητής τηλεπικοινωνίας προφανή επιλογή για την "πλήρωση του κενού" όπου τα σταθερά δίκτυα δεν υπάρχουν ή είναι ασθενή, όπως στην περίπτωση των χωρών CEE (Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης). Ο κινητές τηλεπικοινωνίες σ' αυτές τις χώρες χρησιμοποιούνται κυρίως για βασική τηλεφωνία και λιγότερο στον κινητό ρόλο τους.

Συνεπώς, από την άποψη των χρηστών, οι κινητές υπηρεσίες παρέχουν τις παραδοσιακές υπηρεσίες που δεν είναι εύκολα διαθέσιμες, λόγω της έλλειψης σταθερών γραμμών για την παροχή αυτών των υπηρεσιών. Αυτός ο ρόλος υποκατάστασης θεωρείται βραχυπρόθεσμο έως μεσοπρόθεσμο φαινόμενο έως ότου επεκταθεί η κάλυψη των σταθερών γραμμών, οπότε τα συστήματα κινητής τηλεπικοινωνίας αναμένεται να αναλάβουν τον ρόλο τους ως συμπληρωματικών ως προς τις σταθερές γραμμές. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στην εφαρμογή και την επιτυχία αυτής της στρατηγικής ερευνώνται σε άλλα κεφάλαια που καλύπτουν αυτές τις χώρες. Η απόφαση ως προς το ποιο είδος δομής της αγοράς θα ήταν πιο κατάλληλο για τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης απαιτεί συνεπώς να ληφθεί υπόψη αυτό το γεγονός. Η ανάγκη για κινητά συστήματα σ' αυτές τις χώρες για να παρέχουν επικοινωνία κατά την κίνηση και μακριά από γραφεία υπάρχει επίσης και θα αναπτυχθεί περαιτέρω μαζί με την οικονομική ανάπτυξη.

Οι φορείς λειτουργίας PCN σκοπεύουν να φέρουν τα κινητά τηλέφωνα σε μαζική αγορά, ελπίζοντας να έχουν πρόσβαση σε χρήστες κατοικίας καθώς και χρήστες επιχειρήσεων. Επειδή τα δίκτυα PCN απαιτούν πολύ μεγαλύτερη επένδυση από ό,τι τα αναλογικά και τα δίκτυα GSM, ο μόνος τρόπος να καταστήσουν την τιμή της υπηρεσίας ανταγωνιστική με τα σταθερά δίκτυα είναι να παρατείνουν περαιτέρω την ημερομηνία εξισορρόπησης. Αυτή η στρατηγική ωστόσο εξαρτάται από την οικονομική ισχύ του φορέα. Τα έσοδα που αναμένονται στο μέλλον χρησιμοποιούνται για τη χρηματοδότηση της προώθησης στο παρόν, με προοπτική απόκτησης μεγάλου μεριδίου της αγοράς.

Οι πολιτικές αλλαγές έδωσαν τη δυνατότητα της αμφισβήτησης των οικονομιών πίσω από τα κρατικά μονοπώλια τηλεπικοινωνιών και ανέδειξαν την ιδιωτικοποίηση και αναδιάρθρωση ως δυνατότητες ακολουθώντας την παρόμοια εμπειρία στις ΗΠΑ και στο ΗΒ. Αν και ένα κρατικό μονοπώλιο είναι ο κανόνας για την παροχή σταθερών υπηρεσιών μεταξύ ευρωπαϊκών χωρών, η κανονιστική απορρύθμιση είναι τώρα καθ' οδόν σε ορισμένες χώρες και σχεδιάζεται η δημιουργία ανεξάρτητων ρυθμιστικών αρχών. Σήμερα, πολλοί ρυθμιστές αγωνίζονται με το θέμα του εάν και πώς οι κανονισμοί θα πρέπει να ενεργούν για να περιορίσουν τη μονοπωλιακή κατάχρηση και να δημιουργήσουν ανταγωνισμό εάν ο ανταγωνισμός δεν μπορεί να προκύψει φυσικά σε περιβάλλον συνθηκών ελεύθερης εξόδου και εισόδου. Οι κινητές επικοινωνίες και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας έχουν ήδη αποδείξει ότι μπορούν να παρέχονται επιτυχώς μέσα σε δομές ανταγωνιστικής αγοράς ως συμπληρωματικές προς, ή υποκατάστατες για, σταθερά δίκτυα όπως στις ανατολικές περιοχές της Γερμανίας. Φαίνεται τώρα ότι οι κινητές υπηρεσίες παρέχουν δυνητικά ανταγωνισμό προς υπηρεσίες σταθερού δικτύου είτε μέσω ραδιοσυστημάτων είτε μέσω συστημάτων βασιζόμενων σε δορυφόρους.

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες δόθηκαν άδειες σε ιδιωτικές εταιρείες αναζήτησης και κινητής ραδιοεπικοινωνίας. Επιπλέον, οι περισσότερες από τις ευρωπαϊκές χώρες που είναι δεσμευμένες να παρέχουν πανευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα (GSM), τώρα αδειοδοτούν ιδιωτικές εταιρείες ως δευτέρους παροχείς δίπλα στις δικές τους (κρατικές) μονοπωλιακές εταιρείες παροχής. Στην περίπτωση ανατολικών ευρωπαϊκών χωρών, οι άδειες χορηγούνται σε κοινοπραξίες με εθνικούς φορείς λειτουργίας στην πλειοψηφία των μετοχών.

Το σύστημα τιμολόγησης σ' αυτές τις χώρες (πολύ υψηλές χρεώσεις σύνδεσης και μηνιαίες συνδρομές) είχε ως αποτέλεσμα κέρδη χαμηλότερα από τα αναμενόμενα. Όπου τα κινητά συστήματα χρησιμοποιούνται για βασική τηλεφωνία (παρά για κινητικότητα), λόγω του ότι οι παραδοσιακές σταθερές υπηρεσίες δεν είναι ικανοποιητικές (ή με άλλα λόγια, όπου αυτές είναι υποκατάστατα), το να έχουν τον ίδιο μονοπωλιακό φορέα λειτουργίας στην παροχή υπηρεσιών τόσο σταθερού δικτύου όσο και κινητών είχε ως αποτέλεσμα πολύ υψηλές χρεώσεις για τις νέες υπηρεσίες. Σχετικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της Τσεχοσλοβακικής Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας (CSFR), όπου ο κρατικός ΡΤΟ (SPT) έχει την πλειοψηφία ιδιοκτησίας του κυψελοειδούς παροχέα (EuroTel), και αποκλειστικά δικαιώματα για όλες τις συχνότητες δίνονται στον EuroTel. Ωστόσο, παρόμοια κατάσταση στην Πολωνία και την Ουγγαρία μεταβλήθηκε ουσιαστικά, με το να επιτραπεί είσοδος σε άλλες κινητές υπηρεσίες: PMR, αναζήτηση και GSM φαίνεται ότι έδωσαν τις ανταγωνιστικές πιέσεις για τη μείωση των τιμών στις αναλογικές υπηρεσίες.

### **Ρύθμιση**

Υπάρχουν πολλά μαθήματα για ρύθμιση προερχόμενη από την πείρα των χωρών της Δυτικής Ευρώπης. Είναι δύσκολο να ισχυριστεί κανείς ότι το σύστημα του ΗΒ είναι τέλειο, όπως φάνηκε από τις περιπτώσεις τηλεσταθμού, παροχέων υπηρεσιών που χρεοκόπησαν και από περιθώρια υψηλού κέρδους που επιτεύχθηκαν από κυψελοειδείς φορείς λειτουργίας. Η ρύθμιση, ο αριθμός φορέων λειτουργίας, η επιλογή τεχνολογίας και ο χρόνος της νέας εισόδου ήταν όλα αποτελεσματικά στην επιλογή. Σε δύο κυψελοειδείς φορείς λειτουργίας δόθηκαν άδειες για 25 χρόνια και αν και αυτές οι άδειες έδωσαν σ' αυτούς το δικαίωμα να διατηρούν σε λειτουργία ψηφιακά δίκτυα, άδειες PCN (οι οποίες δεν ήταν υπό συζήτηση κατά την κυψελοειδή αδειοδότηση) χορηγήθηκαν σε 3 διαφορετικές κοινοπραξίες (που δημιουργήθηκαν από πολλές αλλοδαπές εταιρείες) και άδειες Τηλεσταθμών χορηγήθηκαν επίσης σε 4 διαφορετικές κοινοπραξίες. Τα πρότυπα τόσο PCN όσο και τηλεσταθμού δεν είχαν ακόμη αποφασιστεί κατά τον χρόνο της αδειοδότησης. Ωστόσο, οι φορείς λειτουργίας τηλεσταθμού είχαν ήδη αναπτύξει ασύμβατα συστήματα στο σημείο προώθησης. Το μείγμα των δυνάμεων της αγοράς και των από τη ρύθμιση επιβαλλόμενων προτύπων έγιναν το νεκρικό κρεβάτι γι' αυτές τις εταιρείες. Ο χρόνος και η επιλογή μεγάλου αριθμού αδειών (με μέλη κοινοπραξιών που είχαν ασυμβίβαστους στόχους) προκάλεσαν τον θάνατο των συστημάτων τηλεσταθμών. Από τους αρχικούς 3 κατόχους αδειών PCN, δύο συγχωνεύθηκαν με πολλές εταιρείες αποσυρόμενοι από τις κοινοπραξίες, αν και αυτό μπορεί επίσης να θεωρηθεί ότι ήταν αποτέλεσμα των δυνάμεων της αγοράς. Στο μεταξύ η κερδοφορία των δύο υπαρχόντων κυψελοειδών φορέων λειτουργίας ήταν πολύ υψηλή. Σήμερα, από τις πολλές διαφορετικές επιλογές, οι καταναλωτές πρέπει να αποφασίσουν ποιο δίκτυο τους ταιριάζει καλύτερα.

Αυτή η επιλογή απαιτεί από τους πελάτες να κάνουν λεπτομερείς υπολογισμούς με βάση τα μοντέλα χρήσης τους και μπορεί να τους αναγκάσει να τροποποιήσουν το μοντέλο και τον χρόνο της πραγματοποίησης κλήσεων. Επίσης, οι προσδοκίες για μελλοντικές αλλαγές τιμών μπορεί να προκαλέσουν καθυστερημένη ενέργεια από πελάτες στην απόφασή τους σχετικά με ποιο δίκτυο πρέπει να επιλέξουν. Ωστόσο, η εισαγωγή ανταγωνισμού είχε ως αποτέλεσμα χαμηλότερες τιμές, καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη επιλογή για τους πελάτες.

Μια ομαλή μετάβαση από αναλογικά σε ψηφιακά συστήματα είναι θέμα για πολλές χώρες. Τα δίκτυα GSM θα παρέχονται σε διπλωτική δομή αγοράς σε πολλές χώρες. Εκτός από τρεις ευρωπαϊκές χώρες, τη Γαλλία, το ΗΒ και τη Σουηδία, αυτό είναι νέο πείραμα. Ακόμη και στη Γαλλία και τη Σουηδία, ο ανταγωνισμός δεν ήταν στη βάση "παιχνιδιού στο ίδιο επίπεδο" για δύο φορείς λειτουργίας, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά την επιχείρηση φάσματος. Και η περίπτωση του ΗΒ είναι επίσης διαφορετική επειδή και οι δύο φορείς λειτουργίας είναι ιδιωτικές εταιρείες. Η Σουηδία πρόκειται να έχει τρεις φορείς λειτουργίας GSM. Και αυτή τη φορά η αγορά δεν είναι μόνο εθνική αλλά διεθνής – στην πραγματικότητα οι Γερμανοί πολίτες μπορούν να γίνουν συνδρομητές στη Vodafone εάν επιτυγχάνουν καλύτερη συμφωνία κάνοντας αυτό.

Οι χρεώσεις για διασύνδεση κινητών συστημάτων στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (PSTN) είναι η βάση διαφωνιών ως προς το εάν μπορεί πραγματικά να καθιερωθεί ανταγωνισμός. Οι αδειοδοτημένοι φορείς λειτουργίας παρέχουν κυρίως αυτές τις υπηρεσίες σε ανταγωνισμό με το μονοπωλιακό (κρατικό ή διαφορετικό) φορέα σταθερών ζεύξεων. Συνεπώς, εάν δεν ληφθεί υπόψη η δυσκολία του πόση πρέπει να είναι η χρέωση, οι νεοεισερχόμενοι θα πρέπει να έχουν τα ίδια δικαιώματα για διασύνδεση και θα πρέπει να χρεώνονται παρόμοια με τον υπάρχοντα. Επιπλέον, σε ό,τι αφορά την εκχώρηση φάσματος, στους νεοεισερχόμενους θα πρέπει να δίνεται ίσος χώρος.

Ο χρόνος νέας εισόδου, τεχνικοί και λειτουργικοί περιορισμοί και θέματα όπως τιμές και παρεχόμενες υπηρεσίες θα πρέπει να υφίστανται προσεκτική επεξεργασία κατά την αδειοδότηση διάφορων κινητών συστημάτων. Η ημερήσια διάταξη των ρυθμιστικών αρχών πρέπει να είναι διαφανής και αποδεκτή από όλα τα μέρη. Η ευελιξία των ρυθμίσεων μπορεί μερικές φορές να απαιτείται. Στο ΗΒ, επειδή ο κατακόρυφος διαχωρισμός στη λιανική πώληση αναλογικών κυψελοειδών υπηρεσιών υπήρξε πολύ αποτελεσματικός σε γρήγορο ξεδίπλωμα, αυτός ο περιορισμός αίρεται με την είσοδο νέων ψηφιακών συστημάτων. Οι απαιτήσεις διαπεριαγωγής για τους αναλογικούς φορείς λειτουργίας διαπιστώθηκε ότι είναι ανεπαρκείς μόλις η κάλυψη ήταν η ίδια και για τους δύο φορείς και αφαιρέθηκαν αργότερα. Οι χρεώσεις πρόσβασης (χρεώσεις μη σχετιζόμενες με χρήση) για κινητά συστήματα καταργήθηκαν και η συγχώνευση κοινοπραξιών έγινε αποδεκτή σε κάποια έκταση.

Στην περίπτωση χωρών της Ανατολικής Ευρώπης, τα αποκλειστικά δικαιώματα που δόθηκαν σε φορείς λειτουργίας μονοπωλίων διαπιστώθηκε τώρα ότι είναι δεσμευτικά, αν και μπορεί να υπάρχουν νέες ευκαιρίες στην αδειοδότηση ανταγωνιστικών συστημάτων.

### 5.3.2 Η περίπτωση της Δυτικής Ευρώπης

Το ΗΒ δίνει το καλύτερο παράδειγμα για το σχήμα των μελλοντικών πραγμάτων αλλού στην Ευρώπη. Η διεργασία απελευθέρωσης δραστηριοτήτων τηλεπικοινωνιών άρχισε το 1981 με τον χωρισμό των ταχυδρομείων από τις τηλεπικοινωνίες. Η ΒΤ ιδρύθηκε για να αναλάβει την ευθύνη για τις τηλεπικοινωνίες. Μια νέα επιχείρηση που ονομάστηκε Mercury και που αργότερα έγινε εξ ολοκλήρου θυγατρική της Cable and Wireless, αδειοδοτήθηκε το 1982 ως ΡΤΟ για να ανταγωνιστεί με την ΒΤ για την παροχή βασικών σταθερών υπηρεσιών. Η απόφαση να αδειοδοτηθούν δύο κυψελοειδή τηλεφωνικά δίκτυα ελήφθη το 1982 και δόθηκαν άδειες στις Cellnet και Vodafone το 1983. Ο νόμος περί τηλεπικοινωνιών το 1984 καθιέρωσε τον Γενικό Διευθυντή Τηλεπικοινωνιών ως την ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή υποστηριζόμενη από το Γραφείο Τηλεπικοινωνιών (OfTel). Άδειες δημόσιας συγκαταλαμβανόμενης κινητής ραδιοεπικοινωνίας και δημόσιας αναζήτησης χορηγήθηκαν το 1986 και 1987 αντίστοιχα. Το διπλότυπο στις σταθερές υπηρεσίες έληξε προς όφελος του πλήρους ανταγωνισμού τον Μάρτιο του 1991. Σήμερα, ένας αριθμός αιτήσεων για άδειες παροχής σταθερών ζεύξεων (συμπεριλαμβανομένων ΑΤ & Τ) είναι υπό εξέταση και τέσσερις μεγάλης σημασίας άδειες χορηγήθηκαν στις Ionica, COLT, Energis και Scottish Hydro-Electric plc. Η Ionica σχεδιάζει να χρησιμοποιήσει ραδιοεκπομπή για τις τελικές ζεύξεις προς κατοικίες.

Στο κινητό δίκτυο, οι Cellnet και Vodafone έχουν άδειες για αναλογική κυψελοειδή και GSM παροχή. Οι Mercury και Hutchison έχουν άδειες για δίκτυα PCN. Η Hutchison έχει επίσης άδεια για δίκτυα τηλεσταθμών. Σήμερα, δύο αναλογικά κυψελοειδή –ένα GSM (900 MHz) και ένα μικροκυψελοειδές δίκτυο (900 MHz)– και ένα υπηρεσίας PCN (1800 MHz) είναι όλα σε λειτουργία. Επιπλέον, υπάρχει ένας αριθμός ιδιωτικών φορέων κινητής ραδιοεπικοινωνίας, παροχέων αναζήτησης και φορέων λειτουργίας κινητού δικτύου δεδομένων. Αν και έχουν ξεκινήσει πολύ πρόσφατα δύο ψηφιακά κινητά δίκτυα (Σεπτέμβριος 1993), οι τιμές των συστημάτων είναι το πιο ενδεικτικό σημείο του ρόλου που παίζει ο ανταγωνισμός. Τόσο το δίκτυο GSM όσο και το PCN έχουν τιμές (σύνδεση, συνδρομή και ραδιοχρόνος) κάτω από τις αναλογικές κυψελοειδείς τιμές, οι οποίες είχαν παραμείνει στα ίδια ονομαστικά επίπεδα από το 1987 έως το καλοκαίρι του 1993. Πάνω απ' όλα, οι τιμές PCN είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές του δικτύου GSM (με δωρεάν τοπικές εκτός αιχμής κλήσεις για προσωπικούς χρήστες). Οι κύριοι παράγοντες διαφοροποίησης μεταξύ των δικτύων είναι τιμές χειροσυσκευών και γεωγραφική κάλυψη – που και οι δύο είναι πιθανό να συγκλίνουν με τον καιρό.

Οι επιπτώσεις των πρόσφατων ενάρξεων επιχειρήσεων είναι ότι κινητές υπηρεσίες, στον ρόλο τους ως συμπληρωμάτων ή υποκατάστατων των σταθερών δικτύων μπορούν να παρέχονται αποτελεσματικά σε ανταγωνιστικές αγορές. Επιπλέον, νέα συστήματα κινητών επικοινωνιών παύουν να είναι συμπληρωματικά προς σταθερά δίκτυα και τείνουν να είναι υποκατάστατα και έτσι δεν θα πρέπει να αγνοούνται ως δυνητική ανταγωνιστική δύναμη προς σταθερά δίκτυα. Τρίτον, η ανταγωνιστική λειτουργία των εταιρειών βοηθά στην επίτευξη καλύτερης ποιότητας, χαμηλότερων τιμών και διαφοροποιημένων υπηρεσιών. Τώρα που οι χώρες συμφώνησαν να ανοίξουν τις αγορές τους στον διεθνή ανταγωνισμό στην παροχή εξοπλισμού και υποδομής, για κινητές υπηρεσίες, θα γίνει περισσότερη συνεργασία μέσω της δημιουργίας κοινοπραξιών.

Τέλος, περισσότερος ανταγωνισμός μέσα σε εγχώριες αγορές σημαίνει ότι οι εταιρείες θα χρειαστεί να γίνουν περισσότερο διεθνώς προσανατολισμένες για να εξασφαλίσουν συναλλαγές με άλλες χώρες και για να συνεργαστούν περαιτέρω μεταξύ τους. Ωστόσο, περισσότερη συνεργασία διεθνώς σε παροχή εξοπλισμού υποδομής μπορεί να μειώσει τον ανταγωνισμό σ' αυτόν τον τομέα.

### 5.3.3 Τηλεπικοινωνίες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης (CEE)

Η ανάπτυξη των τομέων τηλεπικοινωνίας στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης και τις χώρες CEE ήταν διαφορετική από πολλές απόψεις. Ως αποτέλεσμα, το χάσμα μεταξύ των επιπέδων διείσδυσης υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών τόσο ποσοτικώς όσο και ποιοτικώς είναι πολύ μεγάλο. Στις χώρες CEE, κυρίως λόγω των μειωμένων επενδύσεων για πολλά χρόνια, τα υπάρχοντα δίκτυα τηλεπικοινωνιών είναι τεχνολογικά καθυστερημένα και έχουν ανάγκη εκτεταμένου εκσυγχρονισμού. Σ' αυτές τις χώρες, πολιτικά θεωρούνταν ουσιαστικό ότι η ροή των πληροφοριών θα πρέπει να είναι υπό τον έλεγχο του κράτους. Κατά τη διάρκεια που υπερίσχυε ο κεντρικός σχεδιασμός, αγνοούνταν πλήρως οι τηλεπικοινωνιακές ανάγκες του πληθυσμού των κατοικιών και δινόταν περισσότερη σημασία στις ανάγκες των κρατικών οργανισμών. Οι τιμές διατηρήθηκαν χαμηλές και οποιαδήποτε έσοδα από αυτές τις υπηρεσίες χρησιμοποιούνταν για την επιδότηση των ταχυδρομικών υπηρεσιών (βλέπε το κεφάλαιο για την Πολωνία). Κατά τη μετάβαση σε οικονομία της αγοράς, αναγνωρίστηκε από τις εθνικές κυβερνήσεις η σημασία των τηλεπικοινωνιών για την οικονομική ανάκαμψη. Ένας άλλος παράγοντας, που προστίθεται στους λόγους για τη σημερινή κατάσταση των τηλεπικοινωνιών στις χώρες CEE είναι η άποψη των δυτικών χωρών για πολλά προϊόντα της τεχνολογίας πληροφοριών ως πολύ "ευαίσθητα" για να εξαχθούν στις χώρες του κομμουνιστικού μπλοκ έως το 1989.

Στη δεκαετία του 1990, γι' αυτές τις χώρες στις οποίες υπήρχε έλλειψη της τεχνολογίας και των κεφαλαίων για την ανάληψη των τεράστιων επενδύσεων που ήταν απαραίτητες για τη δημιουργία της υποδομής τηλεπικοινωνιών, η συνεργασία με τις δυτικές εταιρείες δεν ήταν επιλογή αλλά ανάγκη. Σ' αυτές τις χώρες, η έκταση και η μορφή συνεργασίας με αλλοδαπές εταιρείες και η εισαγωγή ανταγωνισμού με το να επιτραπεί η είσοδος ιδιωτικών εταιρειών στην αγορά, είναι τα κύρια θέματα στο κέντρο αλλαγής της οικονομικής πολιτικής.

Οι κινητές επικοινωνίες, ειδικότερα, υπήρξαν ο τομέας δοκιμής γι' αυτά τα θέματα. Στην Πολωνία, στην Ουγγαρία, στην Τσέχικη Δημοκρατία, στη Σλοβακία, στην Εσθονία και τη Λεττονία, τέθηκαν σε λειτουργία αναλογικά κυψελοειδή δίκτυα από εταιρείες κοινοπραξίας που σχηματίστηκαν συνήθως από την κρατική εταιρεία τηλεπικοινωνίας και μία ή περισσότερες δυτικές εταιρείες. Η είσοδος από ιδιωτικές εταιρείες επιτρέπεται σε υπηρεσίες αναζήτησης και δημόσιες συγκαταλαμβανόμενες υπηρεσίες κινητής ραδιοεπικοινωνίας στην Ουγγαρία και την Πολωνία και εξετάζεται από άλλους. Όλες αυτές οι νέες υπηρεσίες παρέχονται τώρα με μονοπωλιακές δομές της αγοράς, αλλά σχεδιάζεται ανταγωνισμός στο προσεχές μέλλον για παροχή αναζήτησης και GSM. Είναι ακόμη πολύ νωρίς να συζητηθεί η επιτυχία τους, επειδή η ζήτηση γι' αυτές τις υπηρεσίες δεν είναι ανεξάρτητη από την παροχή βασικών υπηρεσιών λόγω της έλλειψης σταθερών ζευξέων.

Η γερμανική κυβέρνηση ανέλαβε το έργο να ανυψώσει την υποδομή της πρώην Ανατολικής Γερμανίας στη στάθμη της Δυτικής Γερμανίας διαθέτοντας μεγάλα ποσά χρημάτων κατά τα τρία τελευταία χρόνια περίπου (1990-1993). Τα κινητά δίκτυα χρησιμοποιούνται και χρεώνονται με τις ίδιες τιμές όπως οι συνδέσεις PSTN όπου δεν διατίθενται σταθερά δίκτυα, αλλά αυτή η μεταβατική περίοδος αναμένεται να είναι σημαντικά συντομότερη σε σύγκριση με άλλες χώρες CEE λόγω της ταχύτερης εγκατάστασης της σταθερής υποδομής. Επίσης, η εισαγωγή ανταγωνισμού στα κινητά τηλέφωνα στη Γερμανία απέδειξε σαφώς την ταχύτερη εξέλιξη αυτών των υπηρεσιών και μείωση στις τιμές, που ήταν αποτέλεσμα της ταχύτερης από το αναμενόμενο ανάπτυξης της ζήτησης.

#### 5.4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η είσοδος κινητών επικοινωνιών στην Ευρώπη στη δεκαετία του 1980 ανέπτυξε ταχύτητα μετά το 1985 και γνώρισε έξαρση στη δεκαετία του 1990. Το 1993, 18 ευρωπαϊκές χώρες είναι έτοιμες να προχωρήσουν κάτω από ένα κοινό πρότυπο ψηφιακό κινητό σύστημα, το GSM. Η εικόνα είναι πολύ πιο ρόδινη όταν τη δούμε από κοντά. Στο υπόβαθρο υπάρχουν τα αναλογικά συστήματα και στον ορίζοντα το PCN. Τα συστήματα GSM αναμένεται να εξασθενίσουν με τον καιρό και το PCN μπορεί να φωτίσει τις προσδοκίες των πελατών και να σκιάσει τα οράματα των φορέων λειτουργίας GSM. Η τεχνολογία του κινητού τηλεφώνου άνοιξε τις πόρτες για ενοποιημένο επιχειρηματικό κόσμο που ενώνει τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, τη CIS, τη Μέση Ανατολή και την Άπω Ανατολή.

Η επιτυχία του GSM είναι το αποτέλεσμα ευρωπαϊκής συνεργασίας και ενοποίησης σχετικά με νέα τεχνολογία, που περιλαμβάνει κυβερνήσεις, ρυθμιστές, αξιωματούχους ΕΚ και εταιρείες από τους τομείς παραγωγής και υπηρεσιών – όχι μόνο τις μεγάλες εγκατεστημένες εταιρείες αλλά πολλές νέες μικρές και καινοτόμες. Νέα θέματα ήλθαν στο φως με αυτή την εξέλιξη. Σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ, πολλές ευρωπαϊκές χώρες είναι στη διεργασία απελευθέρωσης των τηλεπικοινωνιακών δραστηριοτήτων τους και το πρόβλημα των κρατικών μονοπωλίων που μετατρέπονται σε ιδιωτικά μονοπώλια είναι η κύρια ανησυχία. Ανεξάρτητοι ρυθμιστικοί οργανισμοί εγκαταστάθηκαν για τον έλεγχο, αλλά οι νέες τεχνολογίες φαίνεται ότι είναι ο τρόπος να αντιμετωπιστούν οι μονοπωλιακές εξουσίες των υπαρχόντων. Μεταξύ αυτών των νέων τεχνολογιών, οι λύσεις που βασίζονται σε ραδιοεπικοινωνία και καλώδια βρίσκονται σε πλέον προηγμένη κατάσταση. Οι βασιζόμενες στους δορυφόρους τεχνολογίες δοκιμάζονται ακόμη, αλλά είναι μεγαλύτερης κλίμακας και δαπανηρότερες. Οι τεχνολογίες καλωδίων και οι λύσεις ραδιοεπικοινωνίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιούνται σε σύνδεση μεταξύ τους. Επιπλέον είναι απλούστερες και αυξητική πρόοδος είναι δυνατή, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες λύσεις. Αυτές οι νέες εξελίξεις αύξησαν τόσο την αξιοπιστία όσο και την ασφάλεια και δημιούργησαν ένα υψηλής ποιότητας περιβάλλον επικοινωνιών, παρέχοντας δυνατότητα πραγματοποίησης, ευκολία και ευελιξία που απαιτεί η επιχειρηματική κοινότητα.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Κατά την συγγραφή αυτής της πτυχιακής έλαβα υπόψη μου αρκετά βιβλία, άρθρα και σημειώσεις από την Ελληνική και ξένη βιβλιογραφία.

1. Mobile Communications in Us and Europe. 1993 Michael Paetsch.
2. Mobile telecommunications Emerging European Markets. 1995 Karl Ernst Schenk.
3. Introduction to digital Mobile communication. 1997 Yoshihiko Akaiwa.
4. Τηλεφωνία Τηλεγραφία. Δημ. Χ. Βουκάλη Δρος.
5. Ο.Τ.Ε. Εκδόσεις – Κείμενα - Περιοδικά.