



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



Διπλωματική Εργασία

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ TETRA
TErrestrial Trunked Radio

Καλογιαννίδης Νικόλαος

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ (Ph.D.) Κόκκινος Ευάγγελος

XANIA 2012

Αφιερώνεται στη μνήμη του πατέρα μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κύριο Κόκκινο Ευάγγελο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω κοντά του την διπλωματική μου εργασία που χωρίς την επίβλεψη και την καθοδήγηση του θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολη η συγγραφή αυτής.

Ένα ευχαριστώ θα ήθελα να πω σε όλους όσους με τις παρατηρήσεις τους επί του κειμένου συνέβαλλαν στην καλύτερη παρουσίαση του θέματος.

Παράλληλα ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους φίλους μου που με στήριξαν και με πρότρεψαν ώστε να τελειώσει αυτή η εργασία.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά μου για την υπομονή, την κατανόηση και την αμέριστη συμπαράστασή της όλα αυτά τα χρόνια.

Καλογιαννίδης Νικόλαος

Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν να γίνει μια όσο το δυνατόν πιο απλή αλλά και σύγχρονος ουσιώδες περιγραφή του συστήματος TETRA. Για το λόγο αυτό δεν γίνεται λεπτομερής ανάλυση η οποία θα απαιτούσε και πολύ εξειδικευμένες γνώσεις για τον αναγνώστη. Το σύστημα TETRA (TErrestrial Trunked Radio) είναι ένα ασύρματο ψηφιακό κυψελωτό ραδιοδίκτυο, που λειτουργεί στην μάντα συχνοτήτων 380-430 MHz και χρησιμοποιείται για την μετάδοση φωνής και δεδομένων μεταξύ των χρηστών στη βάση των ασύρματων, κινητών και προσωπικών ραδιοεπικοινωνιών. Το πρότυπο TETRA αναπτύχθηκε και κατοχυρώθηκε από τον οργανισμό ETSI (European Telecommunications Standards Institute), ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών που δεν καλύπτονται από τα δύο άλλα ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά πρότυπα, το GSM και το DECT. Περιγράφοντας το σύστημα TETRA μας δόθηκε η ευκαιρία να κάνουμε μια ιστορική αναδρομή για το πώς ξεκίνησε το TETRA αλλά και ποιές άλλες τεχνολογίες ψηφιακών κινητών επικοινωνιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές Ιδιωτικών Ραδιοδικτύων PRM (Private Mobile Radio) και Ραδιοδικτύων Δημόσιας Πρόσβασης PAMR, καθώς και να μελετήσουμε το πρωτόκολλο TETRA DMO, δηλαδή τη λεγόμενη απ'ευθείας επικοινωνία των κινητών σταθμών χωρίς σταθμούς βάσης.

Λέξεις - Κλειδιά

Κινητές Επικοινωνίες, Επαγγελματικά Κινητά Ραδιοσυστήματα (PMR), Ραδιοτηλεφωνία, Ράδιο-επικοινωνίες, Ραδιοδίκτυα, Ραδιοδιεπαφή / Διεπαφή Αέρα(AI), TETRA, Διαμόρφωση, Πολυπλεξία, Ασφάλεια, Υπηρεσίες, Link Budget, Ραδιοκάλυψη, Ασύρματο δίκτυο, Αμεσότροπη Λειτουργία (DMO), Συγκαναλική Λειτουργία (TMO), Σύντομα Γραπτά Μηνύματα (SDS), Καθυστέρηση Μετάδοσης, Κινητοί σταθμοί (MS), Σταθμοί Βάσης (BS), Λογικά / Φυσικά Κανάλια, PDU, SwMI, TDMA.

Abstract

The scope of this work is to provide a simple but simultaneously an essential description of the TETRA system. For this reason, there is no detailed analysis that it would require any special knowledge from the reader. The TETRA (Terrestrial Trunked Radio) system is a cellular digital wireless network that operates within the 380-430Mhz band and it is used for voice as well as data transmission between mobile or stationary users. The TETRA protocol had been developed and registered by the ETSI (European Telecommunications Standards Institute), in order to satisfy the needs of users that are not covered by the other two digital telecommunication protocols like GSM (Global System for Mobile communications)and DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication). Describing the TETRA system, a short reference about how this system was developed and also a short description of what are the other existing digital mobile communication technologies in the field of the PMR (Private Mobile Radio) had been given. The TETRA DMO (Direct Mode Operation) is also described in this work.

Key words

Mobile communications, PMR (Professional mobile radiosystems), Radiotelephony, radio communications, Radio networks, Air interface, TETRA, Modulation, Multiplexing, Security, Services, Link budget, radio coverage, Direct Mode Operation (DMO), Trunked Mode Operation (TMO), Short Data Service (SDS), Transmission delay, Mobile Stations (MS), Base Station (BS), Logical/physical channels, PDU, SwMI, TDMA.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Ευχαριστίες | 3 |
| Περίληψη | 4 |
| Abstract | 5 |
| Περιεχόμενα..... | 6 |
| Πρόλογος | 9 |
| Κεφάλαιο 1 ^ο – Εισαγωγή | 16 |
| 1.1 Νόμοι Maxwell – Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα..... | 16 |
| 1.2 Κυτταρικά Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών | 18 |
| 1.2.1 Γενικές Αρχές | 18 |
| 1.2.2 Κυτταρική Ιδέα | 19 |
| 1.2.3 Η Κυψελοειδής Δομή..... | 21 |
| 1.2.4 Θεμελιώδες Κύτταρο – Συστάδα (cluster)..... | 22 |
| 1.2.5 Τύποι κυττάρων | 23 |
| 1.2.6 Κυψελοειδής Κάλυψη (cell planning) | 24 |
| 1.2.7 Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και cell planning..... | 25 |
| 1.2.8 Βελτίωση Κάλυψης και Χωρητικότητας | 30 |
| Κεφάλαιο 2 ^ο | 35 |
| Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών | 35 |
| 2.1 Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών Δεύτερης γενιάς (2G) | 35 |
| 2.2 Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών –G.S.M..... | 36 |
| 2.2.1 Τα Βασικά Τμήματα του Δικτύου G.S.M..... | 37 |
| 2.2.2 Το Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών GSM – 900..... | 41 |
| 2.2.3 Το Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών GSM – 1800..... | 42 |
| 2.3 Η Εξέλιξη της Δεύτερης Γενιάς Κινητών Επικοινωνιών- Η γενιά 2.5..... | 43 |
| 2.4 Συστήματα Τρίτης Γενιάς 3G | 46 |
| 2.4.1 Η Γενιά 3,5..... | 50 |
| Κεφάλαιο 3 | 52 |
| Επαγγελματικά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών | 52 |
| 3.1 Εισαγωγή | 52 |
| 3.2 Ειδικά Ραδιοδίκτυα Αναλογικής Τεχνολογίας..... | 52 |
| 3.2.1 Ορισμός – Νομικό πλαίσιο Ειδικών Ραδιοδικτύων PRM..... | 52 |
| 3.2.2 Μειονεκτήματα των Αναλογικών Ειδικών Ραδιοδικτύων..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 3.3 Τυποποιήσεις και Τεχνολογία Ψηφιακών Κινητών Επικοινωνιών | 54 |
| 3.4 TETRAPOL Και APCO 25 | 59 |
| 3.5 TETRA Και TETRAPOL | 59 |
| Κεφάλαιο 4 ^ο | 60 |
| Εισαγωγή στο δίκτυο TETRA | 60 |
| 4.1 Εισαγωγή στο TETRA | 60 |
| 4.2 Συχνότητες Λειτουργίας | 63 |
| 4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του TETRA..... | 64 |
| 4.4 Σχέση TETRA- GSM..... | 65 |
| 4.5 Η Μεγάλη Ομάδα των Χρηστών TETRA | 66 |
| 4.6 Το TETRA στην Ελλάδα | 69 |
| Κεφάλαιο 5 ^ο | 70 |
| Τα κύρια Γνωρίσματα του Δικτύου TETRA | 70 |
| 5.1 Δομή Δικτύου TETRA..... | 70 |
| 5.1.1 Οι Διεπαφές του TETRA | 70 |
| 5.1.2 Χρονική πολυπλεξία TDMA | 72 |
| 5.1.3 Διαμόρφωση $\pi/4$ -DQPSK στο TETRA | 76 |
| 5.1.4 Κωδικοποίηση φωνής στο TETRA..... | 81 |
| 5.2 Μηχανισμοί Ασφαλείας..... | 83 |
| 5.2.1 Τεχνικές μηχανισμών ασφαλείας..... | 84 |
| 5.2.2 Τεχνικές διαχείρισης ασφαλείας..... | 86 |
| 5.2.3 Αλγόριθμοι κρυπτογραφησης | 87 |
| 5.2.4 Νόμιμοι μηχανισμοί αναχαίτησης | 87 |
| 5.3 TETRA Circuit Mode (V+D)..... | 87 |
| 5.3.1 Λειτουργία Circuit Mode (V+D) | 88 |
| 5.3.2 Πραγματοποίηση μιας κλήσης..... | 90 |
| 5.3.3 Ειδικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας V+D | 91 |
| 5.3.4 Υπηρεσίες δεδομένων στη λειτουργία V+D | 93 |
| 5.4 Direct Mode Operation (DMO) | 94 |
| 5.4.1 DMO τοπικής περιοχής..... | 94 |
| 5.4.2 Επέκταση Βεληνεκούς του δικτύου TMO | 96 |
| 5.4.3 Επικοινωνία μεταξύ DMO και TMO χρηστών..... | 96 |
| 5.4.4 Βελτίωση απόδοσης φάσματος με χρήση του DMO τοπικής περιοχής | 97 |
| 5.5 Ασύρματη ζεύξη | 99 |
| 5.5.1 Αλυσίδα μετάδοσης | 99 |

| | |
|--|-----|
| 5.5.2 Λογικά κανάλια (Logical channels)..... | 100 |
| 5.5.3 Φυσικά κανάλια (Physical Channels) | 101 |
| 5.5.4.Καταστάσεις λειτουργίας TETRA..... | 102 |
| 5.5.5.Σταθμοί βάσης και κινητά τερματικά (BS & MS)..... | 103 |
| 5.6 Διεπαφές του ασύρματου δικτύου TETRA | 104 |
| 5.6.1 Υποδομή διαχείρισης και μεταγωγής (Switching and Management Infrastructure-SwMI) | 104 |
| 5.6.2 Ραδιοδιεπαφές (Air Interfaces) | 104 |
| 5.6.3 Διεπαφή περιφερειακού εξοπλισμού (Peripheral Equipment Interface-PEI) | 104 |
| 5.6.4 Διεπαφή απομακρυσμένου αποστολέα (Remote Dispatcher Interface) | 105 |
| 5.6.5 PSTN / ISDN / PABX..... | 105 |
| 5.6.6 Διεπαφή μεταξύ διαφορετικών συστημάτων (Inter-System Interface-ISI) | 105 |
| 5.6.7 Διεπαφή διαχείρισης του δικτύου (Network Management Interface-NMI) | 105 |
| 5.7 Υπηρεσίες φωνής και δεδομένων | 105 |
| 5.7.1 Βασικές υπηρεσίες φωνής..... | 105 |
| 5.7.2 Απαραίτητες συμπληρωματικές υπηρεσίες | 107 |
| 5.7.3 Υπηρεσίες δεδομένων (Data Services) | 109 |
| 5.7.4 Βασικές υπηρεσίες δεδομένων | 110 |
| 5.8 Κεραίες κατάλληλες για το δίκτυο TETRA | 110 |
| Κεφάλαιο 6 ^ο | 117 |
| Το Πρωτόκολλο TETRA Direct Mode Operation (DMO)..... | 117 |
| 6.1 Εισαγωγή | 117 |
| 6.2 Γενικές Έννοιες του πρωτοκόλλου DMO..... | 117 |
| 6.2.1 Υπηρεσίες του Direct Mode | 118 |
| 6.2.2 Επεκτάσεις για το πρωτόκολλο DMO | 123 |
| 6.3 Εμβάθυνση στο TETRA DMO | 127 |
| 6.3.1 Η δόμηση σε επίπεδα..... | 127 |
| 6.3.2 Τρόπος διευθυνσιοδότησης..... | 130 |
| 6.3.3 Ρόλοι ενός κινητού DM | 133 |
| 6.3.4Καταστάσεις του καναλιού DM | 134 |
| 6.3.5Η δομή της όλης διαδικασίας..... | 135 |
| 6.3.6 Άλλες εγγενείς υπηρεσίες | 145 |
| Βιβλιογραφία | 151 |
| Π α ρ ά ρ τ η μ α..... | 153 |

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει να περιγράψει το σύστημα TETRA. Πρόκειται για τη συντομογραφία αυτού του νέου προτύπου, τα οποία αντικαθιστούν τη πλήρη ονομασία του που είναι **TErrestrial Trunked RAdio**. Το πρότυπο αυτό στην αρχική του σύσταση και εξέλιξη περιγραφόταν από τα ίδια αρχικά τα οποία όμως προέρχονταν από τις λέξεις: Trans European Trunked Radio Access. Πρόκειται για ένα νέο πρότυπο στις προσωπικές κινητές ραδιοεπικοινωνίες (PMR, Private Mobile Radio) το οποίο εξελίχθηκε και ολοκληρώθηκε από το ευρωπαϊκό ινστιτούτο ETSI (European Telecommunications Standards Institute) και δημιουργήθηκε με πρωταρχικό στόχο να καλύψει τη μεγάλη γκάμα επιχειρήσεων, οργανισμών, δημοσίων υπηρεσιών αλλά και ιδιωτών, οι οποίοι επιζητούν μια μεγαλύτερη ασφάλεια, σε σχέση με αυτήν των υπάρχοντων δικτύων (π.χ. GSM) στις επικοινωνίες τους μέσω των δικτύων επαγγελματικών κινητών επικοινωνιών (PMR). Η λέξη “trunked” που υπάρχει στην ονομασία του προτύπου έχει δανειστεί από την αγγλική ορολογία για να περιγράψει τη βασική ιδέα λειτουργίας του νέου δικτύου. Σε μια ελεύθερη μετάφραση τον όρο “trunk” θα μπορούσαμε να τον επικαλεστούμε με τον ελληνικό «κανάλι». Το σύστημα TETRA με τις καινοτομίες που ενσωματώνει και τις υπηρεσίες που προσφέρει δεν θα αργήσει να καθιερωθεί παγκοσμίως, ως η βέλτιστη λύση για προσωπικά ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών (PMR) και δημόσια δίκτυα ασύρματης δικτύωσης (PAMR). Δέκα περίπου χρόνια μετά την καθιέρωση του προτύπου TETRA από τον οργανισμό ETSI και η εφαρμογή του έχει τύχει ευρείας αποδοχής από την Ευρώπη μέχρι Μέση Ανατολή και Ασία όσον αφορά την αγορά δικτύων. Κάθε δημόσια υπηρεσία σε κάθε χώρα, που παρέχει ασφάλεια και περίθαλψη όπως είναι η αστυνομία και τα νοσοκομεία, χρησιμοποιούν TETRA για ενδοεπικοινωνία και μετάδοση δεδομένων. Δίκτυο TETRA χρησιμοποιούν και μέσα μαζικής μεταφοράς σε μεγάλες Ευρωπαϊκές χώρες και μη όπως το μετρό, τα λεωφορεία και άλλα. Εκτενής αναφορά για την εφαρμογή του συστήματος TETRA στους τομείς αυτούς θα γίνει πιο κάτω. Το σύστημα TETRA έχει φθάσει πλέον σε ένα ώριμο επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες για ανάπτυξη και εφαρμογή της νέας γενιάς του συστήματος TETRA, το TETRA 2.0, αλλά και για τη διατήρηση της υπάρχουσας υποδομής των δικτύων TETRA. Το TETRA 2.0 προσβλέπει στην παροχή περισσότερων υπηρεσιών με μεγαλύτερη ασφάλεια και ταχύτητα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις γενικές αρχές των Κυτταρικών συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών παρουσιάζοντας την βασική ιδέα των διαφόρων γενιών

κινητών επικοινωνιών και της κυψελοειδής κάλυψης όπου χρησιμοποιείτε και από το σύστημα TETRA .

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας των συστημάτων ασύρματων επικοινωνιών GSM και η εξέλιξη του.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα επαγγελματικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών, γνωστά και ως PRM ή Ειδικά Ραδιοδίκτυα και τα Μειονεκτήματα των Αναλογικών Ειδικών Ραδιοδικτύων καθώς ακόμα περιγράφεται το Σύστημα και οι λειτουργίες του TETRAPOL, αναλύονται τα συστατικά οι υπηρεσίες και οι λειτουργίες του συστήματος iDen και του APCO-25 και τέλος αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και οι σχέσεις της πλατφόρμας TETRA με τα παραπάνω συστήματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη γνωριμία με το σύστημα TETRA. Αναλύονται τα γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος και οι επιπλέον δυνατότητες που προσφέρει το πρότυπο TETRA σε σύγκριση με τα άλλα τηλεπικοινωνιακά πρότυπα και το GSM.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις βασικές προδιαγραφές και διεπαφές του συστήματος TETRA. Επίσης αναλύονται οι τεχνικές διαμόρφωσης των παλμών στο σύστημα TETRA καθώς και οι τεχνικές πολυπλεξίας που εφαρμόζονται. Συγκεκριμένα εξηγείται η διαμόρφωση $\pi/4$ -DQPSK και η πολυπλεξία TDMA όπως εφαρμόζονται στο πρότυπο TETRA. Επιπλέον γίνεται αναφορά και στους μηχανισμούς ασφαλείας που διέπουν το σύστημα καθώς και τον τρόπο λειτουργίας τους μέσα στο σύστημα TETRA. Ακόμα αναλύονται οι Υπηρεσίες Φωνής και Δεδομένων καθώς και οι κεραίες και τα κινητά τερματικά που είναι κατάλληλα για το δίκτυο TETRA

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αναφορά του πρωτοκόλλου TETRA DMO, δηλαδή στη λεγόμενη απ'ευθείας επικοινωνία των κινητών σταθμών χωρίς σταθμούς βάσης καθώς και η εμβάθυνση στο πρωτόκολλο αυτό.

Πίνακας Συντομογραφιών

| | |
|---------------|--|
| AACH | Access Assignment CHannel , κανάλι ανάθεσης πρόσβασης |
| ACELP | Algebraic Codebook Excited Linear Prediction method for low bit rate voice coding and decoding |
| ADPCM | Adaptive Differential Pulse Code Modulation |
| AES | Advanced Encryption Standard |
| AI | Air Interface |
| AKD | Authentication Key Distribution |
| AL | Ambience Listening, Supplementary Service in TETRA to allow an authorised user, e.g. a dispatcher, to remotely switch the MS into transmit mode and monitor its environment without the intervention of the MS user |
| AMR | Adaptive Multi-Rate, Codec, one which in the low-error environments operates at a higher bit rate to give higher quality speech, whilst in higher-error environments, when higher speech quality cannot be sustained, the codec reduces its operational bit rate |
| ANSI | American National Standards Institute |
| APCO | Association of Police Communications Officers |
| API | Application Programming Interface, published software interface specification for designing applications on top of some lower layer software |
| ATSI | Alias TETRA Subscriber Identity |
| AVL | Automatic Vehicle Location, service or application showing location of a vehicle, either in terms of its geographical coordinates or by its location on a map |
| BCCH | Broadcast Control CHannel, κανάλι ελέγχου ευρείας εκπομπής |
| BER | Bit Error Rate, ρυθμός σφαλμάτων bit |
| BN | Bit Number, αριθμός bit |
| BS | Base Station, σταθμός βάσης |
| BSCH | Broadcast Synchronization CHannel, |
| C/N | Carrier/Noise power ratio |
| CC | Call Control, έλεγχος κλήσης |
| CCH | Control CHannel, κανάλι ελέγχου |
| CCK | Common Cipher Key, used to protect group downlink calls in class 3 systems |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| CEPT | European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (Conference Européenne des Administration des postes et des telecommunications) |
| CMCE | Circuit Mode Control Entity |
| CMD | Circuit Mode Data, a method for data transmission where a continuous connection is required for the lifetime of the session to transmit all the data in a complete burst as opposed to Packet Data where the data can be split into sections or 'packets' |
| CMIS/P | Common Management Information System/Protocol |
| CNM | Central Network Management |
| CNMI | Central Network Management Interface |
| CODEC | also Codec - Combined Coder and Decoder |
| COMSEC | Communications Security |
| CORBA | Common Object Request Broker |
| CP | Control Physical channel, φυσικό κανάλι ελέγχου |

| | |
|-----------------------|--|
| CR | Carrier Return, επιστροφή φορέα |
| CRC | Cyclic Redundancy Code (Block coding) |
| CVO | Clear Voice Override, switching from encrypted to clear voice |
| DCC | Direct mode Colour Code, |
| DCK | Derived Cipher Key, key produced as a result of authentication, used for uplink and one to one messages |
| DDI | Direct Dial In |
| DES | Digital Encryption Standard |
| DL | Downlink, κάτω ζεύξη |
| DLB | Direct mode Linearization Burst, |
| DLL | Data Link Layer, |
| DGNA | Dynamic Group Number Assignment, Supplementary Service defined in the TETRA standards which is used for dynamic management (creation and dissolution) of user talkgroups |
| DMCC | Direct Mode Call Control |
| DM Repeater | A radio device designed to retransmit each call and thus increase the operational area of Direct Mode terminals |
| DM Direct Mode | (DM or DMO), the facility for TETRA terminals to communicate directly with each other without using TETRA infrastructure |
| DMO | Direct Mode Operation, the facility for TETRA terminals to communicate directly with each other without using TETRA infrastructure |
| DM-GATE | Direct Mode GATEway |
| DM-MS | Direct Mode Mobile Station |
| DM-REP | Direct Mode REPeater |
| DM-SC | Direct Mode Service Centre |
| DM-SDU | SDU from layer 3, |
| DNB | Direct mode Normal Burst, |
| DMR | Digital Mobile Radio, an ETSI standard being developed for low tier conventional PMR applications. |
| DQPSK | Differential Quaternary Phase Shift Keying, διαφορεική ορθογωνική κωδικοποίηση φάσης |
| DSB | Direct mode Synchronization Burst |
| DSS 1 | Digital Subscriber Signalling 1 |
| DTMF | Dual Tone Multi-Frequency |
| DW-MS | Dual Watch Mobile Station |
| ECCH | Extended Control CHannel |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| FDMA | Frequency Division Multiple Access |
| F-DW-MS | Full DW-MS |
| FEC | Forward Error Correction |
| FSSN | Fleet Specific Short Number, one of numbering mechanisms in TETRA |
| GCK | Group Cipher Key, a key used (in conjunction with CCK) to give crypto group separation between groups |
| GGSN | Gateway GPRS Support Node |
| GoS | Grade of Service, used to specify the level of access on a radio network |
| GPS | Global Positioning System |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSSI | Group Short Subscriber Identity |
| GTSI | Group TETRA Subscriber Identity |
| GW | Gateway |
| HTML | HyperText Mark-up Language |
| IDEA | International Data Encryption Algorithm |
| IDEN | Integrated Digital Enhanced Network |

| | |
|--------------|---|
| I/F | Interface |
| IEC | International Electro-technical Commission |
| IOP | Interoperability (of TETRA equipment) |
| IP | Internet Protocol |
| ISDN | Integrated Services Digital Network |
| ISI | Inter-System Interface, open interface standard used to connect two TETRA networks together |
| ISO | International Standards Organisation |
| ISSI | Individual SSI |
| ITSI | Individual TETRA Subscriber Identity |
| ITU | International Telecommunications Union |
| KMC | Key Management Centres, an entity for remotely loading keys to user terminals |
| KSG | Key stream generator: produces key stream from inputs of encryption key and synchronisation vectors fed into the encryption algorithm |
| LAN | Local Area Network |
| LCH | Linearization CHannel |
| LNM | Local Network Management |
| LLC | Logical Link Control |
| LPC | Linear Predictive Coding |
| LS | Line Station, a fixed, wireline user terminal, as distinct from a mobile radio terminal, connected to a TETRA network, providing services and facilities available to a mobile user but without the need to be in the operational range of the system |
| LSB | Least Significant Bits |
| LSI | Line Station Interface |
| MAC | Medium Access Control |
| MCC | Mobile Country Code, (part of TETRA Number Identity) |
| MCCH | Main Control CHannel |
| MGCK | Modified Group Cipher key, the key used for downlink group calls when GCKs are used. Formed from GCK modified by CCK |
| MMI | Man-Machine-Interface |
| MN | Multiframe Number |
| MNI | Mobile Network Identity |
| MNC | Mobile Network Code, (part of TETRA Number Identity) |
| MS | Mobile Stations are TETRA radio terminals, including hand-held, mobile and fixed ones |
| MS-PD | Multislot Packet Data, IP data service using multiple timeslots |
| MTBF | Mean Time Between Failure |
| MTTR | Mean Time To Repair |
| MSB | Most Significant Bits |
| NMS | Network Management Subsystem |
| OTAR | Over The Air Re-keying. TETRA facility which allows for change of the encryption keys in the terminals to be done remotely over the air |
| PABX | Private Automated Branch eXchange |
| PAMR | Public Access Mobile Radio |
| PCM | Pulse Code Modulation |
| PCN | Personal Communication Network |
| PD | Packet (Mode) Data, a mode of data transmission where data message is split into small 'chunks' or packets, transmitted packet-by-packet to the end destination (without a need for dedicated connection in between, as for circuit data), and assembled again in the correct order |
| PDCH | Packet Data CHannel |

| | |
|---------------|--|
| PDN | Public Data Network |
| PDO | Packet Data Optimised, another variant of the TETRA standards set originally developed, which was not taken up by the market, largely because of its marginal advantage in terms of efficiency of packet-data communications when compared to V+D TETRA combined with a significant disadvantage of not offering the voice service |
| PDP | Packet Data Protocol |
| PEI | Peripheral Equipment Interface, standard interface defined in TETRA for connecting a data terminal to a TETRA radio terminal |
| PL | Physical Layer |
| PMR | Private Mobile Radio |
| PPP | Point to Point Protocol |
| PSTN | Public Switched Telephone Network |
| PTT | Push-To-Talk |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation, scheme used in TETRA Release 2 for the TETRA Enhanced Data Service (TEDS) |
| QoS | Quality of Service |
| SAP | Service Access Point |
| SAR | Specific Absorption Rate |
| SCCH | Secondary Control CHannel |
| SCH | Signalling CHannel |
| SCK | Static Cipher Key, used for protecting Direct mode transmissions where no authentication is possible, for class 2 systems and as a fallback key for use on base stations disconnected from the SwMI |
| SCN | Switching Control Node |
| SDS | Short Data Service |
| SDS-TL | SDS Transfer/Transport Layer |
| SFPG | Security and Fraud Prevention Group |
| SN | Symbol Number |
| SSI | Simple Network Management Protocol |
| SSN | SubSlot Number |
| STCH | STealing CHannel |
| STD | STandard Deviation |
| SwMI | Switching and Management Infrastructure |
| TCH | Traffic Channel |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TCP/IP | Terminal Control Protocol/ Internet Protocol |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| TE | Terminal Equipment |
| TEI | Terminal Equipment Identity |
| TEK | Traffic Encryption Key End to end keys used to protect the user traffic payload |
| TETRA | TErrestrial Trunked RAdio |
| TM | Trunked Mode |
| TM-MS | Trunked Mode MS |
| TMN | Telecommunications Management Network |
| TMO | abbreviation standing in for Trunked Mode Operation, as distinct from DMO, direct mode operation |
| TNP 1 | TETRA Network Protocol 1 |
| TNCC | TETRA Network layer Call Control |
| TNSDS | TETRA Network layer Short Data Service |
| TNSS | TETRA Network layer Supplementary Services |
| TP | Traffic Physical channel |

| | |
|--------------|---|
| TPNI | Transmitting Party Number Identification |
| TSALP | TETRA SDS Adaptation Layer Protocol |
| TS | Time Slot |
| TSI | TETRA Subscriber Identity |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UL | Uplink |
| UMTS | Universal Mobile Radio System |
| V+D | Voice plus Data |
| WAP | Wireless Application Protocol, open protocol for delivery of Internet content over radio path in a condensed format |
| WG | Working Group, usually a small team formed as part of an ETSI TC to produce a specific ETSI deliverable |
| WML | Wireless Mark-up Language |

Κεφάλαιο 1^ο – Εισαγωγή

1.1 Νόμοι Maxwell – Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Οι νόμοι που διατυπώθηκαν από τον Maxwell αποτελούν τον πυρήνα της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Σύμφωνα με τη θεωρία του Maxwell το ηλεκτρομαγνητικό κύμα δημιουργείται από κάθε παλλόμενο ηλεκτρικό φορτίο αλλά και γενικότερα από κάθε φορτίο με επιτάχυνση.

Σε ένα απλό μοντέλο εξάπλωσης κατά μία διεύθυνση, οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου υπακούουν στην

$$E = E_{\max} \eta \mu \omega (t - x/c)$$

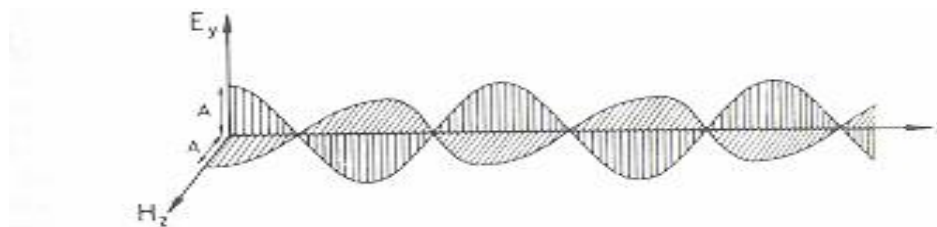
και οι τιμές της έντασης του μαγνητικού πεδίου

$$B = B_{\max} \eta \mu \omega (t - x/c).$$

Η συχνότητα του κύματος θα είναι ίση με τη συχνότητα της πηγής. Όσο για την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, η λύση των εξισώσεων του Maxwell μας αποκαλύπτει ότι θα είναι ίση με το οποιοδήποτε πηλίκο του E_{\max} και του B_{\max} $\frac{E_{\max}}{B_{\max}} = c$. Η τιμή όμως η οποία προκύπτει είναι ένα αποτέλεσμα εντυπωσιακό. Η ταχύτητα θα είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός.

Αν χρησιμοποιήσουμε τη γεωμετρική έννοια ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΑ, μπορούμε να πούμε ότι, κατά τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, εκτός του ότι το διάνυσμα E είναι πάντα κάθετο στο διάνυσμα B , θα είναι και τα δύο κάθετα στην κυματική ακτίνα. Σε κάθε δηλαδή σημείο του χώρου έχουμε μία γεωμετρική αναπαράσταση με ένα τρισσορθογώνιο σύστημα. Το διάνυσμα E , το διάνυσμα B και η κυματική ακτίνα είναι ανά δύο μεταξύ τους κάθετα.

Τα παραπάνω φαίνονται ξεκάθαρα στο **Σχήμα 1.1** για τυχαία διεύθυνση διάδοσης των άξονα των χ :



Σχήμα 1.1 Επίπεδα πολωμένη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδιδόμενη κατά μήκος του άξονα χ .

Στην γενική τους μορφή οι νόμοι του Maxwell είναι οι εξής:

- Ολοκληρωτική μορφή

$$\oint_{\mathcal{C}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \iint_{\mathcal{S}} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

$$\oint_{\mathcal{C}} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint_{\mathcal{S}} \left(\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \cdot d\mathbf{S}$$

$$\oiint_{\mathcal{S}} \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \iiint_{\mathcal{V}} \rho_v dV$$

$$\oiint_{\mathcal{S}} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

- Διαφορική μορφή

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \leftarrow \text{Νόμος Faraday}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \leftarrow \text{Νόμος Ampere}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v \quad \leftarrow \text{Νόμοι Gauss}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\text{με } \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}, \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}, \mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

όπου:

\mathbf{E} : η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (V/m)

\mathbf{D} : η πυκνότητα της ηλεκτρικής ροής (Cb/m²)

\mathbf{H} : η ένταση του μαγνητικού πεδίου (A/m)

\mathbf{B} : η πυκνότητα της μαγνητικής ροής (Wb/m²)

\mathbf{J} : η πυκνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος (A/m²)

ρ_v : η πυκνότητα του ηλεκτρικού φορτίου (Cb/m³)

ϵ : η ηλεκτρική διαπερατότητα

μ : η μαγνητική διαπερατότητα και

σ : η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Ο Maxwell έβαλε τις βάσεις για να αναπτυχθεί η ασύρματη μετάδοση. Ακολούθησαν και άλλοι επιστήμονες καθένας από τους οποίους προχώρησε και ένα επιπλέον βήμα έως ότου φτάσουμε στο σημείο να μπορούμε να κάνουμε λόγο για κινητή τηλεφωνία μηδενικής γενιάς.

Ο Heinrich Rudolf Hertz ανακάλυψε τη διπολική κεραία το 1886 και επιβεβαίωσε την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (που είχαν προβλεφθεί από τους Maxwell και Faraday) το 1888. Ο Nikola Tesla Κατασκεύασε τις πρώτες πρακτικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, το πρώτο ασύρματο σύστημα επικοινωνίας το 1893 δηλαδή τα σήματα Morse (με ακτίνα 80 km το 1895) και μια τηλεκατευθυνόμενη βάρκα το 1898. Ο Alexander Stepanovich Popov κατασκεύασε δέκτη H/M κυμάτων το 1894 (coherer), πέτυχε μετάδοση ραδιοκυμάτων μεταξύ κοντινών κτιρίων το 1896, 6 μιλίων το 1898 και 30 μιλίων το 1899. Ο Guglielmo Marconi έστειλε το πρώτο υπερατλαντικό σήμα το 1901, ίδρυσε εταιρεία υπερατλαντικού ασύρματου τηλεγράφου το 1903 και πήρε το Νόμπελ Φυσικής το 1909. Ο Reginald Fessenden έκανε την πρώτη μετάδοση ήχου (της δικής του φωνής) το 1901 [(Διαμόρφωση Πλάτους (AM)], την πρώτη αμφίδρομη υπερατλαντική ασύρματη επικοινωνία (1906) και την πρώτη ραδιοφωνική εκπομπή (μουσικό περιεχόμενο), το 1906. Από το 1900 έως το 1940 έχουμε ευρεία χρήση ασύρματου τηλεγράφου κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, ραδιοφωνικές εκπομπές (1920-1930), πλοήγηση αεροσκαφών με χρήση ραδιοβοηθημάτων (μετά το 1920), διαμόρφωση FM (Frequency Modulation) το 1935 και ευρεία χρήση ασύρματων από αστυνομίες αμερικάνικων πόλεων (μετά το 1930).

1.2 Κυτταρικά Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

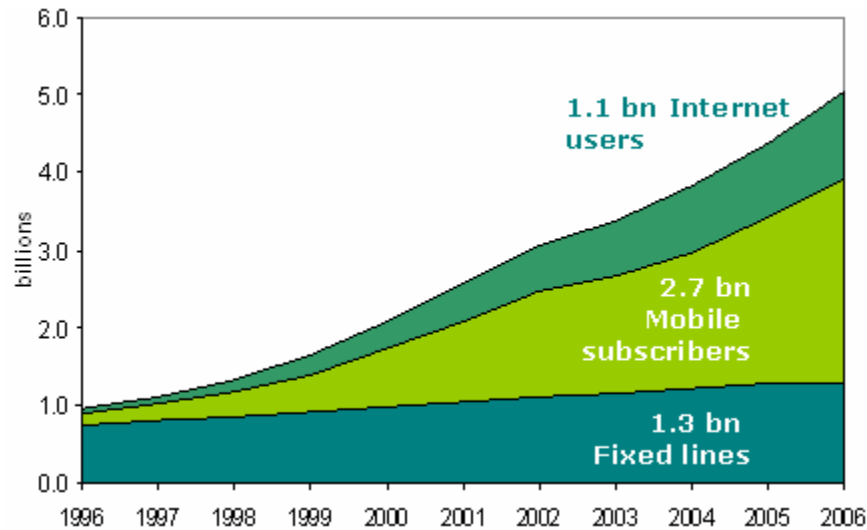
1.2.1 Γενικές Αρχές

Στα τέλη του 1800 επιτυγχάνεται η ανακάλυψη της ασυρματικής διάδοσης η οποία επιφέρει την ανάγκη για απεριόριστη επικοινωνία με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών όποτε αυτό ήταν επιθυμητό. Το πρώτο σύστημα κινητής τηλεφωνίας εγκαταστάθηκε στο νησί Wight της Αγγλίας από τον Marconi το 1898.

Η αναλογική συμβατική ασύρματη επικοινωνία κυριαρχεί μέχρι το έτος 1970 στο χώρο της κινητής τηλεφωνίας. Στις αρχές της δεκαετίας του '80 η εισαγωγή των πρώτων κυτταρικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, πραγματοποιείται. Τα συστήματα αυτά ονομάστηκαν συστήματα πρώτης γενιάς (1st Generation systems - 1G), είχαν αναλογικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και υποστήριζαν την υπηρεσία μετάδοσης φωνής. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα σε πολλά μέρη του κόσμου, παρόλο το περιορισμένο ραδιοφάσμα και τη χαμηλή της ποιότητα.

Η ολοένα και αυξανόμενη απαίτηση για καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας και περισσότερες υπηρεσίες, και ο ολοένα αυξανόμενος αριθμός συνδρομητών (*Σχήμα 1.2*) δημιούργησε τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), τα οποία έχουν αναβαθμισμένη τεχνολογία σε σχέση με τα αρχικά συστήματα. Τα συστήματα 2^{ης} γενιάς χρησιμοποιούνται

κυρίως για μετάδοση φωνής, αλλά και για περιορισμένες χρήσεις μετάδοσης δεδομένων. Έχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και παρέχουν καλύτερη ποιότητα φωνής, ενώ υπάρχουν ήδη στην αγορά και αναβαθμισμένα συστήματα 2^{ης} γενιάς.



Σχήμα 1.2 Συνδρομητές Σταθερής Κινητής Τηλεφωνίας και Internet

Οι απαιτήσεις όμως για μεγαλύτερες ταχύτητες στη μετάδοση δεδομένων ολοένα και πολλαπλασιάζονται. Επιπλέον, δημιουργούνται νέες υπηρεσίες, όπως υπηρεσίες πολυμέσων, οι οποίες απαιτούν νέα και πιο γρήγορα συστήματα, ώστε να μπορέσουν να εφαρμοστούν στην πράξη. Για το λόγο αυτό, τυποποιήθηκαν και αναπτύχθηκαν τα συστήματα τρίτης γενιάς (3G). Τα συστήματα αυτά θα βασίζονται σε μικροκυτταρική (micro-cellular) και πικοκυτταρική (pico-cellular) δομή, ενώ οι τελικές συχνότητες λειτουργίας τους θα ανήκουν στη φασματική περιοχή των 50-60 GHz, προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτούμενοι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Η ανάπτυξη των κυτταρικών συστημάτων τρίτης γενιάς αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι των μελλοντικών τηλεπικοινωνιών. Οριοθετεί την σε ασύρματο επίπεδο προέκταση της τακτικής για την παροχή ενός βελτιωμένου και πλήρως συμβατού ολοκληρωμένου συστήματος προσωπικών επικοινωνιών. Η ολοκλήρωση αυτή θα επιτευχθεί μέσα από τη σύνδεση τους με το ενσύρματο δίκτυο, του οποίου εκφραστής θα είναι το B-ISDN.

1.2.2 Κυτταρική Ιδέα

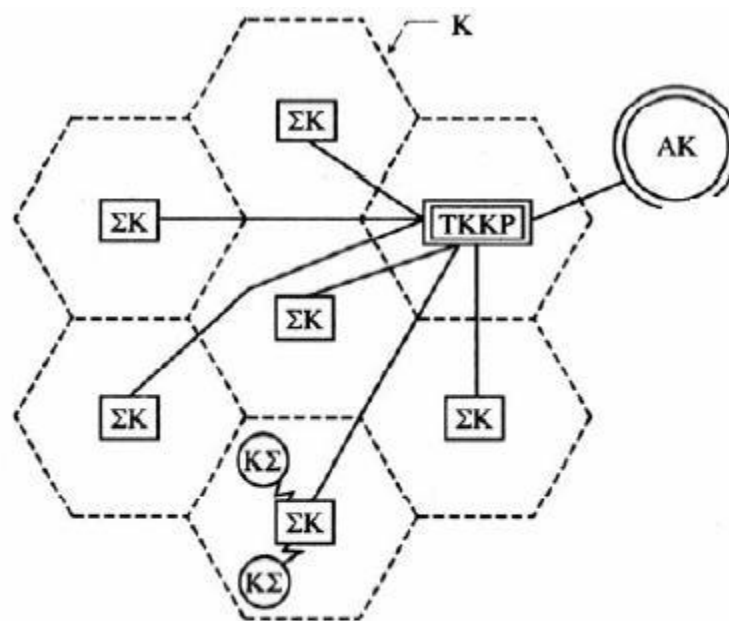
Για την ορθή παρουσίαση των συστημάτων δεύτερης και τρίτης γενιάς χρειάζεται η επισήμανση της αναγκαιότητας της ύπαρξης της κυτταρικής διάσπασης, καθώς και η κατανόηση των πλεονεκτημάτων που πηγάζουν από αυτή.

Μία γεωγραφική περιοχή καλύπτεται ηλεκτρομαγνητικά από ένα μόνο σταθμό βάσης όπως επιτάσσει η τεχνολογία της συμβατικής κινητής τηλεφωνίας. Για την επιλογή της συγκεκριμένης θέσης, όπου αυτός θα τοποθετηθεί, υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες, όπως η ιδιομορφία του γεωγραφικού ανάγλυφου και οι κλιματολογικές συνθήκες. Η υψομετρική στάθμη του σταθμού βάσης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μπορέσει να καλύψει όλη την

προς εξυπηρέτηση περιοχή. Επίσης, η ισχύς εκπομπής πρέπει να είναι μεγάλη για να προκύψει στο δέκτη αξιόπιστο σήμα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των συμβατικών συστημάτων είναι ότι όλοι οι σταθμοί βάσης διαχειρίζονται τις ίδιες συχνότητες και επομένως η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να μην παρουσιάζονται προβλήματα παρεμβολών.

Τα κυτταρικά συστήματα κινητών επικοινωνιών υποστηρίζουν ένα σύνολο από επικοινωνιακές υπηρεσίες εντός των γεωγραφικών ορίων της ενεργούς τηλεπικοινωνιακής περιοχής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαίρεση της λειτουργικής περιοχής (γεωγραφικής περιοχής) σε ένα συγκεκριμένο αριθμό γεωγραφικών τομέων – γειτονικών κυττάρων, στο καθένα από τα οποία ανατίθεται ένας ορισμένος αριθμός συχνοτήτων.

Σύμφωνα με το σύστημα αυτό διαιρείται η προς εξυπηρέτηση περιοχή σε εξάγωνα - *Κυψέλες* ή *Κύτταρα* - καθένα από τα οποία περιλαμβάνει ένα πομπό χαμηλής ισχύος τοποθετημένο στο σταθερό σταθμό (σταθμός κυττάρου Σ.Κ.). Κάθε σταθμός κυττάρου είναι συνδεδεμένος σε ένα τηλεφωνικό κέντρο κινητής ραδιοτηλεφωνίας (ΤΚΚΡ), που έχει πρόσβαση στο αστικό και υπεραστικό τηλεφωνικό δίκτυο. Το κέντρο αυτό διαθέτει κατάλληλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό και ελέγχει όλη την περιοχή (*Σχήμα 1.3*).



| | |
|-------|---|
| K: | Κύτταρο |
| SK: | Σταθμός κυττάρου |
| TKKP: | Τηλεφωνικό κέντρο κινητής ραδιοτηλεφωνίας |
| AK: | Αστικό τηλεφωνικό κέντρο |
| KS: | Κινητός σταθμός |

Σχήμα 1.3 Περιοχή με κυτταρικό σύστημα κινητής ραδιοτηλεφωνίας.

Τα κύτταρα έχουν συνήθως 1 ως 8 τετραγωνικά μίλια επιφάνεια και εξυπηρετούνται από ορισμένα τηλεφωνικά κανάλια αμφίδρομης επικοινωνίας (DUPLEX) που χορηγούνται για όλη την περιοχή. Τα κανάλια αυτά λαμβάνονται από τη ζώνη συχνοτήτων στην οποία λειτουργεί το σύστημα και μοιράζονται στα ξεχωριστά κύτταρα. Τα ίδια κανάλια χρησιμοποιούνται σε περισσότερα κύτταρα της ίδιας περιοχής, εφόσον απέχουν αρκετά μεταξύ τους, ώστε να αποφεύγονται παρεμβολές. Όταν ο συνδρομητής κινείται, παρακολουθείται από ένα κεντρικό υπολογιστή του ΤΚΚΡ. Αν περάσει από ένα κύτταρο σε άλλο κατά τη διάρκεια μιας κλήσης, το ΤΚΚΡ τον μετάγει αυτόματα σε ένα ελεύθερο κανάλι του νέου κυττάρου. Η μεταγωγή, γνωστή ως “Hand-off”, δεν γίνεται σχεδόν αντιληπτή από το συνδρομητή. Όσο αυξάνει ο αριθμός των συνδρομητών, υποδιαιρείται το κύτταρο σε μικρότερα κύτταρα. Τα ίδια κανάλια χρησιμοποιούνται στα νέα κύτταρα για την εξυπηρέτηση των νέων συνδρομητών.

1.2.3 Η Κυψελοειδής Δομή

Σε ένα κυψελοειδές σύστημα, η καλυπτόμενη περιοχή ενός φορέα-χειριστή διαιρείται σε κύτταρα. Ένα κύτταρο αντιστοιχεί στην καλυπτόμενη περιοχή ενός πομπού ή μιας μικρής ομάδας πομπών. Το μέγεθος ενός κυττάρου καθορίζεται από την ισχύ του πομπού. Η έννοια των κυψελοειδών συστημάτων σχετίζεται με τη χρησιμοποίηση χαμηλής ισχύος πομπών προκειμένου να επιτραπεί αποδοτικά η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Στην πραγματικότητα, εάν οι χρησιμοποιούμενοι πομποί εκπέμπουν πολύ ισχυρά, οι συχνότητες δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για εκατοντάδες χιλιόμετρα δεδομένου ότι περιορίζονται στην καλυπτόμενη περιοχή του πομπού.

Η ζώνη συχνοτήτων που διατίθεται σε ένα κυψελοειδές κινητό ράδιο σύστημα κατανέμεται σε μια ομάδα κυττάρων (θεμελιώδης κύτταρο) και αυτή η κατανομή επαναλαμβάνεται σε όλη την καλυπτόμενη περιοχή ενός φορέα-διαχειριστή. Ολόκληρος ο αριθμός των διαθέσιμων ράδιο καναλιών μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί σε κάθε ομάδα κυττάρων που διαμορφώνουν την καλυπτόμενη περιοχή του φορέα-χειριστή. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται σε ένα κύτταρο θα επαναχρησιμοποιηθούν σε πολλά κύτταρα μακριά. Η απόσταση μεταξύ των κυττάρων που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα πρέπει να είναι επαρκής για να αποφευχθούν παρεμβολές. Η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας θα αυξήσει αρκετά τη χωρητικότητα σε αριθμό χρηστών.

Προκειμένου να λειτουργήσει σωστά, ένα κυψελοειδές σύστημα πρέπει να ελέγξει τις ακόλουθες δύο κύριες συνθήκες:

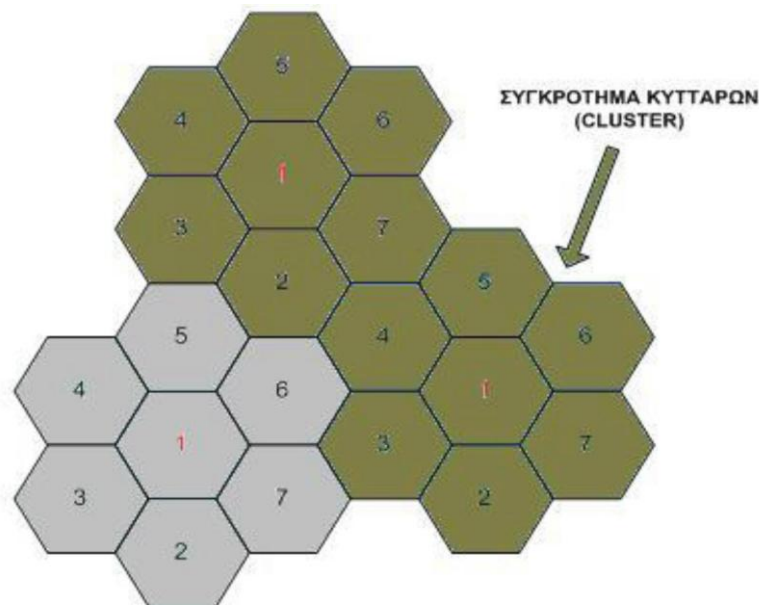
- Η στάθμη της ισχύος ενός πομπού μέσα σε ένα μονό κύτταρο πρέπει να περιοριστεί προκειμένου να μειώσει την παρεμβολή που προκαλεί στους πομπούς των γειτονικών κυττάρων. Η παρεμβολή δεν θα έχει άσχημα αποτελέσματα στο σύστημα εάν μια

απόσταση ίση με περίπου 2,5 έως 3 φορές της διαμέτρου του κυττάρου διατηρηθεί μεταξύ των πομπών. Τα φίλτρα δεκτών πρέπει επίσης να είναι εκτελέσιμα πολύ συχνά.

- Τα γειτονικά κύτταρα δεν μπορούν να μοιραστούν ίδια κανάλια. Προκειμένου να μειωθεί η παρεμβολή, οι συχνότητες πρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν μόνο κάτω από ένα ορισμένο σχεδιασμό. Προκειμένου να ανταλλαχθούν οι πληροφορίες που απαιτούνται για να διατηρηθούν οι συνδέσεις επικοινωνίας μέσα στο κυψελοειδές δίκτυο, κρατούνται διάφορα ράδιο κανάλια για τις πληροφορίες σηματοδότησης.

1.2.4 Θεμελιώδες Κύτταρο – Συστάδα (cluster)

Τα κύτταρα ομαδοποιούνται σε συστάδες (θεμελιώδη κύτταρα). Ο αριθμός των κυττάρων σε μια συστάδα πρέπει να καθοριστεί έτσι ώστε η συστάδα να μπορεί να επαναλαμβάνεται συνεχώς μέσα στην καλυπτόμενη περιοχή του φορέα-χειριστή. Οι χαρακτηριστικές συστάδες περιέχουν 4, 7, 12 ή 21 κύτταρα. Ο αριθμός κυττάρων σε κάθε συστάδα είναι πολύ σημαντικός. Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός κυττάρων ανά συστάδα, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο αριθμός καναλιών ανά κύτταρο. Η χωρητικότητα κάθε κυττάρου επομένως θα αυξηθεί. Εντούτοις, πρέπει να βρεθεί μια ισορροπία προκειμένου να αποφευχθεί η παρεμβολή που θα μπορούσε να εμφανιστεί μεταξύ των γειτονικών συστάδων. Αυτή η παρεμβολή παράγεται εξαιτίας του μικρού μεγέθους των συστάδων (το μέγεθος της συστάδας καθορίζεται από τον αριθμό κυττάρων ανά συστάδα). Ο συνολικός αριθμός καναλιών ανά κύτταρο εξαρτάται από τον αριθμό διαθέσιμων καναλιών και τον τύπο της χρησιμοποιούμενης συστάδας.

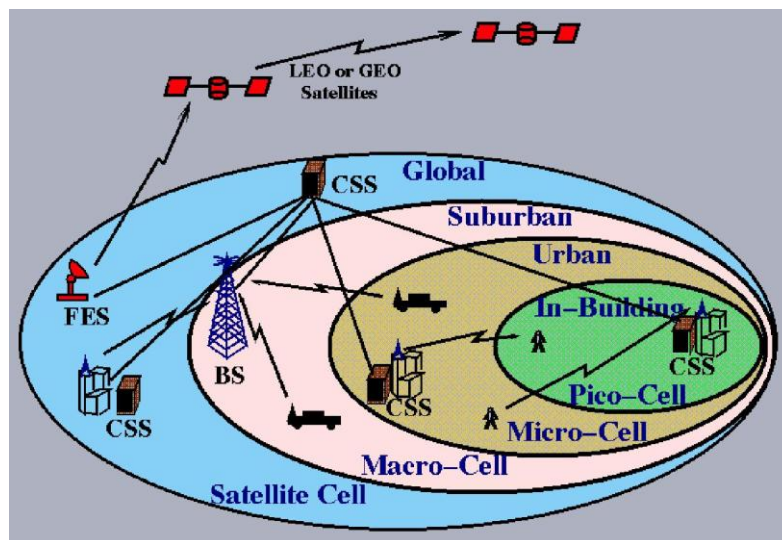


Σχήμα 1.3 Cluster (μεγέθους 7 κυττάρων)

1.2.5 Τύποι κυττάρων

Η πυκνότητα του πληθυσμού σε μια χώρα ποικίλει τόσο πολύ ώστε να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι κυττάρων που παρουσιάζονται στο *Σχήμα 1.4* που ακολουθεί και οι κυριότεροι από αυτούς είναι τα εξής:

- Κύτταρα μέγιστης κάλυψης
- Υπερκύτταρα
- Μακροκύτταρα
- Μικροκύτταρα
- Πικοκύτταρα
- Επιλεκτικά κύτταρα



Σχήμα 1.4 Οργάνωση κυττάρων

Κύτταρα μέγιστης κάλυψης (Satellite cells): έχουν ακτίνα κάλυψης μέχρι μερικές εκατοντάδες Km και χρησιμοποιούνται στην δορυφορική επικοινωνία, σε απομακρυσμένες περιοχές.

Υπερκύτταρα (hyper-cells): έχουν ακτίνα κάλυψης μεγαλύτερη από 20 Km και χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη εντός επαρχιακών περιοχών.

Μακροκύτταρα (macro-cells): έχουν ακτίνα κάλυψης με ελάχιστη τιμή 1 Km και μέγιστη 20 Km και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη σε αραιοκατοικημένες περιοχές.

Μικροκύτταρα (micro-cells): έχουν ακτίνα κάλυψης με ελάχιστη τιμή 100m και μέγιστη 1Km και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη στις κεντρικές περιοχές των πόλεων. Με το διαχωρισμό των υπαρχόντων περιοχών σε μικρότερα κύτταρα, ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών αυξάνεται καθώς επίσης και η ικανότητα των κυττάρων. Η στάθμη ισχύος των πομπών σημάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα κύτταρα μειώνεται και επομένως και η δυνατότητα της παρεμβολής μεταξύ των γειτονικών κυττάρων.

Πικοκύτταρα (pico-cells): έχουν ακτίνα κάλυψης μικρότερη από 100m και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη εντός κτιρίων (π.χ., γραφεία, κατοικίες, κλπ.) και μέσω μαζικής μεταφοράς.

Επιλεκτικά κύτταρα (selective cells): Δεν είναι πάντοτε χρήσιμο να καθοριστεί ένα κύτταρο με μια πλήρη κάλυψη 360 μοιρών. Σε μερικές περιπτώσεις, απαιτούνται κύτταρα με μια ιδιαίτερη μορφή και κάλυψη. Τέτοια κύτταρα καλούνται επιλεκτικά κύτταρα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των επιλεκτικών κυττάρων είναι τα κύτταρα που μπορούν να βρεθούν στις εισόδους των σηράγγων όπου δεν απαιτείται η κάλυψη των 360 βαθμών. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιείται ένα επιλεκτικό κύτταρο με μια κάλυψη 120 βαθμών.

1.2.6 Κυψελοειδής Κάλυψη (cell planning)

Τα πρώτα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεν ήταν κυψελοειδή. Για την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής χρειαζόταν ένας ισχυρός πομπός και μια κεραία σε υψηλό μέρος. Δεν γινόταν επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα πολύ μικρή χωρητικότητα.

Η ιδέα του κυψελοειδούς συστήματος προέκυψε από την ανάγκη επέκτασης του ραδιοτηλεφωνικού συστήματος για την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης, η οποία δεν μπορούσε να ικανοποιηθεί απλά με την χρησιμοποίηση πρόσθετου φάσματος συχνοτήτων. Στην κυψελοειδή κάλυψη έχουμε αντικατάσταση των μεγάλων πομπών με πολλούς μικρότερους (100 Watt ή λιγότερο). Οι γειτονικοί σταθμοί βάσης λειτουργούν με διαφορετικές ομάδες καναλιών (συχνοτήτων). Η χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί με επιπρόσθετο διαμερισμό του φάσματος και της περιοχής.

Ονομάζουμε Κύτταρο ή κυψέλη (Cell) – μια γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από ένα σταθμό βάσης και επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (frequency reuse) – το σχέδιο κατανομής των συχνοτήτων των καναλιών στους σταθμούς βάσης. Για λόγους ευκολίας τα κύτταρα απεικονίζονται με εξάγωνο σχήμα. Το εξάγωνο είναι το απλούστερο σχήμα με το οποίο μπορούμε να ψηφοθετήσουμε μια επιφάνεια. Στην πράξη, τα κύτταρα δεν είναι εξάγωνα και οι σταθμοί βάσης δεν τοποθετούνται πάντοτε στο κέντρο των κυττάρων, αντίθετα οι περιοχές που καλύπτει κάθε σταθμός βάσης αλληλεπικαλύπτονται και είναι άμορφες (*Σχήμα 1.5*).



Θεωρητικό
διάγραμμα
κάλυψης

Κυψελοειδές
πλέγμα
κυττάρων

Πραγματικό
διάγραμμα
κάλυψης

Σχήμα 1.5

Στην κυτταρική τηλεφωνία κάθε κανάλι μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετική συχνότητα (Frequency Division Multiple Access), σε διαφορετική οπή (Time Division Multiple Access) ή σε διαφορετικό κώδικα (Code Division Multiple Access).

Επιπλέον κάθε χρήστης χρειάζεται δύο κανάλια: το ευθύ κανάλι (forward channel: για επικοινωνία από το σταθμό βάσης στο χρήστη) και το ανάστροφο κανάλι (reverse channel: για επικοινωνία από το χρήστη στο σταθμό βάσης). Τα δυο κανάλια τοποθετούνται σε διαφορετικές συχνότητες (Frequency Division Duplexing) ή σε διαφορετικές οπές (Time Division Duplexing).

Για να υπολογίσουμε τη χωρητικότητα του συστήματος χρειάζεται να ορίσουμε τα παρακάτω μεγέθη:

έστω

- S : ο αριθμός διαθέσιμων καναλιών,
- k : ο αριθμός καναλιών ανά σταθμό βάσης,
- $N=S/k$: ο αριθμός σταθμών που χρησιμοποιούν όλα τα διαθέσιμα κανάλια,

τότε

- N γειτονικές κυψέλες δημιουργούν μια συστάδα (cluster) και το N καλείται διάσταση συστάδας (cluster size),

ενώ το

- $1/N$ καλείται συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (frequency reuse factor).

Εάν

- M : ο αριθμός συστάδων στο σύστημα τελικά θα είναι
- $C=MkN=MS$: η χωρητικότητα του συστήματος.

1.2.7 Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και cell planning

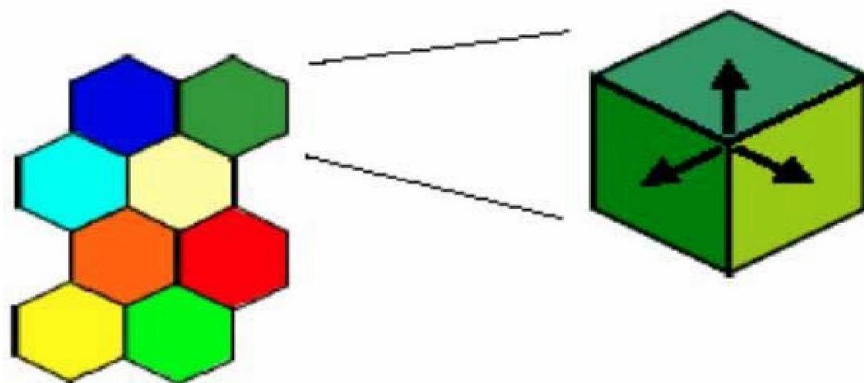
Η κύρια λειτουργία της κυτταρικής τηλεφωνίας αφορά στην επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Με την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (ή κωδίκων για το CDMA) αυξάνουμε την χωρητικότητα του συστήματος χωρίς να χρειαζόμαστε καινούργιο φάσμα συχνοτήτων. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με επαναχρησιμοποίηση των ίδιων καναλιών σε κυψέλες που είναι μακριά 10-50 κανάλια (TDM, FDM ή CDMA) ανά κυψέλη και με ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής για περιορισμό της ισχύος του σήματος που διαφεύγει στις γειτονικές κυψέλες. Στο σημείο αυτό η σχεδίαση του κυττάρου (cell planning) θα καθορίσει τον αριθμό των κυψέλων που πρέπει να παρεμβληθούν ανάμεσα σε δύο κυψέλες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Οι δύο παράγοντες που περιορίζουν την

επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων είναι: η παρεμβολή από κανάλι της ίδιας συχνότητας (Co-channel interference) και η παρεμβολή από γειτονικό κανάλι (adjacent-channel interference).

Αρχικά θεωρώντας A : την επιφάνεια μιας κυψέλης, οι χρήστες ανά επιφάνεια είναι k/A και μπορούμε να έχουμε απεριόριστα υψηλό αριθμό χρηστών, επιλέγοντας απεριόριστα μικρό μέγεθος κυψέλης. Προκύπτουν όμως δυο προβλήματα: οι μεταπομπές γίνονται πιο συχνές για μικρές κυψέλες και όσο μικραίνουν οι κυψέλες, το σχήμα τους γίνεται ολοένα και πιο απρόβλεπτο.

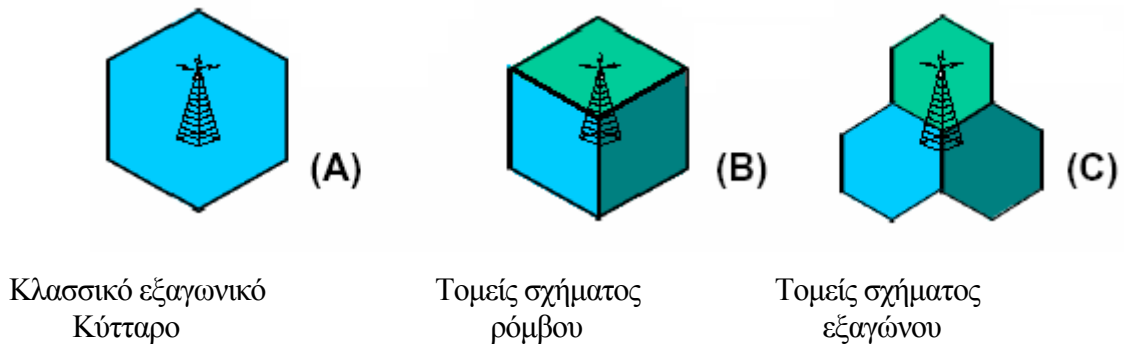
Επιπλέον μια συστάδα μπορεί να αντιγραφεί περισσότερες φορές σε μια περιοχή αν τα κύτταρα γίνουν μικρότερα (σημειώστε ότι στην περίπτωση αυτή η ισχύς εκπομπής θα πρέπει να μειωθεί κατάλληλα). Έτσι επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη χωρητικότητα. Οι επιτρεπτές τιμές για τη διάσταση συστάδας N είναι όλες οι τιμές της μορφής $N=i^2+ij+j^2$, ενώ οι *επιθυμητές* τιμές της ποικίλουν. Καθώς το N μεγαλώνει οι συχνότητες που είναι διαθέσιμες σε κάθε σταθμό βάσης μειώνονται και λιγότεροι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν, ενώ και οι παρεμβολές μειώνονται. Η σωστή επιλογή του N δεν είναι απλή υπόθεση. Τα συστήματα CDMA συχνά επιλέγουν $N=1$, ενώ τα συστήματα TDMA/FDMA συχνά επιλέγουν $N=4,7,9,12$.

Στη συνέχεια εξετάζουμε το cell planning από την πλευρά της γεωμετρίας. Κύτταρα με 3 τομείς (*Σχήμα 1.6*) είναι πολύ συνηθισμένα (κάθε τομέας είναι 120°). Μερικοί ονομάζουν τους τομείς κύτταρα. Κύτταρα με 2 τομείς συνηθίζονται για την κάλυψη επαρχιακών αυτοκινητοδρόμων. Τα περισσότερα κύτταρα προσανατολίζονται έτσι ώστε ο ένας τομέας να είναι βορινός.



Σχήμα 1.5 Κύτταρα με τρεις τομείς. Κάθε χρώμα παριστάνει ένα διαφορετικό set συχνοτήτων

Στην αρχή τα κύτταρα είχαν εξαγωνικό σχήμα (*Σχήμα 1.6*) και η κάλυψη του σταθμού βάσης ήταν πανκατευθυντική (omni-directional) (A). Με την εφαρμογή της τμηματοποίησης, τα κύτταρα παίρνουν σχήμα ρόμβου (B). Πολλοί σχεδιαστές, όμως, προτιμούν να δουλεύουν με κύτταρα εξαγωνικού σχήματος (C).



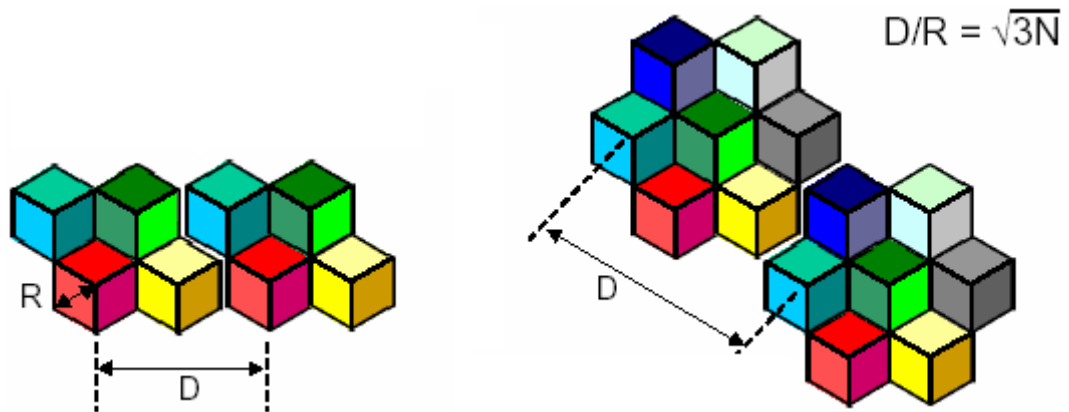
Σχήμα 1.6 Μορφές κυττάρων και τομείς

Οι έννοιες της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων και του cell planning γίνονται αντιληπτές άμεσα από το Σχήμα 1.7

N = Κύτταρα ανά συστάδα

R = Ακτίνα κυττάρου

D = Απόσταση συσταδων (απόσταση επαναχρησιμοποίησης)



| | |
|--|--|
| Συντελεστής επαναχρησιμοποίησης = $4 / 12$ 4 κύτταρα ανά συστάδα, $N = 4$ 3 τομείς ανά κύτταρο 12 ομάδες συχνοτήτων | Συντελεστής επαναχρησιμοποίησης = $7 / 21$ 7 κύτταρα ανά συστάδα, $N = 7$ 3 τομείς ανά κύτταρο 21 ομάδες συχνοτήτων |
|--|--|

Σχήμα 1.7 Παράδειγμα συσταδων

Στο πλαίσιο της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε την ελάχιστη απόσταση μεταξύ γειτονικών κυττάρων με το ίδιο σύνολο καναλιών. Τα κύτταρα αυτά τα ονομάζουμε ομοιοκαναλικά. Η απόσταση D (απόσταση επαναχρησιμοποίησης) μεταξύ των ομοιοκαναλικών κυττάρων είναι:

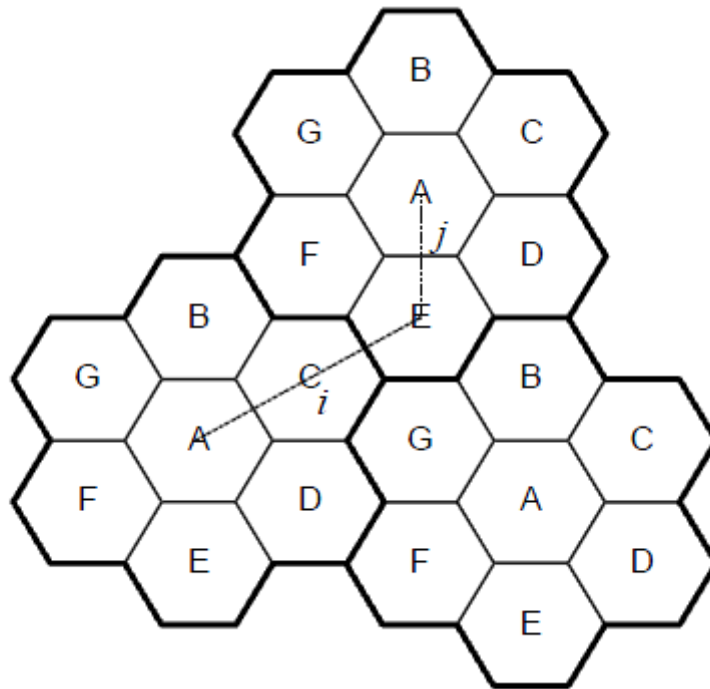
$$D = \sqrt{i^2 + ij + j^2}$$

Μια συστάδα μπορεί να παρασταθεί με ένα εξάγωνο ακτίνας R_c . Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των συστάδων είναι:

$$\sqrt{i^2 + ij + j^2}$$

Η ακτίνα R_c μιας συστάδας είναι:

$$R_c = \frac{D}{\sqrt{3}} = R\sqrt{7}$$



Σχήμα 1.7 Παράδειγμα με $N=7$, είναι $i=2$ και $j=1$
 οπότε $D^2 = 2^2 + 2 + 1 = 7 \rightarrow D = (R\sqrt{3})\sqrt{7}$

Η επιφάνεια ενός εξαγώνου ακτίνας R είναι:

$$6 \frac{\sqrt{3}}{4} R^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$$

Ο αριθμός των κυττάρων σε μια συστάδα είναι:

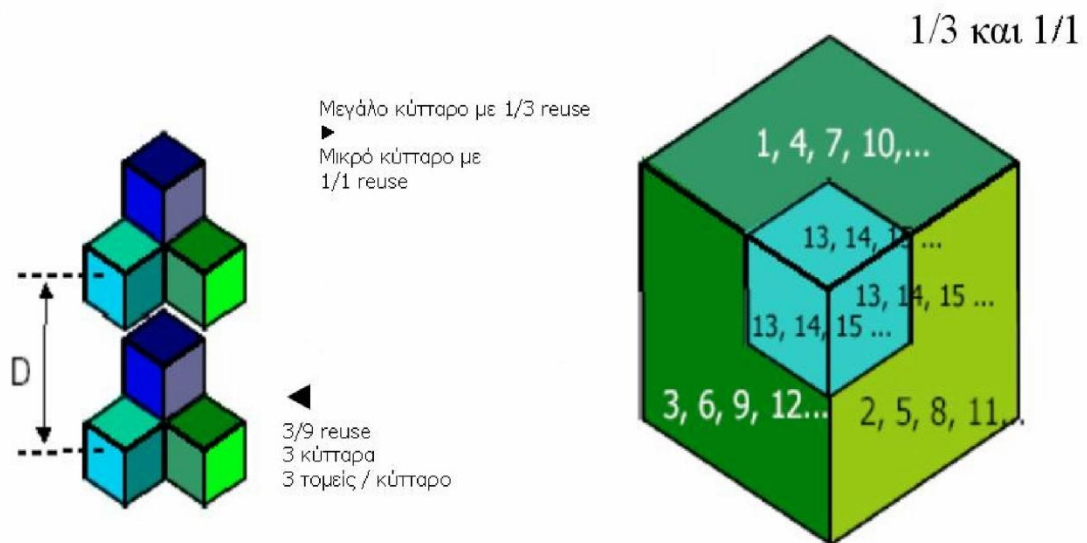
$$N = \frac{\text{επιφάνεια συσταδας}}{\text{επιφάνεια κυτταρου}} = \frac{\frac{3\sqrt{3}}{2} R_c^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} R^2} = \frac{D^2}{3R^2} = i^2 + ij + j^2$$

Κατά συνέπεια οι δυνατές τιμές του N είναι 3, 4, 7, 9, 12 κ.λπ. για απόσταση ομοιοκαταληκτών κυττάρων $(i,j) = (1,1), (0,2), (1,2), (0,3), (1,3)$.

Επομένως ο λόγος q της απόστασης των ομοιοκαναλικών κυττάρων ως προς την ακτίνα του κυττάρου είναι :

$$q = \frac{D}{R} = \frac{\sqrt{i^2 + ij + j^2}}{1 / \sqrt{3}} = \sqrt{3N}$$

Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων εξελίσσεται ραγδαία και έχουν ανακαλυφθεί και νέες τεχνικές με δυνατότητες όπως η αναπήδηση συχνότητας, ο έλεγχος ισχύος και η διακοπτόμενη εκπομπή. Ακόμα το σύστημα GSM/EDGE μπορεί να χρησιμοποιήσει πιο απαιτητικές αλλά αποδοτικές τεχνικές επαναχρησιμοποίησης, όπως αυτές παρακάτω (Σχήμα 1.8).



Σχήμα 1.8 Εξελιγμένες τεχνικές επαναχρησιμοποίησης

Το τελευταίο βήμα του cell planning ως προς την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων αφορά στην κατανομή των καναλιών στα κύτταρα. Αυτή γίνεται με στόχο την ικανοποίηση των χρηστών. Για να είναι ευχαριστημένοι οι χρήστες, πρέπει να τους δίδεται ένα κανάλι μόλις το ζητήσουν. Συνήθως μια αποδεκτή πιθανότητα μη αποδοχής κλήσης είναι 2%, ενώ η ποιότητα εξυπηρέτησης που μεταβάλλεται με τον χρόνο και την τοποθεσία πρέπει να διατηρηθεί ομοιόμορφη σε όλο το σύστημα. Η τεχνική κατανομής καναλιών χρησιμοποιεί τρεις τύπους αλγόριθμων: α) Στατική διάθεση καναλιών [*Fixed channel allocation –FCA*], β) Δυναμική διάθεση καναλιών [*Dynamic channel allocation –DCA*], γ) Δανεισμός καναλιών [*Channel borrowing*] και δ) Συγκανάλωση [Trunking]. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε κάθε ένα ξεχωριστά.

Στη σταθερή εκχώρηση καναλιών κάθε σταθμός βάσης λαμβάνει συγκεκριμένο υποσύνολο των διαθέσιμων συχνοτήτων (όπως είδαμε μέχρι τώρα). Όταν όλες οι συχνότητες ενός σταθμού βάσης χρησιμοποιούνται, οι επιπλέον χρήστες δεν εξυπηρετούνται, ακόμα και όταν υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια σε γειτονικούς σταθμούς βάσης. Το διαθέσιμο φάσμα έχει εύρος

W Hz και κάθε κανάλι καταλαμβάνει εύρος B Hz. Ο συνολικός αριθμός των καναλιών είναι: $N_c = W/B$. Για συστάδα μεγέθους N , ο αριθμός των καναλιών ανά κύτταρο είναι: $C_c = N_c/N$. Για ελαχιστοποίηση της παρεμβολής γειτονικού καναλιού οι γειτονικοί σταθμοί βάσης μπορούν να δανείζουν / δανείζονται κανάλια, αλλά τότε αυξάνεται ο κίνδυνος παρεμβολών και ο σχεδιασμός του δικτύου περιπλέκεται. Η FCA είναι η βέλτιστη μέθοδος κατανομής καναλιών για ομοιόμορφη κίνηση σε όλα τα κύτταρα.

Μια μη ομοιόμορφη FCA στρατηγική είναι ακόμα πιο αποτελεσματική αν είναι δυνατόν να διαπιστωθεί η ποιότητα εξυπηρέτησης σε πραγματικό χρόνο και να ρυθμισθεί η διάθεση των καναλιών σύμφωνα μ' αυτόν. Βέβαια, αυτό απαιτεί την χρησιμοποίηση πολύπλοκου αλγόριθμου κατανομής καναλιών.

Στη δυναμική εκχώρηση καναλιών τα διαθέσιμα κανάλια δεν αντιστοιχούν σε συγκεκριμένους σταθμούς και κάθε σταθμός μπορεί θεωρητικά να τα χρησιμοποιήσει όλα. Όποτε έρχεται ένας χρήστης το σύστημα προσπαθεί να του βρει ένα κανάλι. Το κανάλι επιστρέφει στην δεξαμενή μόλις περατωθεί η κλήση. Η DCA είναι πιο ευέλικτη μέθοδος αλλά και πολύ πιο δύσκολη στην υλοποίηση. Για την τελευταία χρησιμοποιούνται πολλές ενδιάμεσες λύσεις όπως οι ημιστατικές εκχωρήσεις, όπου τα μισά κανάλια εκχωρούνται στατικά και τα υπόλοιπα δυναμικά.

Επιπλέον ο αλγόριθμος του δανεισμού καναλιών δανείζει συχνότητες από κύτταρα μικρής κυκλοφορίας σε κύτταρα με μεγάλη κυκλοφορία. Και εδώ το κανάλι επιστρέφει μόλις περατωθεί η σχετική κλήση.

Τέλος η συγκανάλωση ή αλλιώς ομαδοποίηση καναλιών είναι μια μέθοδος παροχής πρόσβασης σε χρήστες, κατόπιν αιτήσεως των, από μια δεξαμενή διαθέσιμων καναλιών. Με την συγκανάλωση ένας μικρός αριθμός καναλιών μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο πλήθος χρηστών. Οι τηλεφωνικές εταιρείες χρησιμοποιούν την θεωρία της συγκανάλωσης για να καθορίσουν τον αριθμό των κυκλωμάτων που πρέπει να φτάνουν σε ένα κτίριο. Γενικότερα, η θεωρία της συγκανάλωσης διερευνά πως ένας περιορισμένος αριθμός κυκλωμάτων μπορεί να εξυπηρετήσει έναν μεγάλο αριθμό χρηστών.

1.2.8 Βελτίωση Κάλυψης και Χωρητικότητας

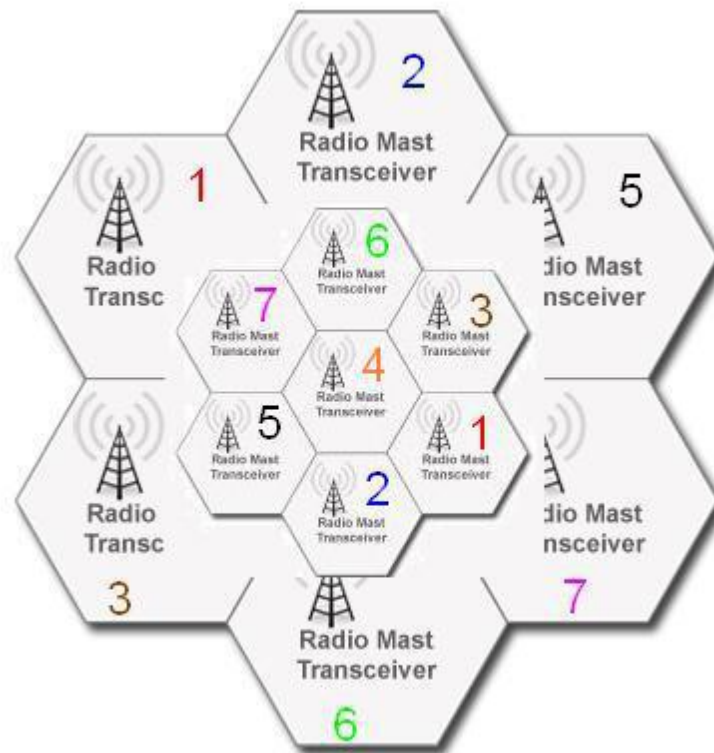
Στη παρούσα παράγραφο εξετάζουμε τεχνικές βελτίωσης της κάλυψης και αύξησης της χωρητικότητας. Το κόστος ενός κυψελοειδούς συστήματος είναι ανάλογο του αριθμού των σταθμών βάσης (BS), ενώ τα έσοδα είναι ανάλογα του αριθμού συνδρομητών. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- Νέο φάσμα – ακριβή λύση. Οι ζώνες συχνοτήτων για κινητή τηλεφωνία έχουν πουληθεί.
- Αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις: διαίρεση κύτταρων(cell splitting), τομεοποίηση κυττάρων(sectoring), διαμερισμός επαναχρησιμοποίησης(reuse partitioning), επικάλυψη κυττάρων(cell overlay), χρήση επαναληπτών, ζώνες μικροκυττάρων.

- Δυναμικός καταμερισμός καναλιών σύμφωνα με το φόρτο σε κάθε κυψέλη (ανομοιόμορφη κατανομή συχνοτήτων) και
- Βελτίωση των τεχνολογιών πρόσβασης.

Έπειτα θα αναλύσουμε τις αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στη διαίρεση κυττάρων και την τομεοποίηση.

Διαίρεση κυττάρων [cell splitting] είναι η υποδιαίρεση του κυττάρου σε μικρότερα κύτταρα. Αυτό αυξάνει τον αριθμό των φορών που επαναχρησιμοποιούνται τα κανάλια. Αρχικά μειώνουμε την ακτίνα κυψέλης κατά ένα παράγοντα k . Μετά αυξάνουμε τον αριθμό κυψελών κατά ένα παράγοντα k^2 . Στη συνέχεια μειώνουμε την εκπεμπόμενη ισχύ κατά k^n , όπου n είναι ο εκθέτης με τον οποίο μεταβάλλεται η ισχύς με την απόσταση έτσι τελικά έχουμε τον ίδιο αριθμό καναλιών ανά κυψέλη, αλλά k^2 περισσότερα κανάλια ανά km^2 ! Για παράδειγμα, μείωση της ακτίνας στο $\frac{1}{2}$ αυξάνει τον αριθμό των κυττάρων 4 φορές (υποδιαίρεση σε 4 κύτταρα).



Σχήμα 1.9 Διαίρεση κυττάρων

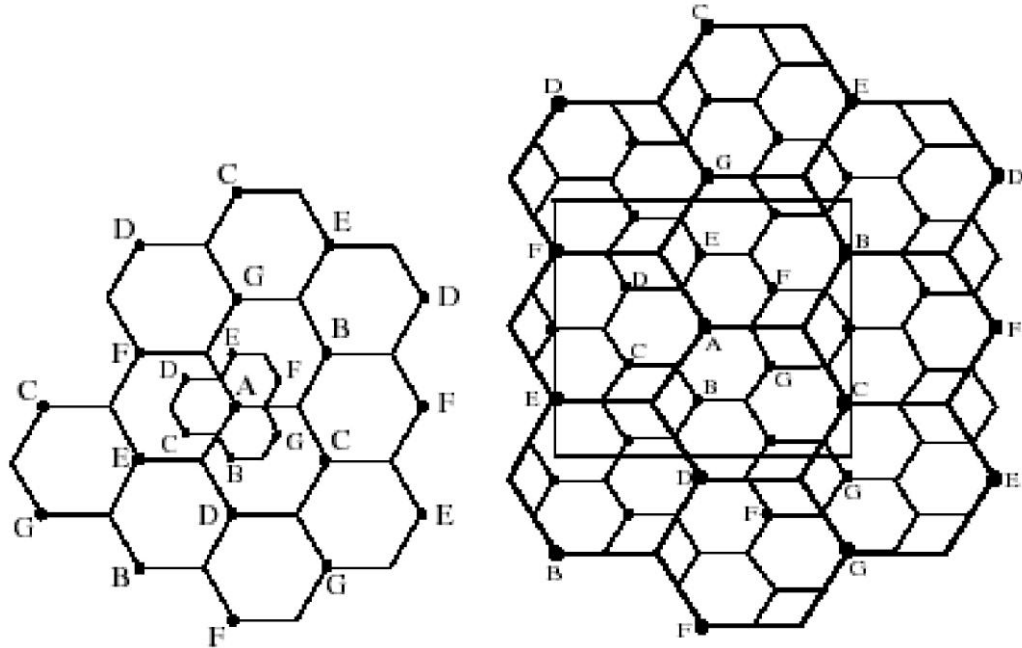
Για να μην διαταραχθεί η ισορροπία του συστήματος και για να διατηρηθεί η τιμή του λόγου σήματος προς παρεμβολή, πρέπει να ελαττωθεί η ισχύς εκπομπής.

- Ισχύς λήψεως [στο σύνορο του παλαιού κυττάρου] $\propto Pt1R-n$
- Ισχύς λήψεως [στο σύνορο του νέου κυττάρου] $\propto Pt2(R/2)-n$
- Η ισχύς λήψεως πρέπει να είναι ίση για να έχουμε τις ίδιες επιδόσεις

$$Pt2 = Pt1 / 2^n, \text{ Π.χ. για } n=4, Pt2 = Pt1 / 16.$$

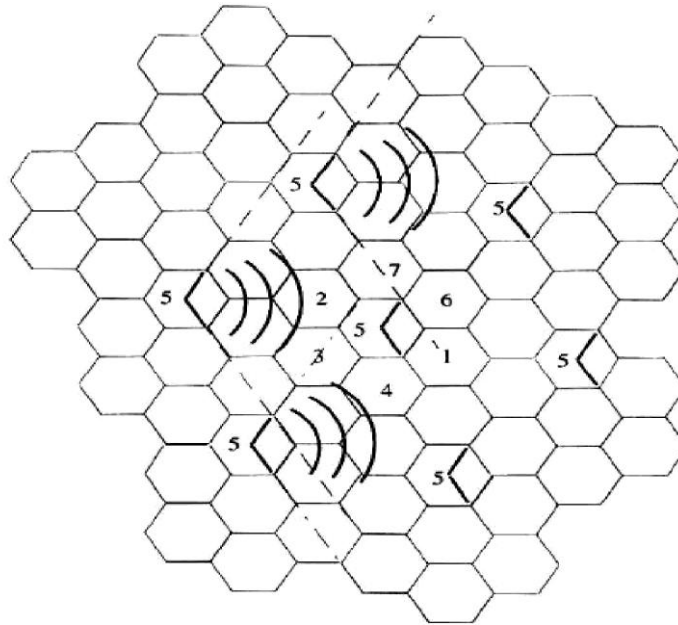
Τα μειονεκτήματα του cell splitting αφορούν στη χρήση περισσότερων τοποθεσιών για σταθμούς βάσης, στις συχνές μεταπομπές και στη δύσκολη σταδιακή υλοποίηση.

Ας δούμε για παράδειγμα τη διαίρεση κυττάρων στο **Σχήμα 1.10** βλέπουμε ότι οι BS είναι στις τρεις γωνίες κάθε κυττάρου(τομεοποίηση). Ο BS A έχει πολύ μεγάλη κίνηση και γι' αυτό πλαισιώνεται από 6 νέους BSs, στους οποίους διανέμονται τα κανάλια με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα. Έτσι ο νέος BS με το σύμβολο G τοποθετείται ακριβώς στο μέσον των δυο παλαιών BS με το ίδιο όνομα και έχει το ίδιο set συχνοτήτων.



Σχήμα 1.10 Παράδειγμα Διαίρεσης Κυττάρων

Λόγω των κοινών συχνοτήτων τα ομοιοκαναλικά κύτταρα δημιουργούν παρεμβολές. Αυτές αντιμετωπίζονται από την τομεοποίηση που αφορά στην χρήση κατευθυντικών κεραιών αντί ιστροπικών.



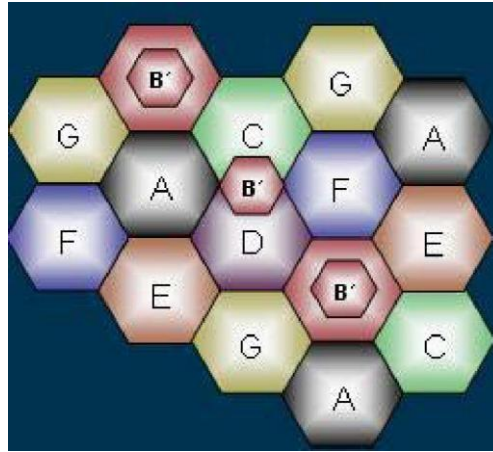
Σχήμα 1.11 Παράδειγμα τομεοποίησης

Αναλυτικά στο παράδειγμα του *Σχήματος 1.11* φαίνονται 3 τομείς των 120° , το κινητό στο κεντρικό κύτταρο θα υποστεί παρεμβολή από δυο μόνο κύτταρα (και όχι από 6). Αυτό βελτιώνει τον λόγο φέροντος προς παρεμβολή κατά 5dB περίπου και μας επιτρέπει την ελάττωση του συντελεστή επαναχρησιμοποίησης που ισοδυναμεί με μείωση των σταθμών βάσης.

Με την τομεοποίηση, κάθε τομέας είναι απλά ένα νέο κύτταρο. Χρειάζεται μεταπομπή μεταξύ τομέων. Οι κατευθυντικές κεραίες των σταθμών βάσης τοποθετούνται συνήθως στις παρυφές των κυττάρων. Και οι τρεις κεραίες των τομέων λαμβάνουν τα σήματα που εκπέμπει ένα κινητό. Ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί την κεραία με την καλύτερη λήψη για να εκπέμπει το σήμα. Η χρήση κατευθυντικών κεραιών για την εκπομπή μειώνει την παρεμβολή στα άλλα κύτταρα.

Δυστυχώς η τομεοποίηση αυξάνει τις μεταπομπές, την πολυπλοκότητα του συστήματος και συνεπάγεται μειωμένη απόδοση της ομαδοποίησης των καναλιών.

Όσο αφορά στη τεχνική της επικάλυψης κυττάρων, ξεχωρίζουμε από ένα σύνολο καναλιών π.χ. το B ένα υποσύνολο το B' . Τα κανάλια του B' τα διαθέτουμε σε μία κυψέλη B μονάχα σε απόσταση $R/2$ από το σταθμό βάσης (*Σχήμα 1.12*).

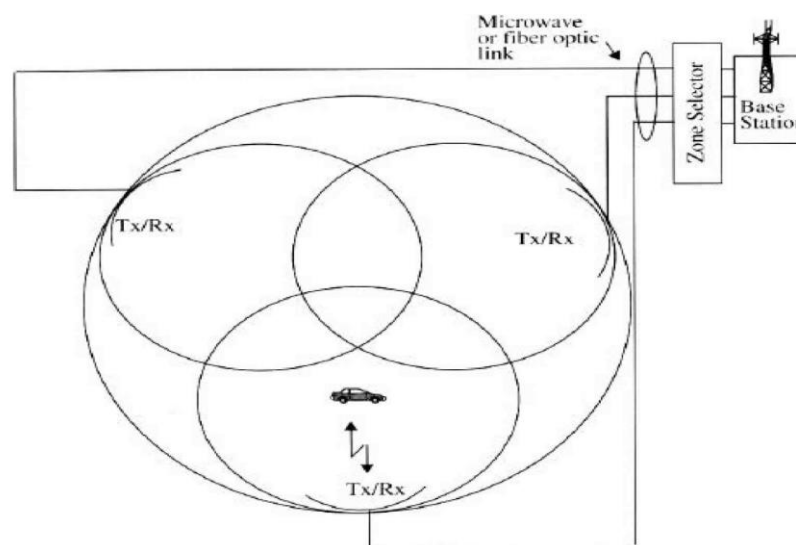


Σχήμα 1.12 Επικάλυψη Κυττάρων

Επίσης στην τεχνική χρήσης επαναληπτών κάθε επαναλήπτης επαναλαμβάνει ότι λαμβάνει σε ένα εύρος συχνοτήτων (“bent pipes”). Πλεονεκτήματα της τεχνικής είναι η ύπαρξη σήματος σε ορισμένα δυσπρόσιτα μέρη (π.χ. μεγάλα κτίρια, υπόγεια, σταθμοί του μετρό), η ικανότητα εξασφάλισης μόνο με χρήση επαναληπτών ή σταθμών βάσης, η απλότητα και η οικονομικότητα των επαναληπτών που χρησιμοποιούνται. Μειονέκτημα είναι ότι **δεν** αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος, ενώ αντίθετα αυξάνεται ο θόρυβος.

Ολοκληρώνοντας αυτή την παράγραφο εξετάζουμε τη τεχνική των μικροζωνών. Οι μικροζώνες ή ζωνικές μικροκυψέλες έχουν δομή όπως αυτή του **Σχήματος 1.13**.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής είναι α) πως το σήμα από το σταθμό βάσης έχει εξασθενήσει αρκετά πριν εγκαταλείψει την κυψέλη, β) τα κανάλια δεν μοιράζονται ανά κεραία, γ) δεν χρειάζονται μεταπομπές μέσα στην κυψέλη και δ) δεν μειώνεται η αποτελεσματικότητα της ομαδοποίησης καναλιών. Τα μειονεκτήματα είναι α) ότι ο σταθμός βάσης είναι πλέον κατανεμημένος, ενώ β) χρειάζονται και επιπλέον ζεύξεις.



Σχήμα 1.13 Δομή Ζωνικών Μικροκυψελών

Κεφάλαιο 2^ο

Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

2.1 Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών Δεύτερης γενιάς (2G)

Τα συστήματα 2^{ης} γενιάς είναι ψηφιακής τεχνολογίας, παρέχουν αναβαθμισμένες υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών ενώ τα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών είναι: η πολύ-ιεραρχική λειτουργική δομή τους, η υψηλή χωρητικότητα από πλευράς εξυπηρέτησης χρηστών, η δυναμική διαχείριση του ράδιο-φάσματος των συχνοτήτων και το κυτταρικό πρότυπο επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων (frequency re-use pattern). Έτσι, μπορούν να παρέχουν βελτιωμένη ποιότητα φωνής και μεγάλη κάλυψη συνδρομητών. Τα συστήματα 2^{ης} γενιάς έχουν τυποποιηθεί για να παρέχουν υπηρεσίες μετάδοσης φωνής αλλά και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Τα συστήματα αυτά διατηρούν τη μέθοδο μεταγωγής κυκλώματος (circuit switching) των αναλογικών συστημάτων, η οποία δεν είναι πολύ αποτελεσματική για μετάδοση δεδομένων. Με αυτή τη μέθοδο δημιουργείται μια σύνδεση των συνδρομητών, δηλαδή καθορίζεται συγκεκριμένος ράδιο-διάυλος, ο οποίος παραμένει στην αποκλειστική διάθεσή τους για όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας. Με τη μεταγωγή κυκλώματος όμως, γίνεται ικανοποιητική η μετάδοση φωνής, η οποία είναι ο κύριος σκοπός των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, καθώς οι καθυστερήσεις που εισάγονται είναι πολύ μικρές.

Τα τέσσερα πιο διαδεδομένα πρότυπα ψηφιακής, κινητής τηλεφωνίας 2^{ης} γενιάς σε όλο τον κόσμο είναι τα εξής: GSM, TDMA (IS-136), CDMA (cdmaOne ή IS-95-B) και PDC. Όλα τα παραπάνω υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι τα 9.6 Kbps.

Το Παγκόσμιο σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile communications - GSM), είναι το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο πρότυπο συστήματος και δημιουργήθηκε το 1992. Στο GSM χρησιμοποιεί μέθοδο μεταγωγής κυκλώματος. Η δυνατότητα χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (< 9.6 Kbps) που υποστηρίζει, χρησιμοποιήθηκε για πολλές εμπορικές υπηρεσίες που παρέχει το δίκτυο, αλλά τελικά περισσότερο από όλες επικράτησε η αποστολή e-mail από τους φορητούς υπολογιστές των χρηστών. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από το πρότυπο GSM είναι τα 900 MHz και τα 1.8 GHz στην Ευρώπη, και τα 1.9 GHz στις ΗΠΑ. Το πρότυπο GSM και η επέκτασή του, το GSM-1800, είναι αυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα περισσότερο στον κόσμο, ενώ και τα δίκτυα που αναπτύχθηκαν στην Ελλάδα χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία. Γι' αυτό το λόγο, περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Το πρότυπο Πολλαπλής Πρόσβασης με Επιμερισμό Χρόνου (Time Division Multiple Access), αρχικά γνωστό ως IS-54 και τώρα ως IS-136 (TDMA IS-136), αναφέρεται μερικές φορές ως το ψηφιακό πρότυπο της «Βορείου Αμερικής». Παρόλα αυτά, αναπτύχθηκε στη Λατινική Αμερική, στις Ανατολικές ακτές της Ασίας και στην Ανατολική Ευρώπη.

Το πρότυπο Προσωπικών Ψηφιακών Επικοινωνιών (Personal Digital Communications – PDC) είναι το κυρίαρχο πρότυπο στην Λαπωνία, και λειτουργεί στα 800 MHz και 1 GHz.

Τέλος, το IS-95 βασίζεται σε τεχνολογία Πολλαπλής Πρόσβασης με Επιμερισμό Κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA) στενής ζώνης. Αναφέρεται ως στενής ζώνης διότι μέσα από αυτά τα δίκτυα μεταδίδονται μικρές ποσότητες πληροφοριών. Η μέθοδος CDMA επιτρέπει στους συνδρομητές να χρησιμοποιήσουν τον ίδιο ράδιο-διάυλο και την ίδια χρονοθυρίδα (time-slot) δίνοντας τους έναν κωδικό, τον οποίο χρησιμοποιεί ο δέκτης για να διαχωρίσει το επιθυμητό σήμα. Το IS-95 λειτουργεί είτε στη συχνότητα των 800 MHz είτε στα 1.9 GHz. Το πρωτόκολλο IS-95-B υποστηρίζει μετάδοση δεδομένων μέχρι 115 Kbps χρησιμοποιώντας δέσμη 8 καναλιών. Είναι δημοφιλές στη Νότια Κορέα και στη Βόρειο Αμερική.

2.2 Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών –G.S.M.

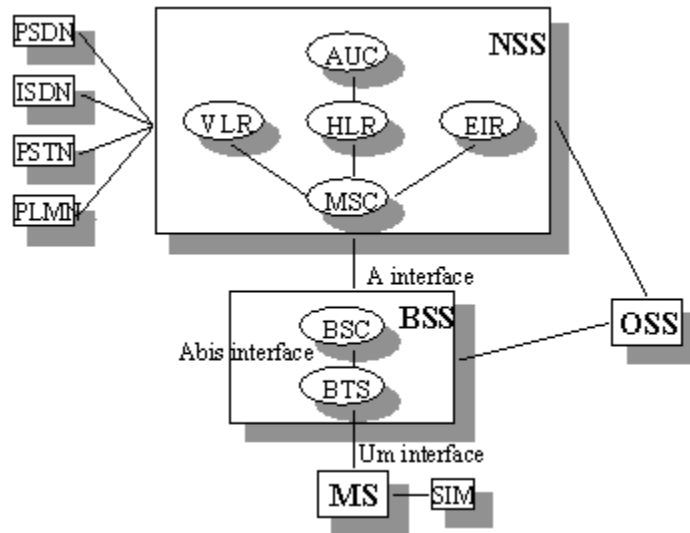
Το πανευρωπαϊκό πρότυπο GSM, το οποίο λειτουργεί στις ζώνες των 900 MHz και των 1800 MHz του ενεργού ράδιο-φάσματος, έχει τυποποιηθεί από την ειδική συσταθείσα επιστημονική ομάδα για θέματα κινητών επικοινωνιών της Ευρωπαϊκής ένωσης, γνωστής με την ονομασία Groupe Special Mobile. Είναι το πιο γνωστό σύστημα της 2^{ης} γενιάς κινητών επικοινωνιών. Στο GSM, είναι το πρώτο διεθνές πρότυπο για παροχή υπηρεσιών στον τομέα των κινητών επικοινωνιών, το οποίο προσφέρει στους χρήστες πλήρη πρόσβαση σε ανομοιογενή δίκτυα, στις χώρες που έχουν αποδεχτεί το πρότυπο αυτό. Είναι χαρακτηριστικό ότι GSM δίκτυα λειτουργούν σε 60 χώρες περίπου, στην Ευρώπη, την Άπω Ανατολή, Αφρική, τη Νότιο Αμερική και την Αυστραλία. Επίσης, το GSM είναι το πρώτο σύστημα κινητών επικοινωνιών στο οποίο τα σήματα φωνής, η σηματοδότηση και ο έλεγχος των λειτουργιών, επεξεργάζονται ψηφιακά. Έτσι, μπορούν πλέον να διεκπεραιωθούν υπηρεσίες όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο ή μετάδοση δεδομένων, ασυρματικά μέσω της κυτταρικής κινητής τηλεφωνίας.

Γενικά το GSM δίκτυο ικανοποιεί τις εξής απαιτήσεις:

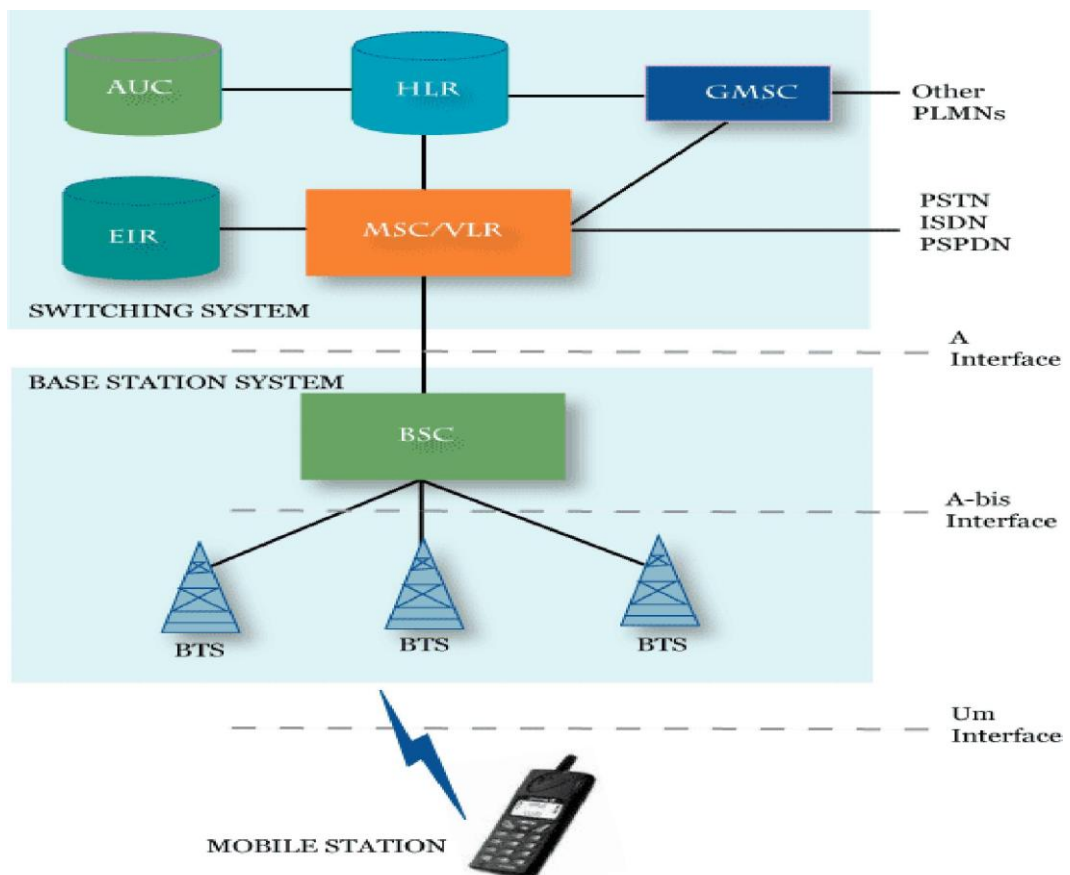
- Καλή ποιότητα φωνής
- Χαμηλό κόστος τερματικού εξοπλισμού και υπηρεσιών
- Υποστήριξη διεθνούς περιαγωγής
- Υποστήριξη νέων υπηρεσιών και ευκολιών
- Αποδοτικότητα του ράδιο-φάσματος
- συμβατότητα με το ISDN

2.2.1 Τα Βασικά Τμήματα του Δικτύου G.S.M.

Το GSM έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό την υψηλή τεχνολογία που χρησιμοποιεί, τόσο στο υλικό των ράδιο-μονάδων, όσο και στο υλικό της ευρύτερης τηλεπικοινωνιακής πλατφόρμας, καθώς επίσης και την ευφυή επεξεργασία της εμπλεκόμενης πληροφορίας που διεκπεραιώνεται.



Σχήμα 2.1 Αρχιτεκτονική Διεπαφών του δικτύου GSM



Σχήμα 2.2 Η αρχιτεκτονική του δικτύου GSM

Οι περισσότερες μεγάλες εταιρίες στο χώρο της ευρωπαϊκής βιομηχανίας τηλεπικοινωνιών, έχουν συμμετάσχει στην ανάπτυξη του GSM και έχουν ήδη διαθέσει στην αγορά διάφορα προϊόντα τους. Στο **Σχήμα 2.2** φαίνονται τα διάφορα τμήματα όπως αυτά καθορίζονται από το πρότυπο του GSM. Από πλευράς συνδρομητών, τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κινητής (φορητής) ράδιο-μονάδας παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Ο κινητός σταθμός και το υποσύστημα σταθμών βάσης επικοινωνούν μέσω διεπαφής γνωστή ως διεπαφή-αέρα.

Τα βασικά τμήματα του GSM δικτύου είναι :

- **Κινητή Μονάδα (KM, Mobile Station – MS) και συνδρομητική Κάρτα Ταυτότητας (Subscriber Identity Module - SIM)**

Οι κινητές (φορητές) συσκευές, διατίθενται στην αγορά με ένα μεγάλο εύρος τεχνικών χαρακτηριστικών και επιλογών, αλλά το βάρος και οι διαστάσεις τους είναι οι κύριοι παράγοντες έλξης για τους υποψήφιους χρήστες. Οι διαστάσεις των συσκευών εξαρτώνται από τον χρησιμοποιούμενο τύπο μπαταριών, ενώ η σημερινή τεχνολογία στον τομέα αυτό επιτρέπει τη λειτουργία της συσκευής καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, με μόνο μια απλή φόρτιση, χρησιμοποιώντας μπαταρίες μικρών διαστάσεων. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι ανεξάρτητα των διαστάσεων των κινητών μονάδων, αυτές πρέπει να συνεργάζονται με όλα τα Ευρωπαϊκά δίκτυα, σύμφωνα με τα προκαθορισμένα πρότυπα. Μέσα στην κινητή μονάδα τοποθετείται μία «έξυπνη» κάρτα, η συνδρομητική κάρτα ταυτότητας (Subscriber Identity Module – SIM), θ οποία περιλαμβάνει τον κώδικα ασφαλείας του συνδρομητή και είναι τυποποιημένη για να συνεργάζεται με όλα τα ράδιο-συστήματα GSM. Στην κάρτα αυτή είναι μόνιμα αποθηκευμένα τα δεδομένα του συνδρομητή (π.χ. ο διεθνής αριθμός του [International Mobile Subscriber Identity – IMSI], ο προσωπικός κωδικός αριθμός [Personal Identification Number – PIN], κλπ.) και διάφορες άλλες παράμετροι (π.χ. η ταυτότητα της τελευταίας περιοχής εντοπισμού [LAI], η κλειδα K_i , οι αλγόριθμοι πιστοποίησης και έλεγχου του συνδρομητή [authentication], κλπ.). Η κάθε κινητή μονάδα έχει επίσης και έναν μοναδικό αριθμό ταυτότητας, τον Διεθνή Αριθμό Κινητού Εξοπλισμού (International Mobile Equipment Identity – IMEI).

- **Σύστημα Σταθμού Βάσης (ΣΣΒ, Base Station System – BSS)**

Το σύστημα σταθμού Βάσης περιέχει όλο τον ράδιο-εξοπλισμό (πομποί, δέκτες και μονάδες έλεγχου), ο οποίος είναι απαραίτητος για τον έλεγχο των επικοινωνιών στην ενεργό περιοχή ενός κυττάρου. Ο εξοπλισμός του σταθμού αυτού τοποθετείται σε ειδικές συγκεκριμένες τοποθεσίες (π.χ. σε επαγγελματικές στέγες, στα δώματα των πολυκατοικιών, σε containers κλπ.). Η διάταξη του παραπάνω εξοπλισμού πρέπει να είναι συμπαγής και να δίνεται η δυνατότητα για έλεγχο και ενεργοποίηση της λειτουργίας του από απόσταση (π.χ. από το ψηφιακό κέντρο). Ουσιαστικά, το ΣΣΒ

αποτελείται από τα εξής τμήματα: τον Σταθμό Εκπομπής - Λήψης (Base Transceiver Station – BTS), τον Ελεγκτή Σταθμού Βάσης (Base Station Controller – BSC) και την TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit)

- **Σταθμός Εκπομπής - Λήψης (Base Transceiver Station – BTS)**

Ο BTS περιέχει τους πομπούς και τους δέκτες, που χρειάζονται για την κάλυψη ενός κυττάρου.

- **Ελεγκτής Σταθμού Βάσης (Base Station Controller – BSC)**

Η λειτουργία του ΣΒ πραγματοποιείται από τον ελεγκτή του ΣΒ, με την απαραίτητη σηματοδότηση, τους ράδιο-διαύλους φωνής και με τη βοήθεια της διεπαφής (standard interface) A-bis. Η μονάδα BSC ελέγχει τις λειτουργίες διαχείρισης διαφόρων ΣΒ, σύμφωνα με το αποκεντρωτικό σενάριο διεργασιών του GSM, ανακουφίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο το κέντρο MSC. Ελέγχει ένα μέγιστο αριθμό 120 κεραιών. Η μονάδα αυτή συνεργάζεται με το σύστημα κωδικοποίησης, μετατρέποντας τα σήματα φωνής κωδικοποιημένα με ρυθμούς μετάδοσης 13 Kbps, σε αντίστοιχα σήματα των 64 Kbps, σύμφωνα με τα πρότυπα του Δημόσιου Επιλογικού Τηλεφωνικού Δικτύου (PSTN).

- **TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit)**

Ο TRAU ρυθμίζει την 64kbits/s σύνδεση που εξασφαλίζεται από το MSC σε μικρότερο ρυθμό μετάδοσης (22.8 kbit/s) της ράδιο – διεπαφής.

- **Το Υποσύστημα Μεταγωγής (SSS, Switching Subsystem – BSS)**

Το Υποσύστημα Μεταγωγής περιλαμβάνει το Διακοπτικό Κέντρο Κινητών Επικοινωνιών (Mobile Services Switching Center – MSC) το Κέντρο Πιστοποίησης (Authentication Center – AC), τη Βάση Δεδομένων Εγγραφής Επίσκεψης (Visitor Location Register – VLR) και την Οικεία Βάση Δεδομένων Εγγραφής (Home Location Register – HLR)

- **Το Διακοπτικό Κέντρο Κινητών Επικοινωνιών (Mobile Services Switching Center – MSC)**

Η κύρια λειτουργία του Διακοπτικού Κέντρο Κινητών Επικοινωνιών (Mobile Services Switching Center – MSC), είναι να αποκαταστήσει την κλήση του συνδρομητή και να παρέχει την κατάλληλη ζεύξη με το σταθερό δίκτυο ή με άλλο κέντρο MSC. Το GSM χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο σύστημα σηματοδότησης κοινού καναλιού CCITT No.7 το οποίο επιτρέπει τη μετάδοση διαφόρων αναγκαίων πληροφοριών (π.χ. διευθύνσεις, χρεώσεις κλπ.), με ρυθμούς της τάξης 64 Kbps μεταξύ των ψηφιακών κέντρων. Επίσης χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (π.χ. μετάδοση φωνής και δεδομένων), παίζοντας καθοριστικό ρόλο στα κυτταρικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας, στο επίπεδο εφαρμογής (Mobile Application Part – MAP).

Πρέπει να σημειωθεί, ότι τα κέντρα MSC παίζουν το ρόλο των κόμβων (Signaling Network).

- **Βάση Δεδομένων Εγγραφής Επίσκεψης (Visitor Location Register - VLR):**

Η Βάση Δεδομένων Εγγραφής Επίσκεψης (Visitor Location Register - VLR), είναι ένα από τα βασικά τμήματα του κέντρου MSC, όπου καταχωρούνται τα προσωρινά δεδομένα του συνδρομητή, κατά τη στιγμή της εισόδου του στην ενεργό περιοχή του. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει στοιχεία από τα αρχεία της οικείας θέσης του συνδρομητή δίνοντας λεπτομέρειες που αφορούν τα χαρακτηριστικά και την κλάση υπηρεσίας του συγκεκριμένου χρήστη, καθώς και πληροφορίες που αφορούν τα χαρακτηριστικά της νέας περιοχής εντοπισμού, στην οποία εισέρχεται ο συνδρομητής. Η βάση αυτή είναι σε τοπικό επίπεδο.

- **Οικεία Βάση Δεδομένων Εγγραφής (Home Location Register - HLR) .**

Μία άλλη σπουδαία μονάδα του κέντρου MSC, είναι η Οικεία Βάση Δεδομένων (Home Location Register - HLR), η οποία έχει μόνιμα καταχωρημένα τα στοιχεία του συνδρομητή (π.χ. αριθμός περιαγωγής, αριθμός ISDN, προτεραιότητα, εγγεγραμμένες υπηρεσίες) καθώς και τη νέα διεύθυνσή του στη βάση VLR, οπότε ο συνδρομητής εντοπίζεται αυτόματα όταν καλείται από συνδρομητή του σταθερού τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Η βάση VLR λειτουργεί σε περιφερειακό επίπεδο. Επίσης, υπάρχει και μία άλλη βάση δεδομένων, στην οποία καταγράφεται ο κωδικός του κινητού. Η βάση αυτή χρησιμοποιείται για την ασφάλεια και την πιστοποίηση και ονομάζεται EIR (Equipment Identity Register).

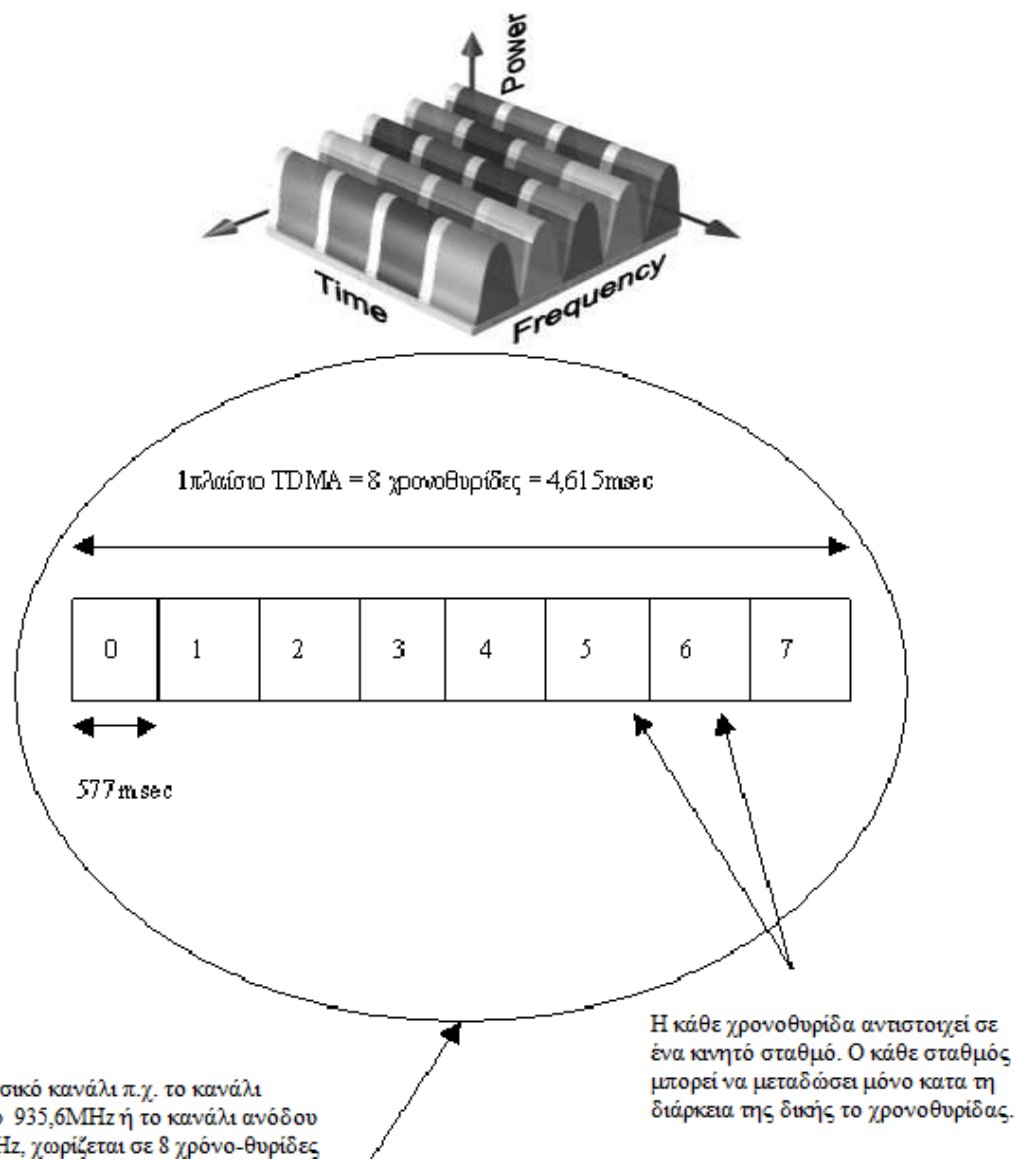
- **Το Κέντρο Πιστοποίησης (Authentication Center - AC)**

Σα καθήκοντα του Κέντρου Πιστοποίησης (Authentication Center - AC), είναι να ελέγχει και να διαχειρίζεται την πληροφορία ασφάλειας ολόκληρου του δικτύου του συστήματος. Ο συνδρομητής εισάγει τον προσωπικό του PIN αριθμό, την κάρτα χρέωσης, και κάθε φορά που ο συνδρομητής εγγράφεται για επικοινωνιακή εξυπηρέτηση, ενεργοποιείται μια διαδικασία διαλόγου υπό μορφή ανταλλαγής λογικών σημάτων μεταξύ του κέντρου AC και της SIM κάρτας, στα πλαίσια της πιστοποίησης για τη διασφάλιση του απορρήτου της επικοινωνίας. Η προαναφερθείσα ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχεται από έναν τυχαίο αριθμό, οπότε είναι δύσκολη η επανεμφάνιση του. Πρέπει να σημειωθεί ότι η βάση VLR χρησιμοποιεί τον επιλεγέντα τυχαίο αριθμό, προκειμένου να τροποποιήσει την ταυτότητα του εμπλεκόμενου συνδρομητή. Εάν ο συνδρομητής κατόπιν πραγματοποιήσει μια κλήση, τότε η κλήση κωδικοποιείται με ένα κώδικα που αλλάζει σε κάθε πραγματοποιούμενη εγγραφή και ο οποίος δεν πρέπει να μεταδίδεται από τον καταχωρηθέντα ράδιο-διάυλο. Επίσης, τόσο

το κέντρο AC όσο και η κάρτα SIM, διαχειρίζονται τον κώδικα αυτόν ανεξάρτητα από τον επιλεγέντα τυχαίο αριθμό.

2.2.2 Το Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών GSM – 900

Οι ζώνες συχνοτήτων που έχουν παραχωρεί στο σύστημα GSM 900 είναι για την άνω ζεύξη (uplink) 890-915 MHz, με ένα εύρος ζώνης 25 MHz, και για την κάτω ζεύξη (downlink) 935-960 MHz, επίσης με 25 MHz εύρος ζώνης. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε πολλές χώρες δεν χρησιμοποιείται όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Η απόσταση των φέρουσων συχνοτήτων (carrier separation) είναι 200 KHz, οπότε λαμβάνουμε ένα συνολικό αριθμό 124 φέρουσων στη ζώνη του GSM. Κάθε μία από αυτές τις φέρουσες συχνότητες χωρίζεται στο πεδίο του χρόνου, σύμφωνα με την πολυπλεξία TDMA (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Πολυπλεξία TDMA

Έτσι, ο κάθε ράδιο-δίαυλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα από 8 κινητούς συνδρομητές (δημιουργία 8 χρονοθυρίδων – time slots σε κάθε ράδιο-δίαυλο), οπότε

συνεπάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων φυσικών ράδιο-διαύλων (physical channels) είναι 992. Μεταξύ των 992 φυσικών ράδιο-διαύλων, υπάρχουν και 12 λογικοί ράδιο-διάυλοι (logical channels), οι οποίοι πολυπλέκονται και χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς (2 για κίνηση, 9 για έλεγχο σηματοδοσίας και 1 για την κατανομή του μηνύματος). Οι ράδιο-διάυλοι κίνησης (traffic channels - TCH), χρησιμοποιούνται για την αποστολή/λήψη ομιλίας και δεδομένων. Ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης χωρίζονται σε πλήρους ρυθμού (full rate) για μετάδοση με ρυθμό της τάξης των 9.6 Kbps, και σε μισού ρυθμού (half rate) για μετάδοση με 4.8 Kbps.

2.2.3 Το Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών GSM – 1800

Το ψηφιακό σύστημα GSM-1800 (το οποίο ονομαζόταν αρχικά Ψηφιακό Κυψελοειδές σύστημα DCS-1800, Digital Cellular System –1800) δεν αποτελεί ξεχωριστό πρότυπο, καθώς βασίζεται στη θεμελιώδη τεχνολογία του κυτταρικού συστήματος κινητής τηλεφωνίας GSM, ενώ έχει κάποιες τροποποιήσεις και βελτιώσεις σε σχέση με το υπάρχον GSM-900. Το σύστημα GSM-1800 είναι μικροκυτταρικής μορφής. Έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίσει υψηλή ποιότητα επικοινωνίας σε συνδρομητές που κινούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και παρέχει υψηλή χωρητικότητα από πλευράς εξυπηρέτησης χρηστών. Το κόστος της ολοκληρωμένης τεχνικής είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο, από το αντίστοιχο κόστος του GSM-900. Λαμβανομένου όμως υπόψη της υψηλής χωρητικότητας του στη πλήρη ανάπτυξη του συστήματος και με δεδομένο το προσδοκώμενο πλήθος χρηστών και το υπολογισμένο κόστος ανά συνδρομητή σε ικανό βάθος χρόνου, δίνει θετικές τάσεις απόσβεσης και κέρδους.

Μία από τις βασικές διαφορές των ανταγωνιστικών συστημάτων GSM-900 και GSM-1800, είναι η περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας, οι οποίες επηρεάζουν σε τελική φάση τα χαρακτηριστικά της αντίστοιχης ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης (ολίσθηση Doppler, χαρακτηριστικά διαλείψεων). Συγκεκριμένα, η εκπομπή σήματος από την ΚΜ προς τον ΣΒ πραγματοποιείται στο τμήμα του ράδιο-φάσματος από 1710 MHz ως 1785 MHz, ενώ η εκπομπή από ένα ΣΒ σε μια ΚΜ επιτυγχάνεται στην περιοχή από 1805 MHz ως 1880 MHz. Όπως φαίνεται, το εύρος ζώνης είναι 75 MHz και είναι τριπλάσιο από το αντίστοιχο εύρος ζώνης του συστήματος GSM, το οποίο είναι 25 MHz. Επίσης, η ελάχιστη απόσταση των διαδοχικών ράδιο-διαύλων είναι 200 KHz και υπάρχει μια απόσταση ασφαλείας εύρους 200 KHz στο κατώτερο όριο της κάθε υποζώνης.

Άλλη διαφορά είναι το μέγεθος της ισχύος εκπομπής των ΚΜ και των ΣΒ. Η ισχύς εκπομπής της ΚΜ στο GSM-1800 είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του συστήματος GSM-900, δηλαδή η μέγιστη ισχύς εκπομπής είναι: 1 W (30 dBm) και 0.25 W (24 dBm). Η διαβάθμιση των μέγιστων ισχύων εκπομπής για το GSM-900 είναι: 20 W (43 dBm), 8 W (39

dBm), 5 W (37 dBm), 2 W (33 dBm) και 0.8 W (29 dBm). Οι ΚΜ μπορούν να μειώνουν την ισχύ εξόδου των πομπών τους με βήματα των 2 dB κατόπιν εντολής του οικείου ΣΒ. Οι κατηγορίες της ισχύος εκπομπής του ΣΒ του GSDM-1800 ανήκουν στις κατώτερες κατηγορίες των ισχύων εκπομπής του συστήματος GSM-900. Συγκεκριμένα, ανάλογα με το μέγεθος του κυττάρου κάλυψης, η διαβάθμιση των μέγιστων ισχύων εκπομπής είναι: 20 W, 10 W, 5 W, και 2.5 W. Η αντίστοιχη διαβάθμιση των μέγιστων ισχύων των ΣΒ του GSM-900 είναι: 320 W, 160 W, 80 W, 40 W, 20 W, 10 W, 5 W και 2.5 W. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος εκπομπής, ώστε να επιτρέπεται μείωση αυτής από τη μέγιστη στάθμη, με 6 στάθμες των 2 dB και με ακρίβεια της τάξης του 1 dB. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει δυνατότητα «μικρορύθμισης» της κάλυψης από τον φορέα εκμετάλλευσης για τη βέλτιστη λειτουργία ολόκληρου του δικτύου.

Τα γενικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των δεκτών του συστήματος GSM-1800 περιγράφονται στη σύσταση GSM 05.05 – DCS, όπου παρέχονται τα χαρακτηριστικά της φραγής, της παρεμβολής ενδοδιαμόρφωσης και της στάθμης των παρασιτικών εκπομπών. Στην προκειμένη περίπτωση, για τους δέκτες των ΣΒ δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις στάθμες των 2 nW για την περιοχή συχνοτήτων από 9 KHz έως 1 GHz, και 20 nW για συχνότητες από 1 GHz έως 12.75 GHz. Το κατώφλι ευαισθησίας ενός δέκτη προσδιορίζεται ανάλογα με το είδος του ράδιο-διαύλου και τις τοπικές συνθήκες της ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης. Το κατώφλι αυτό για τους κινητούς δέκτες και τους δέκτες των ΣΒ του GSM-1800 είναι: -100 dBm (42 dBμV/m) και -104 dBm (38 dBμV/m) αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα κατώφλια για το GSM-900 είναι: -102 dBm (35 dBμV/m) και -104 dBm (33 dBμV/m) αντίστοιχα.

Επίσης, υπάρχουν και άλλες τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται στον τομέα της σηματοδοσίας του GSM-1800 και αναφέρονται στη σύσταση GSM 04.08 – DCS. Οι τροποποιήσεις αναφέρονται στην περιγραφή ράδιο-διαύλου σε συγκεκριμένο κύτταρο, στην περιγραφή γειτονικού κυττάρου, στην εντολή καταχώρησης ράδιο-διαύλων και σε πληροφορίες του συστήματος.

2.3 Η Εξέλιξη της Δεύτερης Γενιάς Κινητών Επικοινωνιών- Η γενιά 2.5

Όπως αναφέραμε παραπάνω, οι τεχνολογίες της 2^{ης} γενιάς σχεδιάστηκαν αρχικά για μετάδοση φωνής αλλά τελικά τους προστέθηκαν νέες δυνατότητες όσον αφορά τη μετάδοση δεδομένων. Ο όρος «γενιά 2.5» (2.5G), δηλώνει τις αρχιτεκτονικές που συμπληρώνουν την υποδομή της 2ης γενιάς, παρέχοντας νέες υπηρεσίες που απαιτούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και αυξημένη χωρητικότητα. Ουσιαστικά, οι τεχνολογίες της γενιάς 2.5 σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να επεκτείνουν τις ικανότητες των υφιστάμενων συστημάτων 2ης γενιάς, και να προετοιμάσουν τη μετάβαση στην 3η γενιά κινητών επικοινωνιών. Η γενιά 2.5 έχει

«χτιστεί» πάνω στα πρότυπα της 2ης γενιάς και παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που κυμαίνονται από 57.6 Kbps έως 171.2 Kbps. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικά πρότυπα της γενιάς αυτής.

Είναι γνωστό ότι το GSM δίκτυο βασίζεται στην τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής σε περιβάλλον του GSM είναι το πρότυπο Υψηλής Ταχύτητας Μετάδοσης Δεδομένων με Μεταγωγή Κυκλώματος (**High Speed Circuit Switched Data - HSCSD**). Το HSCSD χρησιμοποιεί για τη μετάδοση τέσσερις συνεχόμενες χρονοθυρίδες του GSM, η κάθε μία από τις οποίες είναι ικανή να υποστηρίξει ρυθμό μετάδοσης 14.4 Kbps. Έτσι το HSCSD μπορεί να μεταδώσει δεδομένα πάνω από ένα GSM δίκτυο με ρυθμό 57.6 Kbps.

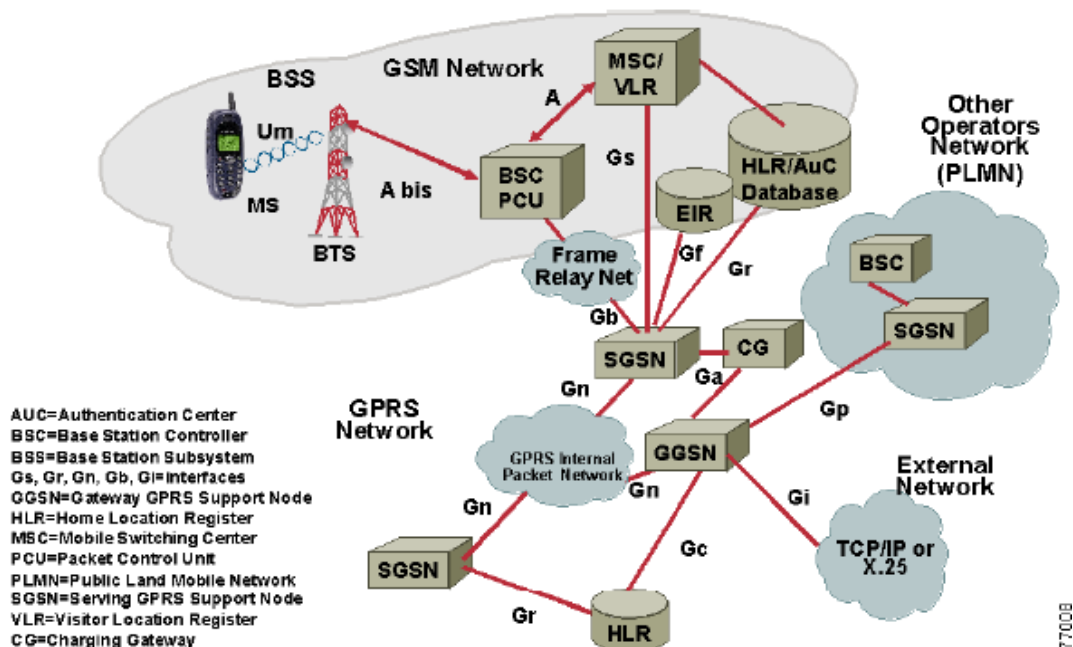
Το πρότυπο **D-AMPS IS-136B** που βασίζεται σε Πολλαπλή Πρόσβαση με Επιμερισμό Χρόνου (Time Division Multiple Access - TDMA), αποτελεί το ενδιάμεσο βήμα για το Universal Wireless Communication (UWC-136), το οποίο είναι πρότυπο της 3ης γενιάς. Σε πρώτη φάση το D-AMPS θα παρέχει ρυθμό μετάδοσης μέχρι τα 64 Kbps. Η δεύτερη φάση του προτύπου θα παρέχει μέχρι τα 115 Kbps μετάδοση σε κινητό περιβάλλον.

Ένα άλλο πρότυπο αυτής της γενιάς, είναι το Γενικό Ράδιο-Σύστημα Μεταγωγής Πακέτου (**General Packet Radio System – GPRS**) (*Σχήμα 2.4*). Στο GPRS αποτελεί το εξελικτικό μονοπάτι για το GSM και το IS-136 TDMA προς το UWC-136. Ουσιαστικά είναι μία επέκταση του GSM που χρησιμοποιεί τη μέθοδο μεταγωγής πακέτων. Όταν υλοποιείται η υπηρεσία GPRS στην αρχιτεκτονική του GSM προστίθενται δύο ακόμη τμήματα. Το SGSN (Serving GPRS Support Node) και το GGSN (Gateway GPRS Support Node). Το SGSN αντιστοιχεί με ένα MSC επίσκεψης ενώ το GGSN αντιστοιχεί στο gateway MSC στο δίκτυο μεταγωγής πακέτου. Τα νέα τμήματα επιτρέπουν άμεση πρόσβαση στα IP και X.25 δίκτυο μεταγωγής πακέτου δεδομένων. Επιπλέον απαιτούνται οι παρακάτω αναβαθμίσεις::

- Ο BSS εξοπλίζεται με μια Μονάδα Ελέγχου Πακέτων (Packet Control Unit - PCU) με στόχο να λαμβάνει και να προσαρμόζει τα πακέτα δεδομένων από και προς το SGSN
- Προστίθεται μια Μονάδα Κωδικοποίησης Καναλιού (Channel Codec Unit - CCU) στον BTS για να εκτελέσει την κωδικοποίηση των πακέτων δεδομένων
- Οι GPRS συνδρομητές δεδομένων διαχειρίζονται στο HLR

Το πλεονέκτημα της τεχνολογίας GPRS εντοπίζεται κυρίως στην αύξηση της ταχύτητας διακίνησης των δεδομένων, που από τα 9.6 Kbps του GSM φτάνει τα 115 Kbps, ταχύτητα που υπολείπεται ελαφρώς από εκείνη που παρέχουν οι ενσύρματες ISDN συνδέσεις των 128 Kbps. Το δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό του GPRS είναι η διαρκής σύνδεση του κινητού τηλεφώνου με το δίκτυο, με τη χρέωση να πραγματοποιείται μόνο όταν ο χρήστης ζητά κάποια πληροφορία. Αντίθετα, στα δίκτυα GSM αλλά και στις ενσύρματες συνδέσεις, ο χρήστης χρεώνεται με βάση το χρόνο που παραμένει συνδεδεμένος στο δίκτυο, ανεξαρτήτως

εάν το χρησιμοποιεί. Όπως αναφέραμε, το GPRS είναι μια υπηρεσία του GSM που χρησιμοποιεί μέθοδο μεταγωγής πακέτων. Αυτό σημαίνει, ότι οι πόροι του συστήματος (πχ. ράδιο-δίαυλοι) χρησιμοποιούνται μόνο όταν οι χρήστες στέλνουν ή λαμβάνουν δεδομένα. Χρησιμοποιώντας το GPRS, η πληροφορία τεμαχίζεται και τοποθετείται σε πακέτα πριν μεταδοθεί, ενώ στο δέκτη γίνεται η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή απόπακετοποιείται και συναρμολογείται η αρχική πληροφορία. Το GPRS επιτρέπει στην πληροφορία να μεταδοθεί και να ληφθεί μέσα από πολλαπλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Τυπικά, συμπληρώνει τις σημερινές υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος και τις υπηρεσίες συντόμων μηνυμάτων. Το πρώτο πράγμα που θα χρειαστεί να αλλάξει ο καταναλωτής την εποχή του GPRS είναι το κινητό του τηλέφωνο, καθώς υπάρχουν ήδη στην αγορά συσκευές που υποστηρίζουν ταχύτητες για λήψη δεδομένων από το δίκτυο προς το τηλέφωνο μεταξύ 25 Kbps και 56 Kbps. Για την αντίστροφη πορεία η ταχύτητα θα φτάνει τα 14.4 Kbps.



Σχήμα 2.4 GPRS Δίκτυο

Πάντως, το GPRS δεν είναι η μόνη εξέλιξη από όσες θα προηγηθούν των συστημάτων 3^{ης} γενιάς. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα συστήματα Αυξημένου Ρυθμού Μετάδοσης Δεδομένων για Παγκόσμια Εξέλιξη (*Enhanced Data rates for Global Evolution – EDGE*). Τα συστήματα EDGE χρησιμοποιούν ένα νέο τρόπο διαμόρφωσης, πιο συγκεκριμένα μια τροποποιημένη διαμόρφωση φάσης 8PSK και επιτυγχάνουν ταχύτητες μεγαλύτερες του GPRS, της τάξης των 384 Kbps. Ένα από τα χαρακτηριστικά του EDGE είναι ότι χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή του GSM δικτύου για να παρέχει μερικές υπηρεσίες 3^{ης}

γενιάς, όπως είναι η ταχύτατη μετάδοση δεδομένων των 384 Kbps. Συγκεκριμένα, υπάρχει η δυνατότητα της εύκολης και γρήγορης αναβάθμισης των σταθμών βάσης του GSM. Στο EDGE είναι μια τεχνολογία που θα μπορούσε να καλύψει το κενό μεταξύ της 2^{ης} και της 3^{ης} γενιάς.

2.4 Συστήματα Τρίτης Γενιάς 3G

Τα κυτταρικά συστήματα της τρίτης γενιάς (3G) λειτουργούν από το έτος 2000 και εξυπηρετούν την ποιοτική μεταφορά φωνής και δεδομένων. Τα προτεινόμενα συστήματα για την 3^η γενιά, προσπαθούν να ξεπεράσουν τους τεχνικούς περιορισμούς των προηγούμενων τεχνολογιών και οτιδήποτε εμπόδιζε την ανάπτυξη υπηρεσιών, όπως το ασύρματο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail), η αναζήτηση στο διαδίκτυο κλπ. Επίσης, κάνουν εφικτή την εφαρμογή υπηρεσιών όπως η τηλεδιάσκεψη, το ηλεκτρονικό εμπόριο και τα πολυμέσα. Η 3^η γενιά δεν αποτελεί μια τεχνολογία ή ένα πρότυπο, αλλά ένα γενικό όρο που περιγράφει μια ποικιλία μεθόδων, που φέρνουν υπηρεσίες διαδικτύου μεγάλης ταχύτητας στα κυτταρικά δίκτυα τηλεφωνίας. Η διαχρονική εξέλιξη των συστημάτων 3^{ης} γενιάς θα οδηγήσει σε μετάδοση των δεδομένων με ρυθμούς της τάξης των 155 Mbps.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών, είναι ότι βασίζονται σε μικρό-κυτταρική (micro-cellular) και πίκo-κυτταρική (pico-cellular) δομή. Μάλιστα, τα συστήματα θα χρησιμοποιούν πολλούς τύπους κυττάρων, ανάλογα με τη στιγμιαία τους θέση. Η σύνδεση τους είναι δύο επιπέδων στις περισσότερες περιοχές (πχ. ενικές οδοί, πυκνοκατοικημένες περιοχές κλπ.), αλλά και τριών επιπέδων (πχ. εντός κτιρίων). Οι κατηγορίες των κυττάρων που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι παρακάτω:

- **Κύτταρα μεγίστης κάλυψης (overlay cells)**

Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης, η οποία φτάνει μέχρι μερικές εκατοντάδες Km και χρησιμοποιούνται στη δορυφορική κινητή τηλεφωνία, προκειμένου να καλυφτούν επικοινωνιακά οι κινητές μονάδες που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές

- **Υπερκύτταρα (hyper cells)**

Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης μεγαλύτερη από 20 Km και χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων, οι οποίες βρίσκονται εντός επαρχιακών περιοχών.

- **Μακροκύτταρα (macro cells)**

Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης η οποία έχει ελάχιστη τιμή 1 Km και μέγιστη τιμή 20 Km. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων που κινούνται σε οδούς εκτός πόλεων, καθώς και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

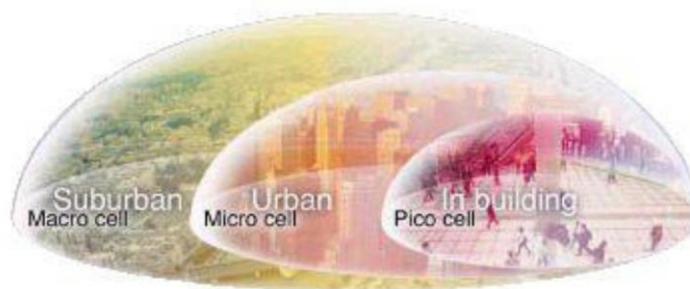
- **Μικροκύτταρα (micro cells)**

Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης με ελάχιστη τιμή 100 m και μέγιστη τιμή 1 Km. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών των κινητών μονάδων που βρίσκονται και κινούνται στις κεντρικές περιοχές των πόλεων.

- **Πικοκύτταρα (pico cells)**

Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης μικρότερη από 100 m. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών των χρηστών με φορητές μονάδες οι οποίοι κινούνται γενικά εντός κτιρίων (πχ. γραφεία, κατοικίες, κλπ.) και ειδικότερα αυτών που βρίσκονται εντός λεωφορείων, τρένων, πλοίων και αεροπλάνων.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η ραδιοκάλυψη ορισμένων από τα χρησιμοποιούμενα κύτταρα.

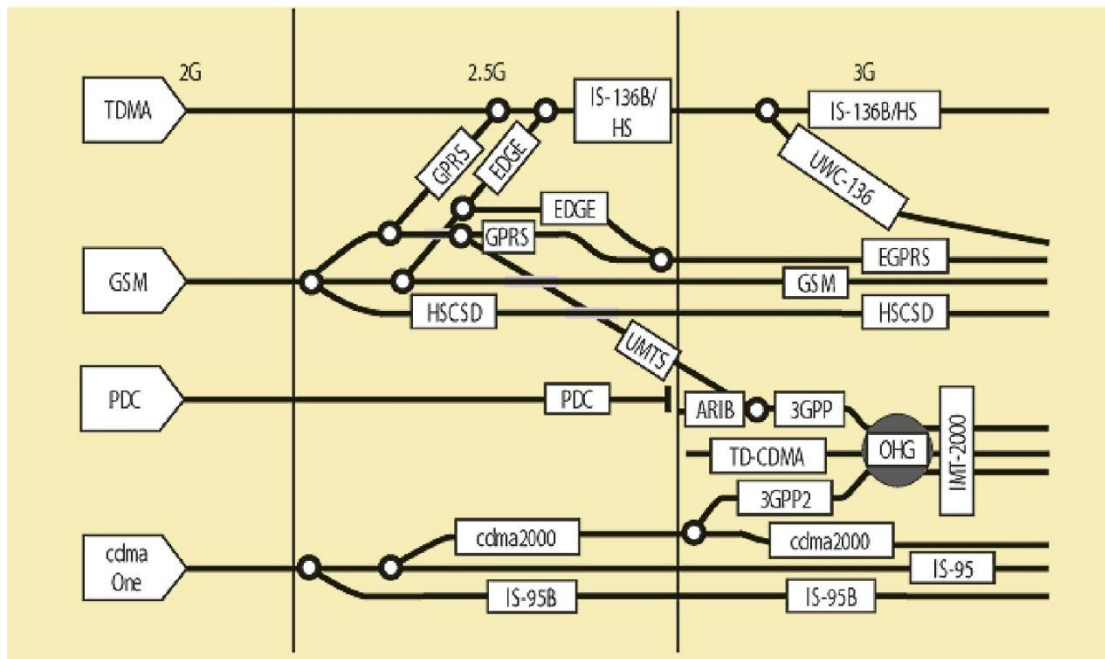


Σχήμα 2.5 Macro, Micro και Pico cells

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU), πρότεινε ένα σύνολο από στόχους που πρέπει να πληροί ένα ασύρματο σύστημα 3^{ης} γενιάς, οι οποίοι ονομάζονται Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες για το έτος 2000 (International Mobile Telecommunications - IMT-2000). Οι κυριότερες απαιτήσεις για όλα τα είδη των τεχνολογιών που πρέπει να πληρούνται από συστήματα 3^{ης} γενιάς είναι οι παρακάτω:

- Ποιότητα φωνής συγκρίσιμη με αυτή του δημόσιου επιλογικού δικτύου (PSTN).
- Ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 144 Kbps για χρήστες σε ταχέως κινούμενα οχήματα σε μεγάλες περιοχές κάλυψης.
- Ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 384 Kbps για πεζούς, είτε ακίνητους, είτε αργά κινούμενους σε μικρές περιοχές κάλυψης.
- Ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μέχρι τα 2.048 Mbps για χρήση μέσα σε γραφεία.
- Υποστήριξη υπηρεσιών μεταγωγής πακέτου και μεταγωγής κυκλώματος.
- Προσαρμογή της ασύρματης διασύνδεσης σύμφωνα με την ασύμμετρη φύση των πληροφοριών που μεταδίδονται από το Internet, μεγαλύτερο εύρος ζώνης για την κάτω ζεύξη (downlink) από ότι για την άνω ζεύξη (uplink).
- Πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου ράδιο-φάσματος.
- Υποστήριξη μεγάλης ποικιλίας κινητού εξοπλισμού.

- Ευέλικτη εισαγωγή νέων υπηρεσιών και τεχνολογιών.

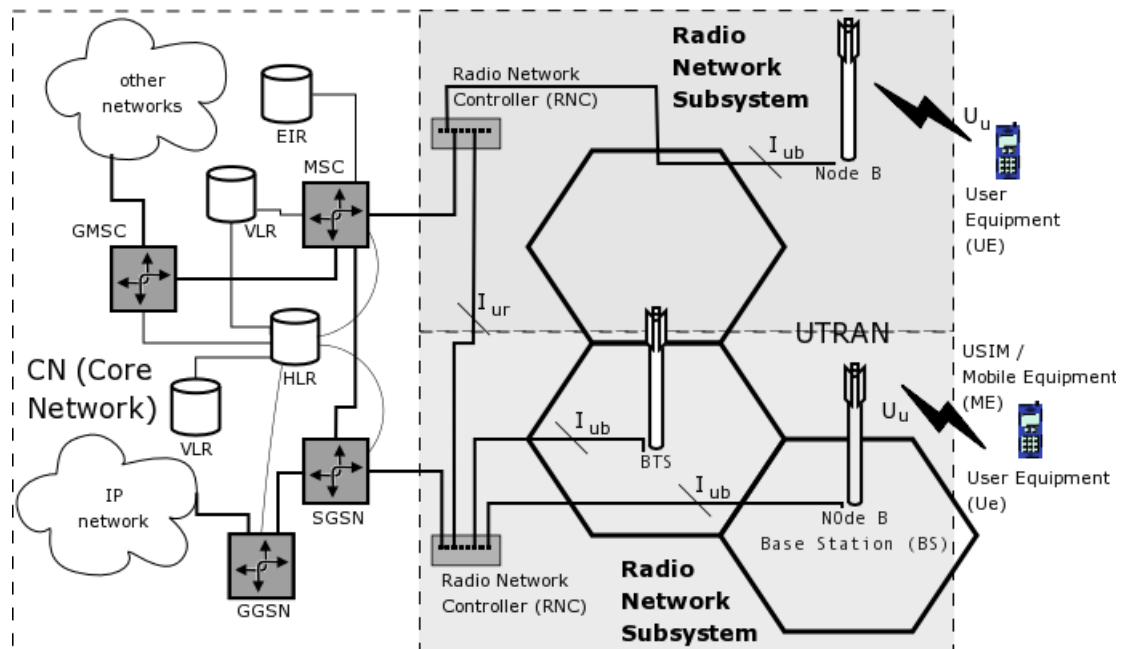


Σχήμα 2.6 Η εξέλιξη προς τα 3G δίκτυα

Η μετάβαση από τη 2^η γενιά στην 3^η, έφερε περισσότερη εξέλιξη στις τεχνολογίες σε σχέση με τις δύο προηγούμενες γενιές. Η μετάβαση αυτή, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2.6**, ξεκινάει από πολλές παράλληλες διαδρομές της 2^{ης} γενιάς που απεικονίζουν τις είδη αναπτυγμένες τεχνολογίες.

Μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν στα συστήματα 3^{ης} γενιάς είναι η Ευρείας Ζώνης Πολλαπλή Πρόσβαση με Επιμερισμό Κώδικα (**Wideband Code Division Multiple Access – WCDMA**). Έχει σχεδιαστεί για να παραδίδει υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων και ιδιαίτερα πακέτα δεδομένων βασισμένα στο Internet. Φτάνει ένα ρυθμό μετάδοσης μέχρι 2 Mbps σε περιβάλλον γραφείου και μέχρι τα 384 Kbps σε κινητό περιβάλλον. Υποστηρίζει επικοινωνίες, είτε με μέθοδο μεταγωγής πακέτου, είτε με μεταγωγή κυκλώματος, όπως πρόσβαση στο Internet και στις ενσύρματες τηλεφωνικές υπηρεσίες. Η WCDMA κάνει αποτελεσματική χρήση του ράδιο-φάσματος και δεν χρειάζεται ανάθεση συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα και κάλυψη σε σχέση με τις τωρινές διασυνδέσεις. Είναι επίσης συμβατό με τις τεχνολογίες της 2^{ης} γενιάς. Χρησιμοποιεί τη δομή (σηματοδοσία) του πρωτοκόλλου δικτύου παρόμοια με αυτή του GSM. Έτσι, η τεχνολογία GSM μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε WCDMA τεχνολογία 3ης γενιάς σύμφωνα με την υλοποίηση EDGE. Ο συνδυασμός του WCDMA με τις εξελίξεις του GSM όσον αφορά το κεντρικό δίκτυο, ονομάζεται UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) και στο WCDMA βασίζεται και το πρότυπο UMTS το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω (**Σχήμα 2.7**).

Επιπλέον αναπτύχθηκε και ένα ακόμα πρότυπο με βάση το CDMA, το οποίο ονομάζεται **CDMA-2000**. Το πρότυπο αυτό αποτελεί εξέλιξη του CDMA One της 2^{ης} γενιάς. Υποστηρίζει ένα πλήθος από συχνότητες καναλιών, οι οποίες είναι: 1.25, 3.75, 7.5, 11.25, και 15 MHz. Έτσι μπορεί να εξυπηρετεί ένα πλήθος από ρυθμούς δεδομένων καθώς επίσης και μεγάλο αριθμό χρηστών. Προσφέρει στους διαχειριστές δικτύων 2^{ης} γενιάς με CDMA One συστήματα, ένα ομαλό μονοπάτι μετάβασης που να κάνει εφικτή οικονομικά την αναβάθμιση σε υπηρεσίες 3^{ης} γενιάς μέσα στην ίδια κατανομή ράδιο-φάσματος. Στο CDMA-2000 έχει χωριστεί σε δύο φάσεις. Οι δυνατότητες της πρώτης φάσης καθορίζονται με το πρότυπο 1X, και μεταδίδουν με ταχύτητες 144 Kbps πακέτα δεδομένων. Η δεύτερη φάση είναι γνωστή με το πρότυπο 3X και ενσωματώνει τις δυνατότητες του 1X. Επιπλέον, υποστηρίζει όλα τα μεγέθη καναλιών και παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι τα 2 Mbps. Τέλος, ενσωματώνει αναβαθμισμένες δυνατότητες πολυμέσων.



Σχήμα 2.7 Η αρχιτεκτονική του UMTS

Υπάρχουν και πρότυπα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο Πολλαπλής Πρόσβασης με Επιμερισμό Χρόνου (TDMA). Ένα από αυτά είναι το **TD-CDMA**, το οποίο ουσιαστικά πρόκειται για συνδυασμό των μεθόδων TDMA και CDMA στο ίδιο σύστημα. Αυτή η προσέγγιση διατηρεί κάποιες από τις λειτουργικές παραμέτρους του GSM-TDMA, όπως τη δομή του πλαισίου και των χρονοθυρίδων. Την ίδια στιγμή, η CDMA τεχνολογία προσθέτει καλύτερο μέσο όρο παρεμβολών και ποικιλία συχνοτήτων. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων συνενώνει την αποτελεσματικότητα του ράδιο-φάσματος από το CDMA και τις αρχές σχεδιασμού και τα εύκολα κατανοητά χαρακτηριστικά του GSM δικτύου, το οποίο βασίζεται σε TDMA.

Επιπροσθέτως, υπάρχει και ένα πρότυπο που είναι ένα από τα λίγα αυθεντικά TDMA πρότυπα, χωρίς καθόλου στοιχεία από το CDMA. Αυτό το πρότυπο ονομάζεται **UWC-136**. Αποτελεί τον εξελικτικό δρόμο για το σύστημα Advanced Mobile Phone System (AMPS) και για τις τεχνολογίες 2^{ης} γενιάς TIA/EIA-136, που σχεδιάστηκαν ειδικά για να είναι συμβατές με το AMPS. Το πρότυπο UWC-136 είναι πολύ σημαντικό, αν σκεφτούμε ότι το AMPS το χρησιμοποιούν οι περισσότερες συσκευές στον κόσμο σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο δίκτυο, εκτός από το GSM. Στις αρχές του 1999, η Παγκόσμια Συνεργασία Ασυρμάτων Επικοινωνιών (Universal Wireless Communications Consortium - **UWCC**) ανακοίνωσε ένα πλαίσιο σύγκλησης με το GSM. Αυτή η ανακοίνωση προώθησε την ικανότητα της τεχνολογίας ασύρματης μετάδοσης UWC-136, η οποία προτείνει μια χαμηλού κόστους εξέλιξη και ανάπτυξη για τους διαχειριστές συστημάτων AMPS και TIA/EIA-136. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε σε μια αρκετά μεγάλη μπάντα συχνοτήτων, από 500 MHz έως 2.5 GHz. Οι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων για τα συστήματα UWC-136 κυμαίνονται από τα 48.6 Kbps έως τα 5.2 Mbps.

Με τα συστήματα της 3^{ης} γενιάς, δημιουργείται ένα πλήθος από νέες υπηρεσίες που επιτρέπουν την επικοινωνία, τη μετάδοση πληροφοριών και την ψυχαγωγία μεταξύ των τερματικών, οπουδήποτε και αν βρίσκονται οι χρήστες. Είναι χαρακτηριστικό, ότι οι νέες προσωπικές επικοινωνιακές συσκευές είναι συνδυασμός της μονάδας του φορητού υπολογιστή και του κυτταρικού φορητού τηλεφώνου. Η υβριδική αυτή συσκευή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη για αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων, τήλε-ομοιοτυπία, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τήλε-ειδοποίηση, μετάδοση φωνής, καθώς επίσης δυνατότητες οργάνωσης και διαχείρισης της πληροφορίας.

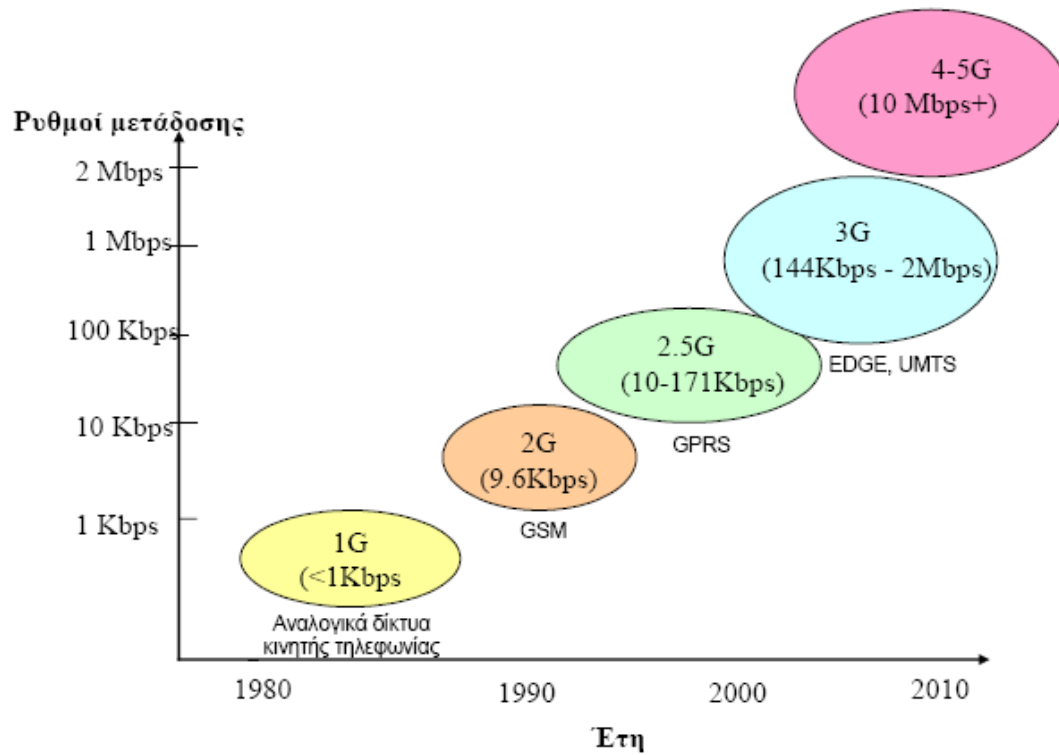
2.4.1 Η Γενιά 3,5

Με τον όρο «γενιά 3,5» αναφερόμαστε στη νέα γενιά κινητών δικτύων τα οποία εκτός από την τεχνολογία WCDMA έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA).

Η HSDPA αποτελεί μία νέα τεχνολογία η οποία σχεδιάστηκε προκειμένου να αυξήσει τη χωρητικότητα της κατερχόμενης ζεύξης για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Το γεγονός αυτό θεωρήθηκε απαραίτητο καθώς, στην πράξη, οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς αποδείχθηκαν χαμηλοί για multimedia εφαρμογές. Ιδιαίτερα στην περίπτωση που θα υπήρχαν πολλοί χρήστες στην ίδια κυψέλη που θα εκκινούσαν τέτοιες εφαρμογές, η απόδοση του δικτύου σε αυτήν την κυψέλη μειωνόταν δραστικά.

Η βασική ιδέα του HSDPA είναι η προσθήκη ενός νέου τύπου ευρυζωνικού καναλιού, του High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH), στο οποίο έχουν ενσωματωθεί διάφορες

τεχνικές που αποσκοπούν στη βελτιστοποίησή των δυνατοτήτων του όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης. Δεν είναι ωστόσο κατάλληλο για όλες τις εφαρμογές (π.χ. εφαρμογές πραγματικού χρόνου).



Σχήμα 2.8 Εξέλιξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Κεφάλαιο 3

Επαγγελματικά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών

3.1 Εισαγωγή

Τα επαγγελματικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών, γνωστά και ως PRM (Private Mobile Radio- Ιδιωτικά Ραδιοδίκτυα) ή Ειδικά Ραδιοδίκτυα ήταν αναλογικής τεχνολογίας. Όμως τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν τεχνολογίες ψηφιακών ραδιοδικτύων, που σκοπό έχουν να ξεπεράσουν τα προβλήματα της αναλογικής τεχνολογίας, καθώς και να βελτιώσουν τις παρεχόμενες τεχνολογίες προς τους τελικούς χρήστες.

3.2 Ειδικά Ραδιοδίκτυα Αναλογικής Τεχνολογίας

3.2.1 Ορισμός – Νομικό πλαίσιο Ειδικών Ραδιοδικτύων PRM

Ο όρος "ειδικά ραδιοδίκτυα χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα ραδιοδίκτυα της κινητής υπηρεσίας ξηράς, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αναγκών επικοινωνίας διάφορων επαγγελματιών χρηστών, όπως ραδιοταξί, εταιρίες μεταφορών κλπ αλλά και υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης(EKAB, Πυροσβεστική, κ.α.) καθώς και τα σώματα ασφαλείας και ο στρατός.

Τα δίκτυα αυτά δεν προορίζονται για παροχή δημόσιων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών – άλλωστε για αυτό το λόγο απαγορεύεται και η εμπορική εκμετάλευσή τους- αλλά για ίδια χρήση, από τους κατόχους της σχετικής άδειας και είναι προφανές ότι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο.

Το νομικό πλαίσιο που καθορίζει την αδειοδότηση των ειδικών ραδιοδικτύων τίθεται από το Ν.1244/1972 και ισχύει μέχρι σήμερα. Παλιότερα οι άδειες εκχωρούνταν από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, από 1-1-2001 η αρμοδιότητα αυτή έχει μεταφερθεί στην ΕΕΤΤ.

3.2.2 Μειονεκτήματα των Αναλογικών Ειδικών Ραδιοδικτύων

Τα ειδικά ραδιοδίκτυα αποτελούν μια απλή λύση που καλύπτει τις ανάγκες αρκετών χρηστών, όμως έχουν πολλά μειονεκτήματα και παρουσιάζουν πολλούς περιορισμούς, όπως:

- **Υψηλό κόστος**

Για την λειτουργία ενός ειδικού ραδιοδικτύου, είναι προφανές ότι ο χρήστης θα πρέπει να επιβαρυνθεί όχι μόνο με την αγορά του τερματικού εξοπλισμού αλλά και των σταθμών βάσης του δικτύου, καθώς και με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του ιστού και της κεραίας.

- **Περιορισμένη κάλυψη**

Είναι γεγονός, ότι η συντριπτική πλειοψηφία των λειτουργούντων ειδικών ραδιοδικτύων αποτελούνται από ένα σταθμό βάσης και κάποιο αριθμό κινητών σταθμών. Το σχήμα αυτό, το οποίο ασφαλώς περιορίζει τη γεωγραφική έκταση του δικτύου στην εμβέλεια κάλυψης του σταθμού βάσης, έχει επικρατήσει λόγω της αντικειμενικής δυσκολίας, για δημιουργία ενός δικτύου με περισσότερους του ενός σταθμούς βάσης. Η δυσκολία αυτή συνίσταται κυρίως, στην δυσχέρεια εξεύρεσης κατάλληλων θέσεων για την εγκατάσταση των αναμεταδοτών, στο σχετικά υψηλό κόστος προμήθειας κι εγκατάστασης των σταθμών, αλλά και στην πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί, προκειμένου να εκδοθούν όλες οι απαραίτητες διοικητικές άδειες, για την εγκατάσταση και λειτουργία ενός αριθμού σταθμών ραδιοεπικοινωνιών σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας. Αποτέλεσμα αυτών των περιορισμών, είναι η δυσκολία των αναλογικών ειδικών ραδιοδικτύων να καλύψουν τις ανάγκες των χρηστών που κινούνται σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές όπως είναι π.χ. οι εθνικές μεταφορικές εταιρίες.

- **Περιορισμός στη χρήση**

Οι ραδιοσυχνότητες αποτελούν ένα πολύτιμο σπάνιο πόρο, τον οποίο όμως τα αναλογικής τεχνολογίας ειδικά ραδιοδίκτυα δεν χρησιμοποιούν αποτελεσματικά. Για το λόγο αυτό και λόγω της δυσκολίας εξεύρεσης διαθέσιμων συχνοτήτων, η κείμενη νομοθεσία προβλέπει ένα περιορισμένο αριθμό δικαιούχων, οι οποίοι έχουν δικαίωμα να αποκτήσουν άδεια ειδικού ραδιοδικτύου. Παρά το ότι αυτός ο περιορισμός είναι απολύτως αναγκαίος, αναπόφευκτα αποκλείει κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις χρηστών. Επιπλέον, έχουν τεθεί συγκεκριμένοι περιορισμοί στην χρήση των δικτύων αυτών, όπως είναι η απαγόρευση επικοινωνίας ανάμεσα σε κινητούς σταθμούς, περιορισμοί που βεβαίως δεν υπάρχουν σε δημόσιας πρόσβασης κινητά ραδιοδίκτυα.

- **Κοινή χρήση ραδιοσυχνοτήτων**

Λόγου του ιδιαίτερου περιορισμού στις διαθέσιμες συχνότητες για την λειτουργία των ειδικών ραδιοδικτύων, γίνεται κοινή χρήση των προς διάθεση ραδιοσυχνοτήτων από διαφορετικά δίκτυα, κάτι που βεβαίως επηρεάζει δυσμενώς την ποιότητα της επικοινωνίας, ιδίως στα χρονικά διαστήματα που παρατηρείται αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Επιπρόσθετα, το τηλεπικοινωνιακό κανάλι χρησιμοποιείται από όλους τους χρήστες στα ραδιοδίκτυα που χρησιμοποιούν την ίδια ραδιοσυχνότητα, με αποτέλεσμα τυχόν κακόβουλη χρήση του ραδιοηλεκτρικού από κάποιο χρήστη, να επηρεάζει αρνητικά την επικοινωνία των υπόλοιπων χρηστών.

- **Αναποτελεσματική χρήση ραδιοσυχνοτήτων**

Η αναλογική τεχνολογία στην οποία βασίζονται τα ειδικά ραδιοδίκτυα έχει αποδειχτεί ότι δεν εκμεταλλεύεται επαρκώς το φάσμα σε σχέση με τις αντίστοιχες ψηφιακές τεχνολογίες. Οι προαναφερόμενοι περιορισμοί και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ραδιοδίκτυα αναλογικής τεχνολογίας, δημιούργησαν την ανάγκη για δίκτυα ψηφιακών τεχνολογιών, όπως είναι εκείνα που αναφέρονται στην επόμενη παράγραφο.

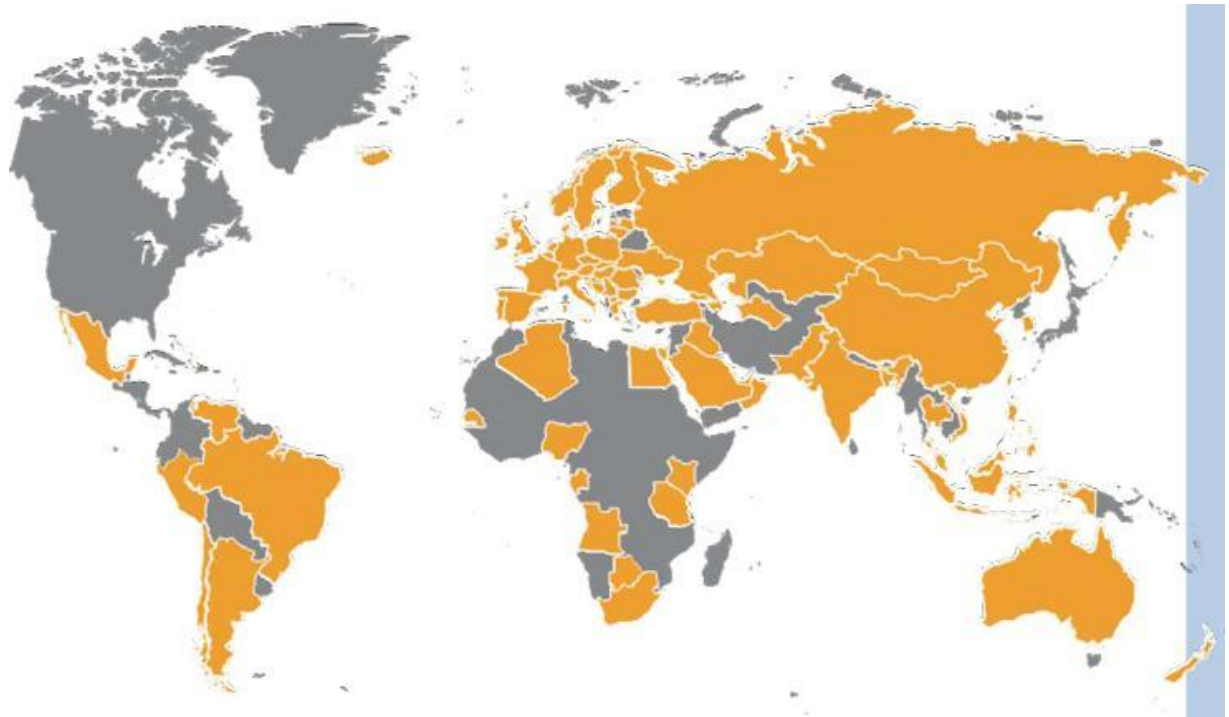
3.3 Τυποποιήσεις και Τεχνολογία Ψηφιακών Κινητών Επικοινωνιών

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών ψηφιακών κινητών επικοινωνιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές Ιδιωτικών Ραδιοδικτύων PRM (Private Mobile Radio) και Ραδιοδικτύων Δημόσιας Πρόσβασης PAMR (Public Access Mobile Radio). Μερικές ευρύτερα γνωστές τεχνολογίες που εξυπηρετούν τις παραπάνω εφαρμογές είναι το: TETRA, APCO 25, TETRAPOL ΚΑΙ iDEN.

Το Terrestrial Trunked Radio (TETRA) είναι ένα σχετικά πρόσφατο, ανοικτό, ασύρματο ψηφιακό συνκαναλικό (trunked) σύστημα, το οποίο έχει προτυποποιηθεί από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακής Τυποποίησης (ETSI). Η συνκαναλική αρχιτεκτονική του, επιτρέπει σε δεδομένο αριθμό ραδιοσυχνοτήτων, να κατανεμηθούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις των χρηστών. Το TETRA σχεδιάστηκε από το ETSI για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των επαγγελματιών χρηστών που ζητούν υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και δυνατότητες που δεν είναι διαθέσιμες από τα αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Η συγκεκριμένη τυποποίηση έχει σχεδιαστεί τόσο για Ιδιωτικά (PRM) όσο και για Δημόσιας Πρόσβασης Ραδιοδίκτυα (PAMR). Το πρότυπο κεφαλαιοποιεί την εμπειρία και τις τεχνικές που αναπτύχθηκαν στην εξέλιξη των προηγούμενων συνκαναλικών ραδιοσυστημάτων και την επιτυχή ανάπτυξη του προτύπου GSM. Η ανάπτυξη του προτύπου TETRA ξεκίνησε το 1990 και τα πρώτα πρότυπα παρουσιάστηκαν το 1995. Εκτός από το ETSI, όπου το πρότυπο TETRA έχει οριστεί, σημαντικές ομάδες χρηστών, τηλεπικοινωνιακές εταιρίες παροχής υπηρεσιών, κατασκευάστριες εταιρίες, ρυθμιστικές αρχές έχουν υπογράψει το μνημόνιο συνεργασίας TETRA (MoU). Το μνημόνιο συνεργασίας, αποτελεί κοινή προσπάθεια για την υποστήριξη και προώθηση της υλοποίησης συστημάτων TETRA στην Ευρώπη. Στα επόμενα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα γίνει εκτενέστερη και λεπτομερέστατη αναφορά στο πρότυπο TETRA.

Το APCO-25 είναι ένα ψηφιακό συνκαναλικό σύστημα, που έχει προτυποποιηθεί στην Αμερική. Βασίζεται στη μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης με πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας FDMA, χρησιμοποιώντας εύρος καναλιού 12,5KHz. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι 9,6 kbps. Είναι πιθανό μελλοντικά, ότι το πρότυπο APCO 35 –που είναι η εξέλιξη του APCO-25 – θα

χρησιμοποιήσει την εξέλιξη που συντελέστηκε στο ETSI κατά την ανάπτυξη του πρότυπου TETRA, για την παροχή ευρείας ζώνης κινητών επικοινωνιών δεδομένων.



Σχήμα 3.1 Το TETRA παγκοσμίως

Το TETRAPOL είναι η τεχνολογία PRM/PAMR που προτείνεται από την Γαλλική κατασκευαστική εταιρεία Matra. Βασίζεται και αυτό στην μέθοδο FDMA. Τα συστήματα TETRAPOL μπορούν να λειτουργούν σε ραδιοσυχνότητες που κυμαίνονται από 70 MHz μέχρι 520 MHz. Η διαυλοποίηση των καναλιών είναι στα 12,5 ή 10 KHz, με δυνατότητα επέκτασης και στα 6,25 KHz. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται είναι GMSK. Υπάρχουν δύο ειδών ραδιοεπαφές. Η πρώτη έχει σχεδιαστεί για συχνότητες χαμηλότερες των 150 MHz. Το σύστημα TETRAPOL, όπως μέχρι σήμερα έχει διαμορφωθεί, υποστηρίζει ένα εύρος ζώνης 5 MHz που αντιστοιχεί σε 500 κανάλια των 10 KHz ή 400 κανάλια των 12,5 KHz. Η διαφορά συχνότητας μεταξύ ανοδικής και καθοδικής ζεύξης του ίδιου καναλιού είναι σταθερή. Η προτεινόμενη τιμή για τα UHF είναι 10 MHz.

Πειραματικά δίκτυα Tetrapol ξεκινούν από το 1992, ενώ σε εθνικό επίπεδο τα δίκτυα Tetrapol ξεκινούν από το 1994. Επίσης δίκτυα Tetrapol ευρείας ζώνης είναι ήδη σε εφαρμογή: για παράδειγμα, το 1999, ένα δίκτυο Tetrapol για τις Γαλλικές δυνάμεις ασφαλείας καλύπτει ήδη το 70% της Γαλλίας.

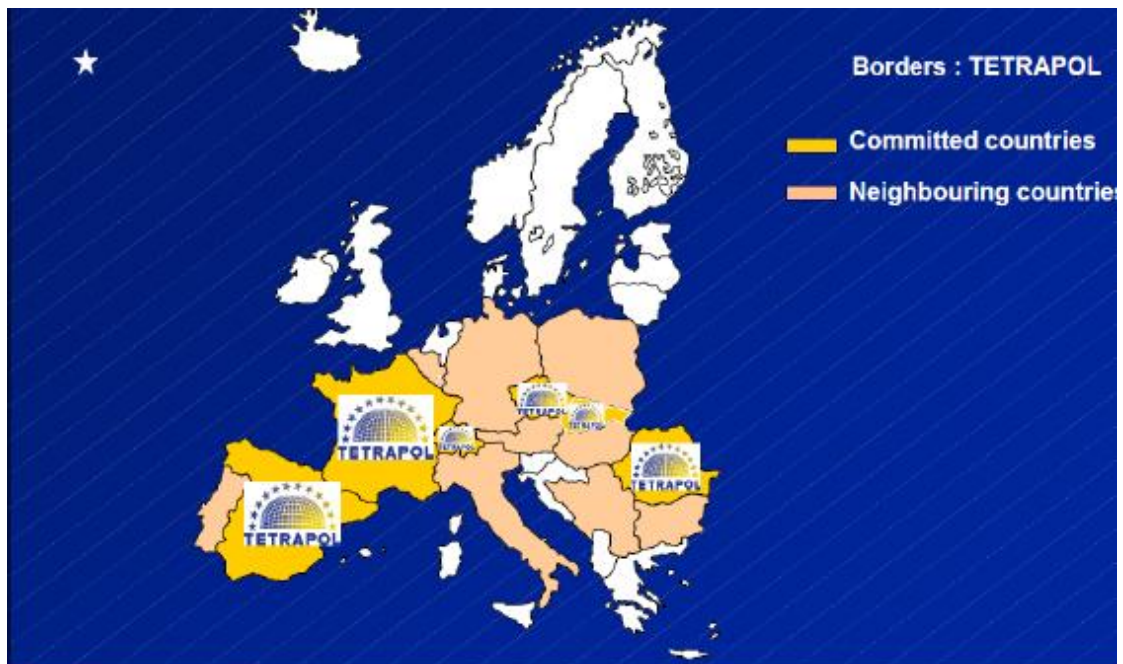
Η τεχνολογία Tetrapol απέδειξε επιτυχώς τις αποδόσεις της κατά τη διάρκεια μεγάλων γεγονότων (επίσκεψη του Πάπα το 1999, Μουντιάλ Γαλλίας το 1998, σύνοδος κορυφής G8 στη Λυών) όπου η ράδιο-κυκλοφορία έφτασε σε ασυνήθιστες αιχμές. Επίσης η τεχνολογία

Tetrapol εξετάστηκε επιτυχώς - και χρησιμοποιείται - σε περιβάλλον που θεωρείται ως δύσκολο για τη ράδιο-διάδοση (αστικό περιβάλλον, λοφώδης έκταση, βουνά, σήραγγες).

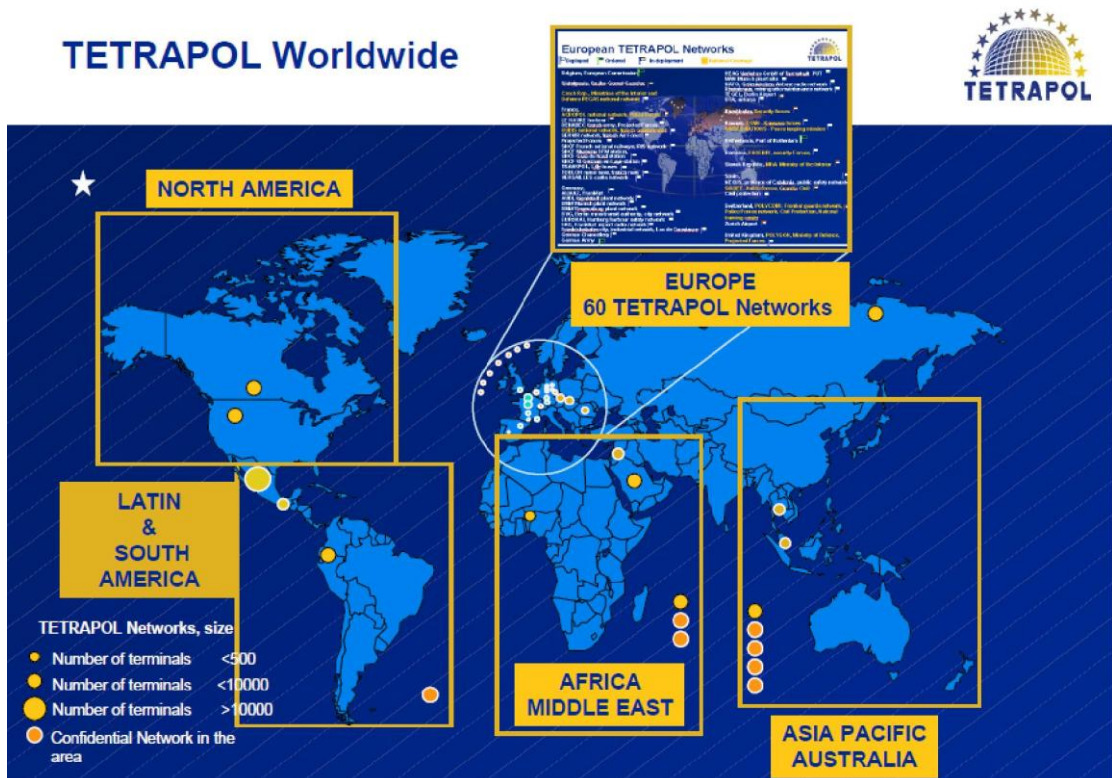
Το Tetrapol είναι η μόνη τεχνολογία που έχει επικυρωθεί λεπτομερώς και μάλιστα προστατεύει τους χρήστες από πολλά προβλήματα, έμπειρα πάντα και με νέα προϊόντα και τεχνολογίες. Μια πλήρης σειρά προϊόντων Tetrapol είναι διαθέσιμη και ευρέως αποδεδειγμένη (κινητά, φορητά, επαναλήπτες, διακόπτες, επαναλήπτες αμεσότροπης λειτουργίας, βασικά διαχειριστικά κέντρα, δωμάτια έλεγχου, κλπ). Όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που είναι ουσιαστικά στις δημόσιες δυνάμεις ασφάλειας είναι διαθέσιμα (παραδείγματος χάριν η κρυπτογράφηση διεπαφών αέρα, η διατερματική end-to-end κρυπτογράφηση, η αμεσότροπη λειτουργία, αμεσότροπη λειτουργία επαναλήπτικού τρόπου, αμεσότροπης λειτουργία με διπλό ρολόι, κρυπτογραφημένη αμεσότροπη λειτουργία, ασφαλής μετάδοση δεδομένων, πολυεκπομπή (simulcast), ανοικτό κανάλι πολλών θέσεων, κλήση έκτακτης ανάγκης, κλπ). Μια νέα γενιά προϊόντων Tetrapol σήμερα προσφέρεται, και βασίζεται στην εμπειρία από τα αρκετά αν όχι πολλά έτη λειτουργίας. Μόνο το Tetrapol είναι σε θέση να προσφέρει τώρα μια πλήρη και αποδεδειγμένη σειρά προϊόντων.

Περισσότερα από 70.000 τερματικά έχουν σταλεί για να χρησιμοποιηθούν από περισσότερους από 150.000 χρήστες. Τα σε εθνικό επίπεδο δίκτυα Tetrapol είναι σε υπηρεσία και όλα μαζί παρέχουν κάλυψη που προσεγγίζει την τάξη των 500.000 km². Η μεγάλη εγκατεστημένη βάση Tetrapol και η καθημερινή λειτουργία της, σε μεγάλη κλίμακα, είναι πλέον μια πραγματικότητα.

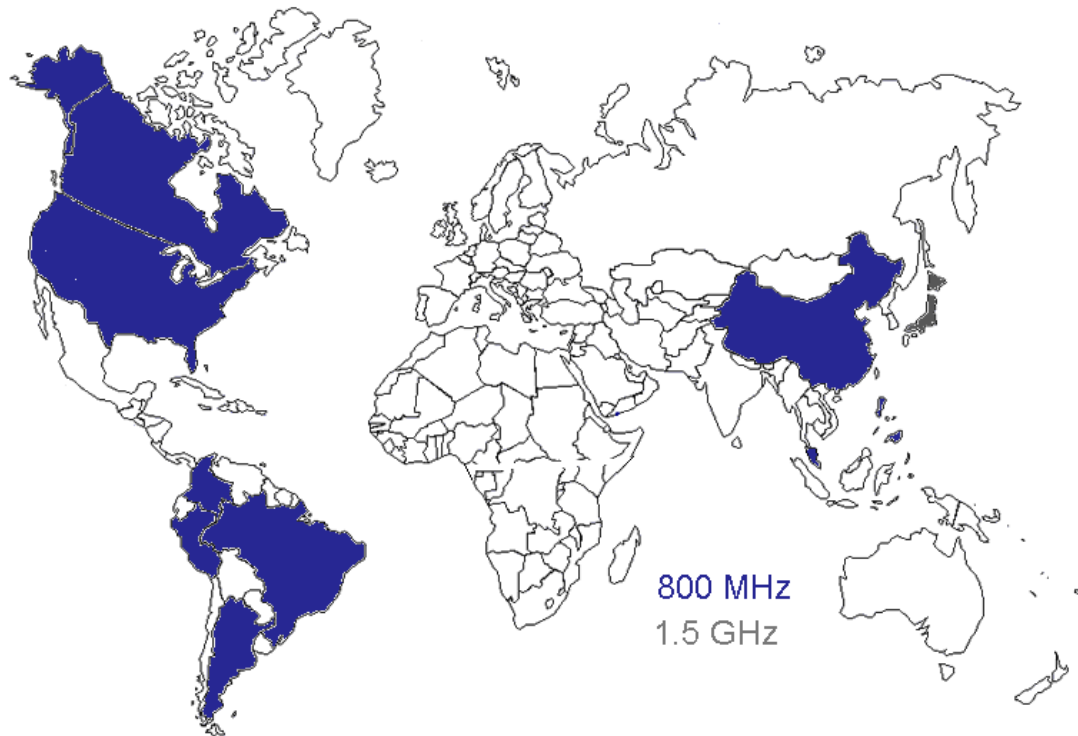
Τέλος όπως με κάθε πρότυπο των τηλεπικοινωνιών ή της βιομηχανίας των υπολογιστών, έτσι και για το Tetrapol νέες εκδόσεις θα κυκλοφορήσουν στα επόμενα έτη. Οι σταθερές εξελίξεις είναι απαραίτητες για να σιγουρευτούμε ότι οι πελάτες Tetrapol παίρνουν πάντα το καλύτερο από τις πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις. Οι IP υποδομές είναι ένα καλό παράδειγμα της σύγχρονης τάσης για όλα τα ασύρματα συστήματα, μια τάση που έχει επιπτώσεις και στο σύστημα Tetrapol, προς όφελος βέβαια των πελατών του. Οι εξελίξεις μπορούν επίσης και είναι απαραίτητες, για να απεικονίσουν τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς ή την τροποποίηση των ρυθμιστικών πλαισίων, παραδείγματος χάριν. Φυσικά η προστασία των προηγούμενων επενδύσεων είναι και θα είναι μια βασική προϋπόθεση που λαμβάνεται υπόψη από το φόρουμ Tetrapol. Η “ομαλή μετανάστευση” είναι προϋπόθεση. Χάρη σε αυτές τις εξελίξεις το Tetrapol θα διατηρήσει την κυρίαρχη θέση του ανάμεσα στα ψηφιακά επαγγελματικά ράδιο-συστήματα και θα συνεχίσει να αποδίδει τα καλύτερα.



Σχήμα 3.2 Το TETRAPOL στην Ευρώπη

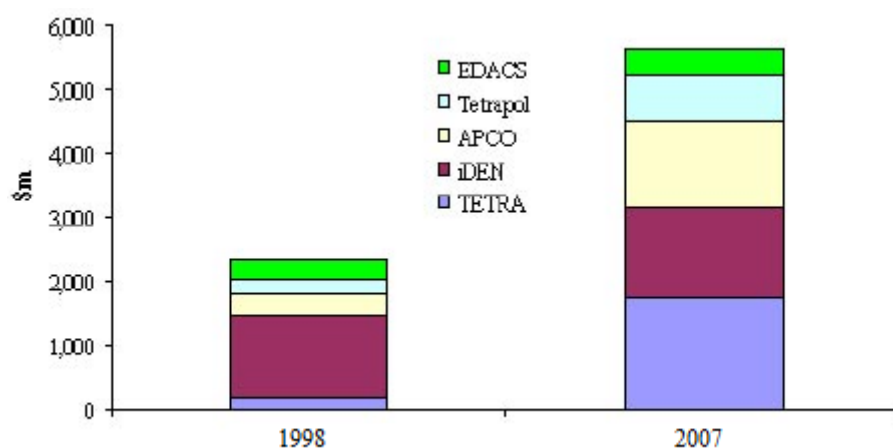


Σχήμα 3.3 Το TETRAPOL παγκοσμίως



Σχήμα 3.4 Τα δίκτυα iDEN παγκοσμίως σήμερα

Το iDEN (Integrated Dispatch Enhanced Network) είναι ασύρματη ψηφιακή λύση που προτείνει η γνωστή Αμερικανική κατασκευαστική εταιρεία Motorola και παρέχει υποστήριξη για μετάδοση φωνής, δεδομένων/Fax, SMS και τη λειτουργία πομποδεκτών δύο δρόμων (2 way radio) μέσα από το ίδιο το δίκτυο. Λειτουργεί στις ζώνες των 800MHz, 900MHz, και 1,5GHz και βασίζεται στη μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου DTMA και την αρχιτεκτονική του GSM. Χρησιμοποιεί τους κωδικοποιητές – αποκωδικοποιητές φωνής VSELP(Sum Excited Linear Predictors) της Motorola για τη συμπίεση φωνής και QAM διαμόρφωση, για τη μετάδοση δεδομένων ρυθμού 64 kbps πάνω από 25 KHz κανάλι.



Σχήμα 3.5 Η παγκόσμια αγορά των ψηφιακών συστημάτων

Δίκτυα TETRA έχουν πλέον αναπτυχθεί σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, αλλά και εκτός από την Ευρώπη, υπάρχουν δίκτυα στην Ιαπωνία, Αυστραλία, Ινδία, Νέα Ζηλανδία και Χονγκ

Κονγκ. Η τεχνολογία APCO-25 και iDEN χρησιμοποιείται κυρίως στην Αμερικάνικη αγορά (*Σχήμα 3.3*). Τα δίκτυα TETRAPOL βρίσκονται στην Ευρώπη, Κεντρική Αμερική, Μέση Ανατολή, Νότια Ανατολική Ασία (*Σχήμα 3.2 και 3.3*). Στο *Σχήμα 3.5* φαίνεται η εξέλιξη της παγκόσμιας αγοράς από το 1998 έως το 2007 σε εκατομμύρια δολάρια. Απ' ότι βλέπουμε, η τεχνολογία TETRA έχει τη μεγαλύτερη διείσδυση στην αγορά.

3.4 TETRAPOL Και APCO 25

Το Tetrapol και το APCO Project 25 είναι και τα δύο λύσεις FDMA για εφαρμογές που αφορούν τον δημόσιο τομέα ασφαλείας. Εντούτοις η τυποποίηση του APCO 25 – φάση 1, καλύπτοντας τον Trunked εξοπλισμό, μόλις έχει τελειώσει. Οπότε κατά συνέπεια δεν υπήρξε κανένα APCO 25 ζευκτικοποιημένο σύστημα σε χρήση μέχρι τώρα και μια λεπτομερής επικύρωση τέτοιων συστημάτων θα γίνει στα επόμενα χρόνια. Αυτό ήδη είναι μια μεγάλη διαφορά με το ζευκτικοποιημένο σύστημα Tetrapol όπου ήδη μεγάλα συστήματα Tetrapol (σε εθνικό επίπεδο) είναι σε υπηρεσία για αρκετά χρόνια σε όλο τον κόσμο, με ενσωματωμένες εφαρμογές φωνής και δεδομένων, διατερματική end-to-end κρυπτογράφηση, λειτουργία άμεσου τρόπου, και ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων διαθέσιμων στους χρήστες.

3.5 TETRA Και TETRAPOL

Η βασική διαφορά μεταξύ των συστημάτων TETRA και Tetrapol είναι οι τομείς αγοράς που απευθύνονται και στη συνέχεια, οι διαφορετικές τεχνικές πολυπλεξίας που χρησιμοποιούν (TDMA και FDMA αντίστοιχα). Το Tetrapol προωθήθηκε για να καλύψει πρωτίστως τον τομέα της δημόσιας ασφάλειας. Αντίθετα το TETRA προορίζεται για τους χειριστές εμπορικών δικτύων (αποκαλούμενων "PAMR" στην Ευρώπη ή "ESMR" στις ΗΠΑ).

Η ανάπτυξη του TETRA συνεχίζει να επηρεάζεται από τις ανταγωνιστικές πιέσεις του GSM σε PAMR. Η Dolphin Telecom, ένας ευρωπαϊκός χειριστής PAMR, αναγνωρίζεται σήμερα ως ο βασικός φορέας στις δραστηριότητες τυποποίησης του TETRA. Το Tetrapol, σε αντίθεση, συνεχίζει να είναι η τεχνολογία της επιλογής για πολλά δημόσια προγράμματα ασφάλειας παγκοσμίως χωρίς την επιρροή των χειριστών εμπορικών δικτύων.

Οι διαφορετικές κατευθύνσεις του Tetrapol στον χώρο της δημόσιας ασφάλειας και του TETRA στον χώρο των εμπορικών δικτύων αποδεικνύουν ότι το TETRA και το Tetrapol είναι μάλλον δυο συμπληρωματικές παρά δυο ανταγωνιστικές λύσεις. Μια παρόμοια κατάσταση υπάρχει στην Αμερικάνικη αγορά όπου το Arco 25 (FDMA) και iDEN (TDMA) είναι οι αντίστοιχες ψηφιακές λύσεις για τη δημόσια ασφάλεια και τα εμπορικά δίκτυα .

Κεφάλαιο 4^ο

Εισαγωγή στο δίκτυο TETRA

4.1 Εισαγωγή στο TETRA

Το TETRA όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι η συντομογραφία των λέξεων **TE**rrestrial **T**runked **RA**dio με την οποία έχει γίνει εδώ και κάποια χρόνια, διεθνώς γνωστό το πρότυπο για τις ψηφιακές επίγειες συγκαναλικές ραδιοεπικοινωνίες. Το TETRA είναι ένα πρότυπο ψηφιακών επικοινωνιών, που έχει αναπτυχθεί και καθιερωθεί απ'το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*). Μεταφράζοντας στα ελληνικά σημαίνει κατά λέξη: Επίγειο Συγκαναλικό Σύστημα Ραδιοεπικοινωνιών. Το 1994 ένας μεγάλος αριθμός από εταιρείες τηλεπικοινωνιών, κατασκευάστριες εταιρείες, ρυθμιστικές αρχές αλλά και ομάδες χρηστών υπέγραψαν ένα καταστατικό - μνημόνιο συνεργασίας και κατανόησης με κύριο σκοπό την καθιέρωση, προώθηση και εξάπλωση του προτύπου TETRA. Το καταστατικό αυτό είναι διεθνώς γνωστό με το όνομα **TETRA MoU**, (*Memorandum of Understanding*) και απαντάται στην ηλεκτρονική διεύθυνση: (www.tetramou.com). Σ' αυτήν την ηλεκτρονική διεύθυνση μπορεί κανείς να βρει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τις νεότερες εξελίξεις σχετικά με τα συστήματα TETRA καθώς και να μελετήσει όλα τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Με άλλα λόγια η συγκεκριμένη σελίδα αποτελεί ένα ζωντανό κύτταρο συνεχούς εξέλιξης που στοχεύει στην προώθηση και στην ολοένα και μεγαλύτερη εξάπλωση του προτύπου TETRA.

Το TETRA έχει αρκετές ομοιότητες με το παγκόσμιο πρότυπο για τις κινητές επικοινωνίες GSM το οποίο ανέπτυξε και πάλι το ETSI, όπως τελείως επιγραμματικά αναφερόμαστε στην υπηρεσία αποστολής σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SDS στο TETRA, SMS στο GSM) ή στη χρήση σταθμών βάσης για την επικοινωνία των τερματικών. Ωστόσο παρατηρούνται και πολλές διαφορές, οι οποίες οφείλονται στις προτεραιότητες που τέθηκαν κατά την ανάπτυξη του συστήματος TETRA. Ο σκοπός της δημιουργίας του TETRA ήταν η εξυπηρέτηση των πιο απαιτητικών επαγγελματιών της κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή έπρεπε να είναι κατάλληλο για σώματα όπως ο στρατός, η πυροσβεστική, η αστυνομία αλλά και για ομάδες εργαζομένων στις διεθνείς μεταφορές (αεροδρόμια, λιμάνια, σιδηροδρομικοί σταθμοί κ.α.) και στις εταιρείες ασφάλειας-φύλαξης χώρων κλπ. Δηλαδή το TETRA σε αντίθεση με το GSM, που απευθύνεται σχεδόν αποκλειστικά σε ιδιώτες, έχει πολύ περισσότερες δυνατότητες, τέτοιες που να ταιριάζουν στον ιδιαίτερο χαρακτήρα των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που αντιμετωπίζουν οι παραπάνω ομάδες.

Αυτή η υποδομή όπως προαναφέραμε, απευθύνεται πρώτιστα στις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες κινητής τηλεφωνίας για ομάδες που εμπλέκονται σε υψηλό κίνδυνο και δευτερευόντως σε επιχειρήσεις που παρέχουν υπηρεσίες μεταδόσεων φωνής και δεδομένων.

Όλες αυτές οι ομάδες αποτελούν χρήστες των ιδιωτικών/επαγγελματικών κινητών ραδιοεπικοινωνιών **PMR (Private/Professional Mobile Radio)** ή της δημόσιας κινητής ραδιοεπικοινωνιακής τεχνολογίας πρόσβασης **PAMR (Public Access Mobile Radio Technology)**. Τα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών που σχετίζονται με μετάδοση φωνής και δεδομένων ως κύριοι φορείς των πληροφοριών, είναι άκρως ζωτικά για την ταχεία και ευέλικτη διεξαγωγή τακτικών και λειτουργικών επιχειρήσεων, ιδιαίτερα όσον αφορά τους οργανισμούς που ασκούν καθήκοντα ασφαλείας. Επιπλέον, το δίκτυο TETRA επιτρέπει σε ανεξάρτητους κατασκευαστές να αναπτύξουν υποδομή δικτύου και παραγωγή τερματικών.

Πιο αναλυτικά οι προτεραιότητες που τέθηκαν στη σχεδίαση του TETRA ήταν η άριστη ποιότητα φωνής κατά την επικοινωνία, η γρήγορη ταχύτητα επίτευξης σύνδεσης μεταξύ δύο τερματικών, η επιλογή μεταξύ ατομικών κλήσεων ανάμεσα σε δύο τερματικά (private - individual calls) ή εκπομπής κατά ομάδες (group calls), η μεγάλη εμβέλεια ραδιοκάλυψης με δυνατότητα περαιτέρω επέκτασης, η επίτευξη ασφαλών και ανεκτικών σε σφάλματα επικοινωνιών και η δυνατότητα μεταφοράς τόσο φωνής όσο και δεδομένων. Στη μορφή που έλαβε το TETRA υποστηρίζει ασύρματη μετάδοση τόσο μεταξύ των κινητών σταθμών (MS) και του κυψελωτού δικτύου πρόσβασης, όσο και απευθείας επικοινωνία μεταξύ δύο τερματικών (DMO), χωρίς την παρεμβολή κάποιου σταθμού βάσης (BS), οπότε το δίκτυο μπορεί να επεκταθεί κατά βούληση. Στο σύστημα παρέχεται ένας μικρός αριθμός καναλιών - ραδιοδιαύλων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά από κάθε τερματικό και σε κάθε κυψέλη, κάτι που επιτρέπει την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου αριθμού χρηστών σε μια ευρείας έκτασης περιοχή με την κατάληψη φάσματος περιορισμένου εύρους. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται υψηλής απόδοσης μέθοδοι κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης των δεδομένων, ώστε η μετάδοση φωνής να γίνεται με υψηλή καθαρότητα και να αποτρέπεται η χρήση του δικτύου από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Ακόμη είναι δυνατή η μετάδοση τόσο φωνής όσο και δεδομένων, είτε με τη μορφή σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SDS) είτε με σύνδεση του τερματικού με το δίκτυο μέσω του **IP (Internet Protocol)**.

Το TETRA έχει ενσωματωμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία επιτρέπουν την εξασφάλιση της ασφάλειας των ευαίσθητων μεταδόσεων δεδομένων και φωνής. Όπως είναι αναμενόμενο, τα μέσα που χρησιμοποιούν τα σώματα ασφαλείας για την ασύρματη επικοινωνία τους, πρέπει να είναι απόλυτα ασφαλή. Κανείς τρίτος δεν πρέπει να έχει τη δυνατότητα παρείσφρησης στη μεταξύ τους επικοινωνία, ενώ παράλληλα, τα μέσα αυτά πρέπει να βρίσκονται σε λειτουργία ακόμα και υπό τις πιο αντίξοες συνθήκες και να μην επηρεάζονται από το φόρτο των κλήσεων. Μια φυσική καταστροφή για παράδειγμα, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να θέσει εκτός λειτουργίας τους σταθμούς βάσης του δικτύου. Με τα παλιά συστήματα στα ειδικά ραδιοδίκτυα η ποιότητα επικοινωνίας παρέμενε χαμηλή, με θόρυβο και παρεμβολές. Ήταν συχνή η συμφόρηση του φάσματος συχνοτήτων και η

αδυναμία εκχώρησης άλλων συχνοτήτων σε νέα ειδικά ραδιοδίκτυα. Για να αρθεί το πρόβλημα αυτό άρχισαν να αναπτύσσονται τα αναλογικά συγκαναλικά συστήματα (*Trunking*) που μπορούσαν να εξυπηρετήσουν πολλές ανεξάρτητες ομάδες χρηστών με τα ίδια / κοινά κανάλια συχνοτήτων και κοινή υποδομή, αλλά και τα αναλογικά συγκαναλικά συστήματα δεν επαρκούσαν για τα σημερινά δεδομένα, γι' αυτό και δημιουργήθηκαν τα ψηφιακά συγκαναλικά συστήματα. Το TETRA αποτελεί τυποποίηση ψηφιακού συγκαναλικού συστήματος που παρέχει υψηλή ποιότητα επικοινωνίας με ψηφιακή τεχνολογία και χρονοδιαιρετική τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (TDMA). Ως γνωστόν οι ψηφιακές επικοινωνίες παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων σε τομείς όπως είναι: η ποιότητα φωνής, η ραδιοκάλυψη, οι υπηρεσίες non-voice, η ασφάλεια και το κόστος.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κύριες παράμετροι του συστήματος TETRA:

| Παράμετρος | Τιμή |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Συχνότητα λειτουργίας | 400 – 900 MHz |
| Εύρος ζώνης κάθε καναλιού | 25 kHz |
| Απόσταση ασφαλείας | 10 MHz |
| Μέθοδος προσπέλασης | TDMA |
| Αριθμός χρονοθυρίδων | 4 |
| Διαμόρφωση | $\pi/4$ -DQPSK |
| Ρυθμός δεδομένων φέροντος | 36 kb/s |
| Ρυθμός δεδομένων ανά χρονοθυρίδα | 7.2 kb/s |
| Μέγιστος ρυθμός δεδομένων | 28.8 kb/s |
| Ρυθμός προστατευμένων δεδομένων | Άνω των 19.2 kb/s |
| Ρυθμός κωδικοποιητή φωνής | ACELP (4.56 kb/s net, 7.2 kb/s gross) |
| Αποδοτικότητα | 80 κανάλια ανά MHz |
| Επίπεδα ισχύος (σταθμού βάσης) | 0.6 – 40 W (10 επίπεδα) |
| Επίπεδα ισχύος (κινητού σταθμού) | 1, 3, 10, 30 W |
| Ευαισθησία δέκτη | -115 dBm |
| Χρόνος αποκατάστασης Κλήσης | < 300 msec |

Πίνακας 1: Γενικά χαρακτηριστικά TETRA

Τα δίκτυα TETRA επιτρέπουν τη διασύνδεση με τα σημαντικότερα εξωτερικά δίκτυα όπως είναι τα δημόσια και ιδιωτικά τηλεφωνικά δίκτυα, τα διάφορα δίκτυα δεδομένων όπως τα LAN και WLAN, το Internet καθώς και κάθε άλλο δίκτυο PMR. Η τεχνολογία TETRA είναι απόλυτα συμβατή με κάθε δίκτυο και αυτό επιτρέπει σε κάθε χρήστη του δικτύου την πρόσβαση σε κάθε λογής πληροφορίες και βάσεις δεδομένων. Αυτό καθιστά το TETRA, μια

υπερσύγχρονη πλατφόρμα εργασίας που μελλοντικά, αν δεν έχει γίνει ήδη, μπορεί να μονοπωλήσει την αγορά που σχετίζεται με την ανάπτυξη δικτύων ασύρματων και προσωπικών επικοινωνιών.

Τέλος ένα βασικότατο σημείο που χρίζει ιδιαίτερης προσοχής είναι ότι προβλέπονται δύο κύριες λειτουργικές καταστάσεις για την επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων κινητών σταθμών MS:

- **DMO (Direct Mode Operation)**
- **TMO (Trunked Mode Operation)** η οποία λέγεται και **V+D (Voice plus Data)**

Στην κατάσταση λειτουργίας trunked η επικοινωνία προϋποθέτει τη διαμεσολάβηση μιας υποδομής που λέγεται **SwMI (Switching and Management Infrastructure)**. Αντίθετα στην κατάσταση λειτουργίας direct τα κινητά επικοινωνούν εντός των ορίων μιας καθορισμένης περιοχής με απ'ευθείας τρόπο, ήτοι χωρίς κάποια υποδομή υποστήριξης.

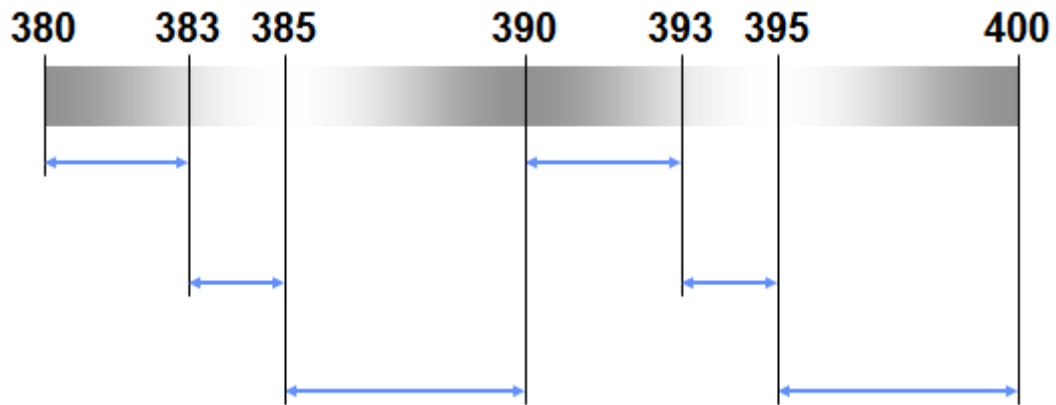
Τέλος σε σχέση με το TMO και το DMO καλό θα ήταν να αναφερθούμε και σ'ένα τρίτο πρωτόκολλο που φέρει την ονομασία **DW (Dual Watch)**, το οποίο υποστηρίζει και τις δύο λειτουργικές καταστάσεις που προαναφέρθηκαν. Χρησιμοποιώντας το DW μια συσκευή radio είναι σε θέση να παρακολουθεί και το κανάλι DM και το κανάλι TM. Χάρη σ'αυτή τη δραστηριότητα παρακολούθησης ένας χρήστης μπορεί να έρθει σ'επαφή μ'έναν άλλο χρήστη ανεξάρτητα αν ο τελευταίος λειτουργεί στην κατάσταση trunked ή στην κατάσταση direct. Αυτό είναι ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα του συστήματος TETRA.

4.2 Συχνότητες Λειτουργίας

Για λόγους συμβατότητας το ETSI αποφάσισε να χρησιμοποιηθούν περιοχές συχνοτήτων οι οποίες καθορίστηκαν από το CEPT (Ευρωπαϊκό Οργανισμό Ταχυδρομείων και Τηλεφωνίας). Αρχικά το TETRA λειτουργούσε στην περιοχή συχνοτήτων 380-400 MHz. Στη συνέχεια παραχωρήθηκαν οι συχνότητες 410-430 MHz και 870-888 MHz. Συγκεντρωτικά, οι περιοχές συχνοτήτων που χρησιμοποιεί σήμερα το TETRA φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| Δέσμη Συχνοτήτων | Ανοδική Ζεύξη | Καθοδική Ζεύξη | Χρήση |
|--------------------|---------------|----------------|--------------------------------------|
| 380 - 400 MHz | 380-390 MHz | 390-400 MHz | Δίκτυα οργανισμών δημόσιας ασφάλειας |
| 410 - 430 MHz | 410-420 MHz | 420-430 MHz | Δίκτυα δημόσιας πρόσβασης |
| 450 - 470 MHz | 450-460 MHz | 460-470 MHz | Δίκτυα δημόσιας πρόσβασης |
| 870-888/915-933MHz | 870-888 MHz | 915-933 MHz | |

Πίνακας 2: Συχνότητες TETRA



Σχήμα 4.1 Η Ζώνη Συχνότητων 380-400MHz που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη

4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του TETRA

Καταρχάς το TETRA έχει ανοίξει μια νέα παγκόσμια αγορά. Το TETRA αποτελεί συγκαναλικό δίκτυο (trunked) με αποτέλεσμα την καλύτερη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης ραδιοσυχνότητων. Με άλλα λόγια, μπορούν να «χωρέσουν» περισσότεροι χρήστες ανά ραδιοδιάυλο σε σχέση μ'ένα συμβατικό κανάλι. Έτσι μπορεί ένας σχετικά μικρός αριθμός διαύλων επικοινωνίας να μοιράζεται σ'ένα μεγάλο αριθμό χρηστών, πράγμα που σημαίνει οικονομία σε εύρος ζώνης. Με τον τρόπο αυτόν μπορεί να εξυπηρετήσει όσους επιθυμούν επικοινωνία ανεπηρέαστη από τις συνθήκες φόρτου του δικτύου. Στο σημείο αυτό, το TETRA υπερτερεί σε σχέση με την τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας GSM στην οποία παρατηρείται ότι ο μεγάλος φόρτος τηλεφωνικών κλήσεων οδηγεί τις χωρητικότητες του δικτύου στα άκρα, με αποτέλεσμα πάρα πολλοί συνδρομητές να μην μπορούν να επικοινωνήσουν (call blocking) σε συνθήκες αυξημένης χρήσης.

Το TETRA υποστηρίζει ασύρματη μετάδοση τόσο μεταξύ των κινητών σταθμών **MS** (**M**obile **S**tations) και του κυψελωτού δικτύου πρόσβασης, όσο κι απευθείας επικοινωνία μεταξύ δύο τερματικών **DMO** (**D**irect **M**ode **O**peration), χωρίς την παρεμβολή κάποιου σταθμού βάσης **BS** (**B**ase **S**tation), γεγονός που καθιστά εύκολη την επέκταση του δικτύου.

Επιπλέον, το TETRA είναι ένα σύστημα που μπορεί να καλύψει τις επικοινωνιακές ανάγκες ενός μεγάλου αριθμού χρηστών σε μια ευρείας έκτασης περιοχή με την κατάληψη φάσματος περιορισμένου εύρους. Κάτι τέτοιο καθίσταται εφικτό, καθώς στο σύστημα παρέχεται ένας μικρός αριθμός ραδιοδιαύλων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά από κάθε τερματικό και σε κάθε κυψέλη.

Παράλληλα, οι υψηλής απόδοσης μέθοδοι κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης των δεδομένων που χρησιμοποιούνται συμβάλλουν στην υψηλή καθαρότητα κατά τη μετάδοση φωνής αλλά και στην αποτροπή της χρήσης του δικτύου από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Το TETRA επιτρέπει μετάδοση τόσο φωνής όσο και δεδομένων, είτε με τη μορφή σύντομων γραπτών μηνυμάτων **SDS (Short Data Service)** είτε με σύνδεση του τερματικού με το δίκτυο μέσω του **IP (Internet Protocol)**.

Στα μειονεκτήματα του TETRA θα μπορούσε κανείς να εντάξει το γεγονός ότι το σύστημα είναι συγκριτικά πιο ακριβό σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα που χρησιμοποιούν τον ίδιο αριθμό ραδιοδιαύλων και σταθμών βάσης. Αυτό οφείλεται στο ότι η «ευφυΐα» που υποστηρίζεται από ένα trunking σύστημα απαιτεί τη χρήση μικροεπεξεργαστών στα τερματικά του συστήματος όπως επίσης και τη χρήση υπολογιστών τόσο στους συγκαναλικούς ελεγκτές (Trunking Controllers) όσο και στους ελεγκτές συστήματος (System Controllers).

Επίσης το κόστος του λογισμικού που χρησιμοποιείται στις συσκευές αυτές αντικατοπτρίζεται στις τιμές πώλησης του αντίστοιχου εξοπλισμού.

Επιπλέον, θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν είναι συμφέρουσα η χρησιμοποίηση συγκαναλικών συστημάτων, όπως είναι και το TETRA για μικρό αριθμό χρηστών. Η χρήση τους γίνεται αποδοτική σε δίκτυα με σχετικά μεγάλη χωρητικότητα, απαιτώντας κατά μέσο όρο 3 ή περισσότερα κανάλια από κάθε σταθμό βάσης. Σε διαφορετική περίπτωση έχουμε μη αποδοτική χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης ραδιοσυχνοτήτων και είναι συμφέρουσα η υιοθέτηση ενός συμβατικού PMR συστήματος.

Είναι γεγονός λοιπόν ότι υπάρχει αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω της ύπαρξης μικροεπεξεργαστών και υπολογιστών στα συστήματα αυτά. Η επεκτασιμότητα των συγκαναλικών συστημάτων, δηλαδή η δυνατότητα ενσωμάτωσης νέων εφαρμογών ή/και υπηρεσιών, ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την πολυπλοκότητα υλοποίησης και λειτουργίας των τερματικών σε σχέση με τα παραδοσιακά PMR συστήματα.

4.4 Σχέση TETRA- GSM

Το TETRA δεν προορίζεται να ανταγωνιστεί το GSM ή οποιοσδήποτε άλλες κυτταρικές τεχνολογίες -αφού εξυπηρετούν σαφώς διαφορετικούς σκοπούς. Το TETRA σχεδιάζεται για τις επαγγελματικές κινητές ράδιο εφαρμογές ενώ το GSM σχεδιάζεται για τη δημόσια κυτταρική τηλεφωνία. Αν και αυτές οι εφαρμογές μπορούν περιστασιακά να επικαλύπτουν η μια την άλλη, σίγουρα υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά στις απαιτήσεις.

Κατά καιρούς έχουν υπάρξει κάποιες προτάσεις να προστεθεί η λειτουργία PRM-τύπων στα πρότυπα GSM για να επεκταθεί η αγορά GSM προς τους επαγγελματικούς ράδιο χρήστες ειδικά για τις εφαρμογές σιδηροδρόμων. Είναι πιθανό, ότι κάποια μέρα το GSM θα περιέχει κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα, αλλά αυτά θα είναι μακριά από τις επαγγελματικές κινητές ράδιο-απαιτήσεις. Δεν θα είναι δυνατό να εφαρμοστεί η άμεση λειτουργία τρόπου, η

γρήγορη αποκατάσταση κλήσης ή τα κατάλληλα ημι-αμφίδρομα (semi-duplex) χαρακτηριστικά γνωρίσματα επικοινωνιών ομάδας στα σημερινά δίκτυα GSM.

Η τροποποίηση των προτύπων και των συστημάτων GSM σε ένα PRM προϊόν έχει μελετηθεί από πολλούς κατασκευαστές. Το αποτέλεσμα ήταν σαφώς ότι αυτό το είδος των τροποποιήσεων, βαθιά μέσα στον πυρήνα της παρούσας αρχιτεκτονικής GSM, θα ήταν πάρα πολύ ακριβό, χρονοβόρο και επικίνδυνο να εφαρμοστεί. Μπορούμε σχετικά εύκολα να προβλέψουμε ότι το ενδιαφέρον των παρόντων χειριστών GSM για την εφαρμογή αυτών των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων θα μειωθεί σημαντικά, όσο θα αποκαλύπτονται οι κίνδυνοι και οι δαπάνες που περιλαμβάνονται στην εφαρμογή αυτών των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στα υπάρχοντα δίκτυα.

Η αναμενόμενη δυναμική της αγοράς για τα επαγγελματικά κινητά ράδιο **PRM** (**P**rofessional **M**obile **R**adio) χαρακτηριστικά γνωρίσματα στο GSM, είναι πάρα πολύ μικρή για τους μεγάλους κατασκευαστές κυτταρικής τηλεφωνίας, οι οποίοι διαθέτουν ικανότητα παραγωγής που θα μπορούσε να καλύψει το σύνολο των απαιτήσεων της ευρωπαϊκής αγοράς, για τα επόμενα 5 χρόνια, μέσα σε λίγες μόνο ημέρες.

Η αναμενόμενη αγορά παραδείγματος χάριν στον τομέα των σιδηροδρόμων είναι πάρα πολύ μικρή συγκρινόμενη με την τεράστια αγορά του GSM. Οι σοβαροί προμηθευτές υποδομής GSM δεν έχουν λόγο να ενδιαφέρονται για την ανάπτυξη PRM εφαρμογών.

4.5 Η Μεγάλη Ομάδα των Χρηστών TETRA

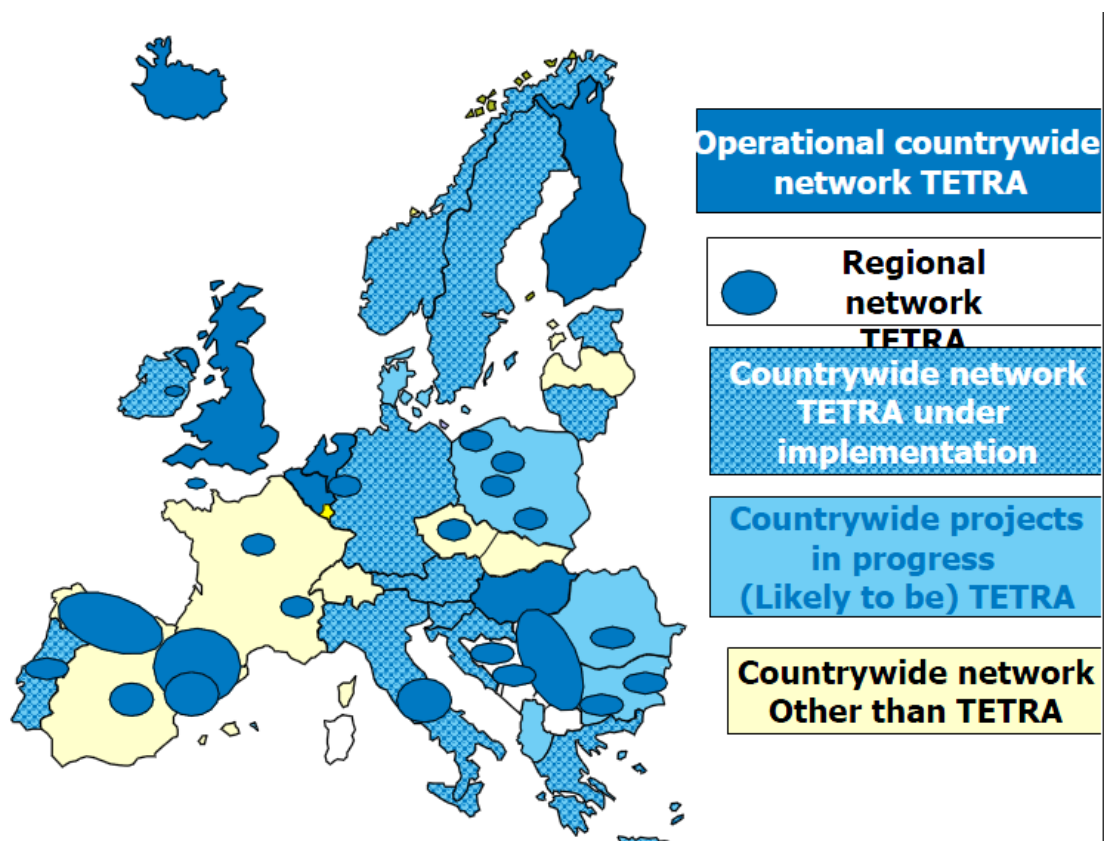
Οι πρώτοι χρήστες που υλοποίησαν το TETRA είναι οι ευρωπαϊκές υπηρεσίες άμεσης ανάγκης, π.χ αστυνομία, πυροσβεστική, υπηρεσίες ελέγχου συνόρων κ.τ.λ. Ωστόσο υπάρχουν τεχνικά και πολιτικά επιχειρήματα για να ενθαρρυνθεί η χρήση του TETRA. Τα υπάρχοντα δημόσια δίκτυα ασφάλειας έχουν φτάσει πλέον στο τέλος της οικονομικής διάρκειας ζωής τους, ενώ το TETRA παρέχει τα κύρια χαρακτηριστικά όπως την κρυπτογράφηση, τον άμεσο τρόπο και το γρήγορο χρόνο αποκατάστασης κλήσης, για αυτές τις υπηρεσίες.

Το TETRA είναι επίσης η ιδανική επιλογή για τα εμπορικά δίκτυα PAMR λόγω του ότι παρουσιάζει καλύτερη απόδοση συχνοτήτων, υψηλές ταχύτητες κατά τη μεταφορά των δεδομένων και δίνει τη δυνατότητα άριστων συνδέσεων με άλλα δίκτυα, μεταξύ των άλλων προηγμένων τεχνικών χαρακτηριστικών του.

Οι χρήστες υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης είναι περισσότεροι του ενός εκατομμυρίου, μόνο στην Ευρώπη. Οι περισσότερες δυτικοευρωπαϊκές χώρες ήδη έχουν λάβει μια πολιτική απόφαση να εφαρμόσουν ένα κοινό TETRA δίκτυο για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης τους. Τα προγράμματα για την εφαρμογή κοινών δικτύων δημόσιας ασφάλειας περιλαμβάνουν:

- Υπουργείο Εσωτερικών UK: 100.000 χρήστες από την αστυνομία και τη πυροσβεστική

- Γερμανία: 400.000 χρήστες από αστυνομία και ομάδες διάσωσης
- Υπουργείο Εσωτερικών Ολλανδίας: 50.000 χρήστες από την αστυνομία, πυροσβεστική και τα νοσοκομειακά αυτοκίνητα
- Υπουργείο Εσωτερικών Βελγίου: 40.000 χρήστες από την αστυνομία, πυροσβεστική και τα νοσοκομειακά αυτοκίνητα
- Φιλανδία : 50.000 χρήστες από την αστυνομία, πυροσβεστική, από ομάδες διάσωσης, φύλαξης συνόρων και από άλλες υπηρεσίες.
- Αυστρία , Ελβετία, Ισπανία, Πορτογαλία, Ιταλία, Ελλάδα, Σουηδία, Νορβηγία, Ουγγαρία, Ρουμανία , Εσθονία ...



Σχήμα 4.2 Τα δίκτυα δημόσιας ασφάλειας TETRA στην Ευρώπη

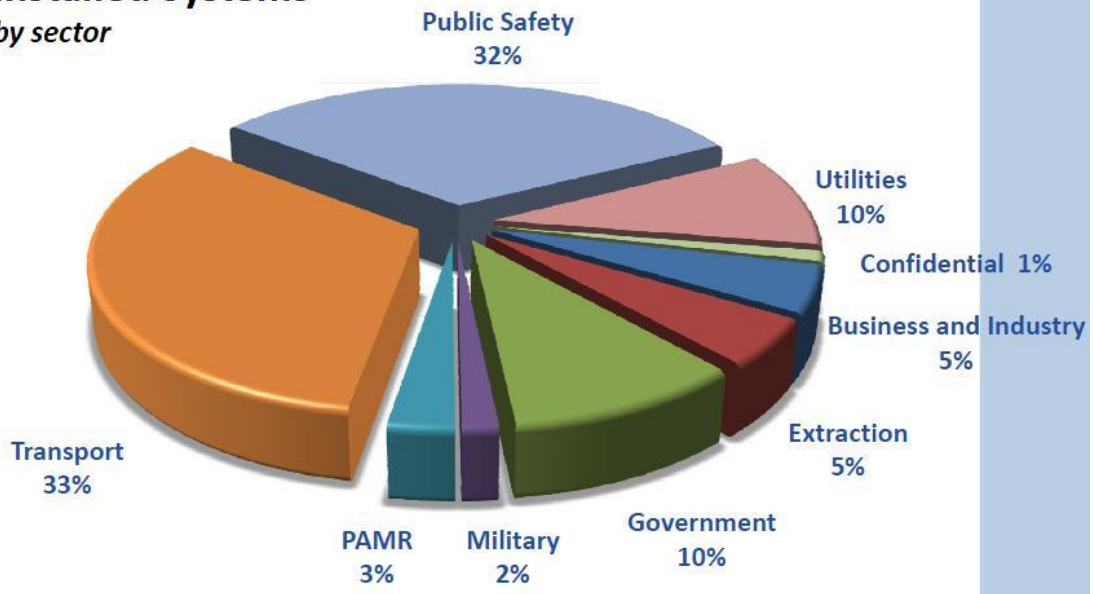
Οι πρώτες εφαρμογές TETRA επομένως είναι δίκτυα ευρείας περιοχής, τυπικά πανεθνικά. Κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών, η TETRA αγορά προβλέπεται να επεκταθεί σε δύο διαστάσεις:

1. επέκταση τμήματος χρηστών
2. γεωγραφική επέκταση

Από την πλευρά των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης και τα εμπορικά δίκτυα, το TETRA φαίνεται ότι θα προχωρήσει και σε άλλες αγορές Επαγγελματικών Συστημάτων Κινητών επικοινωνιών, όπως οι σιδηρόδρομοι, η βιομηχανία. Επιπλέον πολλοί παραδοσιακοί χρήστες δικτύων PMR που έχουν στηριχθεί προηγουμένως μόνο στο δίκτυό τους μπορούν επιτέλους

να αποφασίσουν να το ενοποιήσουν με ένα εμπορικό TETRA δίκτυο. Οι εικονικές δυνατότητες δικτύωσης μέσα στα TETRA δίκτυα, δίνουν αυτή την προαιρετική δυνατότητα.

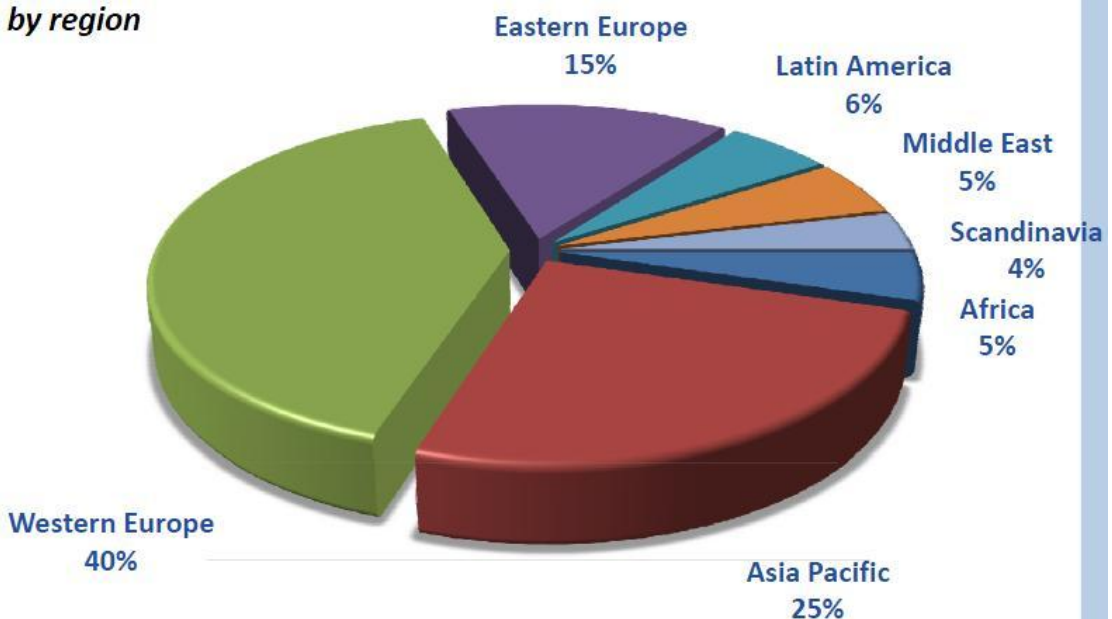
**Installed Systems
by sector**



Σχήμα 4.3 Η χρήση TETRA κατά τομείς

Μια παρόμοια γενική τάση προβλέπεται για το TETRA, όπως ακριβώς έγινε για το ζευτικό MPT και το GSM. Οι ταχέως αναπτυσσόμενες ασιατικές αγορές υιοθέτησαν σύντομα αυτά τα αναδυόμενα ανοικτά πρότυπα και συνέβαλαν για να τα κάνουν γενικά de facto πρότυπα σε όλα τα μέρη του κόσμου (αποκλείοντας τη Βόρεια Αμερική και την Λαπωνία). Το μεγάλο ενδιαφέρον για την ανοικτή πρότυπη ψηφιακή ζεύξη έχει εκφραστεί επίσης και στη Νότια Αμερική.

**Installed Systems
by region**



Σχήμα 4.4 Η χρήση TETRA παγκοσμίως

4.6 Το TETRA στην Ελλάδα

Στη χώρα μας η ΕΕΤΤ (Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων) προχώρησε το 2000 σε δημόσια διαβούλευση για την εισαγωγή δημόσιων ψηφιακών κινητών επικοινωνιών και κατόπιν σε διαγωνισμό για την χορήγηση δύο ειδικών αδειών δημόσιων κινητών υπηρεσιών TETRA. Παρά το μεγάλο ενδιαφέρον που εκδηλώθηκε αρχικά από πολλές εταιρείες στην τελική φάση του διαγωνισμού εμφανίσθηκε μόνον ο ΟΤΕ ο οποίος τελικά απέκτησε την μία άδεια.

Έκτοτε ο ΟΤΕ έχει εγκαταστήσει στην Ελλάδα το μοναδικό εμπορικό δίκτυο TETRA (OTELink) χρησιμοποιώντας τις ζώνες συχνοτήτων 411,75 – 413,75 MHz και 421,75 – 423,75. Το δίκτυο συνεχώς επεκτείνεται με στόχο την πλήρη κάλυψη του Ελλαδικού χώρου. Το δίκτυο OTELink ενεργοποιήθηκε στις 28 Μαρτίου 2001 στον νέο διεθνές αεροδρόμιο Αθηνών. Από το Μάιο του 2004 το δίκτυο καλύπτει και τις ανάγκες ασύρματων επικοινωνιών του Μετρό της Αθήνας.

Παράλληλα με το εμπορικό δίκτυο TETRA, αναπτύχθηκε στην Ελλάδα πριν τους Ολυμπιακούς αγώνες του 2004, και ένα δεύτερο ανεξάρτητο και αυτόνομο δίκτυο TETRA, το επονομαζόμενο C4I, για την αποκλειστική κάλυψη των αναγκών των Υπηρεσιών Ασφάλειας και Κοινής Ωφέλειας. Το δίκτυο αυτό λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 380 – 400MHz.

Κεφάλαιο 5^ο

Τα κύρια Γνωρίσματα του Δικτύου TETRA

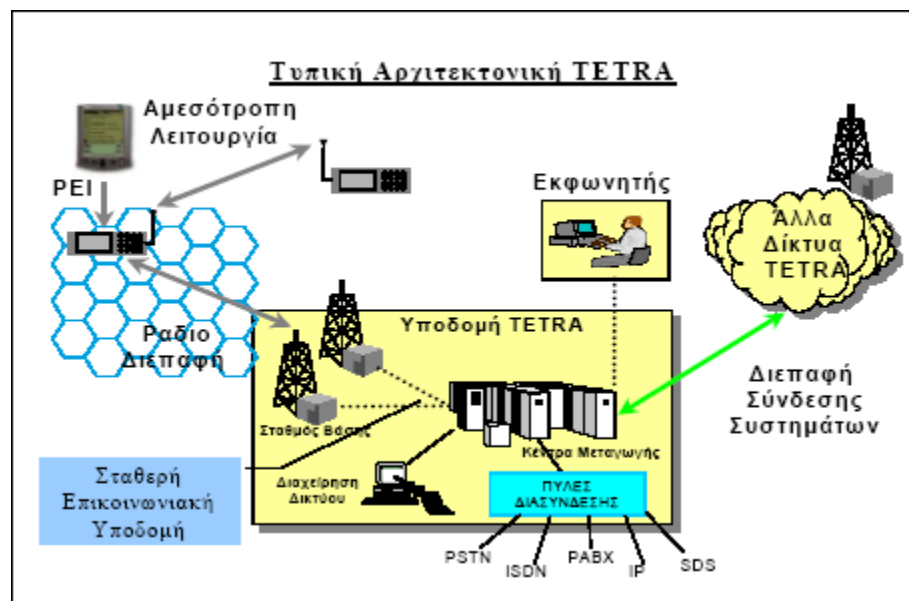
5.1 Δομή Δικτύου TETRA

Το TETRA είναι ένα κυψελωτό σύστημα όπου η περιοχή κάλυψης είναι χωρισμένη σε κυψέλες, από τις οποίες κάθε μία εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης. Ένα τυπικό δίκτυο αποτελείται από τα παρακάτω κυρίως στοιχεία:

- Κέντρο ελέγχου και διαχείρισης
- Κέντρο μεταγωγής
- Σταθμούς βάσης

Οι τερματικές συσκευές διακρίνονται σε:

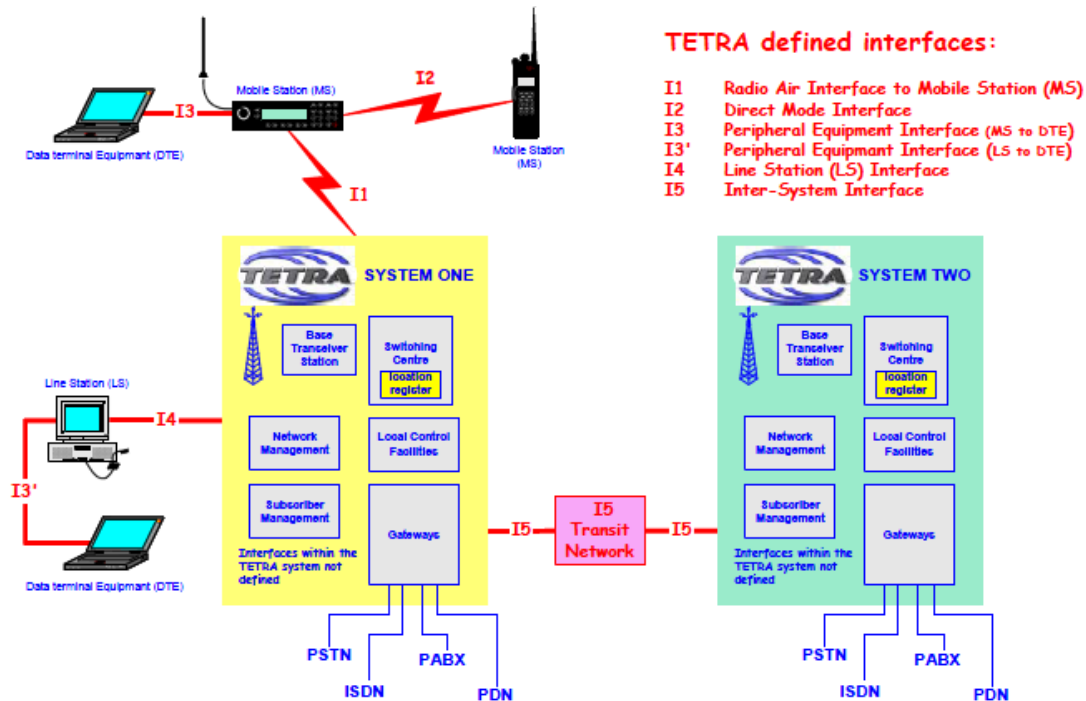
- Φορητούς πομποδέκτες
- Πομποδέκτες οχημάτων
- Επιτραπέζιους ασύρματους σταθμούς εκφωνητών (Dispatchers)
- Επιτραπέζιους ενσύρματους σταθμούς εκφωνητών



Σχήμα 5.1 Τυπική αρχιτεκτονική δικτύου TETRA

5.1.1 Οι Διεπαφές του TETRA

Το πρότυπο TETRA έχει συστήσει πέντε διεπαφές (interfaces) οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 5.2 και περιγράφονται στη συνέχεια.



Σχήμα 5.2 Οι διεπαφές του TETRA

I1. Διεπαφή αέρος (Air Interface)

Η διεπαφή αυτή ορίζει την επικοινωνία μεταξύ των ασύρματων τερματικών συσκευών TETRA και των σταθμών βάσης. Η διεπαφή αυτή διασφαλίζει ότι συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο.

I2. Direct Mode Interface (DMO)

Διασφαλίζει την λειτουργία μεταξύ ασύρματων συσκευών που υποστηρίζουν την αμεσότροπη (Direct Mode) μέθοδο επικοινωνίας. Το πρότυπο περιορίζει τις παρεχόμενες υπηρεσίες στις ομαδικές κλήσεις, ατομικές κλήσεις και υπηρεσίες βραχέων δεδομένων (short data service)

I3-I3' Peripheral Equipment Interface (PEI)

Το πρότυπο ορίζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των συνδετήρων καθώς επίσης και τα πρωτόκολλα για την διασύνδεση συσκευών PEI με ασύρματες (I3) και ενσύρματες συσκευές TETRA. Το πρότυπο υποστηρίζει ένα υποσύνολο των εντολών AT καθώς επίσης και το πρωτόκολλο PP (Point-to-Point) και επιτρέπει τον σχεδιασμό εξωτερικών εφαρμογών.

I4 Line Station Interface

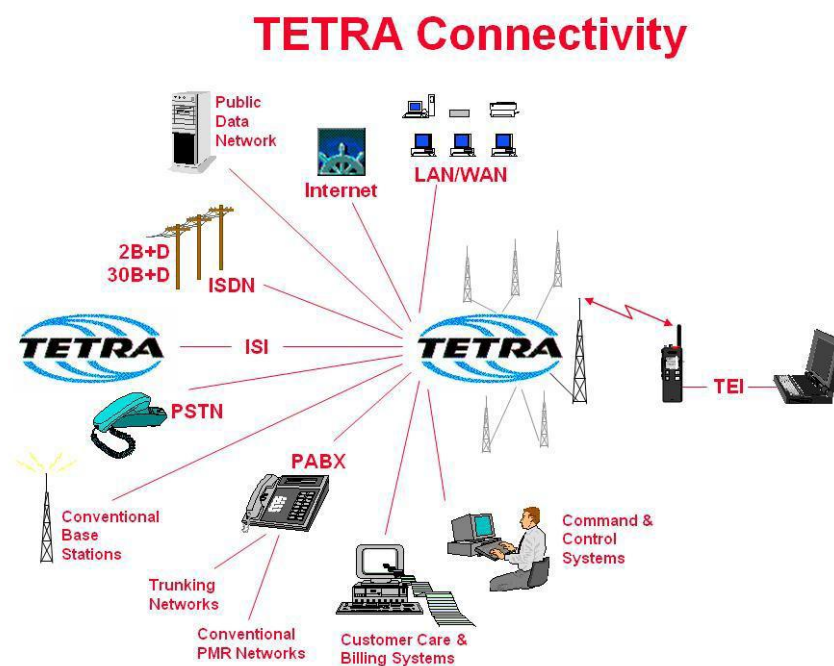
Η διεπαφή αυτή αναφέρεται στην ενσύρματη σύνδεση τερματικών συσκευών TETRA με το δίκτυο.

I5 Inter System Interface

Επιτρέπει την διασύνδεση δικτύων TETRA από διαφορετικούς κατασκευαστές.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι διεπαφές μέσα στην Υποδομή Μεταγωγής (Switching Centre) και Διαχείρισης (Network Management) δεν είναι τυποποιημένες. Αυτό παρέχει τα ουσιαστικά οφέλη μιας ελεύθερης αγοράς, αλλά αφήνει στους κατασκευαστές την ελευθερία να εφαρμόσουν τις οικονομικά αποδοτικότερες λύσεις δικτύων.

Επιπροσθέτως τα δίκτυα TETRA μπορούν εύκολα να συνδεθούν με εξωτερικά δίκτυα. Ένα δίκτυο TETRA μπορεί να συνδεθεί, για παράδειγμα, με δημόσια ή ιδιωτικά τηλεφωνικά δίκτυα, με διαφόρων τύπων δίκτυα δεδομένων, τόσο καλά, όσο και με μεγάλα συστήματα έλεγχου. Όλα αυτά τα δίκτυα μπορούν να προσπελαστούν από το κινητό τερματικό.

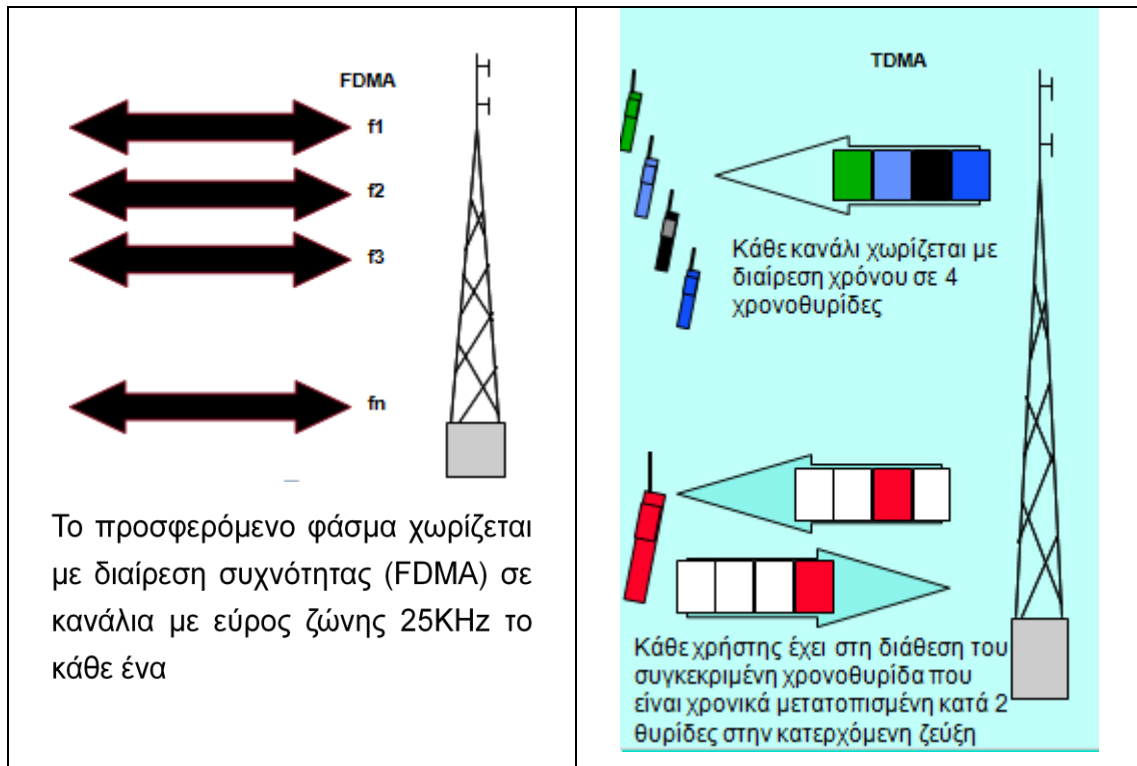


Σχήμα 5.3 Η συνδεσιμότητα του TETRA

Η ευελιξία διασύνδεσης σε συνδυασμό με την δυναμική απελευθέρωση του εύρους ζώνης κάνει το TETRA μια πολύ καλή πλατφόρμα για την αξιοποίηση εφαρμογών δεδομένων.

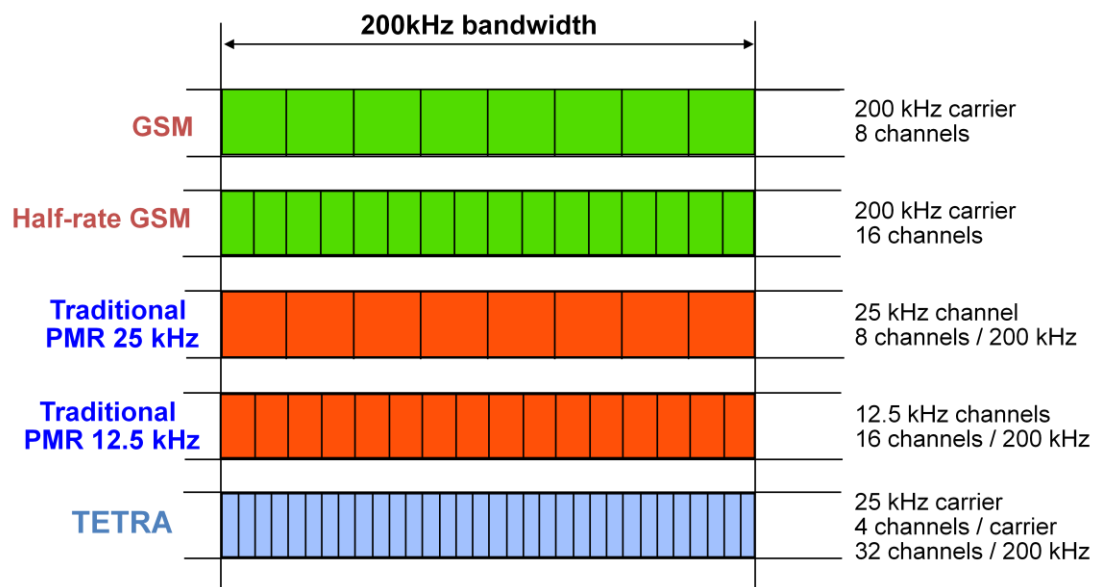
5.1.2 Χρονική πολυπλεξία TDMA

Το TETRA χρησιμοποιεί τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με πολυπλεξία χρόνου **TDMA** (Time Division Multiple Access) με 4 χρονοθυρίδες ανά φέρον. Οι 4 ανεξάρτητοι διάλογοι επικοινωνίας τους οποίους χρησιμοποιεί το TETRA καταλαμβάνουν εύρος ζώνης ραδιοσυχνότητας 25kHz (*Σχήμα 5.4*).



Σχήμα 5.4 TETRA TDMA πολυπλεξία

Είναι φανερή η αποδοτική χρήση του φάσματος, καθώς στο ευρέως διαδεδομένο σύστημα GSM έχουμε διαύλους εύρους 200kHz με χωρισμό τους σε 8 χρονοσχισμές, που σημαίνει 8 διαθέσιμα κανάλια ανά 200kHz, ενώ για το TETRA έχουμε αντίστοιχα 32 κανάλια, καθένα από τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση είτε φωνής είτε δεδομένων (Σχήμα 5.5).



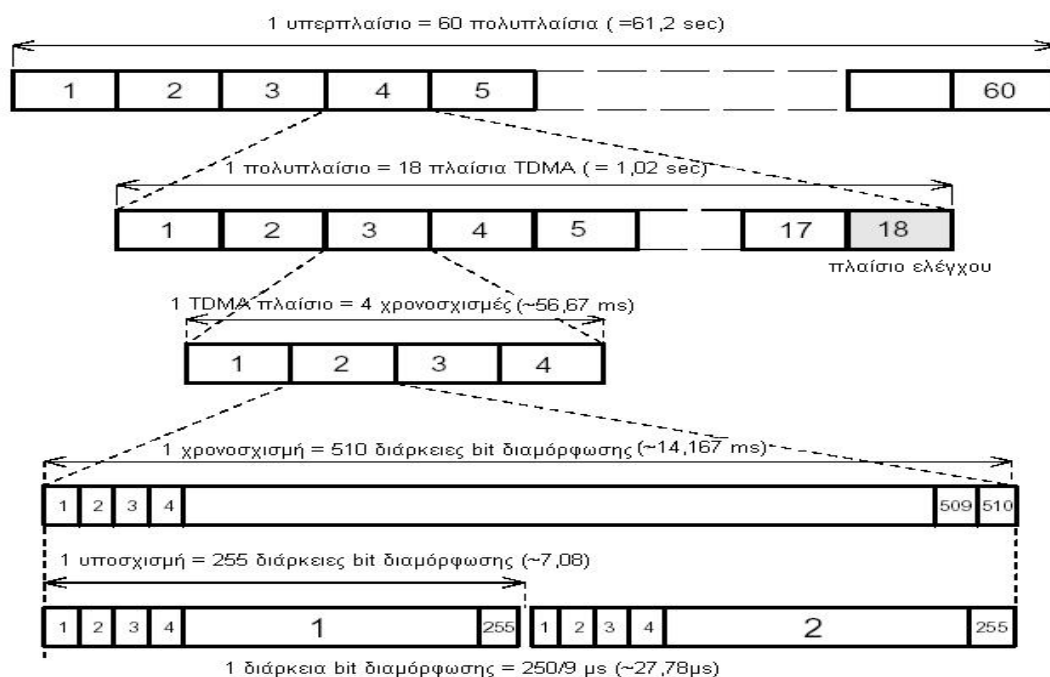
Σχήμα 5.5 ανάλυση του φάσματος.

Κατά την TDMA πρόσβαση σ'ένα διάλογο επικοινωνιών υπάρχει ροή πολυπλεγμένης πληροφορίας από τόσες πηγές όσες και το πλήθος των χρονοθυρίδων που υποστηρίζει η συγκεκριμένη υλοποίηση TDMA (εδώ 4 χρονοθυρίδες). Κάθε πηγή πληροφορίας έχει στη

διάθεσή της όλο το διατιθέμενο φάσμα ραδιο-συχνοτήτων (εδώ 25kHz) για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί/ορίζεται η χρονική σχισμή. Μετά το πέρας του χρόνου αυτού μεταδίδει η επόμενη πηγή κ.ο.κ.

Κατά αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζει άριστη ικανότητα διαχείρισης του φάσματος συχνοτήτων, αλλά επιπλέον και μικρότερο αριθμό σταθμών βάσεων, αφού για κάθε 4 χρήστες χρειάζεται μια μονάδα ραδιοδικτύου. Τέλος, με τη χρησιμοποίηση 4 καναλιών για την σύνδεση ενός χρήστη επιτυγχάνουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 28.8 kbps, ενώ το εύρος ζώνης απελευθερώνεται δυναμικά .

Η χρονοσχισμή (time slot) αποτελεί το βασικό πόρο μετάδοσης της πληροφορίας διάρκειας 14,167ms ($8 \frac{5}{6}ms$), με ρυθμό 36 kbps. Αυτό σημαίνει πως η διάρκεια της χρονοσχισμής, συμπεριλαμβανομένων των διαστημάτων φύλαξης και ανόδου, είναι 510 bits (255 σύμβολα διαμόρφωσης). Οι χρονοσχισμές στο κανάλι ανόδου (uplink) μπορούν να διαιρεθούν σε δύο υποσχισμές. Το φυσικό περιεχόμενο κάθε χρονοσχισμής αποτελεί μια ριπή (burst). Σημειώνεται ότι οι uplink ριπές διαφέρουν από τις downlink ριπές καθώς στην άνοδο οι ριπές περιέχουν τμήμα στο οποίο δίνεται η δυνατότητα να ενεργοποιηθούν και να γραμμικοποιηθούν οι ενισχυτές ισχύος (ramp-up linearization) των κινητών. Αυτό το τμήμα είναι ίσο με 34 bits διαμόρφωσης και λόγω του ότι δεν υπάρχει τέτοιο διάστημα στις downlink ριπές, η χωρητικότητα μίας ριπής ανόδου είναι μεγαλύτερη. Η περίοδος στην οποία επαναλαμβάνεται εκπεμπόμενη ριπή από διάφορες πηγές πληροφορίας καλείται πλαίσιο (frame). Τα bits συγκροτούν ιεραρχικά μεγαλύτερα λογικά μπλοκ πληροφορίας, που παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.6 Δομή TDMA

Τέσσερις χρονοθυρίδες σχηματίζουν ένα πλαίσιο διάρκειας 56,67ms. Κάθε χρονοθυρίδα, όπως αναφέραμε και παραπάνω, έχει διάρκεια 14,167ms και μεταφέρει 510 bits από τα οποία τα 432 είναι bits πληροφορίας και τα υπόλοιπα 78 αποτελούν τα bits πλεονασμού.

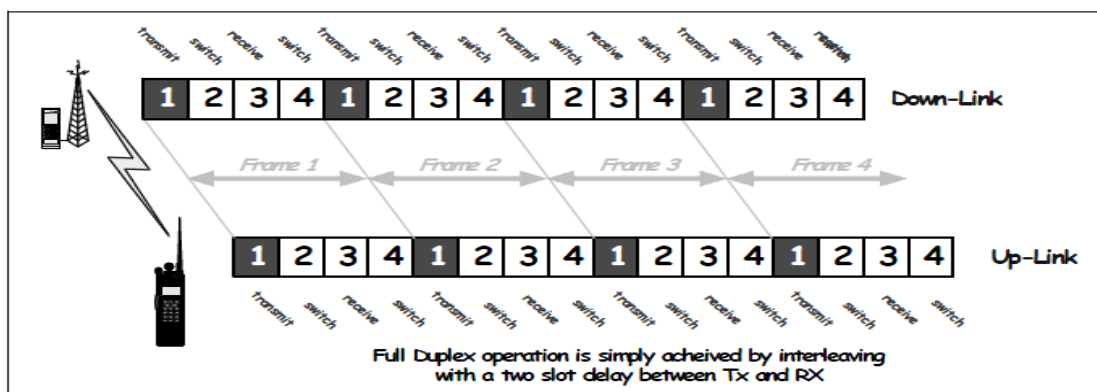
Τα πολυπλαίσια (multiframe) διαιρούνται σε 18 πλαίσια και έχουν διάρκεια 1,02s έκαστο. Τα πρώτα 17 πλαίσια μεταφέρουν πληροφορία χρήστη (φωνή και δεδομένα). Το 18ο πλαίσιο κάθε πολυπλαισίου είναι το πλαίσιο ελέγχου, το οποίο επιτρέπει στο σύστημα να μεταφέρει πληροφορίες σηματοδοσίας και ελέγχου προς τα τερματικά ακόμη κι όταν αυτά είναι κατελιημμένα. Δεδομένου ότι ένα πολυπλαίσιο διαρκεί 1,02s και μεταφέρει συνολικά 29376 bits ($17 \cdot 4 \cdot 432$) ο ρυθμός μετάδοσης χρήσιμης πληροφορίας είναι 28800 bps ανά φέρον ή 7200 bps ανά κανάλι.

Το υπερπλαίσιο (hyperframe) αποτελείται από 60 πολυπλαίσια και διαρκεί 61,2s. Στο επίπεδο του υπερπλαισίου διενεργούνται οι λειτουργίες συγχρονισμού και κρυπτογράφησης.

Η αποδοτική χρήση του εύρους των RF συχνοτήτων απ'τα συστήματα TETRA είναι ένας συνδυασμός τριών παραγόντων, που είναι:

- Το εύρος ζώνης που απασχολεί κάθε κανάλι επικοινωνίας,
- Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, η οποία οριοθετείται απ'το λόγο φέροντος προς παρεμβολή (Carrier to Interference ratio C/I) σε dB
- Η τεχνολογία trunking που χρησιμοποιείται.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του TETRA είναι η δυνατότητα αμφίδρομης (full duplex) επικοινωνίας με την χρήση τερματικών συσκευών half duplex. Αυτό επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας τις εκπομπές της άνω και κάτω ζεύξης έτσι ώστε η κάθε χρονοθυρίδα της άνω ζεύξης να εκπέμπει δύο χρονοθυρίδες μετά την αντίστοιχη χρονοθυρίδα της κάτω ζεύξης. Με το τρόπο αυτό, το τερματικό λαμβάνει πρώτα την πληροφορία από τον σταθμό βάσης στην χρονοθυρίδα X, στην χρονοθυρίδα X+1 αλλάζει κατάσταση λειτουργίας και από δέκτης μετατρέπεται σε πομπό, και στην τρίτη χρονοθυρίδα X+2 εκπέμπει προς τον σταθμό βάσης (Σχήμα 5.7).



Σχήμα 5.7 Full duplex επικοινωνία με half duplex τερματικά

Στο TDMA όμως υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Από τη στιγμή που ο ρυθμός μετάδοσης του φέροντος αυξάνει, η πολυδιαδρομική διάδοση δημιουργεί προβλήματα και η διαδικασία συγχρονισμού γίνεται πιο δύσκολη. Επίσης αφού το TDMA ομαδοποιεί τέσσερα κανάλια στο ίδιο φέρον, κάνει το σύστημα λιγότερο κατάλληλο για χειριστές μικρών συστημάτων PMR. Για παράδειγμα το TETRA χρησιμοποιεί σύστημα τεσσάρων χρονοθυρίδων και έτσι ο ελάχιστος αριθμός TETRA καναλιών που μπορεί να έχει ένας χειριστής - σταθμός βάσης είναι τέσσερα. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν καταστάσεις χειρισμού του συστήματος που επιτρέπουν το διαμοιρασμό χρονοθυρίδων από το ίδιο φέρον σε διαφορετικές κυψέλες.

5.1.3 Διαμόρφωση $\pi/4$ -DQPSK στο TETRA

Ο τύπος διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται είναι γνωστός με την ονομασία: $\pi/4$ -διαφορική ορθογωνική κωδικοποίηση φάσης ($\pi/4$ -DQPSK, $\pi/4$ -Differential Quaternary Phase Shifted Keying,), με ρυθμό διαμόρφωσης 36 kbps. Σε πολλά συστήματα και σε πολλές τεχνικές διαμόρφωσης καθώς και στο TETRA, ο παλμός που αντιπροσωπεύει το λογικό 0 έχει στάθμη τάσεως αρνητική και ίση με $-A$ Volts. Επειδή το σήμα πληροφορίας είναι τυχαίο, μη ντετερμινιστικό για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε την μορφή του φάσματος κάνουμε την εξής παραδοχή που βασίζεται σε στατιστικούς νόμους. Έτσι επειδή στατιστικά ο αριθμός άσων και μηδενικών είναι ίσος, ένας παλμός πληροφορίας μπορεί να θεωρηθεί ως παλμός Manchester. Το φάσμα ενός τέτοιου παλμού εξάγεται μέσω της αυτοσυσχέτισης του μετασχηματισμού Fourier του, που δίνεται από την σχέση:

$$|P(f)| = AT \frac{\sin^2(\pi fT/2)}{\pi fT/2}$$

ενώ το φάσμα δίνεται από τη σχέση:

$$S_m(f) = \frac{1}{T} |P(f)|^2$$

Κάθε παλμός έχει δύο στάθμες και γι' αυτό αποτελεί ένα μοναδικό ψηφίο bit. Στο TETRA, κάθε παλμός μπορεί να παριστάνει ζεύγη bits ή τετράδες κ.ο.κ. Στο TETRA υπάρχουν 4 στάθμες αφού χρησιμοποιείται μέθοδος αποστολής 2 bits/σύμβολο. Μπορεί να θεωρηθεί ότι στέλνει δύο ορθογώνια σήματα με παλμούς Manchester. Στο TETRA χρησιμοποιείται το σύστημα διαμόρφωσης $\frac{\pi}{4}$ -DQPSK. Αυτό το μοντέλο διαμόρφωσης ακολουθεί τις αρχές της ψηφιακής διαμόρφωσης φάσης, καθώς αποτελεί συνδυασμό των QPSK και DPSK που είναι με την σειρά τους ειδικοί μετασχηματισμοί της διαμόρφωσης PSK.

Γενικά η διαμόρφωση αποτελεί προϋπόθεση για την επικοινωνία του πομπού με τον δέκτη για κάθε μορφή ασύρματης επικοινωνίας, γιατί κάνει δυνατή τη χρησιμοποίηση του

μέσου διάδοσης (ατμόσφαιρα) από πολλούς χρήστες, αποδίδοντας στον καθένα μια ζώνη συχνοτήτων. Με χρήση διαμόρφωσης, επιτυγχάνεται η μετατόπιση της περιοχής συχνοτήτων του σήματος πληροφορίας σε μία άλλη περιοχή συχνοτήτων όπου το σύστημα θα μπορεί να λειτουργήσει καλύτερα και πιο αποδοτικά.

Η διαμόρφωση DQPSK είναι ένα είδος διαφορικής κωδικοποίησης και χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του σφάλματος φάσης του σύμφωνου αποκωδικοποιητή του δέκτη. Στη συγκεκριμένη κωδικοποίηση, δεν αποστέλλονται τα ψηφία πληροφορίας, αλλά ψηφία που δημιουργούνται από το διαφορικό κωδικοποιητή με συγκεκριμένο κανόνα κατά περίπτωση. Στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει, ο κανόνας δημιουργίας του προς αποστολή κωδικοποιημένου συμβόλου σε σχέση με το σύμβολο πληροφορίας και το προηγούμενο σύμβολο που απεστάλη, περιγράφεται στον πιο κάτω πίνακα

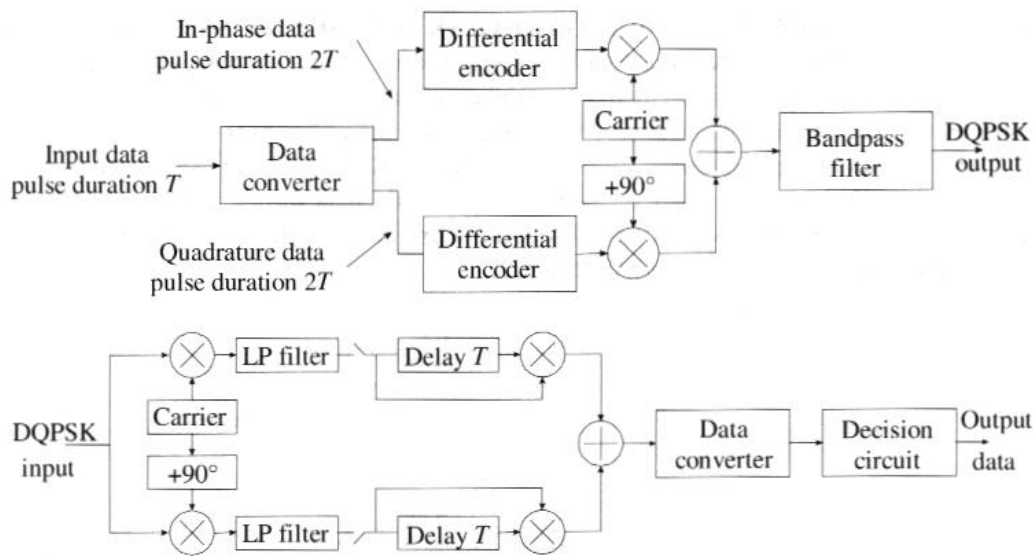
| Σύμβολο Πληροφορίας | Φάση | Προηγούμενο Κωδικοποιημένο σύμβολο | Φάση | Κωδικοποιημένο σύμβολο | Φάση |
|---------------------|------|------------------------------------|------|------------------------|------|
| 00 | 0 | 00 | 3π/4 | 00 | 3π/4 |
| 00 | 0 | 10 | π/4 | 10 | π/4 |
| 00 | 0 | 11 | 7π/4 | 11 | 7π/4 |
| 00 | 0 | 01 | 5π/4 | 01 | 5π/4 |
| 10 | 3π/2 | 00 | 3π/4 | 10 | π/4 |
| 10 | 3π/2 | 10 | π/4 | 11 | 7π/4 |
| 10 | 3π/2 | 11 | 7π/4 | 01 | 5π/4 |
| 10 | 3π/2 | 01 | 5π/4 | 00 | 3π/4 |
| 11 | π | 00 | 3π/4 | 11 | 7π/4 |
| 11 | π | 10 | π/4 | 01 | 5π/4 |
| 11 | π | 11 | 7π/4 | 00 | 3π/4 |
| 11 | π | 01 | 5π/4 | 10 | π/4 |
| 01 | π/2 | 00 | 3π/4 | 01 | 5π/4 |
| 01 | π/2 | 10 | π/4 | 00 | 3π/4 |
| 01 | π/2 | 11 | 7π/4 | 10 | π/4 |
| 01 | π/2 | 01 | 5π/4 | 11 | 7π/4 |

Πίνακας 3 Πίνακας μεταβάσεων φάσης σε DQPSK διαμόρφωση

Για παράδειγμα, αν το προηγούμενο σύμβολο που απεστάλη είναι 00, η ακολουθία συμβόλων πληροφορίας 01 10 00 11 κωδικοποιείται στα σύμβολα 01 00 00 11 που αποστέλλονται με αντίστοιχες στάθμες φάσης του τελικού φέροντος 5π/4, 3π/4, 3π/4, 7π/4. Η διαδικασία αποκωδικοποίησης είναι η αντίστροφη και η απόφαση λαμβάνεται με βάση τη

διαφορά των φάσεων δύο διαδοχικών συμβόλων, ώστε ενδεχόμενο σφάλμα φάση του αποκωδικοποιητή να μην επηρεάζει την απόφαση.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ο διαμορφωτής και αποδιαμορφωτής της διαμόρφωσης DQPSK

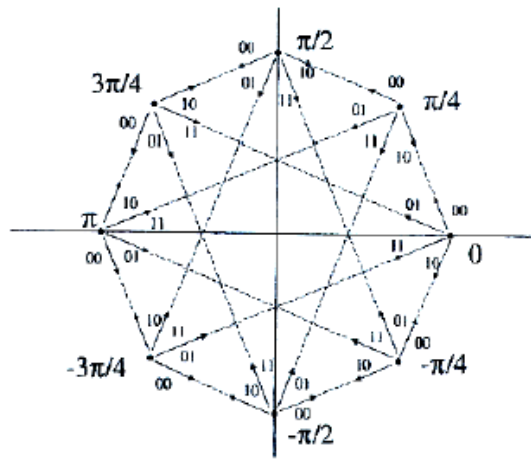


Σχήμα 5.8 Διαμορφωτής και αποδιαμορφωτής DQPSK

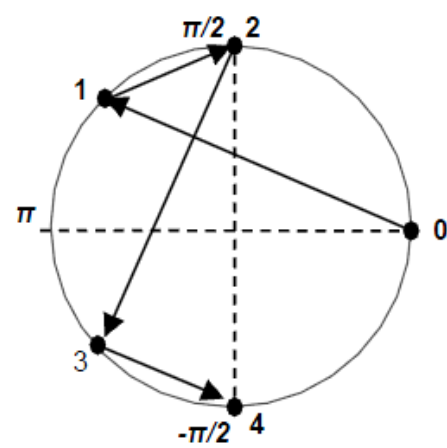
Με διαμόρφωση $\pi/4$ – DQPSK στο TETRA, επιτυγχάνεται ρυθμός μετάδοσης της τάξης του 36.6 KBits/sec (18 ksymbols/sec) ανά φέρον. Δεδομένου ότι το κάθε φέρον απέχει από το επόμενο 25KHz, η φασματική απόδοση είναι 1.44 bits/sec/Hz. Κατά την διαμόρφωση αυτή ο εισερχόμενος συρμός δεδομένων ομαδοποιείται σε dibit (2bits=1dibit=1symbol). Κάθε dibit παράγει μια προκαθορισμένη μετάβαση φάσης η οποία είναι πάντα ένα πολλαπλάσιο του $\pi/4$, έχει μέγιστη τιμή $3\pi/4$ και είναι ανεξάρτητη από την τρέχουσα φάση του φέροντος. Οι μεταβάσεις φάσης του φέροντος παρατίθενται στον Πίνακα 4 και στο διάγραμμα μεταβάσεων φάσης του Σχήματος 5.9.

| DIBIT | | Αλλαγή φάσης από προηγούμενο σύμβολο |
|-------|------|--------------------------------------|
| Bit1 | Bit2 | |
| 1 | 1 | $-3\pi/4$ |
| 0 | 1 | $+3\pi/4$ |
| 0 | 0 | $+\pi/4$ |
| 1 | 0 | $-\pi/4$ |

Πίνακας 4 Μεταβάσεις φάσης στην $\pi/4$ DQPSK διαμόρφωση



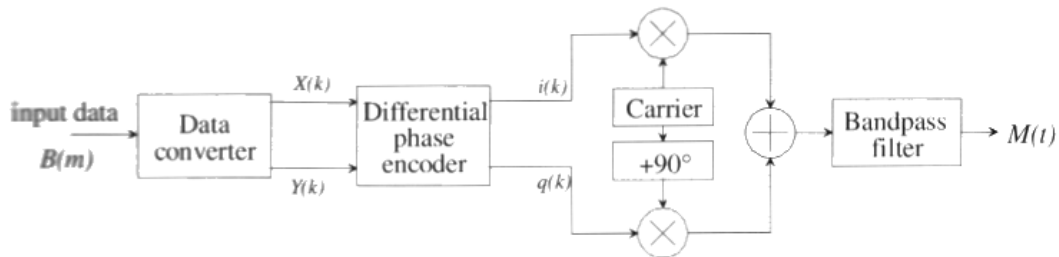
Σχήμα 5.9 Διάγραμμα μεταβάσεων φάσης π/4-DQPSK



Σχήμα 5.10 Διάγραμμα μεταβάσεων φάσης για «01100100»

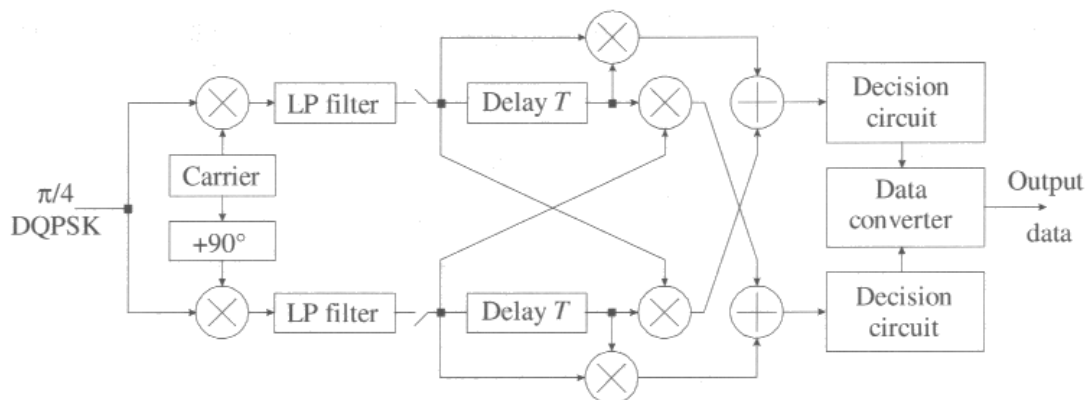
Έστω, για παράδειγμα, το σήμα εισόδου «01100100». Το σήμα αυτό χωρίζεται στα dibits 01, 10, 01 και 00. Από το διάγραμμα μεταβάσεων φάσης του Σχήματος 5.9 και παίρνοντας ως φάση αναφοράς το 0 διαπιστώνουμε ότι τα εκπεμπόμενα σύμβολα είναι 0, 3π/4, π/2, -3π/4 και π/2 (βλέπετε Σχήμα 5.10)

Ο κωδικοποιητής της διαμόρφωσης π/4-DQPSK, φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα



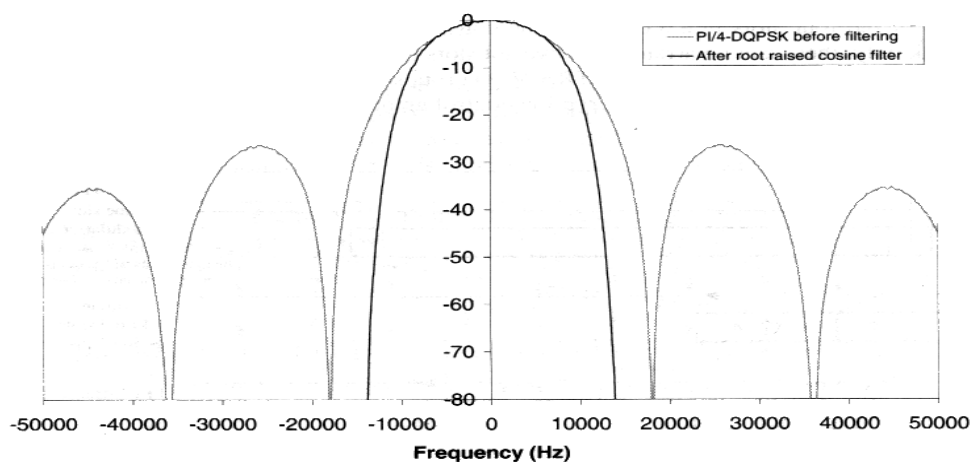
Σχήμα 5.11 Κωδικοποιητής π/4-DQPSK

Ανάλογα και το σχήμα του αποκωδικοποιητή π/4-DQPSK, που είναι πιο πολύπλοκο φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα



Σχήμα 5.12 Αποκωδικοποιητής π/4-DQPSK

Η διαμόρφωση $\pi/4$ -DQPSK χρησιμοποιεί 8 πιθανά σύμβολα εκ των οποίων τα 4 είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν κάθε φορά. Έχει το πλεονέκτημα ότι κάθε σύμβολο που στέλνεται αντιστοιχεί σε δύο bits, μειώνοντας έτσι αρκετά το απαιτούμενο φάσμα αφού το symbol rate είναι το μισό του bit rate. Επιπρόσθετα, η διαφορεική φύση της τεχνικής επιτρέπει στο πρώτο μεταδιδόμενο σύμβολο να παρέχει τα σημεία αναφοράς για τα επόμενα, χωρίς να απαιτούνται bits πληροφορίας και συγχρονισμού. Ένα μειονέκτημά της είναι ότι αν ένα σύμβολο φτάσει στο δέκτη λάθος, τότε δύο bits απορρίπτονται. Για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα να συμβεί αυτό, έχει επιλεγεί μία προσεκτική αντιστοίχιση μεταξύ των bits που θα μεταδοθούν και των συμβόλων διαμόρφωσης. Αν ένα σφάλμα συμβεί τότε το σύμβολο είναι πιο πιθανό να παρερμηνευτεί με ένα από τα γειτονικά του, παρά με το πιο απομακρυσμένο από αυτό. Εξασφαλίζοντας ότι τα γειτονικά σύμβολα θα αναπαριστούν ζεύγη bits με αλλαγή μόνο του ενός από τα δύο bit σε κάθε διαδοχική μετάβαση, το bit error rate ελαχιστοποιείται καθώς το σφάλμα περιορίζεται στο ένα μόνο bit και όχι συνολικά στο σύμβολο (ζεύγος bits). Αυτή η διαδοχή στις καταστάσεις με αλλαγή μόνο του ενός bit κάθε φορά καλείται κώδικας Gray. Το πρώτο σύμβολο που αποστέλλεται είναι σύμβολο αναφοράς με φάση 0 και δεν παρέχει ουσιαστικά πληροφορία. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι το φάσμα της τεχνικής αυτής είναι εξαιρετικά ευρύ. Παρ' όλα αυτά υπάρχει τρόπος να μειωθεί με φιλτράρισμα. Το TETRA χρησιμοποιεί ένα φίλτρο ανορθωμένου συνημίτονου χωρισμένο σε πομπό και δέκτη (φίλτρο ρίζας ανορθωμένου συνημίτονου στον πομπό και φίλτρο ρίζας ανορθωμένου συνημίτονου στο δέκτη). Το φιλτράρισμα μειώνει το φάσμα πολύ ικανοποιητικά χωρίς ουσιαστικές παρενέργειες στο bit error rate και στο ρυθμό μετάδοσης. Το μόνο πρόβλημα που δημιουργείται είναι ότι το πλάτος της διαμορφωμένης κυματομορφής παύει να είναι σταθερό, πράγμα που απαιτεί τη χρήση γραμμικών ενισχυτών έτσι ώστε να μην εξαπλωθεί το σήμα φασματικά. Το αποτέλεσμα του φίλτρου ανορθωμένου συνημίτονου στο TETRA $\pi/4$ -DQPSK φαίνεται παρακάτω στο *Σχήμα 5.13*.



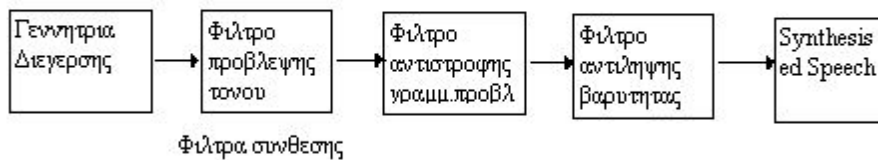
Σχήμα 5.13 Χαρακτηριστική φίλτρου ανορθωμένου συνημίτονου στο $\pi/4$ -DQPSK

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η τεχνική αυτή έχει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Παρ' όλα αυτά τα μειονεκτήματα μπορούμε να τα αντισταθμίσουμε με διάφορες τεχνικές και το κόστος τους είναι τελικά μικρό. Εν τέλει, η διαδοχή των λειτουργιών στο διαμορφωτή είναι η εξής:

- Ο συρμός bits χωρίζεται σε ζεύγη.
- Υπολογίζεται η μετατόπιση φάσης για την κωδικοποίηση κάθε ζεύγους.
- Ξεκινώντας από αρχική φάση μηδέν υπολογίζονται τα σύμβολα διαμόρφωσης
- Το φέρον διαμορφώνεται από αυτά τα σύμβολα.
- Φιλτράρισμα με φίλτρο (ρίζας) ανορθωμένου συνημίτονου για να μειωθεί το εύρος ζώνης.
- Μετατόπιση της κυματομορφής στην κατάλληλη περιοχή συχνοτήτων και αποστολή αυτής.

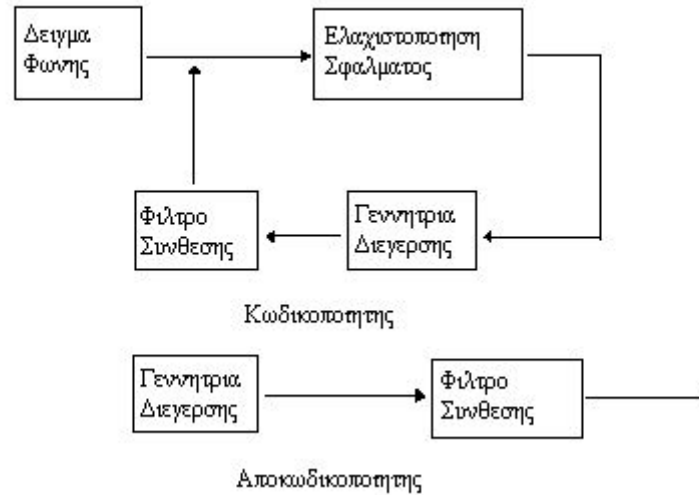
5.1.4 Κωδικοποίηση φωνής στο TETRA

Στο σύστημα TETRA , η κωδικοποίηση φωνής επιτυγχάνεται «μοντελοποιώντας» την διαδικασία παραγωγής του λόγου στο φωνητικό σύστημα του ανθρώπου , όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 5.13 «Μοντελοποίηση» διαδικασία παραγωγής της ομιλίας

Η τεχνική κωδικοποίησης για την φωνή (speech codec) που χρησιμοποιείται ονομάζεται «αλγεβρική παλμοκωδική διέγερση με γραμμική πρόβλεψη» **ACELP** (**A**lgebraic **C**ode **E**xcited **L**inear **P**rediction **C**oding). Αυτή η τεχνική ανήκει σε μια ευρύτερη κατηγορία με μεθόδους και αλγόριθμους κωδικοποίησης (coders) που χρησιμοποιούν γραμμική πρόβλεψη (predictive coding) και βασίζονται κυρίως σε μια διαδικασία γνωστή ως «analysis-by-synthesis» voice coding (βασική αρχή της οποίας είναι η ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ανάμεσα στην κυματομορφή του σήματος της πραγματικής φωνής και του σήματος της φωνής που έχει προκύψει από την διέγερση και τα φίλτρα – synthesized speech). Η διαδικασία κωδικοποίησης φαίνεται παρακάτω στο **Σχήμα 5.14**

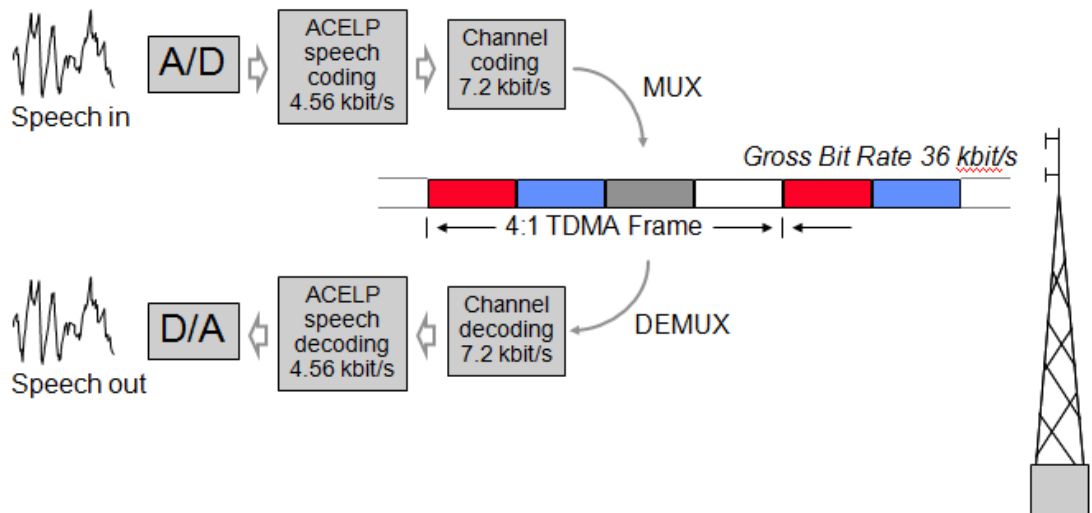


Σχήμα 5.14 Ο ACELP κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής

Η διαδικασία περιλαμβάνει 2 βασικά στάδια . Αρχικά οι παράμετροι του φίλτρου σύνθεσης υπολογίζονται από δείγματα 30 msec της φωνής . Έπειτα η ακολουθία διέγερσης υπολογίζεται για αυτό το φίλτρο διαιρώντας τα πλαίσια των 30 msec σε υπο-πλαίσια των 7.5 msec , με τις παραμέτρους διέγερσης να καθορίζονται ξεχωριστά για κάθε υπο-πλαίσιο . Όταν τα δείγματα φωνής κωδικοποιηθούν , στέλνονται μαζί με τις παραμέτρους του φίλτρου και την ακολουθία διέγερσης στον δέκτη .

Η διαδικασία αυτή , χρησιμοποιώντας την τεχνική ACELP , παράγει 137 bits ανά 30 msec δείγματος φωνής , (κάτι που αντιστοιχεί σε ισοδύναμο ρυθμό μετάδοσης περίπου ίσο με 4.567 kbits/sec) . Αυτά τα bits αναθέτονται σε μια από τις τρεις κλάσεις ευαισθησίας ψηφίων . Από αυτά , 30 bits (τα πιο ευαίσθητα σε σφάλμα) αναθέτονται στην κλάση ευαισθησίας 2 , 56 bits στην κλάση 1 και 51 bits στην κλάση ευαισθησίας 0 . Σε αυτά τα bits προστίθεται και κωδικοποίηση καναλιού (channel coding) και παράγονται συνολικά 216 bits ανά 30 msec . Ο σκοπός της κωδικοποίησης καναλιού είναι να μειωθεί στο ελάχιστο η αλλοίωση των μεταδιδόμενων δεδομένων από τα σφάλματα κατά την αποκωδικοποίηση . Ανάλογα σε ποια κλάση ευαισθησίας βρίσκονται , τα bits λαμβάνουν και την αντίστοιχη προστασία (error protection) .

Παρακάτω στο **Σχήμα 5.15** φαίνεται η κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση της ομιλίας στο TETRA καθώς και η πολυπλεξία της σε TDMA χρονοθυρίδα.



Σχήμα 5.15 Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση της ομιλίας στο TETRA

5.2 Μηχανισμοί Ασφαλείας

Οι μηχανισμοί ασφαλείας του TETRA περιλαμβάνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για υλοποίηση ασφαλούς επικοινωνίας σε διάφορα επίπεδα.

- Πιστοποίηση του χρήστη με μια ταυτότητα αποθηκευμένη στην κάρτα SIM
- Πιστοποίηση ενός κινητού τερματικού με ένα μοναδικό αριθμό μηχανής
- Πιστοποίηση του δικτύου και της διαχείρισης του συστήματος του δικτύου
- Προσωπική και ομαδική εμπιστευτική ταυτότητα χρήστη
- Πιστοποίηση της προέλευσης και της ακεραιότητας των δεδομένων σηματοδοσίας που στέλνονται
- Εμπιστευτικότητα των πληροφοριών σηματοδοσίας
- Ασφαλείς λειτουργίες για τη διαχείριση του air interface key

Τα στάνταρ του TETRA καθορίζουν ένα αριθμό από μηχανισμούς ασφαλείας σε διάφορα επίπεδα των πρωτοκόλλων των ραδιοεπικοινωνιακών στρωμάτων, από το χαμηλό επίπεδο της ασύρματης διεπαφής μέχρι το υψηλό επίπεδο εφαρμογών των χρηστών. Αυτοί οι μηχανισμοί κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη λειτουργία τους και την περιοχή εφαρμογή τους μέσα στο σύστημα ως εξής

- ✓ **Μηχανισμοί Ασφαλείας.** Είναι ανεξάρτητες τυποποιημένες λειτουργίες που σκοπό έχουν να διασφαλίσουν την εμπιστευτικότητα των δεδομένων και την αυθεντικοποίηση των κινητών τερματικών του συστήματος
- ✓ **Τεχνικές Διαχείρισης Ασφαλείας.** Είναι λειτουργίες που ελέγχουν και διαχειρίζονται τους μηχανισμούς ασφαλείας στο σύστημα TETRA. Διασφαλίζουν την

απρόσκοπτη λειτουργία των μηχανισμών ασφαλείας και τη συμβατότητα αυτών με διαφορετικά δίκτυα.

- ✓ **Αλγόριθμοι Κρυπτογράφησης.** Είναι τυποποιημένοι μαθηματικοί κώδικες, που σε συνδυασμό με τα κλειδιά κρυπτογράφησης προσφέρουν ένα επαρκή επίπεδο ασφαλείας ώστε οι προηγούμενες μέθοδοι ασφαλείας να λειτουργούν χωρίς πρόβλημα.
- ✓ **Νόμιμοι Μηχανισμοί Αναχαίτισης.** Είναι τεχνικές που προσβλέπουν στην παροχή νόμιμης πρόσβασης σε πληροφορίες μέσα στο σύστημα TETRA, στις κρατικές ρυθμιστικές αρχές.

Η σχέση μεταξύ των μηχανισμών ασφαλείας φαίνεται στο πιο κάτω **Σχήμα 5.15**

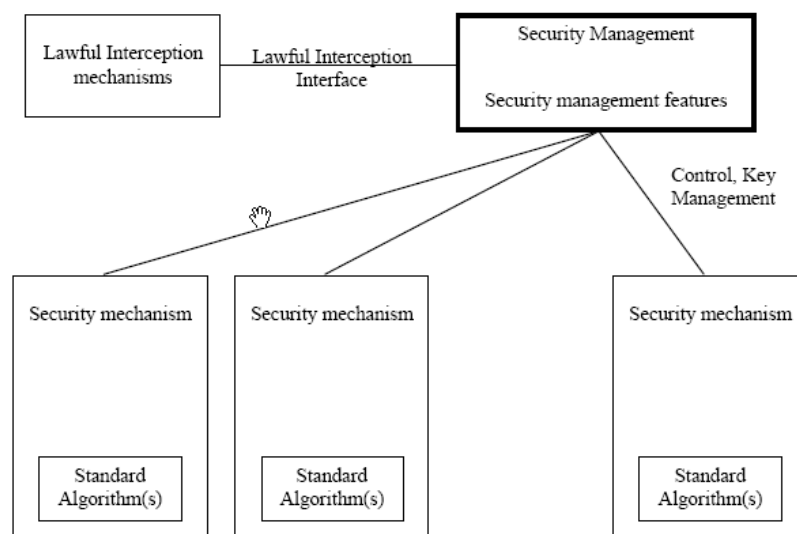


Figure 1 – Relations between security functions

Σχήμα 5.15 Σχέση μηχανισμών ασφαλείας

5.2.1 Τεχνικές μηχανισμών ασφαλείας

Οι μηχανισμοί ασφαλείας περιλαμβάνουν τις πιο κάτω τεχνικές

I. Air Interface Κρυπτογράφηση

Αυτή προστατεύει τη διαδρομή μεταξύ του τερματικού και του σταθμού βάσης (**Σχήμα 5.16**). Αυτό είναι απαραίτητο για να καταπολεμηθεί «η υποκλοπή της πληροφορίας» από τα ραδιοκύματα, τα οποία εάν δεν προστατευτούν επαρκώς, τότε είναι δυνατόν με τη χρήση αποκωδικοποιητών που έχουν τοποθετηθεί σε radio scanners να έχουμε υποκλοπές σ' αυτά.

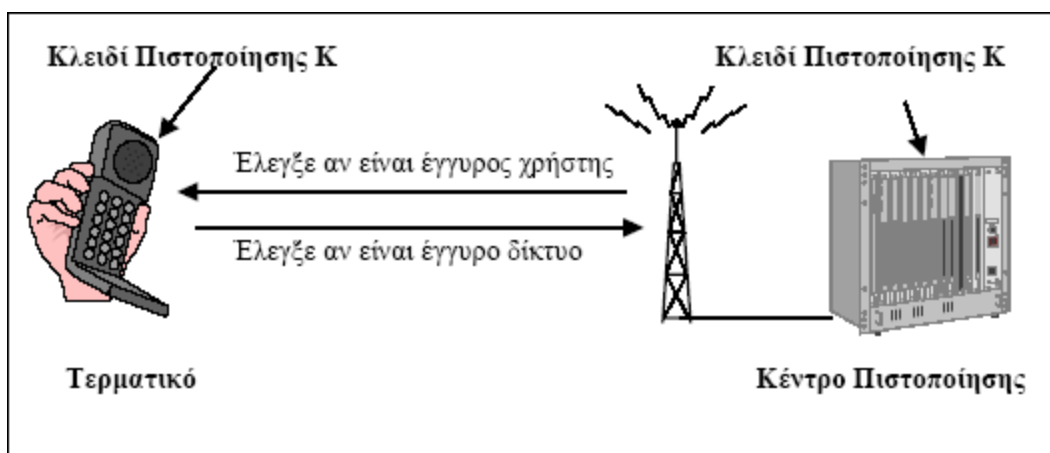
Η αυθεντικοποίηση μέσω κρυπτογράφησης είναι αναγκαία και για τους εξής λόγους

- Για διασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος στην αγορά δικτύων
- Για έλεγχο της πρόσβασης του σταθμού βάσης στο δίκτυο TETRA και τις υπηρεσίες του

- Τη δημιουργία ενός μοναδικού κλειδιού κρυπτογράφησης, το **DCK** (**D**erived **C**ipher **K**ey) για την πιστοποίηση του τερματικού με το σταθμό βάσης.
- Για δημιουργία ενός ασφαλούς καναλιού στο οποίο θα μεταφέρονται τα κλειδιά πιστοποίησης.
- Για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της σύνδεσης μεταξύ σταθμού βάσης και τερματικού.
- Διασφάλιση ότι οι σταθμοί βάσης είναι συνδεδεμένοι στο νόμιμο δίκτυο TETRA και όχι σε κάποιο φαινομενικό

Η Air Interface κρυπτογράφηση εφαρμόζεται στις υπηρεσίες δεδομένων Circuit Mode Data και Packet Mode Data. Στην **Direct Mode Operation (DMO)** δεν χρησιμοποιείται ένας συγκεκριμένος μηχανισμός αυθεντικοποίησης, αλλά χρησιμοποιείται ένας εναλλακτικός τρόπος αυθεντικοποίησης με χρήση ενός κλειδιού κρυπτογράφησης, το **Static Cipher Key (SCK)**.

Η αμοιβαία αυθεντικοποίηση τερματικού και σταθμού βάσης γίνεται με τη χρήση ενός κλειδιού το οποίο είναι μοναδικό για κάθε σταθμό βάσης και τερματικό και αποθηκεύεται σε αυτό.



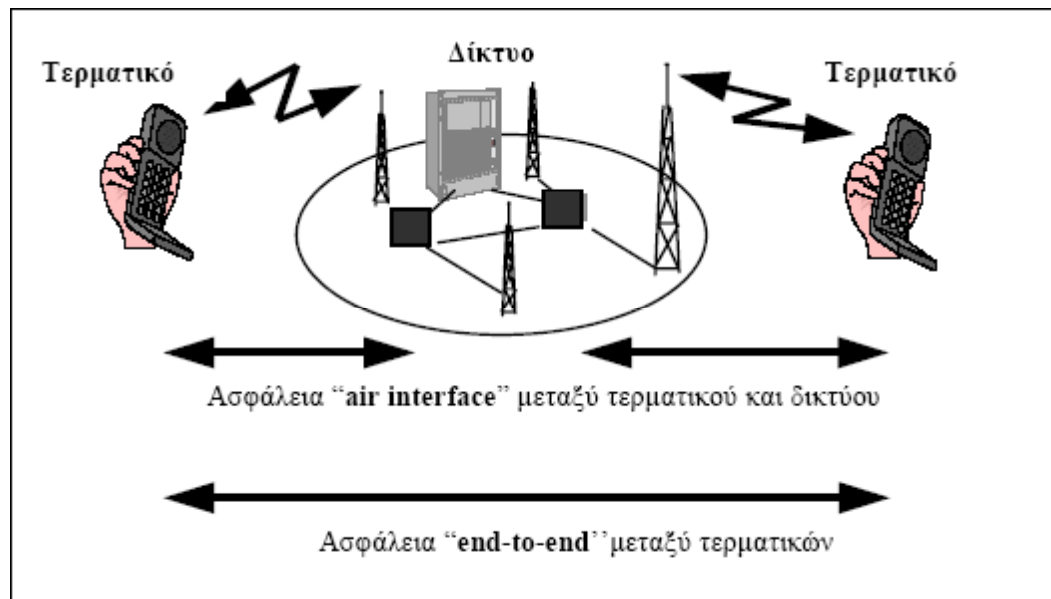
Σχήμα 5.16 Πιστοποίηση

II. Κρυπτογράφηση από άκρη σε άκρη (end to end encryption)

Η Air Interface κρυπτογράφησης διασφαλίζει τη σύνδεση του σταθμού βάσης με το τερματικό. Όταν όμως μεταδίδονται και πληροφορίες μέσα στο δίκτυο, τότε για επιπρόσθετη ασφάλεια χρησιμοποιείται και η από άκρη σε άκρη κρυπτογράφηση. Η διαφορά στις δύο μεθόδους κρυπτογράφησης φαίνεται και στο πιο κάτω **Σχήμα 5.17**.

Το TETRA προτυποποίησε ένα μηχανισμό συγχρονισμού του συστήματος κρυπτογράφησης ο οποίος χρησιμοποιείται όταν υπάρχει σύγχρονη ροή κλειδιών. Με τη βοήθεια του μηχανισμού καθώς και μιας χρονικής μεταβλητής αρχικοποίησης επιτυγχάνεται μεταξύ άλλων προστασία των μεταδιδόμενων μηνυμάτων από επανάληψη τους (replay). Επίσης είναι δυνατό να αποφευχθεί εγγραφή των μηνυμάτων και επανάληψή τους με

διάφορους τρόπους π.χ. με χρήση ενός κοινού ρολογιού σε πραγματικό χρόνο το οποίο στέλλεται επιπρόσθετα μαζί με τα προς μετάδοση δεδομένα και τα καθιστά έγκυρα στο δέκτη



Σχήμα 5.17 Κρυπτογράφηση end to end

III. Ανωνυμία

Η ανωνυμία στο σύστημα TETRA μπορεί να επιτευχθεί με χρήση της τεχνικής **Switching and Management Infrastructure (SwMI)**, όπου σε κάθε χρήστη, τερματικό και σταθμό βάσης δίνεται ένα μοναδικό και προσωρινό όνομα για αναγνώριση του μέσα στο δίκτυο TETRA. (Κάτι αντίστοιχο με το IP address στο διαδίκτυο). Στη συνέχεια κάθε κόμβος του δικτύου που αντιστοιχεί σε κάποιο χρήστη κρυπτογραφείται με χρήση Air Interface κρυπτογράφησης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στις καταστάσεις λειτουργίας V+D και DMO.

IV. Ασφαλής Ενεργοποίηση και Απενεργοποίηση των Τερματικών

Τα TETRA τερματικά μπορεί να ενεργοποιούνται και να απενεργοποιούνται από την υποδομή του συστήματος και αυτό παρέχει ένα πρόσθετο μηχανισμό ασφαλείας. Για παράδειγμα, απενεργοποιώντας τα κινητά μπορούν να εμποδιστούν διάφορες παραβιάσεις με σκοπό την πρόσβαση στο σύστημα.

5.2.2 Τεχνικές διαχείρισης ασφαλείας

Σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών και ιδιαίτερα στο σύστημα TETRA, δεν μπορείς να είσαι απόλυτα βέβαιος ότι το επίπεδο ασφαλείας είναι επαρκές. Οπότε είναι επιτακτική η ανάγκη για συνεχή έλεγχο των μηχανισμών ασφαλείας του δικτύου για τη σωστή λειτουργία τους, όπως επιτακτικός είναι και ο έλεγχος κάθε κόμβου του δικτύου ξεχωριστά. Επίσης αυτοί οι μηχανισμοί διαχείρισης ασφαλείας είναι υπεύθυνοι για τη συμβατότητα σε θέματα ασφαλείας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων TETRA.

5.2.3 Αλγόριθμοι κρυπτογράφησης

Το πρότυπο TETRA παρέχει ένα συγκεκριμένο αριθμό αλγορίθμων κρυπτογράφησης, όπου ο κάθε ένας εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο σκοπό ασφάλειας μέσα στο σύστημα. Οι αλγόριθμοι αυτοί κατηγοριοποιούνται ως εξής

- ✓ Αλγόριθμοι κρυπτογράφησης air interface
- ✓ Αλγόριθμοι αυθεντικοποίησης και διαχείρισης κλειδιών στο air interface.
- ✓ Από άκρη σε άκρη αλγόριθμοι κρυπτογράφησης.

5.2.4 Νόμιμοι μηχανισμοί αναχαίτησης

Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες υποχρεώνονται νομοθετικά οι δημόσιες και ιδιωτικές εταιρείες τηλεπικοινωνιών να επιτρέπουν την νόμιμη αναχαίτιση κάποιων λειτουργιών και υπηρεσιών του δικτύου από την αρμόδια κρατική ρυθμιστική αρχή. Αυτές οι τεχνικές ενσωματώθηκαν και στο πρότυπο TETRA επιτρέποντας έτσι αυτού του είδους τις παρεμβάσεις.

5.3 TETRA Circuit Mode (V+D)

Το σύστημα TETRA , έχει 3 καταστάσεις λειτουργίας, τις εξής:

- ✓ Circuit Mode (Voice plus Data)
- ✓ Packet Connection Oriented Mode
- ✓ Packet Connectionless Mode

Για κάθε κατάσταση λειτουργίας υποστηρίζονται και οι πιο κάτω υπηρεσίες:

- ✓ Individual call (point to point)
- ✓ Group call (point to multipoint)
- ✓ Acknowledged group call
- ✓ Broadcast call

Εμείς θα επικεντρωθούμε σε αυτή την παράγραφο στη Circuit Mode, την πιο επικρατούσα κατάσταση λειτουργίας, γνωστή ως και trunked mode (TMO). Στη συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας έχουμε μετάδοση πληροφορίας, είτε φωνής είτε δεδομένων. Στο σύστημα TETRA ορίζονται διάφορα λογικά κανάλια, δηλαδή προσυμφωνημένοι τύποι ριπών που εξυπηρετούν κάποιο συγκεκριμένο σκοπό και κάνουν δυνατή τη λειτουργικότητα του συστήματος, τον έλεγχο του, καθώς και την παροχή διαφόρων υπηρεσιών. Κάθε πηγή πληροφορίας, που χρησιμοποιεί την V+D (voice plus data) κατάσταση, καταλαμβάνει ένα φυσικό κανάλι κατά την διάρκεια της κλήσης και το διατηρεί μέχρι το τέλος της, ανεξάρτητα αν η πηγή είναι συνεχώς ενεργοποιημένη ή κατά διαστήματα «πέφτει» σε αδράνεια. Με τον όρο φυσικό κανάλι, εννοείται ο μηχανισμός μετάδοσης που κάνει δυνατή την επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών, δηλαδή ένα φέρον και μια χρονοθυρίδα που θα χρησιμοποιείται

αποκλειστικά για την εξυπηρετούμενη κλήση. Πάνω σε αυτό το φυσικό κανάλι μπορούν να μεταδοθούν τα λογικά κανάλια που απαιτούνται. Ένα βασικό λογικό κανάλι που ορίζεται στο σύστημα TETRA είναι το κανάλι κίνησης Traffic Channel, που συναντιέται με το ακρωνύμιο TCH. Γενικά το φυσικό κανάλι μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από 2 λογικά κανάλια, το κανάλι κίνησης στο φυσικό μέσο TP (Traffic Physical channel) και το κανάλι ελέγχου του φυσικού μέσου (Control Physical channel ή CP). Τα υπόλοιπα λογικά κανάλια που ορίζονται μπορούν να θεωρηθούν σαν υποσύνολα είτε του καναλιού κίνησης είτε του καναλιού ελέγχου, πράγμα που εξαρτάται από τον τύπο της λειτουργίας που πραγματοποιείται.

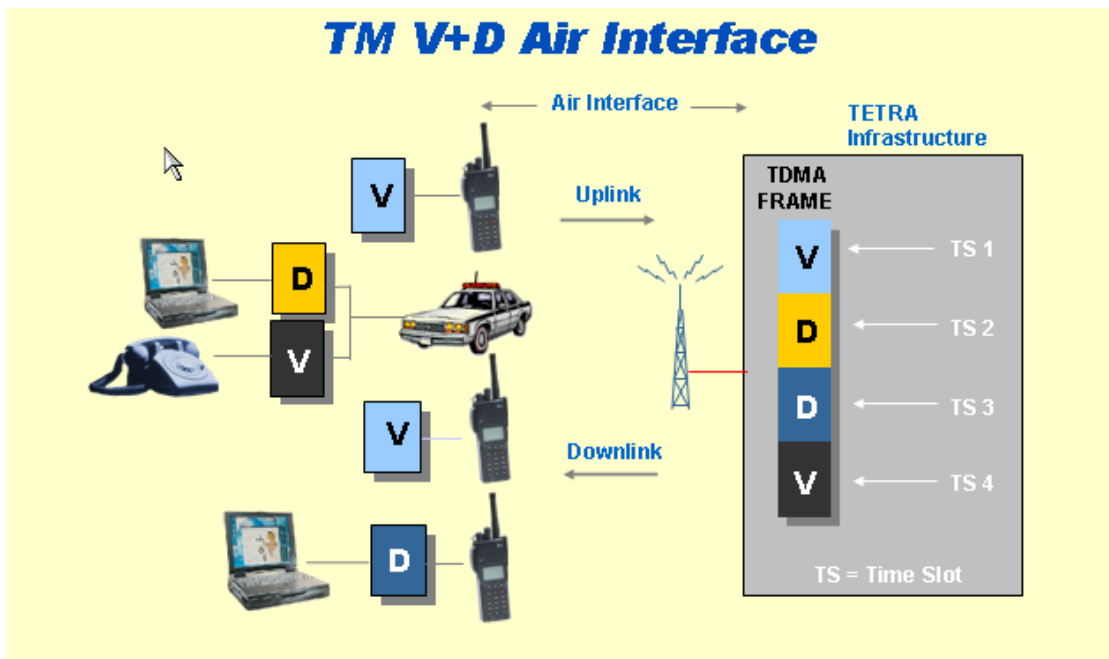
5.3.1 Λειτουργία Circuit Mode (V+D)

Στο TETRA V+D η ανάθεση καναλιού γίνεται αυτόματα όταν ένα κινητό ενεργοποιηθεί. Το κατάλληλο κανάλι είτε περιέχεται στη μνήμη του κινητού τερματικού είτε πραγματοποιείται μία αναζήτηση για εύρεση ελεύθερου καναλιού. Όταν ενεργοποιείται ένα κινητό πρώτα πρέπει να εξασφαλίσει συγχρονισμό πριν να είναι σε θέση να αποκωδικοποιεί μηνύματα που μεταδίδονται από το σταθμό βάσης. Αυτό γίνεται με συγχρονισμό μέσω της ακολουθίας εκγύμνασης της ριπής συγχρονισμού σε οποιαδήποτε συχνότητα της κυψέλης. Η ριπή συγχρονισμού εμφανίζεται στο broadcast κανάλι συγχρονισμού (BSCH) που μεταδίδεται πάντα στην πρώτη υποθυρίδα (στο πρώτο μισό μίας χρονοθυρίδας) του πλαισίου 18. Αφού επιτευχθεί συγχρονισμός, το κινητό αποκωδικοποιεί την υπόλοιπη ριπή συγχρονισμού που δίνει πληροφορίες και ουσιαστικά την ταυτότητα της κυψέλης, της χρονοθυρίδας, του πλαισίου και της κατάστασης λειτουργίας. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στο κινητό πλήρη συγχρονισμό με τα μεταδιδόμενα πλαίσια ενός συγκεκριμένου σταθμού βάσης και πληροφορίες για το χρησιμοποιούμενο κανάλι. Το κινητό στη συνέχεια αναζητά το broadcast κανάλι δικτύου (BNCH) στην τρέχουσα συχνότητα και αποκωδικοποιεί πληροφορίες για τη συχνότητα του κύριου φέροντος. Επίσης αναζητά τα δευτερεύοντα κανάλια ελέγχου που θα το ενημερώσουν για τη λειτουργία στο κύριο φέρον, τον έλεγχο ισχύος και ορισμένες παραμέτρους τυχαίας πρόσβασης (για τυχαία πρόσβαση βλ. παρακάτω). Αφού έχει αποκωδικοποιήσει αυτές τις πληροφορίες εντοπίζει το MCCH (βασικό κανάλι ελέγχου) στην πρώτη θυρίδα του φέροντος ή ένα κατάλληλο δευτερεύον κανάλι ελέγχου. Μετά από αυτό το σημείο το κινητό έχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται για να επικοινωνήσει με το σύστημα και να λάβει downlink μηνύματα ή να μεταδώσει uplink μηνύματα.

Στην κανονική λειτουργία παρέχονται 4 με 5 ζευγάρια από συχνότητες φέροντος δηλαδή 16 με 20 φυσικά κανάλια και το MCCH είναι παρόν στην πρώτη χρονοθυρίδα όλων των πλαισίων από το 1 έως το 18. Τα κινητά που δε συμμετέχουν σε μία κλήση αλλά βρίσκονται στην περιοχή μίας κυψέλης «ακούν» τις downlink μεταδόσεις του λογικού καναλιού MCCH. Ο σταθμός βάσης μεταδίδει συνεχώς σε όλες τις downlink θυρίδες, κατά τη φυσιολογική

λειτουργία, και τα κινητά μπορούν να αναζητήσουν μία θέση στα φυσικά κανάλια επικοινωνίας μέσω του MCCH.

Στο κάτω *Σχήμα 5.18* φαίνεται η λειτουργία του TETRA V+D, σε σχέση με τη διεπαφή air interface.



Σχήμα 5.18 Το TETRA V+D σε σχέση με το air interface

Στο πιο κάτω *Σχήμα 5.19* φαίνεται και το αντίστοιχο data rate για κάθε time slot σε 3 περιπτώσεις ανάλογης προστασίας.

TM V+D AI Data Rate Capacities (kbit/s)

| BANDWIDTH ON DEMAND | | | | |
|---------------------|-----|------|------|------|
| Number of Timeslots | 1 | 2 | 3 | 4 |
| No Protection | 7.2 | 14.4 | 21.6 | 28.8 |
| Low Protection | 4.8 | 9.6 | 14.4 | 19.2 |
| High Protection | 2.4 | 4.8 | 7.2 | 9.6 |

Σχήμα 5.19 Το data rate στο TETRA V+D

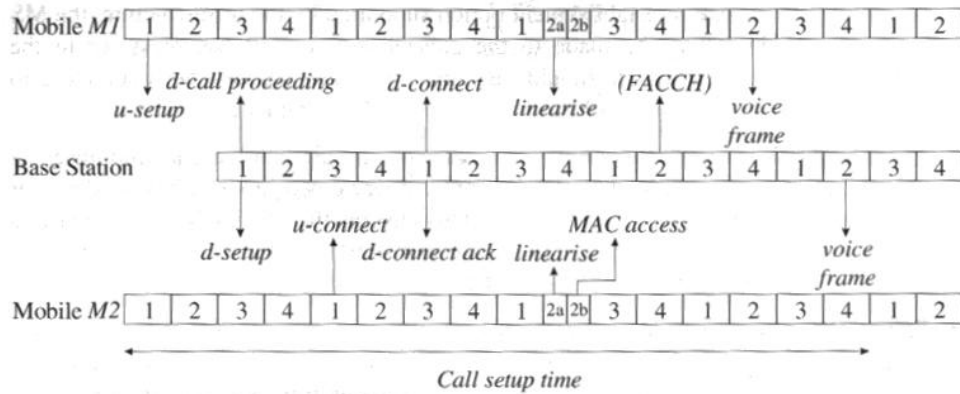
5.3.2 Πραγματοποίηση μιας κλήσης

Εδώ παρουσιάζεται συνοπτικά η ακολουθία γεγονότων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία εγκατάστασης μιας ατομικής κλήσης (και όχι για τις ομαδικές κλήσεις που αποτελούν δυνατότητα του συστήματος TETRA). Η εγκατάσταση της κλήσης ξεκινά με το κινητό M1 που θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση, δηλαδή αποτελεί τον καλούντα της διαδικασίας. Ο καλών λοιπόν δοκιμάζει να κάνει τυχαία πρόσβαση στην πρώτη θυρίδα του φέροντος, που φέρει το κανάλι ελέγχου MCCH. Το μήνυμα, εφόσον αποκτήσει πρόσβαση, στέλνεται σε μια μόνο ριπή και περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το κινητό ώστε να αποκατασταθεί η υπηρεσία. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή και ως u-setup. Στην συνέχεια ο σταθμός βάσης στέλνει επιβεβαίωση ότι έλαβε το μήνυμα (η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως d-call), ενώ παράλληλα εντοπίζει και ειδοποιεί το κινητό του καλούμενου M2 με ένα μήνυμα στην επόμενη θυρίδα 1 (διαδικασία d-setup). Το καλούμενο κινητό απαντά με ένα μήνυμα u-connect στην ακόλουθη χρονοθυρίδα 1. Εφόσον σταλεί το u-connect που σημαίνει ότι το κινητό M2 είναι διαθέσιμο για να πραγματοποιήσει συνομιλία, ο σταθμός βάσης στέλνει το μήνυμα d-connect στο M1 διαθέτοντάς του ένα φυσικό κανάλι και παράλληλα στέλνει μήνυμα d-connect ack στο καλούμενο κινητό ενημερώνοντάς το για το κανάλι που θα χρησιμοποιήσει.

Κατά κύριο λόγο το κανάλι που διατίθεται είναι η 2^η, 3^η, ή 4^η χρονοθυρίδα στο ίδιο φέρον, αλλά μπορεί να είναι και ένα οποιοδήποτε άλλο ζεύγος duplex συχνοτήτων που διαθέτει το σύστημα. Αν για παράδειγμα διατεθεί η 2^η θυρίδα στο ίδιο φέρον, η μετάδοση πληροφορίας δε θα αρχίσει αμέσως λόγω τεχνικών περιορισμών, αλλά στην 2^η θυρίδα του επόμενου πλαισίου. Στο παρακάτω σχήμα υποτέθηκε ότι ανατέθηκε κανάλι στη δεύτερη θυρίδα ενός άλλου φέροντος. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπό αυτές τις συνθήκες ο σταθμός βάσης δίνει άμεση άδεια CLCH, στο εν λόγω κανάλι. Όπως έχει αναφερθεί το CLCH είναι το λογικό κανάλι που χρησιμοποιείται ώστε να δίνεται χρόνος στους πομπούς των κινητών να ενεργοποιηθούν και να γραμμικοποιήσουν τους ενισχυτές τους. Επειδή η κανονική θέση του CLCH είναι το 18^ο πλαίσιο για όλα τα φυσικά κανάλια κάθε τέσσερα τουλάχιστον multiframe γίνεται χρήση ειδικής σημαίας (flag) που δίνει άδεια για έκτακτη χρήση του CLCH στη δεύτερη θυρίδα που ακολουθεί την εντολή d-connect.

Αν και τα δύο κινητά βρίσκονται υπό την επίβλεψη του ίδιου σταθμού βάσης, το κινητό του καλούμενου μπορεί να δεχτεί εντολή από το σταθμό βάσης για να κάνει αισθητή την παρουσία του, μέσω της υποθυρίδας που ακολουθεί τη γραμμικοποίηση, στέλνοντας ένα μήνυμα στο στρώμα 2 για την πρόσβασή του στο κανάλι. Αν τα δύο κινητά βρίσκονται υπό την επίβλεψη διαφορετικών σταθμών μπορεί να χρειάζεται να δηλώσουν ότι χρησιμοποιούν τα ανάλογα κανάλια, με ένα παρόμοιο μήνυμα στην υποθυρίδα που ακολουθεί τη γραμμικοποίηση. Ο σταθμός βάσης ανακοινώνει στο κινητό του καλούντος, στο κανάλι που

έχει διατεθεί, ότι η σύνδεση έχει εγκατασταθεί και δίνει άδεια μετάδοσης πληροφοριών. Αυτή η εντολή δίνεται μέσω του λογικού καναλιού FACCH. Το κινητό στη συνέχεια προχωρά στην αποστολή πλαισίων κωδικοποιημένης φωνής. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία που περιγράφηκε για την εγκατάσταση μίας κλήσης.



Σχήμα 5.20 «Πραγματοποίηση μιας κλήσης»

Ο χρόνος που απαιτείται για την εγκατάσταση κλήσης ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ της αρχικής αίτησης πρόσβασης (u-setup) που στέλνεται από το κινητό M1 και το πρώτο πλαίσιο φωνής που μεταφέρεται στη μεριά του καλούμενου. Κάτω από ιδανικές συνθήκες, ο χρόνος αυτός είναι γύρω στα 230 ms, πράγμα που εξαρτάται από το ποιο κανάλι έχει διατεθεί. Στην περίπτωση που περιγράφεται παραπάνω και καθώς μεσολάβησαν 16 πλαίσια μέχρι την τελική εγκατάσταση της κλήσης, ο χρόνος εγκατάστασης κλήσης ήταν $16 \times 14,167 = 226,67$ ms. Υπάρχει βέβαια η περίπτωση να χρειαστεί παραπάνω χρόνος ανάλογα με το αν απαιτούνται περισσότερες προσπάθειες για την τυχαία πρόσβαση στο μέσο ή αν οι συνθήκες διάδοσης του κύματος μέσα στο κανάλι απαιτούν επανάληψη της αποστολής μίας εντολής, π.χ. d-connect. Στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων ο χρόνος εγκατάστασης της κλήσης στο σύστημα TETRA καθορίζεται σε μία χρονική διάρκεια μικρότερη των 300 ms.

5.3.3 Ειδικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας V+D

Η βασική διαδικασία εγκατάστασης κλήσης για μία προσωπική τηλεφωνική κλήση (φωνής) στη V+D κατάσταση περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η διαδικασία εγκατάστασης ομαδικής κλήσης είναι παρόμοια εκτός από το ότι ο σταθμός βάσης (BS) αναθέτει αμέσως ένα κανάλι κίνησης (εκπέμποντας ένα d-connect μήνυμα σαν απάντηση στο u-setup μήνυμα). Ο V+D τύπος λειτουργίας έχει έναν αριθμό από ειδικά χαρακτηριστικά συνδεδεμένα με τις κλήσεις φωνής και δεδομένων (voice and data), τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε κατηγορίες όπως ακολουθεί:

- Ανεξάρτητες πολλαπλές ταυτόχρονες κομιστικές υπηρεσίες τηλε-εφαρμογών μπορούν να υποστηριχθούν στη φυσική ικανότητα του air interface ή στα όρια της τάξης του κινητού. Η απλούστερη τάξη του κινητού σταθμού προορίζεται να λειτουργεί σε εναλλασσόμενες θυρίδες κατά το uplink και το downlink, δηλαδή σε half duplex. Ένας περισσότερο περίπλοκος και με μεγαλύτερη ακρίβεια κινητός σταθμός (MS) θα υποστηρίζει full duplex λειτουργία κατά τη διάρκεια τεσσάρων γειτονικών χρονικών θυρίδων για να παρέχει τη μεταφορά δεδομένων στο full rate που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα.
- Το δικαίωμα κατοχής του καναλιού από τον πομπό καθώς και το να ενεργήσει πρώτος υποστηρίζεται από τον τύπο V+D. Ο κινητός σταθμός που εκπέμπει πρέπει να ελέγχει συνεχώς το downlink AACH ώστε να επιβεβαιώσει ότι έχει παραχωρηθεί άδεια εκπομπής στην επόμενη uplink θυρίδα. Αυτή η ευκολία επιτρέπει ταχύτατη επανάθεση των ραδιοεπικοινωνιακών πόρων.
- Επίσης στη μέθοδο V+D υποστηρίζονται πολλά επίπεδα διαπομπών (παράδοσης του ελέγχου). Κατά τη διάρκεια μίας κλήσης, ή για όσο ελέγχεται το MCCH, ένα κινητό μπορεί να εξετάσει τις γειτονικές κυψέλες αναζητώντας καλύτερη ποιότητα σήματος. Η απόφαση της επιλογής μίας εναλλακτικής κυψέλης λαμβάνεται από τον κινητό σταθμό. Με βάση τις δυνατότητες του κινητού σταθμού καθώς και την επιλογή επανεγκατάστασης κλήσης που υποστηρίζεται από την υποδομή του δικτύου, η αίτηση για επανεγκατάσταση από τον κινητό σταθμό μπορεί να γίνει στην παρούσα κυψέλη εξυπηρέτησης ή στην προτιμητέα καινούρια κυψέλη.
- Ο τύπος V+D του TETRA χρησιμοποιεί μία ετικέτα γεγονότος (event label) στο air interface, για να ελαχιστοποιήσει την εμφάνιση των διασταυρωμένων κλήσεων. Όταν έχουμε τηλεπικοινωνιακή κίνηση, κάθε downlink θυρίδα έχει ένα αναγνωριστικό το οποίο μεταφέρεται μέσα στο Broadcast Block. Αυτό επιβεβαιώνει ότι εάν ένα κινητό, που είναι απασχολημένο σε μία κλήση, χάσει προσωρινά το σήμα και το ξανακερδίσει λίγο αργότερα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ετικέτα γεγονότος για να προσδιορίσει αν το κινητό επανασυνδέθηκε στη σωστή κλήση.
- Το «κλέψιμο» θυρίδας (slot stealing) κατά τη διάρκεια της μετάδοσης φωνής, ή δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σηματοδότηση από χρήστη σε χρήστη (user-to-user signalling), για σηματοδότηση από το χρήστη στο σύστημα (user-to-system signaling) ή για σηματοδότηση από το σύστημα στο χρήστη (system-to-user signaling). Αυτό γίνεται σε μία βάση πλαισίου φωνής και κατ' αρχήν μπορούν να κλαπούν ένα ή και δύο πλαίσια φωνής (speech frame) μέσα σε μία θυρίδα χρόνου. Η διάρκεια του speech frame αναφέρεται στα 216 bits, συμπεριλαμβανομένης της κωδικοποίησης καναλιού, η οποία παράγεται ανά 30 ms από τον κωδικοποιητή

φωνής του TETRA. Όταν ένα πλαίσιο φωνής κλαπεί για σηματοδότηση, η αντίστοιχη υποθυρίδα που είναι διαθέσιμη ορίζεται ως το stealing κανάλι. Όταν κλαπούν δύο πλαίσια τότε δεν υπάρχουν παράμετροι φωνής και συνεπώς οι προδιαγραφές του καναλιού φωνής δε χρησιμοποιούνται πια. Όταν κλαπεί ένα πλαίσιο φωνής υποθέτεται ότι είναι το πρώτο που κλάπηκε, στην οποία περίπτωση οι δύο μισές ριπές κωδικοποιούνται και εξετάζονται ξεχωριστά.

- Ακόμη στο V+D υποστηρίζονται διαφορετικές ταυτόχρονες προτεραιότητες πρόσβασης. Η ομαδοποίηση των κινητών σταθμών, ο τύπος της κλήσης και οι προτεραιότητες για την αναμονή της κλήσης επιτρέπουν την προσφορά πολλαπλών βαθμών εξυπηρέτησης.
- Τέλος παρέχεται υψηλής ποιότητας μετάδοση φωνής με ρυθμό 4,56 kb/s.

5.3.4 Υπηρεσίες δεδομένων στη λειτουργία V+D

Το σύστημα TETRA προσφέρει στο χρήστη τρεις τύπους υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων στον trunked V+D τύπο της λειτουργίας V+D, οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- ✓ **Short Data Service** (υπηρεσία σύντομων δεδομένων) μέχρι 254 χαρακτήρες
- ✓ **Circuit Mode Data** (δεδομένα μεταδιδόμενα μέσω μεταγωγής κυκλώματος)
- ✓ **Packet Mode Data** (δεδομένα μεταδιδόμενα μέσω μεταγωγής πακέτου)

Η υπηρεσία σύντομων δεδομένων παρέχει μία δυνατότητα, από σημείο σε σημείο και από σημείο σε πολλά σημεία, αποστολής σύντομων μηνυμάτων που περιλαμβάνει ένα περιορισμένο αριθμό από bits δεδομένων, η σημασία των οποίων καθορίζεται από το χρήστη.

Το **SDS (Short Data Service)** υποστηρίζει τις παρακάτω υπηρεσίες:

- ✓ Ορισμένη από το χρήστη και προκαθορισμένη αποστολή και λήψη για προσωπικά μηνύματα
- ✓ Ομαδικά μηνύματα

Στις υπηρεσίες δεδομένων στο circuit mode εγκαθίσταται ένα από άκρο προς άκρο κύκλωμα. Αυτό το από άκρο προς άκρο κύκλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απροστάτευτο ή με χαμηλή ή και υψηλή προστασία πρόβλεψης σφαλμάτων. Προαιρετικά τα δεδομένα μπορούν να κρυπτογραφηθούν σύμφωνα με τους μηχανισμούς του TETRA, όπως αυτοί περιγράφονται στο στάνταρ του, είτε στο air interface μόνο είτε από άκρο προς άκρο.

Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων που προσφέρονται είναι:

- ✓ Απροστάτευτα δεδομένα: 7.2, 14.4, 21.6, 28.8 kb/s
- ✓ Χαμηλής προστασίας δεδομένα: 4.8, 9.6, 14.4, 19.2 kb/s
- ✓ Υψηλής προστασίας δεδομένα: 2.4, 4.8, 7.2, 9.6 kb/s

Οι προσφερόμενες υπηρεσίες packet mode διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- ✓ Υπηρεσίες δεδομένων με σύνδεση.
- ✓ Υπηρεσίες δεδομένων χωρίς σύνδεση

Η υπηρεσία με σύνδεση είναι μία υπηρεσία που μεταφέρει πακέτα του πρωτοκόλλου X.25 από ένα κόμβο πηγής σε ένα κόμβο προορισμού, χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο πολλών φάσεων που εγκαθιστά ή απολύει λογικές συνδέσεις ή εικονικά κυκλώματα μεταξύ των τελικών χρηστών (αν και η υπηρεσία είναι μεταγωγής πακέτου, κάθε χρήστης λαμβάνει μηνύματα από έναν άλλο μόνο αν έχει προηγηθεί φάση αρχικοποίησης της «συνομιλίας» και στις περισσότερες περιπτώσεις εξασφαλίζεται ότι τα λαμβανόμενα πακέτα φθάνουν στο δέκτη με τη σειρά που έχουν αποσταλεί).

Η υπηρεσία χωρίς σύνδεση είναι μία υπηρεσία που μεταφέρει μεμονωμένα πακέτα πληροφορίας από τον κόμβο πηγής στον κόμβο προορισμού σε μία φάση χωρίς να έχει προηγηθεί εγκατάσταση λογικού κυκλώματος δηλαδή συνεννόηση μεταξύ των δύο χρηστών. Δεν ενδιαφέρει η σειρά με την οποία θα φτάσουν τα δεδομένα στο δέκτη.

Στις υπηρεσίες packet mode του TETRA παρέχονται επιπλέον υπηρεσίες βελτιστοποιημένες για μεταγωγή πακέτων πληροφορίας **PDO (Packet Data Optimized)**. Ο εξοπλισμός που έχει σχεδιαστεί με βάση τις οδηγίες των PDO υπηρεσιών θα υποστηρίζει μόνο υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου αλλά η λειτουργία τους θα είναι ανώτερη από τις αντίστοιχες υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου του V+D συστήματος.

5.4 Direct Mode Operation (DMO)

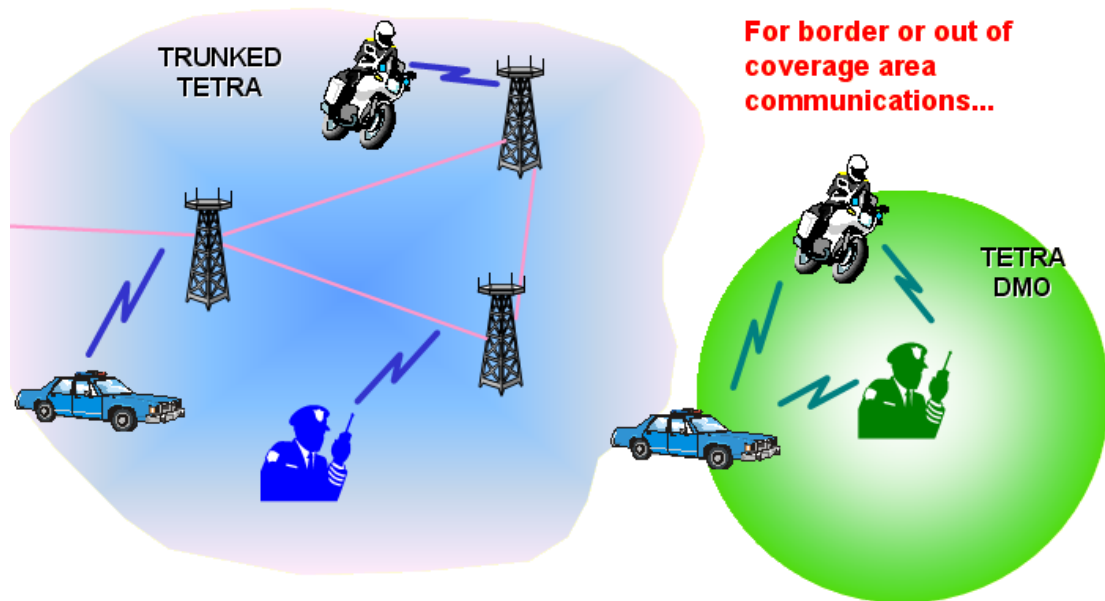
Ο όρος Direct Mode Operation περιγράφει την ικανότητα των τερματικών TETRA να επικοινωνούν απ' ευθείας μεταξύ τους (όπως τα "Walkies-Talkies") ανεξάρτητα απ'τη λειτουργία συγκαναλικού τρόπου Trunked Mode Operation (TMO). Η λειτουργία DMO δεν είναι καινούργια και υπήρξε μια θεμελιώδης λειτουργία των παραδοσιακών συστημάτων επικοινωνιών για αρκετές δεκαετίες. Οι τυπικές εφαρμογές της λειτουργίας αυτής αφορούν κυρίως επικοινωνίες τοπικής εμβέλειας (local area) εκτός του δικτύου TMO καθώς και την εξάπλωση του δικτύου αυτού. Για να βελτιωθούν οι δυνατότητες επικοινωνίας, όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία αυτή, παρέχεται στους DMO χρήστες η δυνατότητα να συνδέονται με χρήστες του TMO δικτύου κατά τη διάρκεια λειτουργίας εκτός του δικτύου αυτού καθώς επίσης και άλλες δυνατότητες που επιτρέπουν καλύτερη ραδιοκάλυψη.

5.4.1 DMO τοπικής περιοχής

Οι επικοινωνίες αυτές χρησιμοποιούνται κατά κόρον, για να εξασφαλίσουν πρόσθετη χωρητικότητα δικτύου εκτός του TMO δικτύου, σε δραστηριότητες που εντοπίζονται σε περιορισμένη περιοχή, σε έκτακτα ή περιοδικά γεγονότα που συνδέονται επίσης με μια

καθορισμένη γεωγραφική έκταση. Οι επικοινωνίες αυτές λαμβάνουν επίσης χώρα σε περιοχές όπου η ραδιο-κάλυψη του TMO δικτύου είναι ανεπαρκής. Για να εξασφαλιστεί αυτή η δυνατότητα επικοινωνίας πρέπει τα τερματικά TETRA να είναι εφοδιασμένα τόσο με DMO όσο και με TMO δυνατότητες.

Για να καταστεί πιο κατανοητή η διαφορά μεταξύ των λειτουργιών TMO και DMO δίνεται το παρακάτω *Σχήμα 5.21*.



Σχήμα 5.21 Λειτουργίες TMO και DMO του δικτύου TETRA

Η επικοινωνία με DMO χωρίς να υπάρχει δηλαδή ανάγκη μεσολάβησης του κύριου TMO δικτύου συμβάλλει στο να αποφευχθούν προβλήματα χαμηλού βαθμού εξυπηρέτησης GoS που παρουσιάζει το δίκτυο TMO όταν έχει μεγάλο φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης προς διαχείριση. Είναι επίσης πιθανό, η ραδιο-κάλυψη που παρέχεται από τον τοπικό σταθμό βάσης να μην είναι επαρκής να υποστηρίξει την επικοινωνία μεταξύ τερματικών που μετακινούνται ανάλογα με τις θέσεις των χρηστών, οπότε η λειτουργία DMO είναι ο μόνος τρόπος επικοινωνίας μεταξύ τους. Για τέτοιους τύπους επικοινωνιών, μια RF κάλυψη με ακτίνα περίπου 250 μέτρα θεωρείται συνήθως περισσότερο από ικανοποιητική. Είναι επίσης δυνατόν κατά την αποκλειστική λειτουργία DMO να συνομιλούν και περισσότεροι από δύο χρήστες μεταξύ τους κατά το πρότυπο των group calls.



Σχήμα 5.22 Επικοινωνία ανάμεσα σε δύο χρήστες



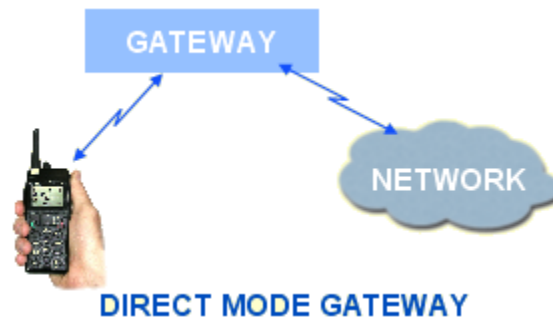
Σχήμα 5.23 Επικοινωνία ανάμεσα σε περισσότερους από δύο χρήστες

5.4.2 Επέκταση Βεληνεκούς του δικτύου TMO

Η πιο συχνή εφαρμογή της λειτουργίας DMO είναι να παρέχει επέκταση της ακτίνας κάλυψης του δικτύου TMO επιτρέποντας την επικοινωνία με φορητές συσκευές, σε περιοχές ενός δικτύου TETRA όπου υπάρχει μόνο ραδιο-κάλυψη κινητών επικοινωνιών. Στην περίπτωση π.χ. των σωμάτων ασφαλείας και συγκεκριμένα της αστυνομίας, για να καταστεί δυνατή αυτή η επέκταση της RF κάλυψης, ένα όχημα εφοδιασμένο μ'ένα κινητό τερματικό TETRA πρέπει να συνδεθεί μ'ένα handportable τερματικό ή μ' ένα άλλο κινητό τερματικό που επικοινωνεί με το TMO δίκτυο μέσω της λειτουργίας DMO. Το handportable τερματικό επικοινωνεί μέσω DMO με το τερματικό TETRA που βρίσκεται μέσα στο όχημα, το οποίο με τη σειρά του επικοινωνεί μέσω TMO με το δίκτυο TETRA μέσω της κάλυψης που εξασφαλίζει ο πλησιέστερος σταθμός βάσης του δικτύου. Όπως και προηγουμένως, για τέτοιες εφαρμογές, μια απόσταση κάλυψης περίπου 250 μέτρα θεωρείται αρκετά ικανοποιητική. Οι handportable συσκευές βρίσκουν εφαρμογή σε σώματα όπως η αστυνομία ή η πυροσβεστική, καθώς εξυπηρετούν αλλά και διευκολύνουν κατά πολύ τους αξιωματικούς ασφαλείας αλλά και τους πυροσβέστες εν ώρα δράσης. Παράλληλα, έχοντας άμεση πρόσβαση σε επικοινωνία με το κέντρο ακόμη και όταν είναι απομακρυσμένοι απ'το αυτοκίνητο υπηρεσίας ή το πυροσβεστικό όχημα διασφαλίζουν και την προσωπική τους ασφάλεια.

5.4.3 Επικοινωνία μεταξύ DMO και TMO χρηστών

Η επικοινωνία αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσω των DMO θυρών (DMO Gateways).



Σχήμα 5.24 Επικοινωνία TMO και DMO μέσω Gateway

Αν και οι θύρες αυτές κανονικά χρησιμοποιούνται για να επεκτείνουν την περιοχή κάλυψης των TMO δικτύων, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν δίκτυα DMO τοπικής περιοχής με το βασικό δίκτυο TMO όταν κάτι τέτοιο απαιτείται. Αυτός ο τύπος σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από την RF κάλυψη που παρέχεται από το TMO δίκτυο. Μια άλλη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ DMO και TMO χρηστών είναι η αποκαλούμενη Dual Watch, η οποία, όταν είναι ενεργοποιημένη, ψάχνει περιοδικά για κλήσεις είτε στους DMO είτε στους TMO χρήστες, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας που έχει επιλεγεί.



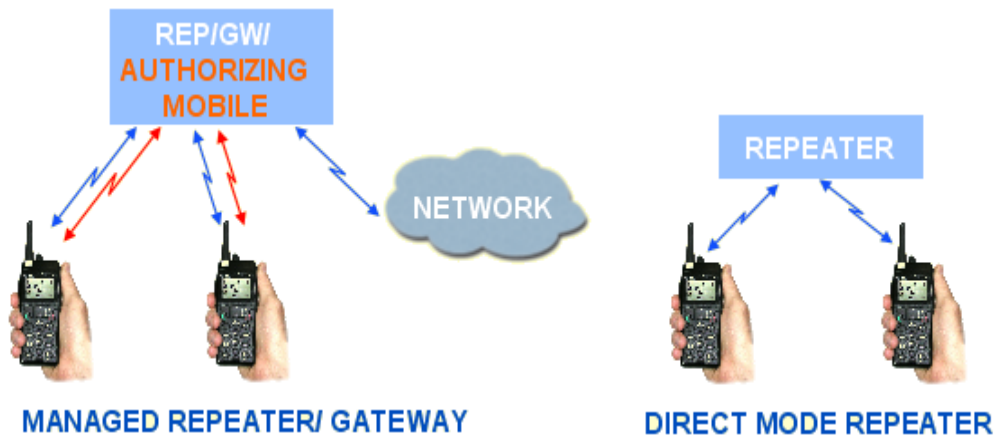
Σχήμα 5.25 Επικοινωνία TMO και DMO μέσω Dual Watch

Για παράδειγμα, αν ο τρόπος λειτουργίας που έχει επιλεγεί είναι ο DMO, το κινητό τερματικό θα ψάξει για κλήσεις που προέρχονται από το TMO δίκτυο και αντιστρόφως. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να υπάρξει τόσο στα κινητά όσο και στα handportable τερματικά. Προφανώς όμως, για να μπορούν τα τελευταία να υποστηρίξουν την “Dual Watch” δυνατότητα, θα πρέπει να υπάρχει ραδιο-κάλυψη από το TMO δίκτυο.

5.4.4 Βελτίωση απόδοσης φάσματος με χρήση του DMO τοπικής περιοχής

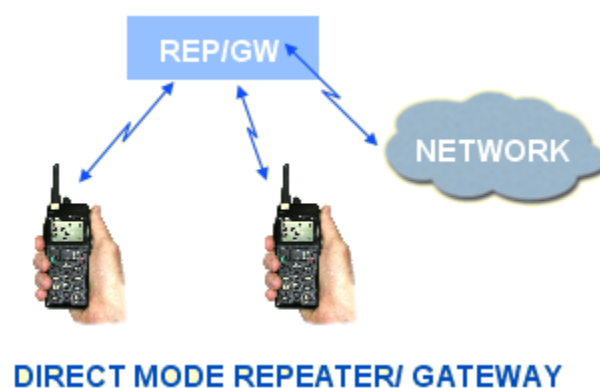
Αν και η απόδοση της ραδιο-κάλυψης κατά τη λειτουργία DMO είναι παραπάνω από ικανοποιητική για τις περισσότερες εφαρμογές, υπάρχουν και στιγμές όπου παρουσιάζεται η ανάγκη να γίνει ακόμη πληρέστερη αυτή η κάλυψη, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές για περιοχές όπου παρατηρείται ένας μεγάλος αριθμός άναρχα δομημένων κτιρίων (διαφόρων εμποδίων εν γένει) που προκαλούν μη επιτρεπτές απώλειες στην ισχύ του λαμβανόμενου

σήματος, λόγω της διάδοσης του σήματος σε πολλαπλές διαδρομές και του φαινομένου της συμβολής στο δέκτη. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο προτείνεται η χρησιμοποίηση επαναληπτών (repeaters) οι οποίοι θα βρίσκονται στα κινητά τερματικά TETRA των οχημάτων, ή σε μια μεταφερόμενη μονάδα, που θα τοποθετείται κατάλληλα κάθε ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή κάλυψη.



Σχήμα 5.26 Χρήση επαναλήπτη για βελτιωμένη απόδοση φάσματος

Για πρακτικούς λόγους, έως τώρα κάτι τέτοιο έχει υλοποιηθεί μόνο στα κινητά τερματικά. Επιπρόσθετα, οι επαναλήπτες μπορούν να ενσωματώνουν μια gateway δυνατότητα, ώστε να είναι σε θέση να εγκαθιστούν σύνδεση μεταξύ DMO και του δικτύου TMO, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Από τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι πολλοί από τους χρήστες των παραδοσιακών PMR συστημάτων μπορούν να επιτύχουν οικονομικά οφέλη χρησιμοποιώντας τη λειτουργία DMO και μάλιστα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ραδιο-κάλυψης, βαθμού εξυπηρέτησης GoS και αξιοπιστίας του δικτύου. Από τη μέχρι τώρα εμπειρία, οι συνήθεις εφαρμογές που χρησιμοποιούν DMO απαιτούν μια απόσταση κάλυψης όχι μεγαλύτερη από 250 μέτρα, ενώ η απόσταση δεν ξεπερνά το 1km για μεγαλύτερης κλίμακας περιστατικά.



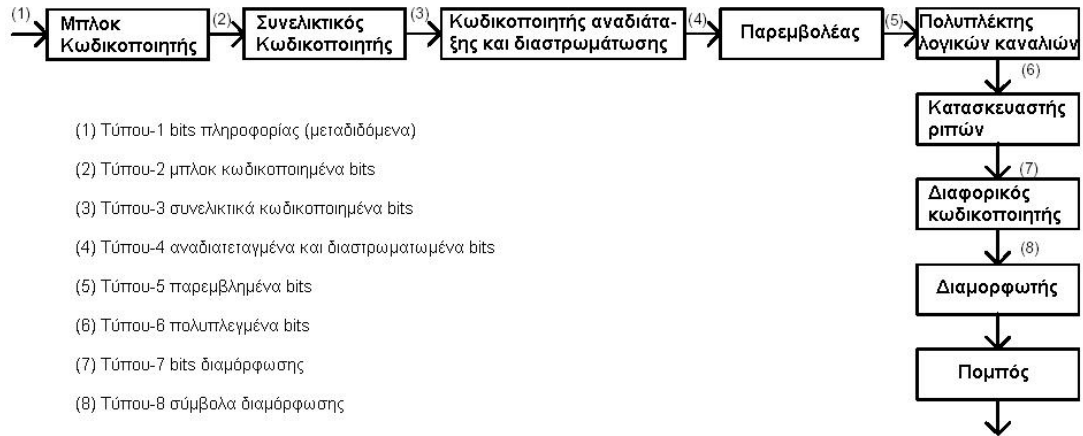
Σχήμα 5.27 Χρήση επαναλήπτη με ενσωματωμένη gateway λειτουργία για επικοινωνία TMO-DMO

5.5 Ασύρματη ζεύξη

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε το υποσύστημα ασύρματης επικοινωνίας.

5.5.1 Αλυσίδα μετάδοσης

Η διαμόρφωση αναφοράς για την αλυσίδα μετάδοσης, στη μορφή που λαμβάνει για τον πομπό του συστήματος, έχει την παρακάτω διαγραμματική μορφή:



Σχήμα 5.28 Η αλυσίδα μετάδοσης

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

1. **Μπλοκ κωδικοποιητής** : εισάγει τα bits πληροφορίας σε μπλοκ για την περαιτέρω επεξεργασία και αποστολή τους.
2. **Συνελκτικός κωδικοποιητής** : επιτελεί τη λειτουργία της κωδικοποίησης με συνέλιξη, ώστε να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα σωστής αναγνώρισης των επιμέρους bits στο δέκτη.
3. **Κωδικοποιητής αναδιάταξης και διαστρωμάτωσης** : αναλαμβάνει τη μετάθεση των bits του σήματος, με στόχο την απόκρυψη των πληροφοριών που περιέχονται σ' αυτό.
4. **Παρεμβολέας** : μεταβάλλει την ακολουθία των προς μετάδοση bits αντικαθιστώντας το καθένα με το modulo-2 (συμπλήρωμα ως προς 2) άθροισμά του με το αντίστοιχο στοιχείο από μια δεδομένη ακολουθία περίπλεξης από bits (scrambling sequence), ώστε να περιοριστεί ο πλεονασμός και να απαλειφθεί η DC πόλωση του σήματος που θα μεταδοθεί.
5. **Πολυπλέκτης λογικών καναλιών** : συνθέτει έναν αριθμό από διαφορετικά λογικά κανάλια στο ίδιο σήμα, προς εξοικονόμηση του διαθέσιμου φάσματος.
6. **Κατασκευαστής ριπών** : μετατρέπει την εισερχόμενη ακολουθία bits σε ξεχωριστές ριπές, που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπομπή σε κάθε χρονοσχισμή.
7. **Διαφορικός κωδικοποιητής** : μετασχηματίζει τα bits προς μετάδοση με βάση τις αρχές της διαφορικής κωδικοποίησης.
8. **Διαμορφωτής** : διαμορφώνει το φέρον αναφοράς με βάση τα bits εισόδου του, σχηματίζοντας το ακριβές σήμα προς μετάδοση.
9. **Πομπός** : ενισχύει και μεταδίδει το σήμα.

5.5.2 Λογικά κανάλια (Logical channels)

Τα λογικά κανάλια αναπαριστούν τη διεπαφή μεταξύ του πρωτοκόλλου και του υποσυστήματος ασύρματης ζεύξης. Αποτελούν λοιπόν προσυμφωνημένους τύπους ριπών που εξυπηρετούν κάποιο συγκεκριμένο σκοπό και κάνουν δυνατή τη λειτουργικότητα του συστήματος, τον έλεγχο του, καθώς και την παροχή διαφόρων υπηρεσιών. Τα λογικά κανάλια μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- τα κανάλια κυκλοφορίας, που μεταφέρουν ομιλία ή δεδομένα με τη μέθοδο της μεταγωγής κυκλώματος, και τα
- κανάλια ελέγχου, που μεταφέρουν μηνύματα σηματοδότησης και πακέτα δεδομένων.

Τα κανάλια κυκλοφορίας/κίνησης TCH (Traffic Channel) μεταφέρουν τα δεδομένα των χρηστών. Διαφορετικά είδη καναλιών κίνησης ορίζονται για εφαρμογές φωνής ή δεδομένων και για διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων:

- ✓ Κανάλι κίνησης φωνής **TCH/S** (Speech Traffic Channel)
- ✓ Κανάλι κίνησης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος, με τις εξής επιλογές:
 - 7.2 kbps καθαρός ρυθμός μετάδοσης (TCH/7.2)
 - kbps καθαρός ρυθμός μετάδοσης (TCH/4.8)
 - kbps καθαρός ρυθμός μετάδοσης (TCH/2.4)

Για τα κανάλια ελέγχου CCH (Control Channels) έχουν οριστεί πέντε κατηγορίες:

- ✓ Κανάλι ελέγχου ευρυεκπομπής **BCCH** (Broadcast Control Channel)
- ✓ Κανάλι ευθυγράμμισης **LCH** (Linearization Channel)
- ✓ Κανάλι σηματοδότησης **SCH** (Signalling Channel)
- ✓ Κανάλι ανάθεσης πρόσβασης **AACH** (Access Assignment Channel)
- ✓ Κανάλι κλοπής **STCH** (Stealing Channel)

Το **BCCH** είναι ένα μονής κατεύθυνσης κανάλι για κοινή χρήση απ' όλους τους MS, στους οποίους εκπέμπει ευρέως γενικές πληροφορίες. Υπάρχουν δύο κατηγορίες BCCH :

- I. Broadcast Network Channel (BNCH), μόνο για τη ζεύξη καθόδου, εκπέμπει πληροφορίες δικτύου στους MS.
- II. Broadcast Synchronization Channel (BSCH), μόνο για τη ζεύξη καθόδου, όπου εκπέμπονται πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για συγχρονισμό χρόνου και παρεμβολής (scrambling) των MS.

Το **LCH** χρησιμοποιείται από τη βάση και τους MS για να συγχρονίζονται/ ευθυγραμμίζονται τους πομπούς τους. Ορίζονται δύο ειδών LCH:

- I. Common Linearization Channel (CLCH), μόνο για ζεύξη ανόδου, κοινό για όλα τους MS.
- II. BS Linearization Channel (BLCH), μόνο για ζεύξη ανόδου, χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης.

Το **SCH** χρησιμοποιείται απ'όλους τους MS, αλλά μπορεί να μεταφέρει μηνύματα ειδικά για ένα ή για μια ομάδα από MS. Η λειτουργία του συστήματος απαιτεί την εγκατάσταση ενός τουλάχιστον SCH ανά BS. Το SCH μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος του μηνύματος:

- I. Full Size Signalling Channel (SCH/F), διπλής κατεύθυνσης κανάλι για μηνύματα πλήρους μεγέθους.
- II. Half Size Downlink Signalling Channel (SCH/HD), μόνο για ζεύξη καθόδου, για μισού μεγέθους μηνύματα.
- III. Half Size Uplink Signalling Channel (SCH/HD), μόνο για ζεύξη ανόδου, για μισού μεγέθους μηνύματα.

Το **AACH** είναι παρόν σε όλες τις μεταδιδόμενες σχισμές καθόδου. Χρησιμοποιείται για να επισημάνει σε κάθε φυσικό κανάλι την ανάθεση των σχισμών ανόδου και καθόδου. Το AACH είναι ενσωματωμένο στο MAC (Medium Access Control).

Το **STCH** είναι ένα κανάλι σχετιζόμενο με ένα TCH που προσωρινά «κλέβει» ένα μέρος από την χωρητικότητα του συσχετισμένου TCH για να μεταδώσει μηνύματα ελέγχου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται ταχεία σηματοδότηση. Στη λειτουργία half duplex το STCH είναι μονής κατεύθυνσης και έχει την ίδια κατεύθυνση με το συσχετισμένο TCH.

5.5.3 Φυσικά κανάλια (Physical Channels)

Ένα φυσικό κανάλι ορίζεται ως ένα ζεύγος που αποτελείται από δύο ραδιοσυχνότητες φερόντων (RF ζεύξης ανόδου και καθόδου) και έναν TN (Timeslot Number). Είναι δηλαδή ο μηχανισμός μετάδοσης που κάνει δυνατή την επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών, δηλαδή ένα φέρον και μια χρονοθυρίδα που θα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εξυπηρετούμενη κλήση. Πάνω σ' αυτό το φυσικό κανάλι μπορούν να μεταδοθούν τα λογικά κανάλια που απαιτούνται. Ορίζονται τρεις τύποι φυσικών καναλιών:

- ✓ Το φυσικό κανάλι κυκλοφορίας (Traffic Physical channel, TP), που μεταφέρει κυρίως λογικά κανάλια κίνησης (TCH)
- ✓ Το φυσικό κανάλι ελέγχου (Control Physical channel, CP), που μεταφέρει αποκλειστικά το λογικό κανάλι ελέγχου (CCH).

Ορίζονται δύο τύποι καναλιών CP:

- I. Main Control Channel (MCCH)
- II. Secondary Control Channel (SCCH).

Το RF φέρον που περιέχει το MCCH ονομάζεται κύριο φέρον.

- ✓ Το αδέσμευτο φυσικό κανάλι (Unallocated Physical Channel, UP).

Το UP είναι ένα φυσικό κανάλι που δεν έχει εκχωρηθεί σ'έναν ή περισσότερους MS.

Ο τύπος του φυσικού καναλιού υποδεικνύεται στο AACH (λογικό κανάλι ανάθεσης πρόσβασης). Η μετάδοση περιλαμβάνει κι άλλες λειτουργίες, οι οποίες επιβάλλουν τη διαχείριση ειδικών πρωτοκόλλων μεταξύ BS και MS και διαιρούνται στο συγχρονισμό και στον έλεγχο ζεύξης του υποσυστήματος ασύρματης μετάδοσης. Ο συγχρονισμός ενσωματώνει την ανάκτηση συχνότητας και χρονισμού απ' το δέκτη, καθώς και τη ρύθμιση της χρονικής βάσης των MS. Ο έλεγχος ζεύξης περιλαμβάνει προσαρμοσμένο έλεγχο ισχύος, που ρυθμίζει την εκπεμπόμενη RF ισχύ, διασφαλίζοντας ότι η απαιτούμενη ποιότητα επικοινωνίας επιτυγχάνεται με την ελάχιστη δυνατή εκπεμπόμενη ισχύ. Τη διαχείριση της λειτουργίας αυτής αναλαμβάνει ο MS κατά την αρχική πρόσβαση και τόσο ο MS όσο και ο BS κατά τη λειτουργική χρήση, ενώ το όφελος είναι η εξοικονόμηση της ενέργειας των μπαταριών και η μείωση των παρεμβολών.

Κάτω από τυπικές αστικές συνθήκες διαλείψεων (π.χ. καθυστερήσεις πολλαπλών διαδόσεων όχι μεγαλύτερες από 5 ms), το κατώφλι ποιότητας για ομιλία πλήρους ρυθμού επιτυγχάνεται από μια τιμή λόγου σήματος προς παρεμβολή C/I (διακαναλική παρεμβολή, co-channel interference) της τάξης των 19 dB, ενώ το επίπεδο δυναμικής ευαισθησίας αναφοράς είναι -106 dBm για τους BS και -103 dBm για τα MS.

5.5.4. Καταστάσεις λειτουργίας TETRA

Το σύστημα TETRA περιλαμβάνει τις ακόλουθες καταστάσεις λειτουργίας:

➤ Καταστάσεις μετάδοσης:

1. **Συνεχής μετάδοση καθόδου** (Downlink-Continuous Transmission, D-CT). Η *D-CT* κατάσταση είναι επιβεβλημένη για κάθε MS, καθώς τέτοιος εξοπλισμός θα πρέπει να συλλειτουργεί μ'έναν TETRA BS που θα είναι σε κατάσταση *D-CT*. Ο BS χρησιμοποιεί διαρκώς συνεχόμενες ριπές ζεύξης καθόδου. Η μετάδοση είναι συνεχής στο κύριο φέρον. Στα υπόλοιπα φέροντα επιτρέπεται ασυνεχής μετάδοση η οποία δεν είναι ορατή από τα MS.
2. **Μετάδοση χρονικού καταμερισμού φέροντος κάτω ζεύξης** (Downlink-Carrier Timesharing Transmission, D-CTT)
 Η συχνότητα φέροντος μπορεί να κατανεμηθεί σε ξεχωριστές κυψέλες, με καθένα απ' τα τέσσερα φυσικά κανάλια της επιμερισμένο ανεξάρτητα στις κυψέλες αυτές. Ο BS χρησιμοποιεί ασυνεχείς ριπές κάτω ζεύξης.
3. **Μετάδοση χρονικού καταμερισμού του MCCH ζεύξης καθόδου** (Downlink-Main Control Channel Timesharing Transmission, D-MCCHTT)
 Το MCCH μοιράζεται σε ξεχωριστές κυψέλες, με καθένα από τα πλαίσιά του να επιμερίζεται ανεξάρτητα στις κυψέλες αυτές. Ο BS χρησιμοποιεί ασυνεχείς ριπές κάτω ζεύξης.

4. Μετάδοση πολλαπλών σχισμών

Για την ίδια επικοινωνία χρησιμοποιούνται δύο έως τέσσερα φυσικά κανάλια. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, αν επιθυμούμε να αυξήσουμε το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ή να αναμείξουμε φωνή και δεδομένα.

➤ Καταστάσεις ελέγχου:

1. Κατάσταση κανονικού ελέγχου (Normal Control Mode, NCM)

Είναι επιβεβλημένη για κάθε συσκευή TETRA. Παρέχει τις υπηρεσίες TETRA με πλήρη απόδοση. Απαιτεί την ανάθεση ενός *MCCH*.

2. Κατάσταση ελάχιστου ελέγχου (Minimum Control Mode, MCM)

Είναι υποχρεωτική μόνο για τα MS. Παρέχει τις υπηρεσίες TETRA με μειωμένη απόδοση. Όλα τα φυσικά κανάλια κάθε RF φέροντος είναι διαθέσιμα για μεταφορά πληροφορίας.

5.5.5. Σταθμοί βάσης και κινητά τερματικά (BS & MS)

Τα RF κανάλια ορίζονται ως συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων (που κυμαίνεται από 10kHz έως 300GHz). Αυτά χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία από το σταθμό βάσης (BS) προς το κινητό τερματικό (MS), οπότε σχηματίζεται η ζεύξη καθόδου (Downlink, DL), καθώς και για τη σύνδεση του MS με τον BS, οπότε σχηματίζεται η ζεύξη ανόδου (Uplink, UL).

Η ισχύς λειτουργίας για τους BS και MS δίνεται στους παρακάτω πίνακες:

| Τάξη Ισχύος (Power Class) | Ονομαστική ισχύς ανά φέρον |
|---------------------------|----------------------------|
| 1 (40W) | 46 dBm |
| 2 (25W) | 44 dBm |
| 3 (15W) | 42 dBm |
| 4 (10W) | 40 dBm |
| 5 (6.3W) | 38 dBm |
| 6 (4W) | 36 dBm |
| 7 (2.5W) | 34 dBm |
| 8 (1.6W) | 32 dBm |
| 9 (1W) | 30 dBm |
| 10 (0.6W) | 28 dBm |

Πίνακας 5: Ονομαστική ισχύς πομποδεκτών BS

| Τάξη Ισχύος (Power Class) | Ονομαστική ισχύς |
|---------------------------|------------------|
| 1 (30W) | 45 dBm |
| 1L (17.5W) | 42.5 dBm |
| 2 (10W) | 40 dBm |
| 2L (5.6W) | 37.5 dBm |
| 3 (3W) | 35 dBm |
| 3L (1.8W) | 32.5 dBm |
| 4 (1W) | 30 dBm |
| 4L (0.56W) | 27.5 dBm |

Πίνακας 6: Ονομαστική ισχύς πομποδεκτών MS

5.6 Διεπαφές του ασύρματου δικτύου TETRA

5.6.1 Υποδομή διαχείρισης και μεταγωγής (Switching and Management Infrastructure- SwMI)

Η συντομογραφία SwMI χρησιμοποιείται για να δηλώσει όλο τον εξοπλισμό και τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται ένα δίκτυο TETRA, συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών βάσης. Αρχικά προτάθηκε η ένταξη στο σύνολο των standard interfaces ενός interface και για τους σταθμούς βάσης (όπως υπάρχει στο πρότυπο GSM), ωστόσο η πρόταση αυτή απορρίφθηκε ως μη πρακτική, καθώς κάτι τέτοιο ίσως να περιόριζε τους διάφορους κατασκευαστές στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουν τα δίκτυά τους στοχεύοντας στην επίτευξη βέλτιστης απόδοσης και της σχεδιαστικής ευελιξίας. Για παρόμοιους λόγους συμφωνήθηκε πως οτιδήποτε βρίσκεται εντός της SwMI δε θα προτυποποιηθεί, παρέχοντας έτσι ευελιξία στους κατασκευαστές υποδομής των δικτύων TETRA και συγχρόνως τη δυνατότητα να καταθέτουν προτάσεις διαφορετικού κόστους όταν προκηρυχθεί κάποιος διαγωνισμός. Αυτή η μεθόδευση επιτρέπει επίσης τη γρήγορη υιοθέτηση και ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών χωρίς να απαιτείται μια μακρά διαδικασία προτυποποίησης.

5.6.2 Ραδιοδιεπαφές (Air Interfaces)

Οι ραδιοδιεπαφές είναι τα πιο σημαντικά αλλά και πιο σύνθετα interfaces του δικτύου TETRA. Υλοποιούν τη διασύνδεση είτε μεταξύ των σταθμών βάσης και των κινητών τερματικών είτε μεταξύ τερματικών κατά την Direct Mode λειτουργία (DMO).

5.6.3 Διεπαφή περιφερειακού εξοπλισμού (Peripheral Equipment Interface-PEI)

Η διεπαφή αυτή υλοποιεί τη σύνδεση μεταξύ ενός κινητού τερματικού και μιας εξωτερικής μονάδας υποστηρίζοντας τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ εφαρμογών που «τρέχουν» στην εξωτερική αυτή μονάδα και του συνδεδεμένου μ'αυτή τερματικού TETRA.

5.6.4 Διεπαφή απομακρυσμένου αποστολέα (Remote Dispatcher Interface)

Ο αρχικός σκοπός αυτής της διεπαφής ήταν να επιτρέψει την ενσύρματη σύνδεση με απομακρυσμένους αποστολείς, όπως αυτοί που βρίσκονται σε μεγάλα κέντρα ελέγχου. Η υλοποίηση όμως ενός τέτοιου interface χωρίς να μειωθεί η συνολική απόδοση του δικτύου ήταν αδύνατη. Κι αυτό γιατί οι κατασκευαστές που ασχολούνται με εξοπλισμό ελέγχου για Professional Mobile Radio (PMR) εφαρμογές, είχαν στην πλειοψηφία τους διαφορετικό τρόπο για τη διασύνδεση του υποσυστήματος ελέγχου με το PMR δίκτυο. Παρόμοια, η αρχιτεκτονική των διαφόρων κατασκευαστών διαφέρει και στα δίκτυα TETRA, ενώ είναι γενικά δύσκολο να προτυποποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί ένα κοινός αποδεκτό interface.

5.6.5 PSTN / ISDN / PABX

Αυτό το interface επιτρέπει τη διασύνδεση μεταξύ του δικτύου TETRA και δικτύων όπως τα PSTN, ISDN, PBX.

5.6.6 Διεπαφή μεταξύ διαφορετικών συστημάτων (Inter-System Interface-ISI)

Αυτή η διεπαφή επιτρέπει σε υποδομές προερχόμενες από διαφορετικούς κατασκευαστές δικτύων TETRA να λειτουργούν αλληλεπιδρώντας μεταξύ τους υλοποιώντας έτσι τη δυνατότητα της “δια-λειτουργικότητας” (interoperability) μεταξύ δύο ή περισσότερων δικτύων TETRA. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη διασύνδεση των δικτύων και τη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ τους στο πρότυπο: η μεταγωγή κυκλώματος και η μεταγωγή πακέτου.

5.6.7 Διεπαφή διαχείρισης του δικτύου (Network Management Interface-NMI)

Όπως συνέβη και με το Local Dispatcher Interface, η ανάπτυξη ενός κοινού interface διαχείρισης αποδείχθηκε μη πρακτική. Ωστόσο, η αρχική αυτή προσπάθεια προτυποποίησης δεν απέβη τελείως άστοχη, αφού στη συνέχεια λειτούργησε ως ένας κατανοητός οδηγός που βοήθησε τους χρήστες στον προσδιορισμό των απαιτήσεων διαχείρισης του δικτύου.

5.7 Υπηρεσίες φωνής και δεδομένων

Στη συνέχεια, αναλύονται κάποιες από τις σημαντικότερες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων του δικτύου TETRA.

5.7.1 Βασικές υπηρεσίες φωνής

1.) Ατομική κλήση (Individual Call)

Επικοινωνία ατόμου με άτομο. Μπορεί να είναι μονόδρομη (simplex), ημιαμφίδρομη (semi-duplex) ή πλήρως αμφίδρομη (full duplex), από τερματικό σε τερματικό (TETRA ή GSM), από τερματικό σε εκφωνητή ή από τερματικό σε συνδρομητή του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN).

2.) Ομαδική κλήση (Group Call)

Επικοινωνία ατόμου με ομάδα ατόμων (συνήθως αναφέρεται ως «all informed net» ή «talk group call»). Αυτή είναι πιθανώς η πιο βασική υπηρεσία φωνής στα δίκτυα TETRA, αλλά η αποτελεσματική υποστήριξή της είναι ακόμη μια σύνθετη υπόθεση. Κι αυτό γιατί οι κλήσεις προς ομάδες χρηστών έχουν ορισμένες ειδικές απαιτήσεις όπως:

- ✓ Πρέπει να χρησιμοποιείται μια απλή λειτουργία «Push to Talk» προκειμένου να επιτυγχάνονται γρήγοροι χρόνοι έναρξης της κλήσης προς κάποιο group χρηστών.
- ✓ Πρέπει να είναι εφικτή η διαχείριση των κλήσεων με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους, ώστε να βελτιστοποιείται το φορτίο του δικτύου.
- ✓ Πρέπει να υπάρχει μια συγκεκριμένη περιοχή όπου θα λαμβάνουν χώρα (Area Selection).
- ✓ Υπάρχει ανάγκη ενός πολύ αξιόπιστου πρωτοκόλλου έναρξης κλήσης (call set-up protocol) το οποίο θα εξασφαλίζει ότι όλα τα μέλη μια ομάδας χρηστών (group) είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους όταν πρωτοεμφανίζεται μια κλήση. Η ύπαρξη ενός τέτοιου πρωτοκόλλου έρχεται να καλύψει την αδυναμία ύπαρξης ενός σήματος επιβεβαίωσης λήψης της κλήσης (call acknowledgment), όταν η κλήση απευθύνεται σε πολλαπλούς αποδέκτες.
- ✓ Είναι ανάγκη να υπάρχουν μηχανισμοί προτεραιότητας, ώστε να εξασφαλίζεται ότι κάποιοι συγκεκριμένοι χρήστες που μπορεί να βρίσκονται διεσπαρμένοι σε ευρεία γεωγραφική περιοχή, εξυπηρετούνται δηλαδή από διαφορετικούς σταθμούς βάσης, παραμένουν συνδεδεμένοι μεταξύ τους σε περίπτωση που το δίκτυο είναι απασχολημένο.

Όλη αυτή η πολυπλοκότητα καθιστούσε τα μέχρι τώρα δημόσια κυψελωτά δίκτυα μη ικανά να υποστηρίξουν κλήσεις προς ομάδες χρηστών (group calls), αφού σε αντίθεση με τα δίκτυα TETRA ήταν σχεδιασμένα να υποστηρίζουν μόνο κλήσεις «one to one».

3.) Ομαδική κλήση με επιβεβαίωση (Acknowledged Call)

Ομαδική κλήση κατά την οποία αυτός που έκανε την έναρξη της κλήσης έχει τη δυνατότητα να δει ποια άτομα της ομάδας συμμετέχουν στην κλήση.

4.) Εκπομπή με πολλούς αποδέκτες (Broadcast Call)

Κλήση σε ομάδα κατά την οποία οι παραλήπτες δεν έχουν τη δυνατότητα να απαντήσουν. Χρησιμοποιείται συνήθως για ανακοινώσεις σε ομάδες με πολλά άτομα ή σε όλους τους συνδρομητές του δικτύου.

5.) Κρυπτοφώνηση

Όλοι οι παραπάνω τύποι κλήσεων μπορούν να γίνουν με ή χωρίς κρυπτοφώνηση.

5.7.2 Απαραίτητες συμπληρωματικές υπηρεσίες

1.) Κλήση υπέρτερης προτεραιότητας (pre-emptive priority call)

Αυτή η υπηρεσία, που ορίζει ως κλήσεις μέγιστης προτεραιότητας τις επείγουσες κλήσεις (emergency calls), παρέχει για το σκοπό αυτό την υψηλότερη προτεραιότητα κατάληψης της ανόδου καθώς και την υψηλότερη προτεραιότητα πρόσβασης στους πόρους του δικτύου. Για τις επείγουσες κλήσεις στα δίκτυα TETRA πρέπει να αναφέρουμε ότι μπορεί να γίνει εκκίνησή τους μέσω ενός ειδικού διακόπτη ενσωματωμένου στα κινητά τερματικά, ο οποίος είναι τοποθετημένος αποκλειστικά για το σκοπό αυτό.

2.) Επίσχεση κλήσης (call retention)

Αυτή η υπηρεσία έχει σκοπό να προστατεύσει επιλεγμένους χρήστες από αναγκαστική αποχώρηση από το δίκτυο, που πρακτικά σημαίνει διακοπή της κλήσης, που μπορεί να οφείλεται σε μια κλήση μεγαλύτερης προτεραιότητας, όπως εξετάστηκε παραπάνω, όταν το δίκτυο παρουσιάζει μεγάλο βαθμό απασχόλησης. Όταν όμως ένα δίκτυο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να υποστηρίζει emergency calls είναι θεμιτό η δυνατότητα αυτή να παρέχεται σε μια πολύ μικρή ομάδα χρηστών ώστε να εξασφαλίζεται τουλάχιστον ότι δε θα διακόπτονται σημαντικές κλήσεις (η σημαντικότητα καθορίζεται από την προτεραιότητα που ορίζεται για την εκάστοτε κλήση) κατά τη διάρκεια μεγάλης κίνησης στο δίκτυο.

3.) Προτεραιότητα κλήσης (priority call)

Αυτή η υπηρεσία παρέχει διάφορα επίπεδα πρόσβασης στους πόρους του δικτύου ανάλογα με την προτεραιότητα που έχει καθορίσει ο χρήστης για την κλήση που πραγματοποιεί μέσω του τερματικού του. Επειδή στα δίκτυα TETRA υπάρχουν 16 επίπεδα προτεραιότητας, η υπηρεσία αυτή είναι ικανή να παρέχει διάφορους βαθμούς εξυπηρέτησης GoS (Grade of Service) κατά τη διάρκεια περιόδων μεγάλου φορτίου στο δίκτυο.

4.) Δυναμική εκχώρηση αριθμού ομάδας (Dynamic Group Number Assignment)

Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει τη δημιουργία μοναδικών/ξεχωριστών groups χρηστών προκειμένου να ικανοποιηθούν διαφορετικές απαιτήσεις επικοινωνιών. Η εφαρμογή αυτή κρίνεται εξαιρετικά χρήσιμη από ένα μεγάλο αριθμό οργανισμών δημόσιας ασφάλειας, αφού ενθαρρύνεται η δυναμική δημιουργία ομάδων κοινής συνομιλίας, καθιστώντας δυνατή την επικοινωνία για συγκεκριμένα περιστατικά.

5.) Ανοικτή ακρόαση (Ambience listening)

Ένας αποστολέας (dispatcher) μπορεί να θέσει ένα τερματικό σε λειτουργία ανοικτής ακρόασης χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό από το χρήστη του συγκεκριμένου τερματικού. Έτσι ο dispatcher είναι σε θέση να ακούει συζητήσεις ή διάφορους θορύβους του περιβάλλοντος του χρήστη στο βαθμό που του εξασφαλίζει η ευαισθησία του ενσωματωμένου μικροφώνου στο τερματικό του χρήστη. Αυτή η υπηρεσία μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές όπως η μεταφορά σημαντικών ή πολύτιμων φορτίων που είναι πιθανό να απειλούνται από πειρατεία/κλοπή ή ακόμη και σε δημόσια οχήματα (όπως τα μέσα μαζικής μεταφοράς) για να διασφαλίζεται η ομαλή και εύρυθμη λειτουργία τους. Παρ'όλα αυτά, υπάρχουν χρήστες που θεωρούν εύλογα ότι η υπηρεσία αυτή παραβιάζει κάποια προσωπικά δεδομένα, και για το λόγο αυτό μπορούν να εφοδιάζονται με την υπηρεσία ανοικτής ακρόασης μόνο όσοι θεωρούν άκρως απαραίτητη την υπηρεσία αυτή για την ασφάλεια και την προστασία τους.

6.) Κλήση εξουσιοδοτημένη από επιτελικό αποστολέα (Call authorized by Dispatcher)

Η υπηρεσία αυτή δίνει τη δυνατότητα σ'έναν επιτελικό αποστολέα να ελέγχει τις αιτήσεις κλήσεων των χρηστών προτού προχωρήσει η κλήση κι αυτό σε περιπτώσεις που πρέπει να υπάρχει διαρκής επίβλεψη των κλήσεων που γίνονται από τους χρήστες. Αυτή η υπηρεσία μπορεί επίσης να μειώσει το ποσό της κίνησης σ'ένα δίκτυο αφού μπορεί ο εκάστοτε dispatcher να επιτρέπει την πραγματοποίηση κλήσεων που είναι απαραίτητες και συνδέονται στενά μεταξύ τους. Ωστόσο, η συχνή ανάγκη για κλήσεις προς ομάδες χρηστών (all informed net) σε συνδυασμό με τη χρονική καθυστέρηση που επιβάλλει ο έλεγχος της αίτησης κλήσης από τον dispatcher κάνει μη θεμιτή τη χρησιμοποίησή της από κάποιους χρήστες.

7.) Επιλογή περιοχής (Area Selection)

Μέσω της υπηρεσίας αυτής δηλώνονται οι περιοχές λειτουργίας των χρηστών. Στην ουσία, η υπηρεσία αυτή προσομοιώνει την ικανότητα ενός dispatcher να επιλέγει διαφορετικούς σταθμούς βάσης προς τους οποίους να απευθύνει κλήσεις, όπως ήταν εφικτό και στα συμβατικά δίκτυα. Η υπηρεσία αυτή δίνει επίσης τη δυνατότητα να βελτιώνουμε την κατανομή της κίνησης στο δίκτυο και τη συνολική αποδοτικότητα χρήσης του φάσματος συχνοτήτων ελαττώνοντας, όποτε αυτό είναι επιθυμητό, την περιοχή λειτουργίας για group χρηστών που προφανώς θα δέχονται «all informed net» κλήσεις.

8.) Καθυστερημένη είσοδος (Late Entry)

Δεν είναι υπηρεσία, αλλά ένα χαρακτηριστικό του air interface, το οποίο επιτρέπει σε τερματικά να συνδεθούν σ'ένα κανάλι επικοινωνίας με παρόμοιο τρόπο με τα παραδοσιακά PMR τερματικά. Για παράδειγμα, αν ένας χρήστης θέσει σε λειτουργία το TETRA τερματικό του και είναι σε εξέλιξη μια κλήση, τότε το κανάλι ελέγχου θα εκτρέψει αυτόματα το τερματικό του χρήστη σ'ένα group ομιλίας για τη συγκεκριμένη κλήση. Το ίδιο θα συμβεί και στην περίπτωση που το τερματικό του χρήστη βρεθεί προσωρινά εκτός ραδιο-κάλυψης (για παράδειγμα μέσα σ'ένα τούνελ) και στη συνέχεια επανέλθει σε περιοχή κάλυψης.

5.7.3 Υπηρεσίες δεδομένων (Data Services)

1.) Κλήσεις δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος (Circuit Mode Data)

Πρόκειται για κλήσεις αποστολής δεδομένων με τη χρήση μιας έως τεσσάρων χρονοθυρίδων και για ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 7.2/14.4/21.6/28.8kbps. Πραγματοποιούνται μέσω των καναλιών κίνησης και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων αλλά και για απαιτητικές εφαρμογές όπως video.

2.) Κλήσεις δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος με προστασία (Circuit Mode Protected Data)

Παρόμοιες με τις παραπάνω κλήσεις, αλλά με τη χρήση αλγορίθμων ασφαλείας και για ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 4.8/9.6/14.4/19.2 kbps.

3.) Κλήσεις δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος με υψηλή προστασία (Circuit Mode Heavily Protected Data)

Παρόμοιες με τις παραπάνω κλήσεις, αλλά με τη χρήση πιο πολύπλοκων αλγορίθμων ασφαλείας και γι'αυτόν ακριβώς το λόγο οι ρυθμοί μετάδοσης είναι κατάτι χαμηλότεροι, κυμαινόμενοι μεταξύ 2.4/4.8/7.2/9.6 kbps.

4.) Κλήσεις πακετοτροπικών δεδομένων (Packet Mode Data – Connection Oriented/Connectionless)

Κλήσεις αποστολής δεδομένων με τη χρήση πρωτοκόλλου IP πάνω σε μια ή περισσότερες δεσμευμένες χρονοθυρίδες. Οι ρυθμοί μετάδοσης είναι χαμηλότεροι σε σύγκριση με εκείνους της μεταγωγής κυκλώματος λόγω του υπερκείμενου πλαισίου IP.

5.) Μηνύματα κατάστασης (Status Messages)

Μέσω ενός αριθμού γίνεται αποστολή ενός εκ των 16 προκαθορισμένων σύντομων γραπτών μηνυμάτων, από το τερματικό στον εκφωνητή.

6.) Κλήσεις σύντομων δεδομένων (Short Data Service)

Αποστολή βραχέων δεδομένων έως και 2047 ψηφία. Κατάλληλη για μετάδοση μικρών γραπτών μηνυμάτων.

5.7.4 Βασικές υπηρεσίες δεδομένων

1.) Υπηρεσία βραχέων δεδομένων (SDS - Short Data Service)

Η υπηρεσία εξασφαλίζει την ανταλλαγή μηνυμάτων δεδομένων που μπορούν να υπερβαίνουν τα 256 bytes. Τα μηνύματα αυτά μπορεί να δηλώνουν την τρέχουσα κατάσταση ενός τερματικού (status messaging), να περιέχουν πληροφορίες για την τοποθεσία, όπως αυτά που προβλέπονται από το TETRA Location Information Protocol (LIP), να περιέχουν πληροφορίες με τη μορφή απλού μηνύματος κειμένου και όλα αυτά ή σε διάταξη «point to point» είτε σε «point to multipoint». Λόγω της σχετικά μικρής διάρκειας των SDS μηνυμάτων, η υπηρεσία αυτή υποστηρίζεται από το κανάλι ελέγχου του συστήματος TETRA.

2.) Υπηρεσία πακετοδεδομένων (PDS - Packet Data Service)

Η υπηρεσία αυτή μπορεί να υποστηριχθεί είτε από μια μόνο χρονοσχισμή της δομής TDMA πετυχαίνοντας πολύ μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης bits της τάξης των 4800 bits/sec (4,8 kbps) είτε από πολλαπλές χρονοσχισμές μέχρι το ανώτερο όριο των τεσσάρων. Η χρήση πολλαπλών χρονοθυρίδων είναι πολλές φορές προτιμητέα σε μια λύση δυναμικής εκχώρησης του εύρους ζώνης συχνοτήτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να αυξήσει τη συνολική διέλευση δεδομένων μέχρι και 19,2 kbits/sec (19,2 kbps) προκαλώντας ως εκ τούτου την αύξηση των non-voice εφαρμογών που μπορούν να υποστηριχθούν από το TETRA.


5.8 Κεραίες κατάλληλες για το δίκτυο TETRA

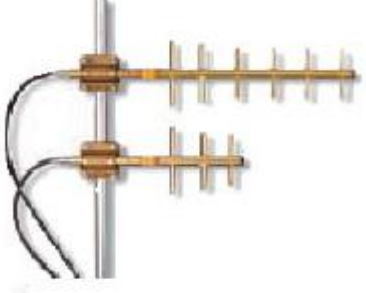

Όπως και σε όλα τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, έτσι και στο TETRA υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία κεραιών στην αγορά για την χρησιμοποίησή τους ως πομποδέκτες σε ένα σταθμό βάσης TETRA. Η διαδικασία επιλογής μιας κεραίας για ένα σταθμό βάσης είναι αρκετά πολύπλοκη, μιας και υπάρχουν πολλές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως για παράδειγμα το είδος της περιοχής (και οι διάφορες γεωφυσικές ιδιομορφίες της) που πρέπει να καλυφθεί.

Όλοι οι μεγάλοι κατασκευαστές κεραιών παρέχουν διάφορες λύσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν όλους τους γνωστούς τύπους κεραιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και γενικότερα σε μια ράδιο-ζεύξη.




Παρακάτω θα παραθέσουμε με σύντομη περιγραφή ορισμένες λύσεις που προτείνονται από κάποιες γνωστές κατασκευάστριες εταιρείες για εγκατάσταση κεραίας για τη κάλυψη δικτύου TETRA.

Η εταιρεία **ANTENNEX** παρέχει τους παρακάτω τύπους κεραιών :

| ΤΥΠΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ | ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MHz) | ΚΕΡΔΟΣ | ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ |
|--------------------------|-----------------------------|--------|---|
| Σειρά διπλωμένων δίπολων | 403-470 | 8.5 |  |




| | | | |
|---|---------|----------------|---|
| Υαγί κατευθυντική | 430-450 | 7.1 έως 11 dBd |  |
| Ομοιοκατευθυντική Από γυαλί σε μορφή ίνας . (fiberglass omni-directional) | 430-450 | 3-5dB |  |
| Ομοιοκατευθυντική για τοποθέτηση σε οχήματα | 430-450 | 3dB | |

Η εταιρεία **KATHREIN** έχει κατασκευάσει τις εξής κεραίες :

| ΤΥΠΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ | ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MHz) | ΚΕΡΔΟΣ | ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ |
|------------------------|-----------------------------------|----------|---|
| κατευθυντική | 380-500 | 11-14dBi |  |
| ομοιοκατευθυντική | 370-430 | 2-7.5dBi |  |
| Κατευθυντική σε 65° | 380-500 | 12dBi |  |

Η **SINCLAIR** έχει μια μεγάλη ποικιλία σε κεραίες για σταθμό βάσης :

| ΤΥΠΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ | ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MHz) | ΚΕΡΔΟΣ | ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ |
|-----------------------------|-----------------------------|---------|---|
| Γωνιακός ανακλαστής | 806-965 | 15dBd |  |
| Γωνιακός ανακλαστής | 800-965 | 10dBd |  |
| Δίπολο σε σειρά | Οποιαδήποτε συχνότητα | 2dBd |  |
| Κατευθυντική σε 65° έως 85° | 380-470 | 8-12dBd |  |

| | | | |
|--|---------------|------|--|
| Yagi 7 στοιχείων | Σε όλα τα UHF | 6dBd |  |
| ομοιοκατευθυντική από γυαλί σε μορφή τινών | 370-450 | 3dBd |  |
| ομοιοκατευθυντική για κινητό σταθμό | 806-960 | 1dBd |  |

Τέλος , η **PANORAMA ANTENNAS** προμηθεύει κεραίες εσωτερικού χώρου :

| ΤΥΠΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ | ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MHz) | ΚΕΡΔΟΣ | ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------|---|
| Διπόλου | - | - |  |
| ομοιοκατευθυντική για κινητό σταθμό | 380-430 | - |  |

Πέραν όμως των κεραιών για σταθμούς βάσης , για τη λειτουργία ενός δικτύου χρειάζονται και κινητοί πομποδέκτες που θα προμηθεύονται οι χρήστες του. Η γνωστή εταιρεία στις κινητές τηλεπικοινωνίες και πρωτοπόρος στην ανάπτυξη τεχνολογίας TETRA , η NOKIA παρέχει πολλές λύσεις τις οποίες και παραθέτουμε (*Σχήμα 5.29*), όπως καθώς και η εταιρία MOTOROLA (*Σχήμα 5.30*)

| ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ | ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ | ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ |
|---|---|---|
| Κινητό τερματικό | Λειτουργία σε : 380MHz, 410MHz και 800MHz , Δυνατότητα press-to-talk (απαραίτητο για σώματα ασφαλείας) , και κλήσης προς ομάδα χρηστών |  |
| Κινητό τερματικό αποκλειστικά για σώματα ασφαλείας | Λειτουργία σε δίκτυο TETRA όσο και σε direct mode .Ο χρήστης μπορεί να είναι σε διαρκή επαφή με ομάδα χρηστών και να λάβει απευθείας εντολές από τον αποστολέα . Τέλος μπορεί να παρακολουθεί εύκολα άλλες ομάδες χρηστών για εκπομπές . |  |
| Κινητό τερματικό για χρήση σε οχήματα των σωμάτων ασφαλείας | Λειτουργίες μετάδοσης φωνής και δεδομένων , ενώ έχει και μεγάλη ισχύ εκπομπής (10W) για τη μεγιστοποίηση της ακτίνας λειτουργίας του |  |

Σχήμα 5.29 Κινητά τερματικά NOKIA



(Σχήμα 5.29) Κινητά τερματικά MOTAROLA

Φυσικά δε μπορούμε να ξεχνάμε το γεγονός ότι η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς και επομένως η λίστα προϊόντων του TETRA τόσο για σταθμούς βάσης όσο και κινητά τερματικά μεγαλώνει συνεχώς . Λαμβάνοντας υπόψη επίσης το ότι αρχιτεκτονική δομή του TETRA είναι ανοιχτή για ανάπτυξη νέων εφαρμογών και υπηρεσιών , σύντομα θα δούμε τερματικά για δίκτυα TETRA τα οποία θα μπορούν να προσφέρουν νέες υπηρεσίες στους κατόχους τους .

Κεφάλαιο 6°

Το Πρωτόκολλο TETRA Direct Mode Operation (DMO)

6.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο που ακολουθεί έχει ως σκοπό να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε τη λεγόμενη αμεσότροπη λειτουργία του συστήματος TETRA. Στην αρχή γίνεται μια εισαγωγή στον «κόσμο» της απ'ευθείας μετάδοσης (*Direct Mode*) μεταξύ κινητών σταθμών TETRA MS, θα εξετάσουμε τις πιο σημαντικές, μα και πιο χρήσιμες κατά την άποψή μας πλευρές του πρωτοκόλλου TETRA DMO. Ειδικότερα θα επιχειρήσουμε μια ευρεία επισκόπηση στις γενικές έννοιες που χαρακτηρίζουν το πρωτόκολλο, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις πολυποίκιλες υπηρεσίες που προσφέρονται. Μετά δοκιμάζουμε να εμβαθύνουμε στις έννοιες βάσης του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου επιχειρώντας μια λεπτομερή αναφορά στα πακέτα δεδομένων, τα φυσικά και τα λογικά κανάλια ενώ παράλληλα προσπαθούμε να εξηγήσουμε την όλη διαδικασία στην οποία στηρίζονται οι προαναφερθείσες υπηρεσίες και λειτουργίες.

Προτού αρχίσουμε την ενασχόλησή μας με το πρωτόκολλο, κρίνεται χρήσιμο να τονίσουμε ότι σε ολόκληρο το κεφάλαιο που ακολουθή οι όροι χρήστης, ραδιοσύστημα-ραδιοτηλέφωνο, κινητό-τερματικό και DM-MS (*Direct Mobile Station*) χρησιμοποιούνται αδιαχώριστα υποδηλώνοντας μια ραδιοσυσκευή, όπως είναι μια συσκευή *hardware* που περιλαμβάνει εγκατεστημένο λογισμικό με μια ακριβή ρύθμιση δεδομένων καθώς και τη φυσική οντότητα που κάνει χρήση αυτών. Όπου αποδειχθεί αναγκαίο να ειδικεύσουμε την αναφορά μας σ'ένα μόνο φυσικό πρόσωπο ή σε μια μόνο ραδιοσυσκευή γίνονται οι απαραίτητες επισημάνσεις-διευκρινίσεις.

6.2 Γενικές Έννοιες του πρωτοκόλλου DMO

Όπως ήδη αναφέραμε, μέσω της μορφής DMO είναι δυνατό να θέσουμε σ'επικοινωνία δύο ή περισσότερα κινητά με απ'ευθείας τρόπο χωρίς δηλαδή τη βοήθεια μιας υποδομής επικοινωνίας, στο εσωτερικό μιας ορισμένης περιοχής.

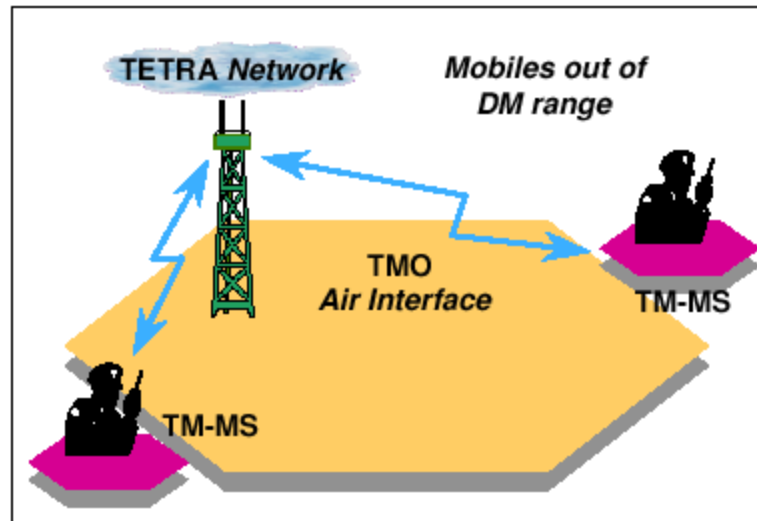
Η εισαγωγή αυτής της μορφής κρίνεται χρήσιμη ώστε να ξεπεράσουμε πρώτα απ'όλα τα μειονεκτήματα που προέρχονται από το γεγονός ότι στην κατάσταση λειτουργίας TMO για κάθε επικοινωνία ακόμη και ανάμεσα σε κοντινά κινητά μεσολαβεί τουλάχιστον μια **SwMI** (**Switching Management Infrastructure**). Με δεδομένη την περιορισμένη φορητότητα, το *direct mode* που δεν μπορεί παρά να θεωρηθεί προφανώς μια εναλλακτική στο *trunked mode*, πρέπει να θεωρείται κατά προτίμηση μια συμπλήρωσή του, συνήθως όταν δεν είναι εφικτή η χρησιμοποίησή του.

Στην πράξη η χρήση του *direct mode* αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στις ακόλουθες περιπτώσεις:

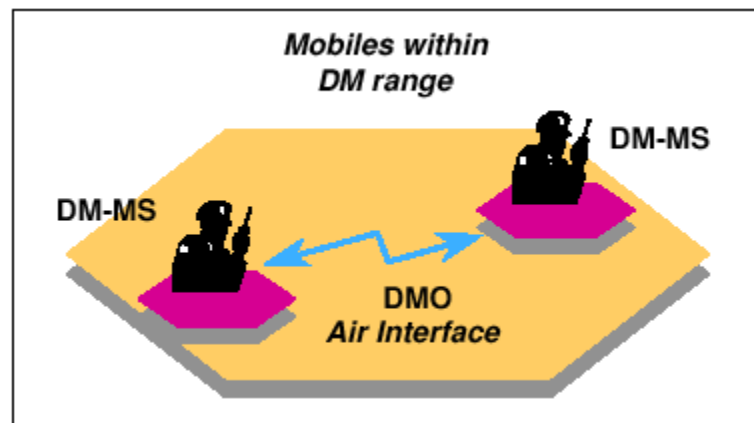
- Αγροτικές περιοχές δίχως υποδομές υποστήριξης

- Αστικές περιοχές με αραιή κάλυψη όπως λόγω χάρη το εσωτερικό κτιρίων, υπόγειοι χώροι στάθμευσης και υπόγειοι σιδηρόδρομοι
- Για απρόβλεπτους λειτουργικούς λόγους όταν το σύστημα trunked δε λειτουργεί (δεν είναι χρησιμοποιήσιμο) ή λόγω συμφόρησης του δικτύου είτε εξαιτίας κάποιας προσωρινής βλάβης.

Στα σχήματα που ακολουθούν, απεικονίζεται η τυπική κατάσταση μιας επικοινωνίας στη μορφή direct και στη μορφή trunked:



Σχήμα 6.1 Επικοινωνία ανάμεσα σε δύο TM-MS



Σχήμα 6.2 Επικοινωνία ανάμεσα σε δύο DM-MS

6.2.1 Υπηρεσίες του Direct Mode

Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το σύστημα TETRA DMO όπως θα δούμε, διαίρονται σε δύο κατηγορίες: στις υπηρεσίες βάσης και τις ενδογενείς υπηρεσίες (γνωστές και ως συμπληρωματικές υπηρεσίες).

Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε πλήρως τα θέματα που ακολουθούν κρίνεται απαραίτητο να διευκρινίσουμε ότι ένα κινητό στο εσωτερικό ενός συστήματος TETRA χαρακτηρίζεται μέσω μιας διεύθυνσης hardware (TEI, Tetra Equipment Identity), μιας ατομικής διεύθυνσης

(ITSI, Individual Tetra Subscriber Identity) και από δύο ή περισσότερες ομαδικές διευθύνσεις (GTSI, Group Tetra Subscriber Identity). Η διεύθυνση ITSI όπως και οι διευθύνσεις GTSI που χρησιμοποιούνται (αξιοποιούνται) στη φάση της κλήσης, αποτελούνται από 48 bits και υποδιαιρούνται σε δύο μέρη, καθένα μήκους ακριβώς ίσου με 24 bits: το πρώτο μέρος παίρνει την ονομασία MNI (Mobile Network Identity) και το δεύτερο ονομάζεται SSI (Short Subscriber Identity). Η SSI αναγνωρίζει μονοσήμαντα ένα κινητό στο εσωτερικό μιας ολόιδιας MNI. Η MNI συνίσταται με τη σειρά της από δύο πεδία: τον MCC (Mobile Country Code) που ξεχωρίζει τη χώρα όπου ανήκει το κινητό και από τον MNC (Mobile Network Code) που ξεχωρίζει το δίκτυο εντός του οποίου λειτουργεί το κινητό.

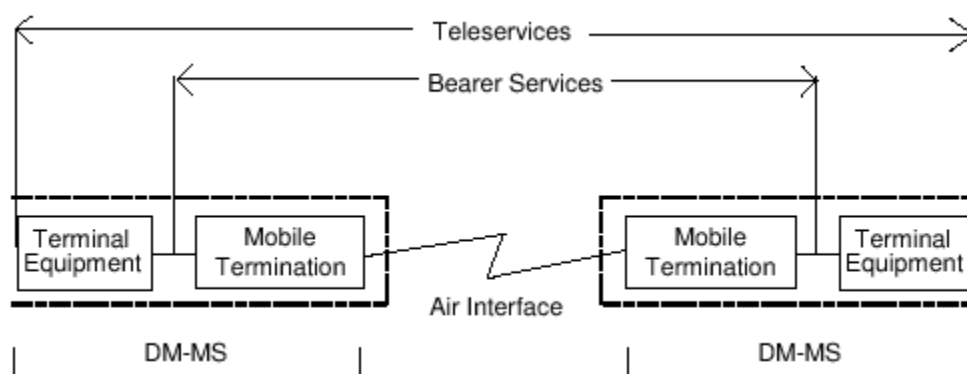
6.2.1.1 Υπηρεσίες Βάσης

Το πρότυπο στο εσωτερικό των υπηρεσιών βάσης, διακρίνει την υπηρεσία φέροντος (bearer service) από την τηλευπηρεσία (teleservice).

Μια bearer service είναι ένας τύπος υπηρεσίας που πραγματοποιεί τη μεταβίβαση πληροφοριών μέσω της ραδιοδιεπαφής εμπλέκοντας μόνο τις λειτουργίες του χαμηλού επιπέδου (δηλαδή τα κατώτερα επίπεδα του προτύπου OSI, Open System Interconnection στο οποίο βασίζονται προφανώς οι διατάξεις του συστήματος TETRA και για τις οποίες θα μιλήσουμε παρακάτω στο 6.2), παραλείποντας κατά συνέπεια όποιες επιτελούν τις λειτουργίες του τερματικού.

Αντιθέτως μια τηλευπηρεσία teleservice είναι ένα είδος υπηρεσίας που αξιοποιώντας την bearer service κάνει πλήρη χρήση των λειτουργιών που προσφέρονται από το πρωτόκολλο, εμπλέκοντας επιπλέον και τα ανώτερα επίπεδα του προτύπου OSI.

Συνεπώς η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στις δύο προαναφερθείσες υπηρεσίες αφορά το επίπεδο των διεπαφών όσον αφορά τα δύο είδη υπηρεσιών:



Σχήμα 6.3 Οι δύο υπηρεσίες που προσφέρονται από το DMO: Teleservice και Bearer service

Στο σχήμα που προηγείται ο όρος mobile termination υποδηλώνει τη ραδιοσυσκευή και ο όρος terminal equipment υποδηλώνει τις συνήθεις διατάξεις που δύνανται να συνδεθούν στη συσκευή (επιτραπέζιοι, palms κτλ.). Για τους σκοπούς μας αυτή η υποδιαίρεση δεν

προϋποθέτει κάποια σχέση και ακριβώς γι'αυτό το λόγο στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις πιο ουσιαστικές υπηρεσίες βάσης χωρίς να γίνεται οποιαδήποτε διάκριση.

Είναι σημαντικό να καταστήσουμε σαφές ότι με το πρωτόκολλο DMO είναι εφικτό να μεταδίδουμε και να λαμβάνουμε φωνή, δεδομένα και short data message αλλά στην πραγματικότητα η ήδη υπάρχουσα υλοποίηση πάνω στην οποία βασίζεται η παρούσα εργασία προβλέπει μόνο τις φωνητικές κλήσεις και τα σύντομα γραπτά μηνύματα δεδομένων (SDS).

6.2.1.2 Μετάδοση και λήψη κυκλοφορίας φωνής

Όσον αφορά στις φωνητικές κλήσεις μια από τις μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στο πρωτόκολλο TMO και το πρωτόκολλο DMO είναι ότι ενώ στο τελευταίο υποστηρίζεται μόνο η μετάδοση half duplex (λέγεται επίσης και simplex), στο πρώτο υποστηρίζεται επιπλέον αυτή του τύπου full duplex. Αυτό σημαίνει ότι ενώ στο DMO μπορεί να μιλάει μόνο ένα κινητό τη φορά και όλα τα άλλα μπορούν μόνο ν'ακούνε, στο TMO σε κάποιες περιπτώσεις (ατομικές κλήσεις) γίνεται να μεταδίδουμε και να λαμβάνουμε ταυτόχρονα.

Η μετάδοση half duplex στο DMO υποδιαιρείται τελικά σε normal mode και frequency efficient mode: στην πρώτη μορφή το φέρον RF τυγχάνει χρήσης από μία μόνο επικοινωνία ενώ αντίθετα στη δεύτερη το ίδιο φέρον RF διατίθεται σε δύο ανεξάρτητες επικοινωνίες.

Σ'όλα αυτά απομένει να προσθέσουμε ότι η φωνητική επικοινωνία μπορεί να είναι κρυπτογραφημένη ή όχι υποβοηθώντας τις απαιτήσεις του χρήστη και χωρίζεται στις ατομικές και τις ομαδικές κλήσεις. Δευτερευόντως σημαντικό ρόλο παίζει και ο αριθμός των συνομιλητών που εμπλέκονται στην κλήση.

I. Ατομικές κλήσεις

Μια ατομική κλήση είναι μια επικοινωνία point to point ανάμεσα σ'ένα κινητό που καλεί και σ'αυτό που καλείται. Στην DMO, μια κλήση μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο ανάμεσα σε δύο DM-MS που έχουν επιλέξει το ίδιο φέρον RF.

Σ'αυτό το είδος επικοινωνίας το κινητό που καλεί θα στείλει τη διεύθυνσή του στο κινητό που καλείται χρησιμοποιώντας την ITSI, δηλαδή τον προκαθορισμένο αριθμό που σχετίζεται με κάθε συσκευή και που αντιπροσωπεύει στο εξής το μοναδικό αναγνωριστικό εντός του συστήματος TETRA. Οι ατομικές κλήσεις μπορούν να συμβούν με ή χωρίς έλεγχο παρουσίας, δηλαδή με ή χωρίς τη δυνατότητα εκ μέρους του καλούντος να ζητήσει από τον κληθέντα μια ρητή επιβεβαίωση της αποδοχής της κλήσης προτού αυτή να ξεκινήσει.

II. Ομαδικές κλήσεις

Μια ομαδική κλήση είναι μια επικοινωνία point to multipoint μεταξύ ενός κινητού που καλεί και δύο ή περισσότερων κινητών που καλούνται. Όπως ήδη έχει λεχθεί για τις ατομικές κλήσεις, έτσι και για τις ομαδικές κλήσεις ισχύει ότι μπορούν να λάβουν χώρα μόνο μεταξύ DM-MS που έχουν επιλέξει το ίδιο φέρον RF.

Για να ενεργοποιήσουμε μια επικοινωνία αυτού του τύπου αυτός που καλεί θα διευθυνσιοδοτήσει τη μετάδοση χρησιμοποιώντας μια GTSI, δηλαδή τον προκαθορισμένο αριθμό που θα είναι κοινός για όλα τα μέλη της ίδιας ομάδας κινητών και επιπλέον θα αντιπροσωπεύει τη διεύθυνση. Το κάθε μέλος μιας συγκεκριμένης ομάδας ωστόσο μεταξύ των έγκυρων διευθύνσεων έχει την ίδια GTSI διαθέτοντας όμως διαφορετική ITSΙ. Σ' αυτό το είδος κλήσης εξάλλου αυτός που καλεί δεν έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει αν τα κινητά που καλούνται είναι σε θέση να δεχθούν την κλήση προτού καν αυτή αρχίσει: εκ των πραγμάτων λοιπόν η κλήση ενεργοποιείται ακόμη κι αν δεν υπάρχουν κινητά για λήψη.

Συμπερασματικά είναι βασικό να υπογραμμίσουμε το γεγονός ότι οι ομαδικές κλήσεις αντιπροσωπεύουν μια αποκλειστική υπηρεσία του συστήματος TETRA που το διαφοροποιεί κατά έναν ουσιαστικό τρόπο απ' ό,τι συμβαίνει στο δημόσιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όπου ακριβώς τέτοιες κλήσεις δεν είναι πραγματοποιήσιμες.

6.2.1.3 Short Data Service (SDS)

Με τον όρο SDS υποδηλώνουμε την υπηρεσία που σχετίζεται με τη μετάδοση και τη λήψη σύντομων μηνυμάτων δεδομένων, όπως είναι τα σύντομα γραπτά μηνύματα κειμένου. Αυτή η υπηρεσία είναι συγκρίσιμη μ' εκείνη που προσφέρεται από το δημόσιο δίκτυο κινητών επικοινωνιών, τη γνωστή μας υπηρεσία για την αποστολή και λήψη σύντομων γραπτών μηνυμάτων, δηλαδή τα λεγόμενα SMS.

Τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά για τα μηνύματα SDS μπορούμε να τα συνοψίσουμε στα εξής:

- ✓ Μπορούν να μεταδοθούν σε μια μετάδοση stand-alone δηλαδή με αυτόνομο τρόπο ή στο εσωτερικό μιας μετάδοσης κυκλοφορίας φωνής ή δεδομένων.
- ✓ Μπορούν να οριστούν από το χρήστη είτε να είναι προκαθορισμένου τύπου (το τελευταίο είναι χρήσιμο σε επείγουσες περιπτώσεις ή για την προώθηση σηματοδότησης, διαθέτοντας ένα προκαθορισμένο νόημα εντός του συστήματος TETRA)
- ✓ Μπορούν να μεταδοθούν ακριβώς όπως και η κυκλοφορία φωνής, σ' ένα μοναδικό κινητό, μέσω μιας σύνδεσης point to point (ανάλογα με τις ατομικές κλήσεις), είτε σε δύο ή πιο κινητά μέσω μιας σύνδεσης point to multipoint (ανάλογα με τις ομαδικές κλήσεις)
- ✓ Τέλος μόνο για τις ατομικές επικοινωνίες το πρότυπο TETRA DMO προβλέπει τη δυνατότητα να έχουμε μηνύματα με ή χωρίς επιβεβαίωση (acknowledgement), με άλλα λόγια με ή χωρίς τη δυνατότητα εκ μέρους του αποστολέα του μηνύματος να ζητήσει απ' τον παραλήπτη μια σαφή επιβεβαίωση της παραλαβής του μηνύματος.

Σ' αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να υπενθυμίσουμε ότι το σύστημα TETRA DMO επί του παρόντος είναι σε θέση να προσφέρει μόνο SDS χωρίς επιβεβαίωση παραλαβής, σε

αντίθεση με το σύστημα TETRA TMO, το οποίο προσφέρει αναγνώριση λήψης, δηλαδή αναφορά παράδοσης (acknowledgement).

6.2.1.4 Ενδογενείς υπηρεσίες

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν όλοι οι τύποι υπηρεσιών που στηρίζονται σ' αυτές της βάσης, που περιγράψαμε πρωτότερα, και που λειτουργούν εκμεταλλευόμενες τη δυνατότητα του καναλιού σηματοδότησης πάνω στο οποίο υλοποιούνται.

Θα δούμε αμέσως μια περίληψη των κυριότερων ενδογενών υπηρεσιών, που λέγονται και συμπληρωματικές.

- **DM late entry**

Η υπηρεσία late entry επιτρέπει σ' ένα DM-MS να εισέλθει σε μια κλήση όταν αυτή είναι ήδη ενεργή. Προφανώς η είσοδος είναι δυνατή μόνο αν η κλήση είναι χωρίς έλεγχο παρουσίας και διευθυνσιοδοτημένη σε μια από τις έγκυρες διευθύνσεις του κινητού (ITSI ή GTSI).

- **TPNI**

Η υπηρεσία TPNI (Transmitting Party Number Identification) επιτρέπει, σ' ένα κινητό που πραγματοποιεί μια κλήση, να γνωστοποιήσει τη δική του ITSI στους μοναδικούς αποδέκτες της κλήσης. Μια τέτοια υπηρεσία καλείται στην περίπτωση που αυτός που καλεί είχε χρησιμοποιήσει ως διεύθυνση προέλευσης (πηγαία) μια ψευδό SSI (Short Subscriber Identity) ή εφόσον θέλει να λειτουργήσει ανώνυμα ή εφόσον πρέπει να πραγματοποιήσει μια κλήση inter-MNI (Mobile Network Identity), όπως μια κλήση που εμπλέκει κινητά που λειτουργούν σε διαφορετικά δίκτυα TETRA (και κατά συνέπεια έχουν διαφορετικές MNI).

- **Προτεραιότητα έκτακτης ανάγκης**

Η υπηρεσία έκτακτης ανάγκης συμβάλλει στην πραγματοποίηση κλήσεων ιδιαίτερης σημασίας αποδίδοντας σ' αυτές τη μέγιστη προτεραιότητα. Πράγματι αποδίδοντας σε μια κλήση την προτεραιότητα έκτακτης ανάγκης, καθίσταται δυνατό να χρησιμοποιήσουμε ένα φέρον RF ακόμη κι αν είναι ήδη κατειλημμένο από άλλη κλήση κατώτερης προτεραιότητας και επί πλέον εξασφαλίζει τη διατήρηση του ελέγχου του καναλιού μέχρι το πέρας της ίδιας κλήσης. Οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης μπορούν να είναι είτε ατομικές είτε ομαδικές.

Στην τρέχουσα υλοποίηση εκ των πραγμάτων, μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο στη μορφή open group, δηλαδή θέτοντας στο 1 όλα τα bits των MNI και των SSI (κατά συνέπεια πραγματοποιώντας μια κλήση σ' όλους τους DM-MS που είναι παρόντες στο φέρον RF) είτε σταθεροποιώντας μια MNI και θέτοντας στο 1 όλα τα bits των SSI (έτσι πραγματοποιώντας μια κλήση σ' όλους τους παρόντες DM-MS στο φέρον και που διαθέτουν αυτήν τη συγκεκριμένη MNI), ή στη μορφή group, δηλαδή επιλέγοντας την ομάδα στην οποία καταφθάνει η κλήση.

6.2.2 Επεκτάσεις για το πρωτόκολλο DMO

Σ' αυτήν την παράγραφο θα περιγράψουμε πιο λεπτομερώς τα είδη των επικοινωνιών που προβλέπονται μες το πεδίο δράσης του DMO. Μερικές απ' αυτές απαιτούν τη χρήση κατάλληλων διατάξεων για τις οποίες καθίσταται απαραίτητος ο καθορισμός ενός κατάλληλου πρωτοκόλλου.

Μέσα στην περιοχή DMO είναι λοιπόν δυνατό να διακρίνουμε τύπους επικοινωνίας:

- ✓ Σύνδεση βάσης μεταξύ χρηστών DM
- ✓ Μοντέλο αναφοράς του DM dual watch
- ✓ Σύνδεση ανάμεσα σε δύο DM-MS μέσω ενός DM repeater
- ✓ Σύνδεση με το δίκτυο TETRA μέσω μιας DM gateway
- ✓ Συνδυασμός DM repeater και DM gateway.

6.2.2.1 Επικοινωνία βάσης μεταξύ χρηστών DM

Το μοντέλο βάσης του DMO αναφέρεται στην πιο απλή επικοινωνία *point to point* ή *point to multipoint* που μπορούμε να έχουμε μεταξύ DM-MS. Η απλούστερη μορφή του DM είναι η διπλής κατεύθυνσης επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων κινητών σταθμών / τερματικών. Η από κινητό σε κινητό λειτουργία (walkie-talkie) εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα. Σε αυτή τη λειτουργία τα κινητά επικοινωνούν κατευθείαν μεταξύ τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η TETRA trunked υποδομή αν υπάρχει, δε χρησιμοποιείται, δεν υποστηρίζονται χαρακτηριστικά όπως είναι η διαχείριση των τηλεπικοινωνιακών πόρων, η δυνατότητα (έντονης) κίνησης των χρηστών, κ.ά.



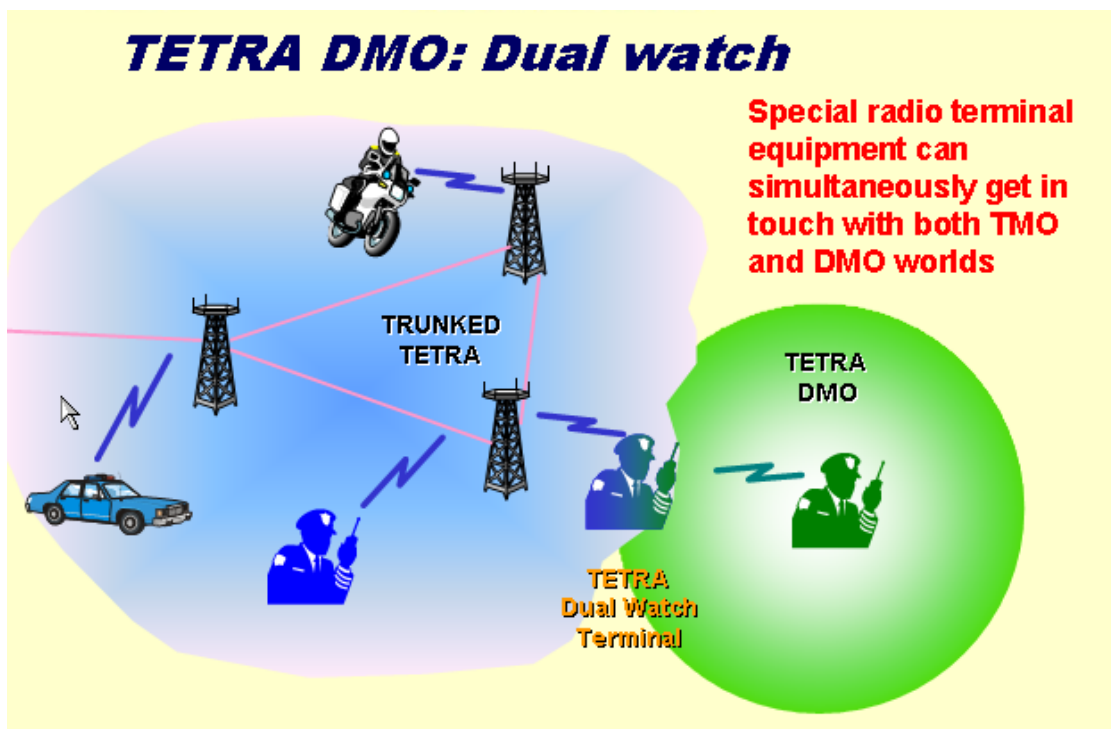
Σχήμα 6.4 Σύνδεση βάσης μεταξύ κινητών DM

6.2.2.2 Επικοινωνία ενός DW-MS

Όπως ήδη τονίσαμε στην εισαγωγή, ένα κινητό dual watch είναι σε θέση να λειτουργεί είτε μέσω της διεπαφής αέρα DMO είτε μέσω της διεπαφής αέρα TMO. Ένας DW-MS, όταν είναι ενεργός, μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις παρακάτω τρεις καταστάσεις:

- Να μην εμπλέκεται σε μια κλήση DMO ούτε σε TMO αλλά να είναι ενεργός και στην επιτήρηση του καναλιού ελέγχου του TM μα και σ'αυτήν της φέρουσας RF, επιλεγμένης από τον DM
- Να εμπλέκεται σε μια κλήση DMO, μέσω της διεπαφής αέρα DMO και συγχρόνως να είναι ενεργός στην περιοδική παρακολούθηση του καναλιού ελέγχου TM μέσω της διεπαφής αέρα TMO (μόνο αν είναι full dual watch)
- Να εμπλέκεται σε μια επικοινωνία τύπου TMO και συγχρόνως να είναι ενεργός στην περιοδική επιτήρηση της φέρουσας RF, επιλεγμένης από τον DM (μόνο αν είναι full dual watch).

Εν πάση περιπτώσει είναι σημαντικό να υπογραμμίσουμε ότι ένας DW-MS είναι σε θέση να επικοινωνεί ταυτόχρονα μέσω της διεπαφής αέρα DMO και μέσω της διεπαφής αέρα TMO, όντας συγχρόνως αναμεμιγμένος σε κλήσεις DMO και TMO.



Σχήμα 6.5 Λειτουργία DM Dual Watch

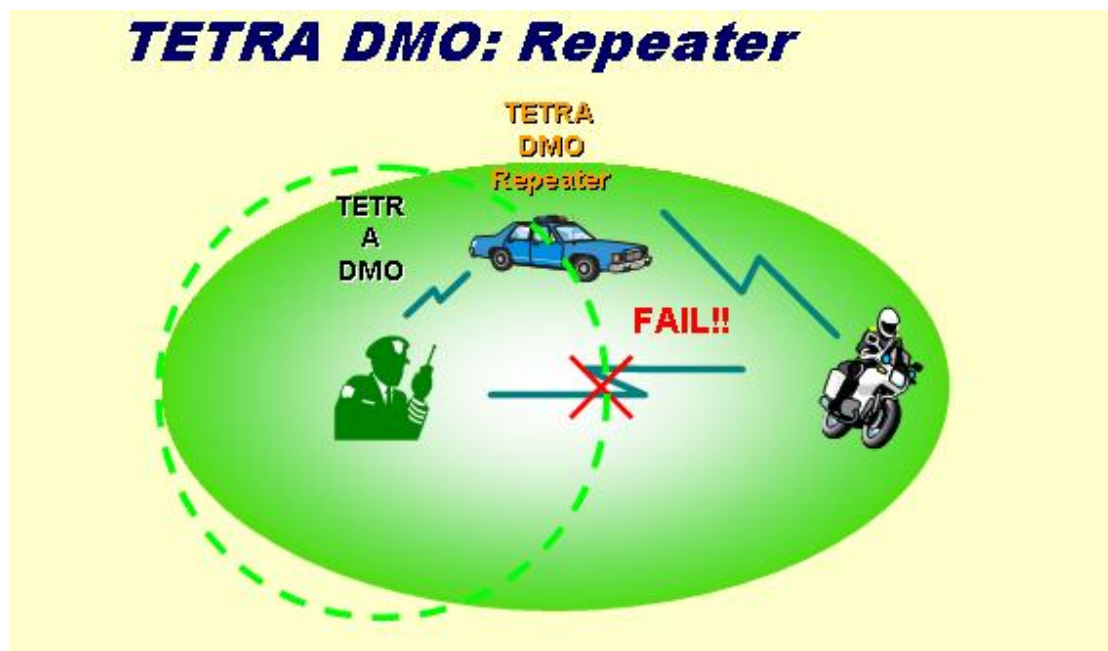
6.2.2.3 Direct mode repeater (DM-REP)

Ο μεταδότης DM repeater είναι μια κινητή συσκευή ικανή να ενισχύσει το σήμα κατά την είσοδό του (γι' αυτό και εγκαθίσταται πάνω σε οχήματα) και κατά συνέπεια είναι σε θέση να αυξήσει την ακτίνα κάλυψης των κινητών που επικοινωνούν μέσω της ίδιας συσκευής.

Ο DM-REP υπάγεται στο πρότυπο τύπου αναγέννησης (ανανέωσης) με την έννοια ότι αποκωδικοποιεί και επανακωδικοποιεί τη λαμβανόμενη κίνηση για να βελτιώσει τις επιδόσεις της σύνδεσης μεταξύ των ποικίλων DM-MS. Ο DM repeater λαμβάνει πληροφορίες πάνω στο κανάλι uplink του κινητού που μεταδίδει και επαναμεταδίδει αυτήν την ίδια πληροφορία προς ένα ή πιο πολλά κινητά πάνω στο κανάλι downlink.

Το πρότυπο TETRA DMO ορίζει τρεις διαφορετικούς τύπους μεταδότη (repeater):

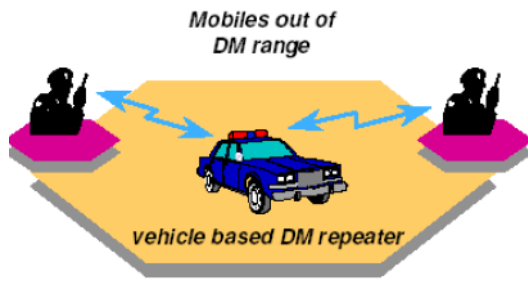
- Τύπος 1A: Τα κανάλια uplink και downlink κατανέμονται πάνω στην ίδια φέρουσα ραδιοσυχνότητα RF. Η συσκευή είναι σε θέση να υποστηρίζει μια απλή (μοναδική – μονή – ξεχωριστή) κλήση DM την κάθε φορά.
- Τύπος 1B: Τα κανάλια uplink και downlink κατανέμονται πάνω σε δύο διαφορετικές φέρουσες RF, η μια χρησιμοποιείται μόνο για τη μετάδοση κι η άλλη μόνο για τη λήψη. Η συσκευή είναι σε θέση να υποστηρίζει μια μοναδική κλήση DM τη φορά.
- Τύπος 2 : Όπως στον τύπο 1B τα κανάλια uplink και downlink κατανέμονται πάνω σε δύο διαφορετικές φέρουσες RF, η μια μόνο για τη μετάδοση κι η άλλη μόνο για τη λήψη. Εν τούτοις η συσκευή αυτή τη φορά είναι σε θέση να υποστηρίζει δύο ανεξάρτητες κλήσεις DM που πραγματοποιούνται σε μορφή frequency efficient mode.



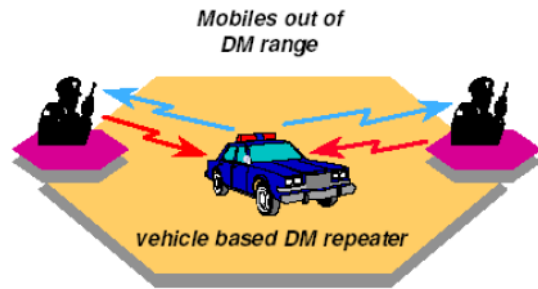
Σχήμα 6.6 Κάλυψη DM με τη χρήση ανεξάρτητου επαναλήπτη

Τα ακόλουθα δύο σχήματα (Σχήμα 6.7, Σχήμα 6.8) απεικονίζουν τη διαφορά ανάμεσα σ'έναν DM repeater τύπου 1A, στον οποίο επομένως χρησιμοποιείται μια μοναδική

συχνότητα για να οδηγήσει την επικοινωνία DM και τους τύπους 1B και 2 όπου αντίθετα χρησιμοποιούνται μια συχνότητα για μετάδοση κι άλλη για λήψη.



Σχήμα 6.7 DM repeater, τύπου 1A



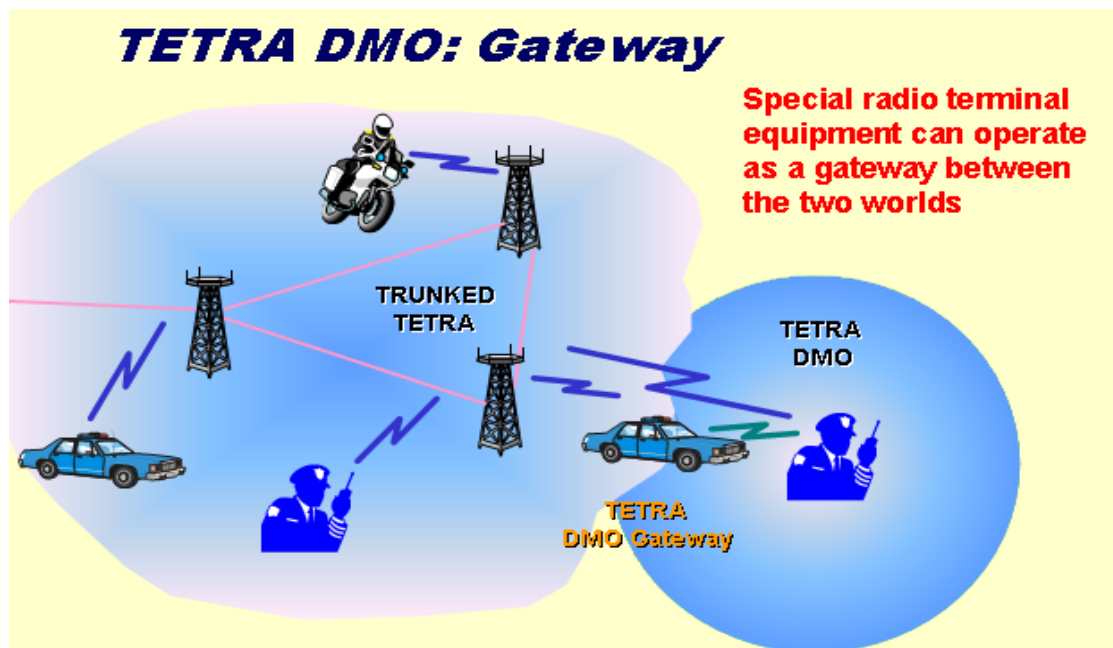
Σχήμα 6.8 DM repeater, τύπων 1B και 2

Μια συσκευή DM repeater μπορεί να σηματοδοτήσει την παρουσία της εντός της φέρουσας ραδιοσυχνότητας και τη διαθεσιμότητά της ώστε να χρησιμοποιηθεί για την περιοδική ανταπόκριση ενός σήματος παρουσίας. Αυτό το σήμα χρησιμεύει άλλωστε και στο να προσδιορίσει ποιοι DM-MS μπορούν να χρησιμοποιούν τη συσκευή αυτή και για πόσο χρόνο.

6.2.2.4 Direct mode gateway (DM-GATE)

Η DM gateway είναι μια κινητή διάταξη (εγκαθίσταται όπως ο DM repeater πάνω σε οχήματα) που επιτρέπει σ'ένα κινητό DM να επικοινωνεί μ'ένα κινητό TM χρησιμοποιώντας μόνο τη διεπαφή αέρα DMO. Μια τέτοια συσκευή συνεπώς αντιπροσωπεύει τη διεπαφή μεταξύ του «κόσμου» direct mode και του «κόσμου» trunked mode: η λειτουργία της είναι αυτή της «μετάφρασης» της επικοινωνίας DMO σε format TMO και αντιστρόφως.

Το επόμενο Σχήμα 6.9 δείχνει την πιο απλή σύνδεση που μπορούμε να έχουμε μεταξύ ενός DM-MS και ενός TM-MS:

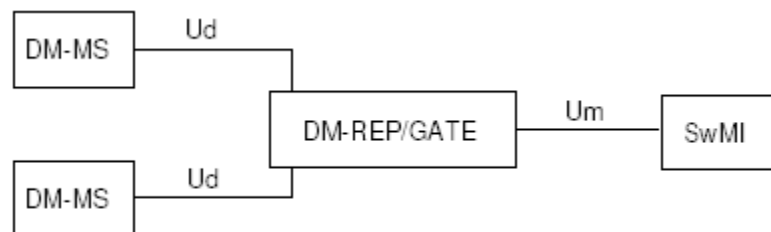


Σχήμα 6.9 Επέκταση κάλυψης DM με τη χρήση τερματικού πύλης

Μεταξύ των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών της DM-GATE βρίσκουμε ότι μια τέτοια συσκευή είναι σε θέση να υποστηρίζει αποκλειστικά μια κλήση τη φορά μεταξύ του δικτύου trunked και της ομάδας χρηστών DM (ή ενός χρήστη DM). Τελείως ανάλογα με τον DM-REP, η DM-GATE επισημαίνει την παρουσία της στα κινητά που βρίσκονται μέσα στη δική της ζώνη κάλυψης DM χάρη στην αποστολή του σήματος παρουσίας. Η χρησιμότητα του να αποκτήσει πρόσβαση ένας DM-MS στο δίκτυο trunked φαίνεται από το γεγονός ότι εκμεταλλευόμενοι την τελευταία, μειώνονται δραστικά τα προβλήματα κάλυψης της επικοινωνίας DM και εξάλλου διασυνδέονται δυο «κόσμοι» που είναι θεωρητικά χωρισμένοι από τα όρια της ραδιοδιεπαφής.

6.2.2.5 Direct mode repeater / gateway (DM-REP/GATE)

Η συσκευή DM-REP/GATE συνδυάζει τη λειτουργικότητα ενός DM repeater μ'εκείνη μιας DM gateway. Μια τέτοια συσκευή είναι επομένως σε θέση να επιτύχει ταυτόχρονα τις λειτουργίες ενός repeater για την επικοινωνία ανάμεσα σε κινητά DM (μέσω της διεπαφής αέρα DMO, Ud) και αυτές μιας gateway για την επικοινωνία μεταξύ κινητών DM και TM (μέσω της διεπαφής αέρα TMO, Um).



Σχήμα 6.10 DM-REP/GATE, μοντέλο

6.3 Εμβάθυνση στο TETRA DMO

Παρακάτω θα δούμε τις πιο βασικές έννοιες του πρωτοκόλλου DMO, εμβαθύνοντας σ'όλα όσα αναφέραμε πριν σε αυτό το κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα θα περάσουμε σε πιο γενικά θέματα, που μπορούν να ισχύουν ακόμη και για άλλα πρωτόκολλα τηλεπικοινωνιών απ'το TETRA, σε θέματα πάντα σχετικά με τη βάση αλλά και πιο εξειδικευμένα για το πρωτόκολλο direct mode.

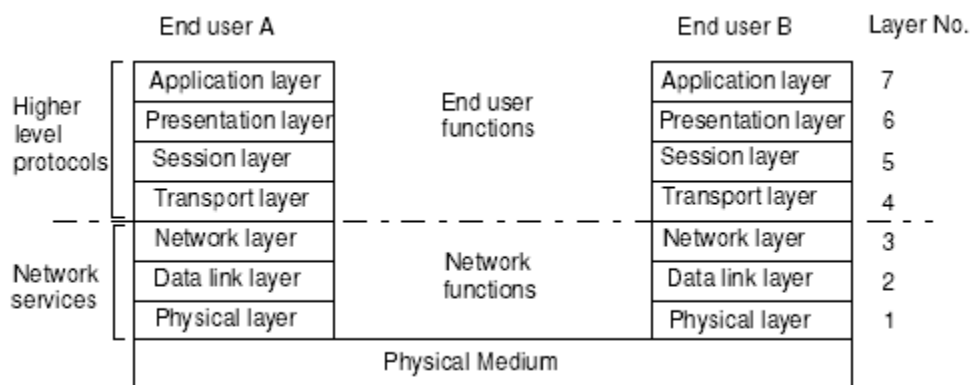
6.3.1 Η δόμηση σε επίπεδα

Η πρώτη έννοια βάσης που αξίζει να εξετάσουμε είναι το πρότυπο **OSI (Open System Interconnection)**, δηλαδή τη δομή αναφοράς που χρησιμοποιείται για τη σκιαγράφηση της συμπεριφοράς μιας συσκευής radio μέσα στο σύστημα TETRA DMO. Το μοντέλο OSI, στην πράξη, απαρτίζεται από επτά λειτουργικά επίπεδα και είναι εν γένει εξειδικευμένο για

εργασίες συστημάτων με αρχιτεκτονική οργανωμένη σε επίπεδα. Εξειδικεύοντας στα πρωτόκολλα τηλεπικοινωνιών είναι δυνατό να παρατηρήσουμε πως η πολυσυνθετότητα των συστημάτων που αλληλοσυσχετίζονται προέρχεται κυρίως από την πολυπλοκότητα λειτουργιών, δεδομένου ότι αυτές εξελίσσονται παράλληλα και με φανερή ανεξαρτησία η μία από την άλλη. Στο πλαίσιο αυτής της θεώρησης είναι προφανής ο συσχετισμός των διαφορετικών λειτουργικοτήτων στα διάφορα επίπεδα, τηρώντας την ιεραρχία του συστήματος: κάθε επίπεδο αξιοποιεί τις υπηρεσίες που του παρέχονται από το κατώτερο επίπεδο για να προμηθεύσει κι αυτό με τη σειρά του το πιο πάνω επίπεδο με άλλες υπηρεσίες. Τα επτά διακεκριμένα επίπεδα του προτύπου OSI ακολουθούν αμέσως παρακάτω:

- 1) Physical layer
- 2) Data link layer
- 3) Network layer
- 4) Transport layer
- 5) Session layer
- 6) Presentation layer
- 7) Application layer

Το πρότυπο TETRA DMO ορίζει υπηρεσίες δικτύου, οι οποίες εμπλέκουν μόνο τα τρία πρώτα επίπεδα του προτύπου OSI, ενώ τα άλλα επίπεδα υλοποιούν (εφαρμόζουν – εκτελούν) τα λεγόμενα ανώτερα τμήματα του πρωτοκόλλου: στην πράξη τα πρώτα διαχειρίζονται τις λειτουργίες δικτύου, τη στιγμή που τα δεύτερα είναι υπεύθυνα για τις λειτουργίες προς το χρήστη. Στο επόμενο **Σχήμα 6.11** αναπαρίσταται μια γενικευμένη επικοινωνία ανάμεσα σε δύο DM-MS, μες το μοντέλο OSI:



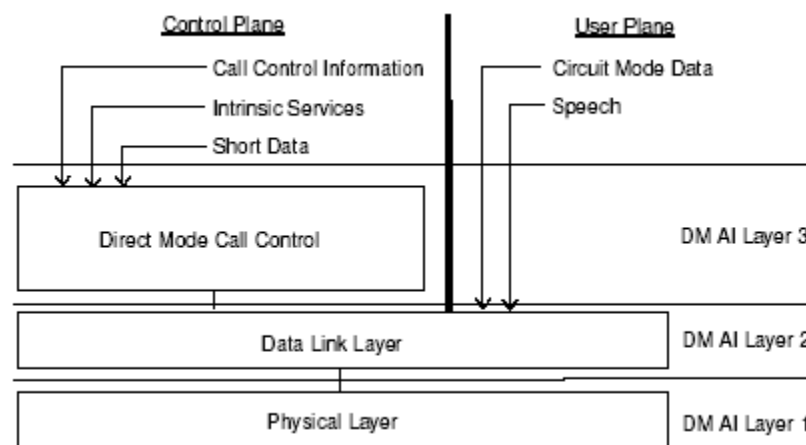
Σχήμα 6.11 Μοντέλο OSI προσαρμοσμένο για αρχιτεκτονικές επικοινωνίας

Οι διάφορες διαδικασίες που συγκροτούν τα επίπεδα της στοίβας OSI περιγράφονται σαν «σταματημένες μηχανές» που μπορούν να διεγερθούν από ένα μήνυμα ή από ένα μετρητή (timer): το σύνολο των μηνυμάτων όπου δύο ή περισσότερες διαδικασίες ανταλλάσσουν για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, συγκροτεί τη διεπαφή ανάμεσα σ'αυτές τις δύο διεργασίες, γνωστή ως SAP (Service Access Point).

Η φιλοσοφία των αρχιτεκτονικών σε επίπεδα βασίζεται στην ανεξαρτησία του καθενός επιπέδου, υπό τον όρο της εφαρμογής των υπηρεσιών που αυτό οφείλει να παρέχει και/ή να λαμβάνει από τα γειτονικά επίπεδα. Άρρηκτα συνδεδεμένη μ' αυτή τη φιλοσοφία βρίσκουμε την έννοια της ανταλλαγής peer-to-peer, μέσω της οποίας ένα επίπεδο ανταλλάσσει πληροφορίες με την αντίστοιχη-ομότιμη οντότητα του, που βρίσκεται σ' ένα απομακρυσμένο σημείο. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι κάθε επίπεδο μπορεί να αναπτύσσεται ξεχωριστά από τα υπόλοιπα και πως το αποτέλεσμα μιας τέτοιας ανταλλαγής που επέρχεται σ' αυτό δε γίνεται αντιληπτό απ' τα γειτονικά επίπεδα, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν τροποποιήσεις στα μηνύματα που ανταλλάσσονται με τα τελευταία.

6.3.1.1 Επίπεδα OSI σχετικά μ' ένα κινητό DM

Το πρότυπο TETRA DMO, όπως ορίζεται από τον ETSI διευκρινίζει μόνο τα κάτω επίπεδα της στοίβας OSI: στην περίπτωση του DMO τα επίπεδα υπό αμφισβήτηση είναι το επίπεδο physical, το επίπεδο data link και το επίπεδο DM call control.



Σχήμα 6.12 Επίπεδα του προτύπου OSI για τη λειτουργικότητα ενός DM-MS

1) Το φυσικό επίπεδο

Το επίπεδο physical είναι το πιο χαμηλό από τα επίπεδα του προτύπου OSI και είναι αυτό που πραγματοποιεί τη μετάδοση της ακολουθίας των bits στον αέρα, υλοποιώντας στην πράξη το πρωτόκολλο. Ο ρόλος αυτού του επιπέδου, λοιπόν είναι να ορίζει την κωδικοποίηση των bits για τα συναφή ηλεκτρικά σήματα ενώ εφοδιάζει με κάποιες οδηγίες τους συνδέσμους που πρέπει να τηρούνται από το φυσικό μέσο που είναι σε χρήση.

2) Το επίπεδο MAC

Το επίπεδο data link, που λέγεται επίσης και **MAC (Medium Access Control)**, είναι σε θέση να γνωρίζει την κατάσταση του καναλιού πάνω στο οποίο διαβιβάζεται (διακινείται) η πληροφορία, να ρυθμίζει το ρυθμό των bits της μετάδοσης και να γνωρίζει εκ νέου αν το σύστημα που καλείται είναι ενεργό στη λήψη, επιτρέποντας έτσι να υλοποιήσουμε μια

επικοινωνία προσανατολισμένη προς τη σύνδεση. Στις υφιστάμενες (υπάρχουσες υλοποιήσεις) του πρωτοκόλλου DMO, το MAC απαρτίζεται απ' το upper MAC και το lower MAC: ενώ το πρώτο υποεπίπεδο επικοινωνεί με το επίπεδο 3 μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων, με ασύγχρονο τρόπο και δουλεύοντας με bytes, το δεύτερο επικοινωνεί με το επίπεδο 1, με σύγχρονο τρόπο και με δεδομένο ότι αυτή τη φορά δεν εργάζεται με μηνύματα αλλά με interrupt και με bits. Όπως δείχνουμε στο **Σχήμα 6.12**, στο επάνω μέρος (στην κορυφή) αυτού του επιπέδου βρίσκονται:

- Το user plane, υπεύθυνο για τη μεταφορά (μεταγωγή) της κίνησης φωνής και δεδομένων και
- Το control plane, που ασχολείται με τη διαχείριση της διεπαφής αέρα, δηλαδή με το άνοιγμα (έναρξη) και τη διατήρηση των συνδέσεων μεταξύ κινητών μέσω της ανταλλαγής σηματοδοσίας με την πρέπουσα/αρμόζουσα διευθυνσιοδότηση.

3) Το επίπεδο DMCC

Το επίπεδο 3 για το DMO, είναι το λεγόμενο **DMCC (Direct Mode Call Control)**. Αυτό το επίπεδο ανήκει στο control plane και η λειτουργία του συνίσταται κυρίως στο να διευθύνει (κατευθύνει) την επιλεγμένη φέρουσα RF σ'όλες τις δικές του πιθανές πραγματοποιήσιμες καταστάσεις. Εξαρτάται από αυτό να αποφασίσει πώς να ενεργοποιήσει μια κλήση DMCC, να αποφασίσει πώς να ενεργοποιήσει μια κλήση (ή υπηρεσία SDS), πώς να τη διατηρήσει ενεργή και πώς να τη διευθετήσει (διαχειριστεί) σε σχέση με άλλες κλήσεις που τυχόν εισέρχονται και/ή εξέρχονται (βρίσκονται στην είσοδο και/ή στην έξοδο).

4) Τα άλλα επίπεδα

Για τα εναπομείναντα επίπεδα δεν υφίστανται προδιαγραφές απ'το επίσημο πρότυπο εφ'όσον η υλοποίησή τους θεωρείται ότι βρίσκεται αποκλειστικά (εξ'ολοκλήρου) υπ'ευθύνη των παραγωγών. Το σημαντικό είναι ότι δεν υφίστανται ασυμφωνίες (δυσαρμονίες) με την εκτελεσθείσα δραστηριότητα των κατώτερων επιπέδων, που είναι τα μοναδικά πάνω στα οποία εγκαθίστανται (επιβάλλονται) πραγματικοί σύνδεσμοι λειτουργίας (χειρισμού).

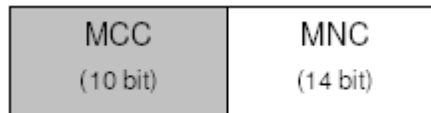
6.3.2 Τρόπος διευθυνσιοδότησης

Στη συνηθισμένη επικοινωνία μεταξύ κινητών, μια πλευρά παριστάνεται απ'τη διευθυνσιοδότηση και αυτό είναι το κίνητρο που στην παρούσα παράγραφο θα μας εισάγει στις παρεχόμενες έννοιες βάσης που έχουν υιοθετηθεί για την αναγνώριση (εξακρίβωση - ταυτοποίηση) ενός κινητού. Το σύστημα TETRA DMO προβλέπει για τη διευθυνσιοδότηση τη χρήση των ακόλουθων τύπων διεύθυνσης:

- ✓ **ITSI (Individual Tetra Subscriber Identity)**
- ✓ **GTSI (Group Tetra Subscriber Identity)**
- ✓ **TEI (Tetra Equipment Identity)**

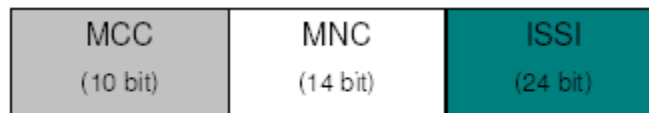
6.3.2.1 ITSI, η ατομική διεύθυνση

Η ITSI είναι μια ατομική διεύθυνση ενός DM-MS. Μια τέτοια διεύθυνση, μοναδική για κάθε κινητό αποτελείται από 48 bits και υποδιαιρείται σε δύο μέρη, το καθένα με μήκος ακριβώς ίσο με 24 bits: στο πρώτο μέρος δίνεται το όνομα MNI (Mobile Network Identity) για την ISSI, Individual SSI). Η MNI με τη σειρά της συνίσταται σε δύο πεδία: τον MCC (Mobile Country Code), που διακρίνει το έθνος καταγωγής του κινητού και τον MNC (Mobile Network Code), που διακρίνει το δίκτυο εντός του οποίου λειτουργεί το κινητό. Αυτά τα δύο πεδία σχηματίζονται από 10 και 14 bits αντίστοιχα:



Σχήμα 6.13 Η δομή της MNI

Η ISSI, αντιθέτως, αναγνωρίζει ένα κινητό με ξεκάθαρο τρόπο (μονοσήμαντα) στο εσωτερικό της ίδιας MNI. Όλα αυτά μας κάνουν να καταλάβουμε ότι για μια σωστή διευθυνσιοδότηση το DM-MS πομπός (μεταδότης – διαβιβαστής) οφείλει να αξιοποιήσει απαραίτητα στο ακέραιο την ITSI της κλήσης εφόσον η μόνη ISSI ή η μόνη MNI δε θα επαρκούσαν. Η περίπλοκη (πολυσύνθετη) δομή μιας κοινότητας ατομικής διεύθυνσης μπορεί να αναπαρασταθεί (παρασταθεί) λοιπόν ως εξής:



Σχήμα 6.14 Η δομή της ITSI

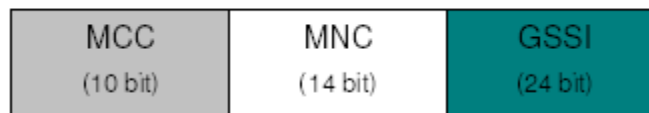
6.3.2.2 GTSI, η διεύθυνση ομάδας

Σε αντίθεση με την ITSI, η GTSI είναι ένας αριθμός που παριστάνει τη διεύθυνση μιας ομάδας, στην οποία μπορεί να ανήκει ο DM-MS. Παρά τα όσα συμβαίνουν με την ITSI, που είναι οπωσδήποτε συσχετισμένη με τον κάθε DM-MS, δεν είναι εξίσου βέβαιο ότι μια GTSI σχετίζεται πάντα μ'έναν DM-MS. Στην πραγματικότητα είναι καθιερωμένο ότι κάθε DM-MS ανήκει τουλάχιστον σε δύο ομάδες, γνωστές με το όνομα: open group. Έτσι λοιπόν αν μ'ένα κινητό σχετίζεται μια GTSI αυτό σημαίνει ότι αυτό είναι σε θέση να συμμετέχει σ'όλες τις κλήσεις που θα έχουν ως διεύθυνση τη συγκεκριμένη GTSI και το ίδιο θα ισχύει και για όλα κινητά που διαθέτουν την ίδια διεύθυνση ομάδας.

Όπως η ITSI έτσι και η GTSI έχει το μήκος των 48 bits και αποτελείται από τα 24 bits της MNI και από τα 24 bits της SSI (εδώ παίρνει την επωνυμία GSSI, Group SSI). Τώρα όσον

αφορά την MNI κάνουμε δεκτές όλες τις θεωρήσεις που έγιναν στην προηγούμενη παράγραφο. Αντίθετα η GSSI χαρακτηρίζει με μονοσήμαντο τρόπο ένα σύνολο κινητών που βρίσκονται εντός της ίδιας MNI.

Όπως έχουμε πει προωύτερα με το κάθε κινητό σχετίζονται, εκ προτύπου, το λιγότερο δύο GTSI, γνωστές ως open group. Η πρώτη είναι μια ιδιαίτερη διεύθυνση ομάδας (αποτελούμενη συνολικά από 48 bits, που έχουν όλα την τιμή 1) η οποία έχει ως σκοπό, σε έκτακτες περιπτώσεις, να καθιστά προσβάσιμα όλα τα κινητά που βρίσκονται συντονισμένα στην ίδια συχνότητα ανεξαρτήτως της δικιάς τους MNI. Η δεύτερη, τελείως ανάλογα, συναινεί στην επίτευξη της προσιτότητας μεταξύ όλων των κινητών που βρίσκονται στην ίδια φέρουσα RF, διαθέτοντας την ίδια MNI: μόνο αυτή η δεύτερη GTSI σε αντίθεση με την πρώτη, έχει τη SSI, που αποτελείται από μονά bits ίσα με 1, ενώ η MNI κατέχει μια βαρυσήμαντη τιμή. Λαμβάνοντας υπ' όψιν όσα προείπαμε, μια διεύθυνση ομάδας έχει την ίδια δομή μ' αυτήν της ατομικής διεύθυνσης, με άλλα λόγια:



Σχήμα 6.15 Η δομή της GTSI

6.3.2.3 TEI, η διεύθυνση σειράς

Άλλη μια διεύθυνση που λέγεται TEI είναι συσχετισμένη με τις ραδιοσυσκευές DMO, η οποία δεν είναι παρά ένας σειριακός αριθμός, χρήσιμος για το μονοσήμαντο χαρακτηρισμό του hardware της συσκευής, ώστε η τελευταία να παραλείψει τις προαναφερθείσες διευθύνσεις.

6.3.2.4 Διευθυνσιοδότηση πύλης (gateway) ή επαναλήπτη (repeater)

Μέχρι τώρα εξετάσαμε τη διευθυνσιοδότηση ως χαρακτηριστικό από πλευράς των ραδιοσυσκευών που κάνουν χρήση της λειτουργικότητας κινητών DMO. Αντιθέτως, όσον αφορά τις ραδιοσυσκευές που αξιοποιούν τη λειτουργικότητα μιας DM gateway ή ενός DM repeater, η κατάσταση αλλάζει αφού αυτές οι διατάξεις διαθέτουν ένα είδος διαφορετικής διευθυνσιοδότησης. Εκτός από την TEI που χαρακτηρίζει μονοσήμαντα το hardware, τέτοιες διατάξεις χαρακτηρίζονται από μια διεύθυνση αποτελούμενη μόνο από 10 bits. Η διεύθυνση αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται απ' τα κινητά στην περίπτωση μιας επικοινωνίας μέσω DM gateway ή DM repeater για τη διευθυνσιοδότηση των τελευταίων κατά την εμπλοκή τους σε μια κλήση. Στην περίπτωση που οι διατάξεις επιλέξουν να λειτουργούν με ανωνυμία, η διεύθυνσή τους δε μεταδίδεται εναερίως εφ' όσον δεν υπάρχει καμία αποστολή ενός σήματος

παρουσίας. Σ'αυτήν την περίπτωση το κινητό που επιθυμεί να πραγματοποιήσει μια κλήση μέσω μιας DM gateway ή ενός DM repeater οφείλει να διαθέτει μια διεύθυνση που θα έχει από πριν διαμορφωθεί κατάλληλα.

Τέλος κι αυτές οι διατάξεις μπορούν να κάνουν χρήση της GTSI αλλά μόνο για λόγους εσωτερικής λειτουργικότητας (όπως για διανομές εξουσιοδοτήσεων, καταχωρήσεις στο δίκτυο κτλ). Πάντως είναι αβέβαια η χρήση της GTSI για τη διευθυνσιοδότηση από πλευράς DMO, δηλαδή για τη λήψη κλήσεων από τις διατάξεις αυτές.

6.3.3 Ρόλοι ενός κινητού DM

Στην DMO, μιας και δεν υπάρχει εκεί μια υποδομή ελέγχου που να διευθύνει την πρόσβαση στο κανάλι, η διαχείριση του τελευταίου αφήνεται στο δυσπροσάρμοστο και αυστηρό συνάμα συγχρονισμό που εκτελούν τα κινητά από μόνα τους. Ακριβώς γι'αυτό το λόγο και σκοπεύοντας να περιγράψουμε τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της μετάδοσης σε μορφή direct είναι ανάγκη να εξετάσουμε πρώτα τους διάφορους ρόλους που μπορεί να αναλάβει ένα κινητό. Πράγματι ανάλογα το είδος της κάθε εφαρμοσμένης δραστηριότητας ένα σύνηθες κινητό μπορεί να κατέχει το ρόλο του αφέντη (master), του σκλάβου (slave) και του τεμπέλη (idle). Σε σχέση με το ρόλο που έχει αναλάβει κάθε κινητό μπορεί να επωφεληθεί με διαφορετικό τρόπο από τις ποικίλες λειτουργίες που είναι στη διάθεσή του εκ του πρωτοκόλλου DMO.

6.3.3.1 Ρόλος του αφέντη (master)

Ένας DM-MS λέμε ότι έχει το ρόλο master όταν ενώ παρακολουθεί μια διαθέσιμη φέρουσα RF ή ενώ έχει αποκτήσει την άδεια λειτουργίας πάνω σ'αυτή απ'τον προηγούμενο αφέντη, αρχίζει να προωθεί πακέτα συγχρονισμού πάνω της. Τέτοια πακέτα είναι τα **DSB**, (**D**irect **m**ode **S**ynchronization **B**urst). Ο «αφέντης» επιβάλλει σ'όλα τα κινητά DM που βρίσκονται συντονισμένα πάνω σ'εκείνη τη συχνότητα, το δικό του χρονισμό. Όταν σε μια φέρουσα RF είναι παρόν ένα κινητό master που επιβάλλει το δικό του χρονισμό, μιλάμε πιο ειδικά για ένα κανάλι DMO δομημένο σε πλαίσια (frames) και σε προσωρινές σχισμές (slots).

6.3.3.2 Ρόλος του σκλάβου (slave)

Ένας DM-MS ορίζεται ως slave όταν είναι σε θέση να παραλαμβάνει είτε πακέτα σηματοδότησης είτε κυκλοφορίας (με φωνή, δεδομένα ή σύντομα γραπτά μηνύματα, SDS), απ'το master της επικοινωνίας: αυτό σημαίνει ότι ένα κινητό DM στο ρόλο του slave εκτός του ότι βρίσκεται σε συγχρονισμό με το master είναι επίσης και άμεσα εμπλεκόμενο στην επικοινωνία που αυτός έχει ενεργοποιήσει.

6.3.3.3 Ρόλος του τεμπέλη (idle)

Ένας DM-MS λέμε ότι είναι idle αν περιορίζεται στο να επιτηρεί την επιλεγμένη φέρουσα ραδιοσυχνότητα RF, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να απασχοληθεί από μια κλήση. Σ' αυτήν την περίπτωση, όντας όχι άμεσα αναμεμιγμένο στην ενεργοποιημένη επικοινωνία απ' το master, το κινητό DM στο ρόλο του idle γνωρίζει και ακολουθεί το συγχρονισμό του καναλιού αλλά δεν είναι εξουσιοδοτημένο να λαμβάνει το περιεχόμενο της κυκλοφορίας που τυχαία το διαπερνά.

6.3.4 Καταστάσεις του καναλιού DM

Έχοντας εξετάσει τους ρόλους που μπορεί να κατέχει ένα κινητό DM, είναι τώρα αναγκαίο να λάβουμε υπ' όψιν μας τις καταστάσεις στις οποίες η φέρουσα ραδιοσυχνότητα RF ή η συχνότητα DM μπορούν να βρίσκονται.

6.3.4.1 Ελεύθερη συχνότητα (free frequency)

Η συχνότητα DM καθορίζεται ως ελεύθερη ή διαθέσιμη αν επ' αυτής δεν υπάρχει καμιά σήμανση, εξαιρώντας τα σταλμένα σήματα παρουσίας από διάφορες διατάξεις (μεταξύ των πληροφοριών που περιέχονται σ' αυτά τα σήματα θα υπάρχει, σ' αυτήν την περίπτωση, άλλη μια πληροφορία που θα αφορά τη διαθεσιμότητα του καναλιού).

Ακόμη μια συχνότητα μπορεί να θεωρηθεί ως ελεύθερη όταν πάνω της ανιχνεύονται μεν σήματα, αλλά το επίπεδο τους καταλήγει να είναι κατώτερο από ένα προκαθορισμένο κατώφλι: σ' αυτήν την περίπτωση λέγεται ότι ο DM-MS εφαρμόζει το μηχανισμό του κατωφλιού. Η χρήση του τελευταίου είναι προβλεπόμενη, απ' το πρότυπο, με σκοπό να διαχωρίσει μια αξιοσημείωτη ενέργεια απ' τον καθιερωμένο κανονικό θόρυβο που διαδίδεται επί του καναλιού ή από μια άλλη δυσκολοδιάκριτη δραστηριότητα.

6.3.4.2 Κατειλημμένο κανάλι (occupied channel)

Το κανάλι DM ορίζεται ως κατειλημμένο όταν επ' αυτού μεταδίδονται είτε σηματοδοσίες είτε κίνηση. Για να μην έχουμε μετά το πρόβλημα που ένα κινητό δύναται να καταλάβει το κανάλι για απεριόριστο χρόνο, έχει προβλεφθεί η χρήση ενός ληξιπρόθεσμου μετρητή, ο οποίος τερματίζει μετά βίας τη φάση της κατάληψης: ο μετρητής αναγνωρίσιμος με το ακρωνύμιο DT311 εγκαθίσταται απριόρι με μια τιμή της τάξης των 300sec και είναι ορατός μόνο απ' το κινητό master που διατηρεί κατειλημμένο το κανάλι. Κατά τη διάρκεια της φάσης κατάληψης ο master μεταβιβάζει τις περιοδικές σημάσεις σκοπεύοντας να διατηρήσει το δικό του χρονοισμό επί του καναλιού και να δώσει τη δυνατότητα σε κάθε DM-MS που είναι συντονισμένος πάνω στη φέρουσα RF, να ακολουθήσει το χρονοισμό και πιθανόν και την κλήση.

6.3.4.3 «Κρατημένο κανάλι» (reserved channel)

Το κανάλι DM περνά στην κατάσταση κράτησης όχι πριν να ολοκληρωθεί η φάση κατάληψης του, δηλαδή όχι προτού ο master να τελειώσει με τη μετάδοση της κυκλοφορίας. Όταν ο master τελειώσει με τη μετάδοση κυκλοφορίας δεν εγκαταλείπει αμέσως το κανάλι αλλά συνεχίζει να έχει τον έλεγχο του για μια συγκεκριμένη περίοδο μες την οποία μεταδίδει μόνο σήματα, εκ των οποίων καθίσταται εμφανές ότι το κανάλι βρίσκεται στη κατάσταση κράτησης.

Είναι βασικό να υπογραμμίσουμε τη χρησιμότητα του να έχουμε για λίγο το κανάλι κρατημένο: ο master, σ' αυτό το προσωρινό διάστημα, κατέχει όντως την προτεραιότητα σε σχέση με τα άλλα κινητά, να καταλάβει εκ νέου το κανάλι και επομένως τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει εύκολα μια άλλη τυχαία μετάδοση. Με ανάλογο τρόπο, όταν το κανάλι είναι «κρατημένο» («πιασμένο»), όλοι οι εμπλεκόμενοι στην κλήση slaves έχουν ένα μηχανισμό προτίμησης που τους επιτρέπει να υπεισέρχονται στο ρόλο του master «δίνοντας ζωή» σε νέες μεταδόσεις κυκλοφορίας. Όταν πια εξαντληθεί αυτή η χρονική περίοδος, η διάρκεια της οποίας εμπεριέχεται στις μεταδιδόμενες σηματοδοσίες απ' το master, το κανάλι επιστρέφει στην κατάσταση ελευθερίας.

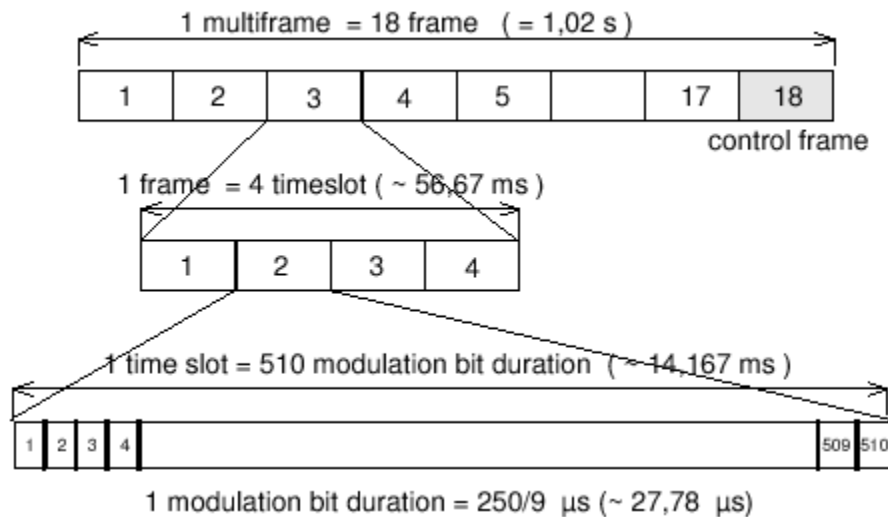
6.3.4.4 Απασχολημένο κανάλι (busy channel)

Ο χαρακτηρισμός του καναλιού ως busy υιοθετείται σ' όλες εκείνες τις περιπτώσεις που δεν επιτυγχάνεται ο καθορισμός της ενεργής κατάστασης του καναλιού. Ένας DM-MS μπορεί λοιπόν να αντιληφθεί το κανάλι ως busy όταν σ' αυτό υπάρχουν για παράδειγμα μη αποκωδικοποιήσιμες ενέργειες είτε όταν υπάρχουν μη περιγράψιμες κρυπτογραφημένες κλήσεις.

6.3.5 Η δομή της όλης διαδικασίας

Όπως έχει ήδη ειπωθεί στην εισαγωγή, η φέρουσα RF τυγχάνει χρήσης απ' το πρωτόκολλο TETRA σύμφωνα με την τεχνική TDMA (Time Division Multiple Access). Στο βάθος της δομής της τεχνικής TDMA υπάρχει η έννοια της υφής του αέρα, οργανωμένης με όρους όπως: προσωρινές σχισμές, πλαίσια, πολυπλαίσια και υπερπλαίσια. Το προσωρινό slot έχει μια διάρκεια, ίση ακριβώς με 14,167msec και μιας και η πληροφορία μες αυτό μεταδίδεται με το ρυθμό διαμόρφωσης των 36Kbit/sec, εκ των πραγμάτων αυτό θα αποτελείται από 510bits πληροφορίας (με άλλα λόγια περίπου 255 σύμβολα). Ο συνδυασμός των τεσσάρων σχισμών μας δίνει ένα πλαίσιο, που έχει διάρκεια ίση με 56,67msec, ενώ το σύνολο 18 πλαισίων μας δίνει ένα πολυπλαίσιο που κατά συνέπεια θα έχει διάρκεια περίπου 1,02sec.

Ολόκληρο το πρωτόκολλο TETRA έχει οριστεί κάνοντας μνεία στη συγκρότηση με πολυπλαίσια. Στο **Σχήμα 6.16** που έπεται, φαίνονται όλα όσα περιγράψαμε με λόγια πριν από λίγο:



Σχήμα 6.16 Η δομή της διαδικασίας DM

Έχοντας περιγράψει τη δομή της όλης διαδικασίας DM, μας επιτρέπει να ολοκληρώσουμε τη συζήτηση περί δύο εννοιών για τις οποίες έγινε λόγος στην παράγραφο 6.2.1.2. Πρόκειται για τη μετάδοση με κανονικό τρόπο (normal mode, NM) και τη μετάδοση με το λεγόμενο τρόπο αποδοτικής συχνότητας (frequency efficient mode, FEM). Όταν δουλεύει σε NM, η φέρουσα RF υποστηρίζει μια και μοναδική επικοινωνία DM, η οποία χρησιμοποιεί τα slots 1 και 3 του κάθε πλαισίου. Αντιθέτως όταν λειτουργεί σε FEM, η μία και μοναδική φέρουσα RF υποστηρίζει δύο ανεξάρτητες επικοινωνίες DM, αναγνωρισμένες ως κανάλι A και κανάλι B: στο κανάλι A παραχωρούνται τα slots 1 και 3 κάθε πλαισίου ενώ στο κανάλι B τα υπόλοιπα slots 2 και 4. Η μετάδοση σε FEM εγγυάται τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση της φέρουσας αλλά από την άλλη επιβάλλει κάποιες δεσμεύσεις στην ικανότητα του hardware του master B. Σε σχέση πάντα με τη μετάδοση με τον τρόπο FEM χρειάζεται να ξεκαθαρίσουμε ότι ο ενεργός master στο κανάλι B πρέπει να ελέγχει σε τακτά χρονικά διαστήματα τις μεταδόσεις που συντελούνται πάνω στο κανάλι A, ώστε να αποκτήσει ένα σωστό συγχρονισμό και να αποφύγει την αλληλοκάλυψη των προσωρινών slots που ανήκουν στις δυο ταυτόχρονες κλήσεις. Επιστρέφοντας και πάλι στη δομή της υφής DM είναι χρήσιμο να προσδιορίσουμε ότι το περιεχόμενο μιας και μοναδικής, προσωρινής σχισμής (slot) αναπαρίσταται από το επονομαζόμενο πακέτο.

Στην επόμενη παράγραφο ερχόμαστε στην περιγραφή των τριών διαφορετικών ειδών από πακέτα που μεταδίδονται εντός των προσωρινών σχισμών, αποτελώντας τη σύσταση της όλης διαδικασίας DM.

6.3.5.1 Πακέτα επικοινωνίας

Προτού παραθέσουμε τη λεπτομερή περιγραφή των πακέτων επικοινωνίας που προβλέπονται απ' το πρωτόκολλο DMO, θα ήταν χρήσιμο να καταστήσουμε σαφές ότι για να

βελτιστοποιήσουμε τη μετάδοση και τη λήψη πάνω στο φυσικό κανάλι, αυτό υποδιαιρείται σε επιπλέον κανάλια με τέτοιο τρόπο ώστε να μην έχουμε ένα μοναδικό κανάλι που να διαχειρίζεται ένα πολύπλοκο πρόβλημα, αλλά πολλά κανάλια, το καθένα απ' τα οποία να διαχειρίζεται ένα απλό πρόβλημα. Η συγκεκριμένη υποδιαίρεση προβλέπει το διαμελισμό του φυσικού καναλιού σε κανάλια κίνησης και σηματοδοσίας.

1. DNB, το πακέτο κυκλοφορίας

Πάνω στις σχισμές που ανήκουν στο φυσικό κανάλι διαβιβάζονται τα πακέτα τύπου **DNB** (**D**irect **m**ode **N**ormal **B**urst), η δομή των οποίων φαίνεται αμέσως πιο κάτω:

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|---------------|----------------|
| 34 bit ramping & PA linear. | 12 bit preamb. P1 or P2 | 2 bit phase adjustm. | 216 bit block 1 | 22 bit normal training seq | 216 bit block 2 | 2 bit tail | 6 bit guard |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|---------------|----------------|

Σχήμα 6.17 Η δομή του DNB

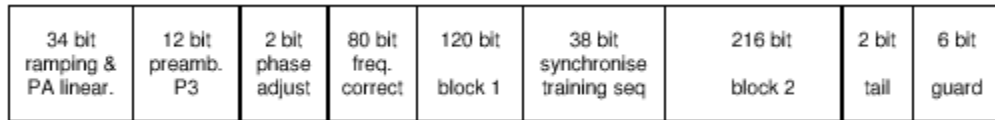
Ένα DNB περιέχει γενικά κυκλοφορία φωνής ή δεδομένων και το ρυθμό των bits (bit rate) που σχετίζεται μ' αυτό. Μόνο κατ' εξαίρεση το DNB μπορεί να περιέχει σηματοδοσίες, αυτό μπορεί να συμβεί όταν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης κίνησης προκύψει επείγουσα ανάγκη να μεταδοθούν και σημάνσεις. Σ' αυτήν την περίπτωση το επίπεδο MAC μπορεί ν' αποφασίσει να τις μεταδώσει αμέσως (αντί για το χρήστη δεδομένων) πάνω στο κανάλι κυκλοφορίας, έτσι ώστε χρησιμοποιώντας τα DNB να μη χαθεί περαιτέρω χρόνος στην αναμονή του πρώτου slot που χρησιμεύει τις σηματοδοσίες. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή με την ονομασία *stealing*.

Ο άψογος χαρακτηρισμός και η ορθή αποκωδικοποίηση ενός πακέτου του τύπου DNB μπορεί να γίνει μόνο αφού έχει προηγηθεί η είσοδος σε κλήση, δηλαδή ύστερα από τη λήψη των πακέτων σηματοδοσίας, που μεταδίδονται από τον καλούντα τη στιγμή της ενεργοποίησής τους και για όλη τη διάρκεια της περιόδου κατάληψης.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι τα DNB δεν επαναφέρουν κάποια ένδειξη πάνω στο χρονισμό (εννοώντας το αρχικό slot, τους μετρητές σχισμών, πλαισίων κτλ) και αυτό φέρνει στο προσκήνιο τη σημασία της φάσης συγχρονισμού απ' άκρη σ' άκρη των πακέτων DNB, η οποία προηγείται και συνοδεύει κάθε μετάδοση κυκλοφορίας. Το πρωτόκολλο DMO επιβάλλει ότι μες την περίοδο κατάληψης του καναλιού, τα πακέτα DNB μπορούν να διαβιβάζονται μόνο επί των slots 1 απ' το frame 1 ως το frame 17 της όλης διαδικασίας.

2. DSB, το πακέτο σηματοδοσίας

Επί των σχισμών που ανήκουν στο κανάλι σηματοδοσίας μεταδίδονται τα μοναδικά πακέτα του τύπου **DSB** (**D**irect **m**ode **S**ynchronization **B**urst), η δομή των οποίων περιγράφεται στο κάτωθι σχήμα:



Σχήμα 6.18 Η δομή του DSB

Ένα DSB περιέχει τις αναγκαίες πληροφορίες για να ανοίξει και να κλείσει μια κλήση, για να διατηρείται το κανάλι στην κατάσταση occupied ή reserved και για να εφαρμόζονται οι μηχανισμοί pre-emption και changeover. Όπως δείχνει το προηγούμενο σχήμα, στο εσωτερικό ενός DSB παρευρίσκεται μια ιδιαίτερη ακολουθία των 80 bits που λέγεται **FCF** (Frequency Correction Field), που χάρη στο ιδιαίτερο φυσικό της περιεχόμενο καθιστά εύκολα αναγνωρίσιμο το πακέτο στη φάση της παραλαβής. Ο διαχωρισμός και η ορθή αποκωδικοποίηση των DSB αντιπροσωπεύει τον άξονα γύρω απ' τον οποίο περιστρέφονται όλοι οι υπό ενεργοποίηση μηχανισμοί επιτήρησης επί της επιλεγμένης φέρουσας RF. Η παραλαβή τουλάχιστον ενός DSB όντως επιτρέπει σ' ένα κινητό που επιτηρεί μια συχνότητα, να εισέλθει στην κλήση ή να ακολουθήσει την εξέλιξή της μέσα απ' το ρόλο του idle. Γι' αυτό το σκοπό τα πακέτα σηματοδότησης συμπεριλαμβάνουν επιπλέον, όλες τις πληροφορίες που είναι σχετικές με τον επιβαλλόμενο απ' το master χρονισμό που αυτός μεταδίδει: η λήψη ενός DSB λοιπόν επιτρέπει στα κινητά που είναι συντονισμένα στη συχνότητα να συντονίσουν με το master τις αναφορές τους στη συχνότητα, συγχρονίζοντας το χρονισμό τους μ' αυτόν που τους έχει επιβληθεί.

Το πρωτόκολλο DMO επιβάλλει τη μετάδοση αυτού του τύπου πακέτων από μέρος του master ως ελάχιστο πάνω στα:

- ✓ Slots 1 και 3 του frame 18
- ✓ Slot 3 των frames 6 και 12 όταν το κανάλι είναι κατειλημμένο
- ✓ Slots 1 και 3 των frames 6 και 12 όταν το κανάλι είναι σε φάση κράτησης
- ✓ Slot 3 των frames 2, 5, 8, 11, 14 και 17 όταν το κανάλι είναι κατειλημμένο και θέλουμε να κάνουμε μια αίτηση pre-emption.

Τα slots 3 των εναπομεινάντων πλαισίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση DSB είτε από μέρος του master είτε απ' τη μεριά των κινητών slave ή idle.

3. DLB, το πακέτο ευθυγράμμισης

Στον αέρα, εκτός των DNB και DSB μπορεί να ταξιδέψει ένα ακόμη είδος πακέτου, το λεγόμενο DLB (**D**irect **m**ode **L**inearization **B**urst), του οποίου η δομή φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 6.19 Η δομή του DLB

Ένα DLB δε μεταφέρει κανένα πληροφοριακό περιεχόμενο αλλά μπορεί να είναι απαραίτητο για την επονομαζόμενη διαδικασία ευθυγράμμισης (ή καταστολή της εναπομείνουσας φέρουσας), δηλαδή για να επιτευχθεί μια περιοδική προσαρμογή του μεταδότη (πομπού) κατά τρόπο που να βελτιώνει τις επιδόσεις.

Τα κινητά μπορεί να έχουν ανάγκη από τέτοιες λειτουργίες όταν για παράδειγμα αλλάζουν συχνότητα ή όταν οφείλουν να αλλάξουν το επίπεδο δυναμικότητάς τους κατόπιν συγκεκριμένων ανιχνεύσεων, απωλειών, της εναέριας ραδιοδραστηριότητας. Το πρωτόκολλο επιβάλλει ότι, μες την περίοδο κατάληψης του καναλιού, τα DLB μπορούν να καταλαμβάνουν μόνο το slot 3 του frame 3 της διαδικασίας. Εν τούτοις, όμως, το πρωτόκολλο DMO δεν περιγράφει με σαφήνεια τη διαδικασία ευθυγράμμισης: η ενεργή υλοποίησή της όντως είναι στενά συνδεδεμένη με τα φυσικά χαρακτηριστικά της συσκευής και αυτά μπορούν να αλλάζουν από τον ένα οίκο κατασκευής στον άλλο. Έτσι εξυπακούεται ότι αυτή συνεπάγεται μια εναέρια μετάδοση που για να είναι αποτελεσματική προϋποθέτει τη χρησιμοποίηση της σχισμής 3 στο πλαίσιο 3.

6.3.5.2 PDU επιπέδου 3 και επιπέδου 2

Στην παρούσα παράγραφο εισερχόμαστε στην έννοια της **PDU (Protocol Data Unit)** των επιπέδων 2 και 3. Πρώτα απ' όλα ας διευκρινίσουμε ότι ως PDU εννοούμε ένα σύνολο από δεδομένα που διαθέτουν μια συγκεκριμένη, σαφή σύνταξη, ήτοι ένα σύνολο από δεδομένα οργανωμένα σε πεδία, των οποίων γνωρίζουμε τη σειρά, το νόημα και το μήκος σε bits.

Οι PDUs επιπέδου 3, που είναι φτιαγμένες από DMCC, παίρνουν την ονομασία **DM-SDU (Direct Mode – Service Data Unit)**. Τα πεδία μιας χαρακτηριστικής DM-SDU είναι τα «γνήσια» στοιχεία επιπέδου 3 υπό την έννοια ότι είναι ορατά μόνο στο επίπεδο DMCC, είναι κρυμμένα (εκτός από τις αντίστροφες ενδείξεις που προέρχονται από τις PDUs επιπέδου 2) και μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο από τους κατευθυνόμενους DM-MS. Σε καθεμία DM-SDU τοποθετούνται ύστερα, το ένα δίπλα στο άλλο, τα λεγόμενα message dependent elements, δηλαδή τα πρόσθετα εκείνα πεδία των οποίων το περιεχόμενο μπορεί να καθοριστεί είτε στο επίπεδο 3 είτε στο επίπεδο 2. Τέτοια πεδία είναι ήδη ορατά στο επίπεδο 2 πάνω σ' όλα τα κινητά που έχουν συντονιστεί στη φέρουσα RF και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για να κάνουν σύζευξη με μια κλήση, είτε για να ακολουθήσουν επιτυχώς την εξελικτική πορεία.

Ο επόμενος πίνακας δείχνει πως παρουσιάζεται μια DM-SETUP PDU, δηλαδή μια PDU επιπέδου 3 (DM-SDU) και τα message dependent elements που σχετίζονται μ' αυτή. Τέτοιες PDU τυγχάνουν χρήσης όταν θέλουμε να αποκαταστήσουμε μια κλήση χωρίς έλεγχο παρουσίας του καλούμενου.

| Information element ^a | Length ^b | Type ^c | Remark |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------|--|
| Message dependent elements | | | |
| Timing flag | 1 | M | |
| LCH in frame 3 flag | 1 | M | |
| Pre-emption flag | 1 | M | |
| Power class | 3 | M | |
| Power control flag | 1 | M | |
| Reserved | 2 | M | Default value = 00 ₂ |
| Dual watch synchronization flag | 1 | M | |
| Two-frequency call flag | 1 | M | Always set to 0 for direct MS-MS operation |
| Circuit mode type | 4 | M | |
| Reserved | 4 | M | Default value = 0000 ₂ |
| Priority level | 2 | M | |
| DM-SDU elements | | | |
| End-to-end encryption flag | 1 | M | |
| Call type flag | 1 | M | |
| External source flag | 1 | M | Always set to 0 for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP |
| Reserved | 2 | M | Default value = 00 ₂ |

Πίνακας 7: DM-SETUP PDU

Στη φάση μετάδοσης η DM-SDU και τα message dependent elements που σχετίζονται μ'αυτή, αποτελούν το περιεχόμενο των δύο πεδίων της PDU επιπέδου 2 που τυγχάνει μετάδοσης: μια τέτοια κατάσταση φαίνεται στους **Πίνακες 9** και **10** που βρίσκονται στις επόμενες σελίδες. Επίσης οι PDUs επιπέδου 2 που δημιουργούνται στο επίπεδο MAC, απαρτίζονται από ένα σύνολο πληροφοριών δομημένων σε πεδία. Μερικά απ'αυτά τα πεδία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά απ'το επίπεδο MAC, εφόσον εμπεριέχουν τις οδηγίες για να εισέλθουν σε μια κλήση ή να ακολουθήσουν το συγχρονισμό (όπως για παράδειγμα το slot number, το frame number, κτλ), άλλα πάλι χρησιμοποιούνται είτε απ' το MAC είτε από τα ανώτερα επίπεδα (παραδείγματος χάρη, η πηγαία διεύθυνση source address που εμπεριέχει τη διεύθυνση του κινητού που έστειλε την PDU) ενώ το πεδίο DM-SDU είναι ορατό αποκλειστικά και μόνο απ' το επίπεδο DMCC.

Μεταξύ των PDUs επιπέδου 2 επανεισέρχονται η DMAC-SYNC PDU και η DMAC-DATA PDU. Η DMAC-SYNC PDU είναι μια PDU που περιέχει όλες τις αναγκαίες εκείνες πληροφορίες για να αποκτηθεί και να διατηρηθεί ο συγχρονισμός μιας κλήσης. Ακριβώς γι' αυτό το λόγο μεταδίδεται με DSB χρησιμοποιώντας τα 60 διαθέσιμα bits του λογικού καναλιού SCH/S και τα 124 bits του λογικού καναλιού SCH/H (βλ. § 6.3.5.3). Τα πεδία που αποτελούν μέρος του SCH/S εμπεριέχουν πληροφορίες συγχρονισμού ενώ εκείνα που εμπεριέχονται στο SCH/H είναι πιο συνδεδεμένα με την κλήση και γι'αυτό χρησιμοποιούνται για ν'ακολουθήσουν την εξέλιξή της.

| Information element | Length | Type | Remark |
|--------------------------------|--------|------|---|
| System code | 4 | M | |
| SYNC PDU type | 2 | M | Value 00 ₂ indicates DMAC-SYNC PDU |
| Communication type | 2 | M | Set to 00 ₂ for direct MS-MS operation |
| Master/slave link flag | 1 | C | Included if communication type = 01 ₂ or 11 ₂ |
| Reserved | 1 | C | Included if communication type = 00 ₂ or 10 ₂ . Default value = 0 |
| Gateway generated message Flag | 1 | C | Included if communication type = 10 ₂ or 11 ₂ |
| Reserved | 1 | C | Included if communication type = 00 ₂ or 01 ₂ . Default value = 0 |
| A/B channel usage | 2 | M | |
| Slot number | 2 | M | |
| Frame number | 5 | M | |
| Air interface encryption state | 2 | M | Determines interpretation of following 39 bits |
| Time Variant Parameter | 29 | C | Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂ |
| Reserved | 1 | C | Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂ . Default value = 0 |
| KSG number | 4 | C | Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂ |
| Encryption key number | 5 | C | Included if air interface encryption state ≠ 00 ₂ |
| Reserved | 39 | C | Included if air interface encryption state = 00 ₂ . Default value = all zeros |

Πίνακας 8: DM-SYNC PDU σε SCH/S

| Information element | Length | Type | Remark |
|----------------------------|--|------|---|
| Repeater address | 10 | C | Included if communication type = 01 ₂ |
| Gateway address | 10 | C | Included if communication type = 10 ₂ or 11 ₂ |
| Reserved | 10 | C | Included if communication type = 00 ₂ . Default value = all zeros |
| Fill bit indication | 1 | M | |
| Fragmentation flag | 1 | M | |
| Number of SCH/F slots | 4 | C | Included if fragmentation flag = 1 |
| Frame countdown | 2 | M | |
| Destination address type | 2 | M | Note |
| Destination address | 24 | C | Included if destination address type ≠ 10 ₂ (so always present for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP) |
| Source address type | 2 | M | Note |
| Source address | 24 | C | Included if source address type ≠ 10 ₂ (so always present for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP) |
| Mobile Network Identity | 24 | C | Always present if communication type = 00 ₂ or 01 ₂ . For communication type = 10 ₂ or 11 ₂ see part 5 |
| Message type | 5 | M | |
| Message dependent elements | varies | C | |
| DM-SDU | varies | C | |
| NOTE: | Neither the destination address type nor the source address type in DMAC-SYNC shall be set to 10 ₂ for direct MS-MS operation or for operation with a DM-REP. | | |

Πίνακας 9: DMAC-SYNC PDU σε SCH/H

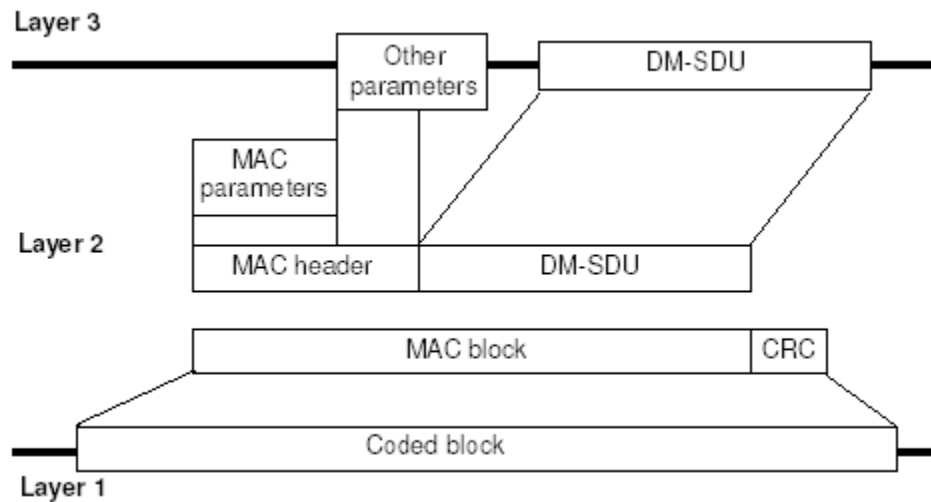
Η DMAC-DATA PDU είναι μια PDU που περιέχει σηματοδοσία που αφορά τη διαχείριση της κλήσης σ'εξέλιξη και που καλείται κάθε φορά που εκμεταλλευόμαστε την τεχνική stealing, ακριβώς γι'αυτό το λόγο μεταδίδεται με DNB χρησιμοποιώντας το λογικό κανάλι STCH, ήτοι το λογικό κανάλι stealing. Η ίδια αυτή PDU δύναται να μεταδοθεί με DNB αλλά

χρησιμοποιώντας το λογικό κανάλι SCH/F: αυτό συμβαίνει όταν η DMAC-DATA PDU αναλαμβάνει το ρόλο null PDU, δηλαδή όταν το πεδίο null PDU flag τίθεται στο 1 και όλα τα διαδοχικά πεδία είναι κενά (βλ. **Πίνακα 10**). Η null PDU χρησιμεύει για παράδειγμα σ' ένα master όταν πρέπει να διακόψει τη μετάδοση ενός κατακερματισμένου μηνύματος με σκοπό να ελευθερώσει τη χρήση του καναλιού. Για να ενημερώσει όλους τους παραλήπτες του μηνύματος σχετικά μ' αυτή τη διακοπή της μετάδοσης, ο master στέλνει ακριβώς μια null PDU. Αυτή η συγκεκριμένη PDU μπορεί να μεταδοθεί και όταν αφού έχει ανοίξει μια κλήση, δε είναι αμέσως διαθέσιμα τα πακέτα φωνής υπό διευθυνσιοδότηση: περιμένοντας για τέτοια πακέτα προωθούνται στη θέση των null PDUs. Το σημαντικό προς υπογράμμιση είναι ότι αυτή η λειτουργία που έχει αναληφθεί απ' την DMAC-DATA PDU χρησιμοποιήσιμη μόνο για τις μεταδόσεις που κάνουν χρήση του λογικού καναλιού SCH/F.

| Information element | Length | Type | Remark |
|--|--------|------|--|
| MAC PDU type | 2 | M | Value 00_2 indicates DMAC-DATA PDU |
| Fill bit indication | 1 | M | |
| Second half slot stolen flag | 1 | M | Note 1 |
| Fragmentation flag | 1 | M | Note 2 |
| Null PDU flag | 1 | M | Note 3 |
| Frame countdown | 2 | M | |
| Air interface encryption state | 2 | M | |
| Destination address type | 2 | M | Note 4 |
| Destination address | 24 | C | Included if destination address type $\neq 10_2$ (so always present for direct MS-MS operation and for operation with a DM-REP) |
| Source address type | 2 | M | |
| Source address | 24 | C | Included if source address type $\neq 10_2$ |
| Mobile Network Identity | 24 | C | Always present if communication type = 00_2 or 01_2 For communication type = 10_2 or 11_2 see part 5 |
| Message type | 5 | M | |
| Message dependent elements | varies | C | |
| DM-SDU | varies | C | |
| NOTE 1: If DMAC-DATA is sent on SCH/F or in the second half of a slot, the second half slot stolen flag shall still be present but its content shall be ignored. | | | |
| NOTE 2: If DMAC-DATA is sent on SCH/F or in the second half of a slot, the fragmentation flag shall be set to 0. | | | |
| NOTE 3: For a Null PDU (i.e. if Null PDU flag = 1), there shall be no further information in the PDU after the Null PDU flag; in this case the Null PDU flag is the last element in the PDU. | | | |
| NOTE 4: The destination address type in DMAC-DATA shall not be set to 10_2 for direct MS-MS operation or for operation with a DM-REP. | | | |

Πίνακας 10: DMAC-DATA PDU

Στο παρακάτω **Σχήμα 6.20** γίνεται φανερή κάπως καλύτερα η διαδικασία της πακετοποίησης την οποία υφίστανται οι PDUs που έχουν παραχθεί στο επίπεδο 3 και στο επίπεδο 2 προτού να συνεχίσουν στη δική τους εναέρια μετάδοση. Διευκρινίζουμε ότι το μπλοκ που συμβολίζεται ως **CRC** (Cyclic Redundancy Check) δεν είναι άλλο από ένα σύνολο από bits που είναι απαραίτητα για να υπολογίσουμε στη λήψη, αν υπάρχουν λάθη κατάστασης κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

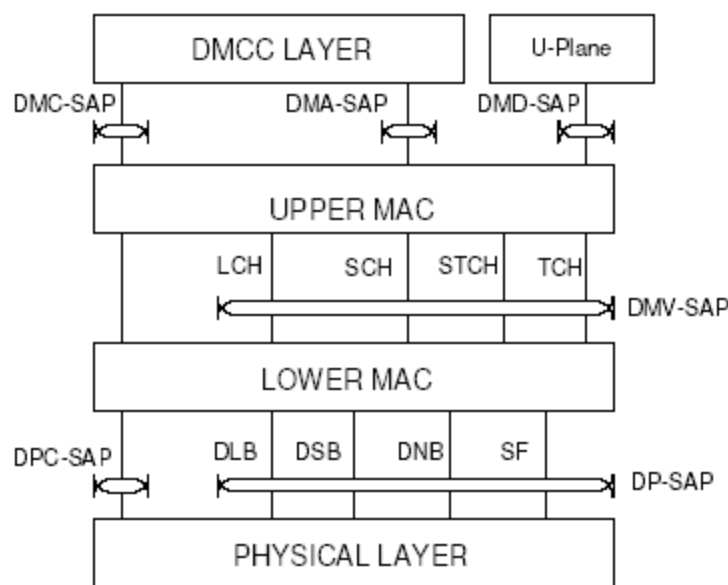


Σχήμα 6.20 Σχηματισμός του μεταδιδόμενου μπλοκ από bits πάνω στο φυσικό μέσο

6.3.5.3 Σχέση ανάμεσα στα πακέτα και τα λογικά κανάλια

Από την αναφορά που κάναμε στην παράγραφο για το **επίπεδο MAC** γνωρίζουμε ήδη ότι το επίπεδο MAC απαρτίζεται απ' το upper MAC και το lower MAC, απ' τη σκοπιά του πρωτοκόλλου και όχι από μια πρακτική οπτική γωνία, αυτά τα δύο υποεπίπεδα επικοινωνούν εικονικά αναμεταξύ τους, μέσω πολλαπλών (πολυσχιδών) σταδίων ανάπτυξης (μια τέτοια διεπαφή φέρει τον τίτλο **DMV-SAP, Direct mode Mac Virtual SAP**) που εκμεταλλεύονται τα λογικά κανάλια διαφόρων τύπων.

Το ακόλουθο **Σχήμα 6.21** δείχνει ακριβώς αυτό που αναφέραμε πριν:



Σχήμα 6.21 Τα υποεπίπεδα MAC και τα λογικά κανάλια

Μέχρι αυτό το σημείο το φυσικό κανάλι είναι υποδιαιρεμένο σ' ένα λογικό κανάλι κυκλοφορίας και ένα σηματοδοσίας. Στην πραγματικότητα όμως αυτά τα δύο κανάλια

υποδιαιρούνται σε περαιτέρω κανάλια σύμφωνα με τον τύπο της μετάδοσης που πραγματοποιείται πάνω τους. Τα λογικά κανάλια που εν γένει μπορούμε να αξιοποιήσουμε, όπως φαίνεται κι απ'το προηγούμενο σχήμα είναι τα εξής:

- **SCH** (**S**ignaling **C**hannel), το κανάλι σηματοδοσίας που υποδιαιρείται στο **SHS/S** (**SCH/S**ynchronization) για το συγχρονισμό, το **SCH/H** (**SCH/H**alf slot) για τη σηματοδοσία που καταλαμβάνει μισό slot και το **SCH/F** (**SCH/F**ull slot) για την κατακερματισμένη μετάδοση κυκλοφορίας
- **TCH** (**T**raffic **C**hannel), το κανάλι κυκλοφορίας
- **STCH** (**S**Tealing **C**hannel), το κανάλι stealing και
- **LCH** (**L**inearization **C**hannel), το κανάλι ευθυγράμμισης.

Όπως ειπώθηκε πρωτύτερα, ένα χαρακτηριστικό πακέτο εκπροσωπεί το φυσικό περιεχόμενο ενός μοναδικού προσωρινού slot. Αφήνοντας κατά μέρος τα πακέτα ευθυγράμμισης, οι δύο άλλοι τύποι πακέτων έχουν στη διάθεσή τους δύο συγκροτήματα από bits για την ευφυία (πληροφόρηση) της μετάδοσης. (όπως μπορούμε να δούμε στο *Σχήμα 6.18* ή στο *Σχήμα 19*).

Ας θεωρήσουμε τώρα τα δύο μπλοκ ενός DNB, αν και τα δύο περιέχουν κυκλοφορία φωνής ή δεδομένων θα κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού κυκλοφορίας TCH, αν και τα δύο περιέχουν κίνηση φωνής ή δεδομένων είτε αν εμπεριέχουν τις null PDUs προτείνεται να κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού SCH/F ενώ αν και τα δύο μπλοκ εμπεριέχουν τη συζευγμένη σηματοδοσία με τη διεύθυνση της κλήσης και αυτό συμβαίνει όταν αξιοποιούμε την τεχνική stealing, τότε επιβάλλεται η χρήση του λογικού καναλιού STCH+STCH. Τέλος όταν το πρώτο συγκρότημα περιέχει τη σηματοδοσία και το δεύτερο τη διακίνηση φωνής ή δεδομένων τότε λέμε να κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού STCH+TCH. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει προηγουμένως, αυτές οι δύο τελευταίες καταστάσεις παρουσιάζονται μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες, όταν δηλαδή καθίσταται απαραίτητο να γίνει δίχως άλλο χρήση του stealing. Παράλληλα μ'αυτό υπενθυμίζουμε ότι υπό κανονικές συνθήκες η μετάδοση της σηματοδοσίας ισοδυναμεί με μετάδοση μιας DMAC-SYNC PDU μέσω ενός DSB. Όταν αντιθέτως εκμεταλλευόμαστε την τεχνική stealing, η σηματοδοσία προωθείται σε μια DMAC-DATA PDU δια μέσου ενός DNB.

Όπως είναι δυνατό να παρατηρήσουμε στον **Πίνακα 9**, μες την DMAC-DATA PDU είναι παρών το πεδίο ενός bit, second half slot stolen flag (στον **Πίνακα 10** συμβολίζεται με SF) που χρησιμεύει για να μας δείξει αν το δεύτερο μπλοκ του πακέτου DNB παρευρίσκεται ακόμη στη σηματοδοσία (STCH+STCH) είτε παρευρίσκεται στην κυκλοφορία (STCH+TCH). Αντίθετα θεωρώντας τα δύο μπλοκ ενός DNB, αυτά μπορούν να περιέχουν μόνο τα δύο μέρη μιας DMAC-SYNC PDU (SHS/S+ SCH/H).

Τέλος στην περίπτωση στην οποία μεταδίδονται τα πακέτα DLB, ήτοι αυτά που περιέχουν μόνο σχετικές πληροφορίες με τη λειτουργία της ευθυγράμμισης, λέμε να κάνουμε χρήση του λογικού καναλιού LCH.

Ο Πίνακας 11 που ακολουθεί, συνοψίζει όλα όσα περιγράφηκαν ως εδώ:

| Logical channel in DMV-SAP | Definition | Physical burst | Definition |
|--|------------------------------|----------------|---|
| SCH/S | synchronization channel | Block 1 of DSB | 1 st half of synchronization burst |
| SCH/H | half slot signalling channel | Block 2 of DSB | 2 nd half of synchronization burst |
| SCH/F | full slot signalling channel | DNB | normal burst |
| STCH | stealing channel | DNB + SF | normal burst and slot flag (note) |
| TCH | traffic channel | DNB | normal burst |
| LCH | linearization channel | DLB | linearization burst |
| NOTE: Slot flag is an indicator of the type of normal training sequence used in DNB. | | | |

Πίνακας 11: Αντιστοίχιση ανάμεσα σε πακέτα και λογικά κανάλια

6.3.6 Άλλες εγγενείς υπηρεσίες

Στην παράγραφο 6.2.1.3 σταθήκαμε για λίγο να εξετάσουμε κάποιες ενδογενείς υπηρεσίες που υποστηρίζονται απ' το πρωτόκολλο TETRA DMO. Σ' αυτό το μέρος θα ολοκληρώσουμε τη συζήτησή μας, μιλώντας για τις ενδογενείς υπηρεσίες που εξαρτώνται στενά από τις έννοιες για τις οποίες θα μιλήσουμε αμέσως μετά απ' αυτή τη μικρή εισαγωγική παράγραφο. Ιδιαίτερος θα σταθούμε στην ανάλυση των υπηρεσιών pre-emption, changeover και σε θέματα που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια των επικοινωνιών.\

6.3.6.1 Υπηρεσίες pre-emption και changeover

Αφού έχουμε λάβει υπ' όψιν τους ρόλους που ένας DM-MS μπορεί να επιτελέσει και τις καταστάσεις στις οποίες το κανάλι DM μπορεί να βρίσκεται, δε μένει παρά να κάνουμε μια προσπάθεια να κατανοήσουμε δύο σημαντικές υπηρεσίες που προσφέρονται απ' το πρωτόκολλο DMO, η pre-emption και η changeover.

1. Pre-emption (Προ-αγορά)

Ο μηχανισμός pre-emption επιτρέπει σ' ένα κινητό slave ή idle, που θέλει να πάρει τον έλεγχο του καναλιού, να υπεισέλθει μες το ρόλο του master προκαταλαμβάνοντας με μια ρητή αίτηση το συγκεκριμένο master. Το πρότυπο προβλέπει δύο είδη pre-emption: μια για νέα κλήση (new call), αν ο χρήστης διακόψει τον τρέχοντα master για να ενεργοποιήσει μια νέα κλήση και μια άλλη για συνεχιζόμενη κλήση (ongoing call) αν αντιθέτως ο χρήστης διακόψει τον τρέχοντα master για να συνεχίσει την κλήση που είναι σ' εξέλιξη. Ενώ μια pre-emption για new call μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα κινητό idle που διακόπτει το master στην περίοδο που το κανάλι είναι απασχολημένο ή κρατημένο, μια pre-emption για ongoing call μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από ένα κινητό slave στην περίοδο της κατάληψης του καναλιού.

Σ' αυτό το σημείο δεν πρέπει να παραλείψουμε ότι το κινητό slave ή idle μπορεί να προωθήσει την αίτηση για προαγορά (pre-emption) μόνο αν η προτεραιότητα της αίτησης είναι πιο υψηλή απ' αυτή της κλήσης που είναι σ' εξέλιξη. Ορισμένες χρονοθυρίδες (slots) έχουν προκαθοριστεί για τις αιτήσεις pre-emption (για παράδειγμα, για την επικοινωνία μεταξύ DM-MS, η χρονοσχισμή 3 των πλαισίων 2, 5, 8, 11, 14 και 17), στα συγκεκριμένα slots οι παραλήπτες έχουν εξουσιοδοτηθεί να μεταδίδουν ενώ ο master είναι υποχρεωμένος να λαμβάνει (ακόμη και στο κενό).

2. Changeover (Μεταστροφή)

Ο μηχανισμός changeover επιτρέπει σ' ένα κινητό slave της κλήσης σ' εξέλιξη να υπεισέλθει στον τρέχοντα master τη στιγμή που ο τελευταίος περατώνει τη μετάδοση κυκλοφορίας και το κανάλι περνά απ' την κατάσταση κατάληψης (occupied) στην κατάσταση κράτησης (reserved).

Όπως είδαμε για την pre-emption έτσι και οι αιτήσεις changeover κάνουν προώθηση των καταλλήλων προσωρινών χρονοθυρίδων (slots) και μπορούν να λάβουν χώρα μόνο αν ο master το έχει προληπτικά αφήσει να συμβεί. Σε αντίθεση με την pre-emption ο μηχανισμός changeover δε βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στην έννοια της προτεραιότητας της αίτησης.

6.3.6.2 Υπηρεσίες ασφαλείας

Το πρωτόκολλο TETRA DMO προβλέπει όσον αφορά την ασφάλεια πάνω στη μετάδοση, διάφορες τοπολογίες κρυπτογράφησης οι οποίες αντιστοιχούν και σε διάφορα επίπεδα προστασίας. Μια ελάχιστη προστασία, που είναι πάντοτε παρούσα αλλά που αντιστρέφει μόνο τη μετάδοση των DNB έχει δοθεί απ' το μηχανισμό παρεμβολής (scrambling). Μια επιπλέον προστασία των μεταδιδόμενων δεδομένων που ο χρήστης μπορεί να ζητήσει, πάντα όμως όσον αφορά τα πακέτα DNB, δίνεται απ' την κρυπτογράφηση end-to-end που είναι μια κρυπτογράφηση που εκτελείται σε επίπεδο εφαρμογών. Αντιθέτως η μέγιστη προστασία που ο χρήστης μπορεί να ζητήσει, αναστρέφει είτε τα πακέτα DNB είτε τα DSB, είναι δεδομένη απ' την κρυπτογράφηση ραδιοεπαφής (AIE, Air Interface Encryption), δηλαδή από μια κρυπτογράφηση σ' επίπεδο διεπαφής αέρα. Είναι βασικό να τονίσουμε ότι η κρυπτογράφηση air interface μπορεί να εφαρμοστεί και επί της κυκλοφορίας που είναι ήδη κρυπτογραφημένη απ' άκρη σ' άκρη, end-to-end, οι τρεις προβλεπόμενες τεχνικές προστασίας απ' το πρότυπο TETRA DMO μπορούν λοιπόν να συσσωρευτούν (συγκεντρωθούν).

Ξεκινάμε αμέσως μια σύντομη εξέταση των τριών αυτών μηχανισμών ασφαλείας.

1. Μηχανισμός scrambling

Το scrambling είναι μια τεχνική που μας επιτρέπει να εφαρμόσουμε μια μάσκα στα bits που συγκροτούν τα πακέτα της μεταδιδόμενης κίνησης. Θεωρώντας την περίπτωση

αμεσότροπης επικοινωνίας (DMO), ως παράδειγμα, μέσω μιας ειδικής διάταξης των 24 bits της SSI και των 6 λιγότερο σημαντικών bits (LSB) της MNI από την πηγαία διεύθυνση, δηλαδή του DM-MS που μεταδίδει, αποκτάται μια ακολουθία από 30 bits γνωστή ως color code (για να διαφοροποιηθεί απ'το χρησιμοποιούμενο τύπο επικοινωνίας direct, αυτή η ακολουθία από 30 bits «χτίζεται» εξυπηρετώντας τις διευθύνσεις των κινητών και των συσκευών που συμμετέχουν στην κλήση). Συνδυάζοντας αυτά τα 30 bits με μια καθορισμένη μαθηματική μέθοδο φθάνουμε στην ακολουθία scrambling. Η συγκεκριμένη ακολουθία των 30 bits αθροίζεται (προστίθεται) στο επίπεδο lower MAC με τη μορφή συμπληρώματος ως προς 2 με τα bits των DNB για μετάδοση (που ως αποτέλεσμα θα ληφθούν υπόψη σε μπλοκ από 30 bits τη φορά) και αντιπροσωπεύει ακριβώς τη μάσκα προστασίας που εφαρμόζεται στη μετάδοση. Συμφέρει να διευκρινίσουμε ότι το επίπεδο lower MAC εφαρμόζει την ακολουθία scrambling σ'όλα τα λογικά κανάλια με εξαίρεση τα SHS/S και SCH/H του πακέτου DSB στα οποία προϋποτίθεται ο συνήθης μηχανισμός αλλά μ'όλα τα 30 bits του χρωματικού κώδικα (color code) ίσα με το 0, αυτό ισοδυναμεί με το να μην εφαρμόσουμε καμία μάσκα στο κανάλι.

Το κλειδί που επιτρέπει, μ'έναν ανάστροφο μηχανισμό σε σχέση μ'αυτόν που μόλις περιγράψαμε, την αποκωδικοποίηση των bits, στα οποία έχει «φορεθεί» η μάσκα είναι η γνώση της πηγαίας διεύθυνσης. Εφόσον μια τέτοια διεύθυνση παρευρίσκεται στα DSB που ο χρήστης που καλεί στέλνει πριν και κατά τη διάρκεια της μετάδοσης κίνησης και αφού αυτά τα πακέτα DSB παραλαμβάνονται απ' όλους τους κινητούς σταθμούς που είναι συντονισμένοι στη συχνότητα, είναι εύκολο να καταλάβουμε γιατί το scrambling είναι ένας μηχανισμός που παρέχει μια προστασία κατά προσέγγιση. Όμως η συγκεκριμένη τεχνική προσλαμβάνει μια μεγαλύτερη χρησιμότητα στην περίπτωση που δουλεύουμε σε frequency efficient mode ή σε ειδικά σενάρια όπως εκείνο στο οποίο ένα κινητό βρίσκεται στο περιθώριο της ζώνης ραδιοκάλυψης από δύο masters (το κινητό είναι σε θέση να αντιληφθεί και να συζευχθεί και με τις δυο κλήσεις αλλά οι σχετικοί masters λειτουργούν ο ένας εν αγνοία του άλλου). Στην περίπτωση FEM, αν σε κάποιο σημείο το κινητό αποδέκτης υπερπηδήσει/προσπεράσει ένα παροδικό slot εξαιτίας εσφαλμένου συγχρονισμού, αντί να λαμβάνει κίνηση απ'τον πραγματικό χρήστη που καλεί, θα ξεκινήσει να λαμβάνει την κίνηση του χρήστη που μετέδιδε στο άλλο κανάλι: ωστόσο όμως χάρη στο scrambling, το κινητό αποδέκτης δε θα κατορθώσει να αποκωδικοποιήσει αυτήν την κίνηση δεδομένου ότι ο color code είναι αναγκαστικά διαφορετικός από εκείνον που χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη κλήση. Σ'αυτό το σενάριο, λαμβάνοντας θόρυβο, το κινητό συνειδητοποιεί το λάθος και πιθανώς εγκαταλείπει την κλήση.

2. Κρυπτογράφηση σε επίπεδο εφαρμογών

Όπως ήδη είπαμε, η κρυπτογράφηση end-to-end είναι ένας μηχανισμός ασφαλείας που εφαρμόζεται εκ νέου μόνο στα DNB, μπορεί να απαιτηθεί απ' το χρήστη και επιτρέπει μια μεγαλύτερη προστασία αναφορικά με το scrambling. Από πρακτικής πλευράς όταν ένα κινητό που καλεί, θέλει να αξιοποιήσει τη συγκεκριμένη κρυπτογράφηση οφείλει να θέσει στο 1 την τιμή της end-to-end encryption flag και οφείλει να μεταδίδει εναερίως περιοδικά και για stealing το κλειδί που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη λήψη για την αποκωδικοποίηση της κίνησης.

| Information element | Length | Value | Remark |
|----------------------------|--------|-------|----------------------------------|
| End-to-end encryption flag | 1 | 0 | Clear mode |
| | | 1 | With TETRA end-to-end encryption |

Πίνακας 12: Η προβλεπόμενη απ' το πρότυπο end-to-end encryption flag

Το γεγονός ότι το κλειδί δε βρίσκεται πλέον μες τα DSB μας επιτρέπει να πούμε ότι αυτή η τεχνική προστασίας είναι καλύτερη απ' την προηγούμενη, όντως αυτή τη φορά μόνο αυτός που είναι ενεργά αναμεμιγμένος στην επικοινωνία, με άλλα λόγια μόνο αυτός στον οποίο απευθύνεται η μετάδοση, είναι σε θέση να λάβει το κλειδί και επομένως να αποκωδικοποιήσει την κυκλοφορία. Την ίδια στιγμή όμως, το γεγονός ότι το κλειδί μεταδίδεται εναερίως αντιπροσωπεύει και το μεγάλο μειονέκτημα αυτού του μηχανισμού: οποιαδήποτε πληροφορία ταξιδεύει εναερίως μπορεί να συλληφθεί κατά κάποιο τρόπο από κάποιον μη εξουσιοδοτημένο να το κάνει.

3. Κρυπτογράφηση σε επίπεδο ραδιοδιεπαφής (air interface encryption)

Η κρυπτογράφηση air interface είναι όπως έχουμε πει, ένας μηχανισμός ασφαλείας που μπορεί να ζητηθεί απ' το χρήστη και που εφαρμόζεται στη μετάδοση των DNB αλλά και των DSB. Επιτυχάνοντας να καλύψουμε με μάσκα επιπλέον και τα DSB και κατορθώνοντας σε αντίθεση με την κρυπτογράφηση end-to-end να κάνουμε το κλειδί της αποκωδικοποίησης να μην ταξιδεύει εναερίως, καταλαβαίνει κανείς γιατί αυτή η τεχνική είναι εκείνη που εγγυάται το μέγιστο επίπεδο ασφάλειας πάνω στη μετάδοση. Σ' αντίθεση με τις προαναφερθείσες τεχνικές προστασίας, η χρήση της air interface encryption βασίζεται στην προληπτική διαμόρφωση ποικίλων αλγορίθμων κρυπτογράφησης (όπως οι διάφορες παραλλαγές του **KSG**, **Key Stream Generator**) και διαφόρων κλειδιών αποκωδικοποίησης (όπως παραλλαγές του **SCK**, **Static Cipher Key**). Αν το ραδιοτηλέφωνο αποδέκτης δεν κατέχει το ίδιο σχήμα αλγορίθμων και την ίδια μήτρα κλειδιών με το μεταδότη τότε δεν καθίσταται δυνατό να αποκρυπτογραφήσει ορθά όλα όσα έλαβε. Από πρακτικής πλευράς, ο συνήθης κινητός σταθμός θα δώσει οδηγίες στη λειτουργία κρυπτογράφησης καθορίζοντας τα κατάλληλα

πεδία σε DMAC-SYNC PDU και DMAC-DATA PDU, δηλαδή κάνοντας χρήση του πεδίου air interface encryption state και των πεδίων που προσδιορίζονται με βάση αυτό. (βλ. **Πίνακα 8** και **Πίνακα 10**) Το πεδίο air interface encryption state σε DMAC-SYNC PDU και DMAC-DATA PDU διασαφηνίζει ποιος τύπος air interface encryption εφαρμόζεται κάθε φορά.

| Information element | Length | Value | Remark |
|--|--------|-----------------|---|
| Air interface encryption state | 2 | 00 ₂ | Security class DM-1: no air interface encryption applied |
| | | 01 ₂ | Security class DM-2-C: in the DMAC-SYNC PDU, the PDU is encrypted from the destination address element and onwards except for the source address type element, and any related traffic is air interface encrypted. In the DMAC-DATA PDU, the PDU is encrypted from the destination address type element and onwards |
| | | 10 ₂ | Security class DM-2-A: the DM-SDU and any related traffic are air interface encrypted. Addresses are not encrypted |
| | | 11 ₂ | Security class DM-2-B: the destination address (SSI), DM-SDU and any related traffic are air interface encrypted |
| NOTE 1: Except in DMAC-DATA PDUs for class DM-2-C, the destination and source address type elements are never encrypted. | | | |
| NOTE 2: DM-1 is considered the lowest level of security. | | | |
| NOTE 3: DM-2-A through DM-2-B to DM-2-C provide progressively increased levels of security by encrypting more of the signalling content. | | | |

Πίνακας 13: Καταστάσεις της κρυπτογράφησης ραδιοεπαφής

Από τον προηγούμενο πίνακα γίνεται κατανοητό ότι αλλάζοντας την τιμή του πεδίου air interface encryption state αλλάζει ως συνέπεια και η μορφή της εφαρμογής κρυπτογράφησης και επομένως και η τάξη ασφαλείας:

- Η τάξη ασφαλείας DM-1 είναι εκείνη στην οποία δε χρησιμοποιούμε την κρυπτογράφηση ραδιοεπαφής.
- Η τάξη ασφαλείας DM-2-A είναι εκείνη στην οποία κρυπτογραφούνται μόνο η DM-SDU και η κυκλοφορία που μεταδίδεται μες τα DNB.
- Η τάξη ασφαλείας DM-2-B είναι εκείνη στην οποία κρυπτογραφούνται η DM-SDU, η διεύθυνση του παραλήπτη (ιδιαίτερα η SSI του παραλήπτη) και η κυκλοφορία που μεταδίδεται μες τα DNB.
- Η τάξη ασφαλείας DM-2-C είναι εκείνη στην οποία αντιθέτως εκτός από την κίνηση κρυπτογραφούνται οι πηγαίες και τελικές (προορισμού) διευθύνσεις, τα message dependent elements και η DM-SDU.

Είναι σχετικά εύκολο να συμπεράνουμε ότι η τάξη DM-2-C είναι εκείνη στην οποία έχουμε το πιο υψηλό επίπεδο προστασίας πάνω στη μετάδοση. Στην άλλη μεριά της ζυγαριάς ωστόσο, έχουμε το γεγονός ότι μ' αυτήν την τάξη ασφαλείας δεν είναι εφικτή η χρήση pre-emption μεταξύ ομάδων χρηστών που δε μοιράζονται τις ίδιες παραμέτρους κρυπτογράφησης

(KSG και SCK), πράγματι σ' αυτήν την περίπτωση ένας DM-MS δεν μπορεί να ξέρει ούτε την προτεραιότητα της επικοινωνίας σ' εξέλιξη ούτε τη διεύθυνση του master στην οποία τελικά θα διευθυνσιοδοτήσει τη χαρακτηριστική αίτηση pre-emption.

Η τάξη DM-2-B διαφοροποιείται, όσον αφορά την ασφάλεια, απ' την τάξη DM-2-C στο ότι η διεύθυνση πηγής, το είδος του μηνύματος και ορισμένα στοιχεία που εξαρτώνται απ' το μήνυμα, δεν είναι κρυπτογραφημένα: όμως καλύπτοντας με μάσκα την πηγαία διεύθυνση με μια ψευδό- SSI και σιγουρεύοντας ότι ο τύπος μηνύματος και τα στοιχεία που εξαρτώνται απ' αυτόν δεν αντιπροσωπεύουν ενδιαφέρουσα πληροφορία, γίνεται σαφές ότι η τάξη DM-2-B με τη χρησιμοποίηση της ψευδό-SSI απ' την πηγή, εγγυάται μια προστασία σχεδόν ισοδύναμη μ' αυτήν της τάξης DM-2-C. Με την τάξη DM-2-B ωστόσο, είναι εφικτό να κάνουμε pre-emption μεταξύ ομάδων χρηστών που δε μοιράζονται τις ίδιες παραμέτρους κρυπτογράφησης: ένας κινητός σταθμός που δεν κατέχει τις ίδιες παραμέτρους κρυπτογράφησης με το master, είναι επίσης σε θέση να ξέρει το είδος μηνύματος, την προτεραιότητα της επικοινωνίας σ' εξέλιξη και την ψευδό-SSI του master, δηλαδή όλα όσα απαιτούνται για μια αίτηση pre-emption. Σ' αυτήν την περίπτωση επιτυγχάνεται ένας βολικός συμβιβασμός ανάμεσα στη μέγιστη ελαστικότητα στη χρήση του φέροντος και στο μέγιστο επίπεδο ασφάλειας πάνω στα μεταδιδόμενα δεδομένα (διατηρώντας επιπλέον την ανωνυμία των μερών που εμπλέκονται στην επικοινωνία).

Η τάξη DM-2-A προσθέτει ένα περαιτέρω επίπεδο ασφάλειας πάνω στη μεταδιδόμενη κίνηση σε σύγκριση με το scrambling και την κρυπτογράφηση απ' άκρη-σ' άκρη μα δεν προσφέρει καμιά μορφή προστασίας πάνω στις διευθύνσεις των μερών που συμμετέχουν στην κλήση ή πάνω στις ρυθμίσεις της τελευταίας. Τα πεδία που προσδιορίζονται απ' την κατάσταση της κρυπτογράφησης διεπαφής αέρα (air interface encryption) είναι τα εξής:

1. **Key Stream Generator number (KSG)**, ήτοι ο δείκτης (ένδειξη) του αλγορίθμου της εφαρμοσμένης κρυπτογράφησης ραδιοεπαφής (δεν αλλάζει ποτέ εντός μιας κλήσης)
2. **Static Cipher Key number (SCK)**, που λέγεται και encryption key number, δηλαδή πρόκειται για το δείκτη του κλειδιού που χρησιμοποιήθηκε στην κρυπτογράφηση (δεν αλλάζει ποτέ εντός μιας κλήσης)
3. **Time Variant Parameter (TVP)**, είναι η ακολουθία από 29 bits που χρησιμοποιείται για να αρχικοποιήσει τον KSG στην αφετηρία κάθε χρονοθυρίδας (slot). Η τιμή αυτού του πεδίου αλλάζει στη βάση ενός προκαθορισμένου κριτηρίου.

Όπως τονίσαμε και προωτέρα, αν το ραδιοτηλέφωνο αποδέκτης δεν κατέχει έναν πίνακα αλγορίθμων ίδιο μ' αυτόν του μεταδότη, έτσι ώστε στην ένδειξη του λαμβανόμενου KSG να αντιστοιχεί ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στη μετάδοση και μια μήτρα κλειδιού που να αντιστοιχεί στον SCK που χρησιμοποιήθηκε στη μετάδοση, τότε αυτό το κινητό δε θα είναι σε θέση να αποκωδικοποιήσει σωστά όσα έλαβε.

Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1°

- [1]. W.C.Y. Lee, “**Spectrum Efficiency in Cellular**”, IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 38, no. 2, May 1989.
- [2]. W.C.Y. Lee, “**Spectrum Efficiency and Digital Cellular**”, 38th IEEE Veh. Tech. Conf. Records, pp.643, June 1988.
- [3]. GSM Recommendation 05.02, “**Multiplexing and Multiple Access on the Radio Path**”.
- [4]. Γεωργίου Κοκκινάκη, “Εισαγωγή στις Επικοινωνίες”, κεφ. 17° : “**Κινητή Ραδιοτηλεφωνία**”.
- [5]. EECE 563, “**WIRELESS COMMUNICATIONS**”, 1999/2000 WINTER SESSION, TERM 2.
- [6]. Καρκαλέτση Ευαγγέλου, “**Διαδικασίες Κυψελοειδούς Σχεδιασμού (CELL PLANNING): Μελέτη παραμέτρων για την εύρεση των βέλτιστων θέσεων εγκατάστασης των Σταθμών Βάσης των Κυψελωειδών Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας (GSM και TETRA)** ”

Κεφάλαιο 2°

- [1]. Dr Mike Willis, “**Mobile Systems**”.
- [2]. Moe Rahnema, “**Overview Of The GSM System and Protocol Architecture**”, IEEE Communications Magazine • April 1993.
- [3]. GSM Recommendation 05.02, “**Multiplexing and Multiple Access on the Radio Path**”.
- [4]. GSM Recommendation 03.04, “**Signaling Requirements Related to Routing of Calls to Mobile Subscribers**”.
- [5]. GSM Recommendation 08.06, “**Signaling Transport Mechanisms for BSS-MSC Interface**”.
- [6]. GSM Recommendation 04.08, “**Mobile Radio Interface-Layer 3 Specifications**”.
- [7]. Γεωργίου Κοκκινάκη, “Εισαγωγή στις Επικοινωνίες”, κεφ. 17° : “**Κινητή Ραδιοτηλεφωνία**”.

Κεφάλαιο 3°

- [1]. <http://www.intracom-telecom.com>
- [2]. <http://www.tetrapol.com>
- [3]. <http://webaugur.com/matt/files/nextel/techover.pdf>
- [4]. <http://www.p25.com/resources/P25TrainingGuide.pdf> (APCO 25)

- [5]. <http://fetweb.ju.edu.jo/staff/EE/jrahhal/standard4.pdf> (Iden)
- [6]. Mario Jorge Leitao, “**Mobile Communication Systems: TETRA (Terrestrial Trunked Radio System)**”.

Κεφάλαιο 4°

- [1]. <http://www.tetramou.com>
- [2]. <http://www.teotec.gr>
- [3]. <http://www.marathondata.gr/conf/energy/Σχεδίαση και βελτιστοποίηση τηλεπικοινωνιακού δικτύου «OTE T.pdf>
- [4]. http://cgi.di.uoa.gr/~gstefa/TETRA_DEC02.ppt

Κεφάλαιο 5°

- [1]. <http://www.tetramou.com>
- [2]. John Dunlop, Demessie Girma, James Irvine, “**Digital Mobile Communications and the TETRA System**”, November 1999.
- [3]. ETS 300 396-2, **Technical requirements for Direct Mode Operation (DMO); Part 2: Radio aspects**
- [4]. ETSI, EN 300 395-1 V1.2.1 (2005-01), **Speech codec for full-rate traffic channel; Part 1: General description of speech functions**
- [5]. ETSI EN 300 396-6 V1.2.1 (2004-05), **Direct Mode Operation (DMO); Part 6: Security**
- [6]. ETS 300 396-1, **Technical requirements for Direct Mode Operation (DMO); Part 1: General network design**
- [7]. ETR 300-1, **Voice plus Data (V+D); Designers' guide; Part 1: Overview, technical description and radio aspects**
- [8]. http://www.panorama.co.uk/uk/products/tetra_cover.html
- [9]. <http://www.sinclairtechnologies.com/catalog/family.aspx?id=95>
- [10]. <http://www.kathrein.pl/download/9987233.pdf>

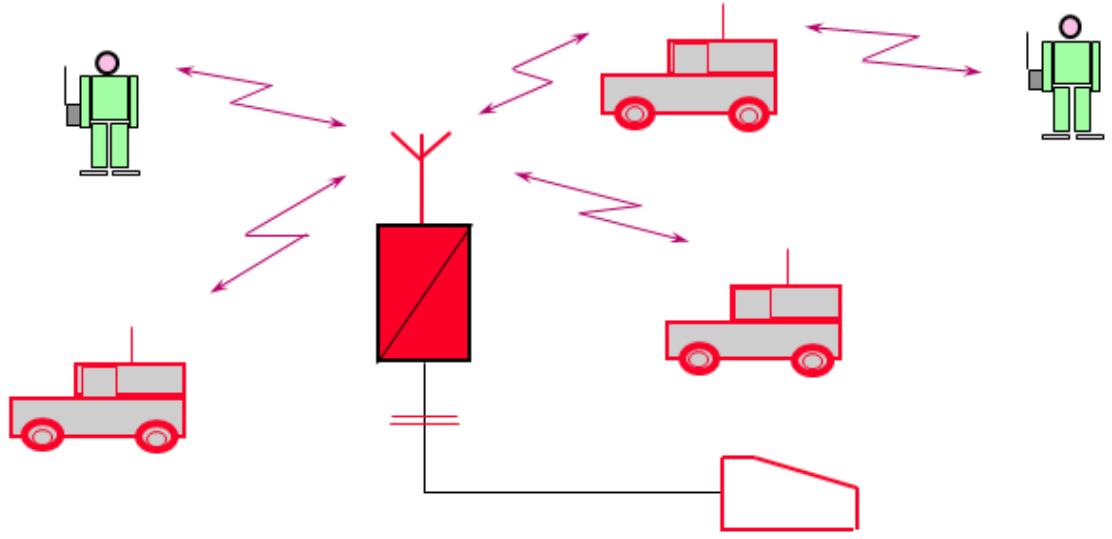
Κεφάλαιο 6°

- [1]. ETR 300-3, **Voice plus Data (V+D); Designers' guide Part 3: Direct Mode Operation (DMO)**
- [2]. ETS 300 396-2, **Technical requirements for Direct Mode Operation (DMO); Part 2: Radio aspects**
- [3]. ETSI EN 300 392-2 V3.2.1 (2007-09), **Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI)**
- [4]. http://tetraforum.pl/doc/The_power_of_TETRA-Direct_Mode_Operation-Selex_Communications_Francesco_Pasquali.ppt

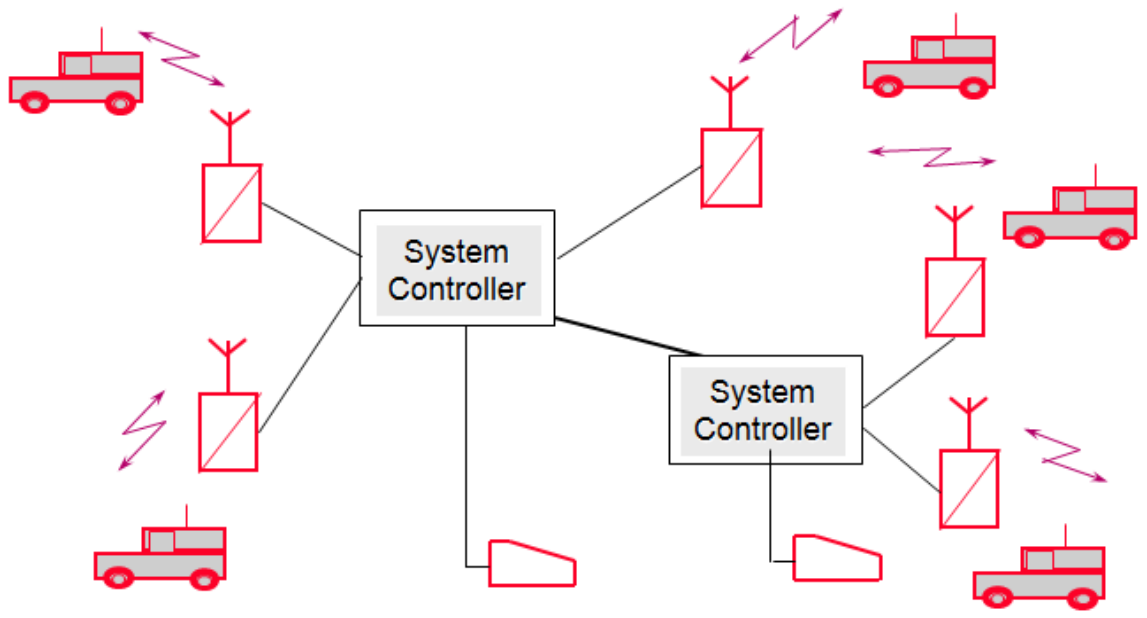
Π α ρ ά ρ τ η μ α

ΔΙΚΤΙΑ TETRA

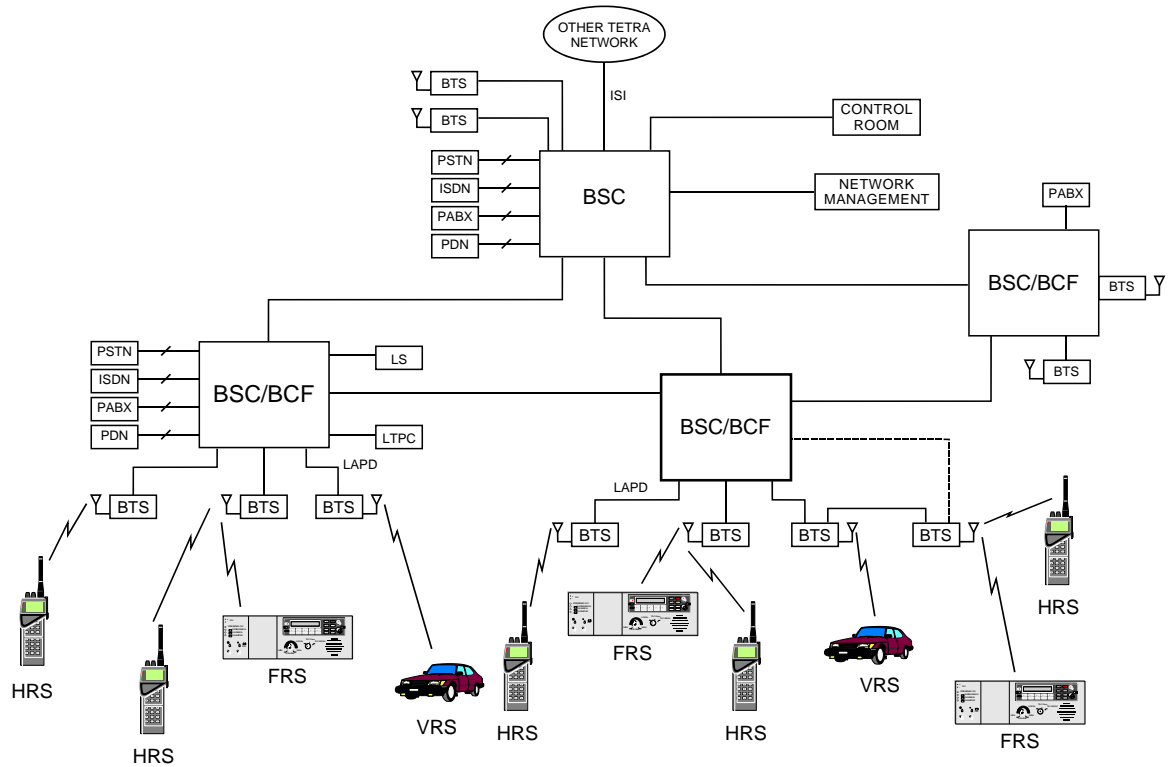
Μονοκυψελωτό σύστημα TETRA



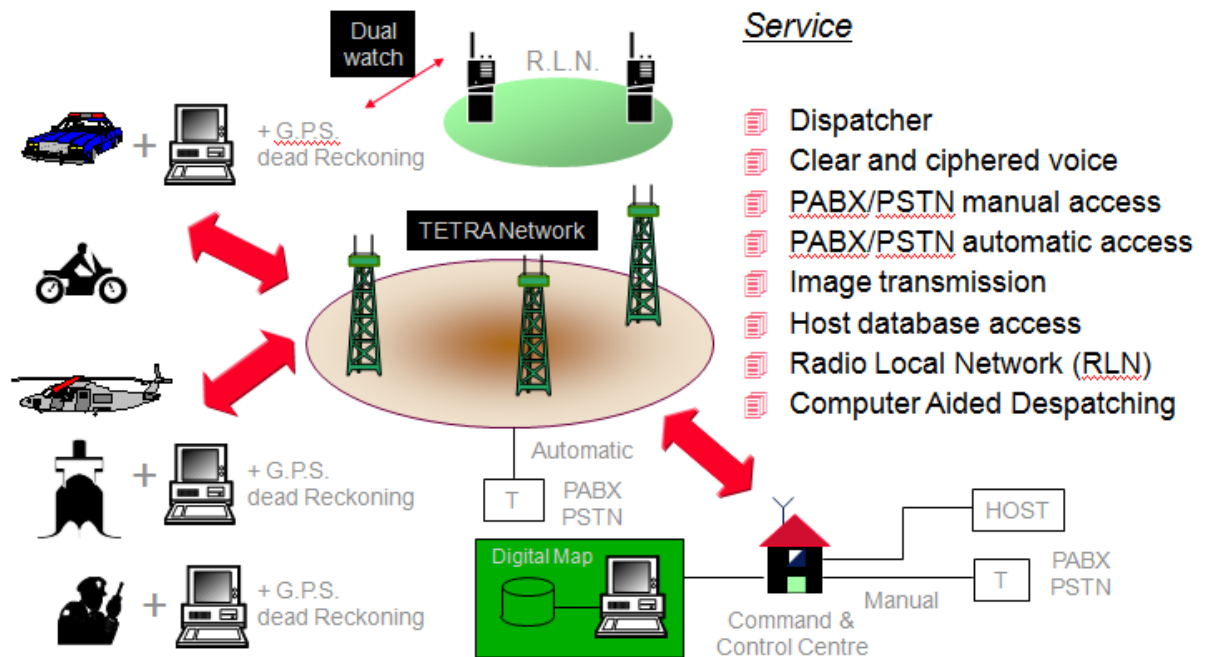
Πολυκυψελωτό σύστημα TETRA



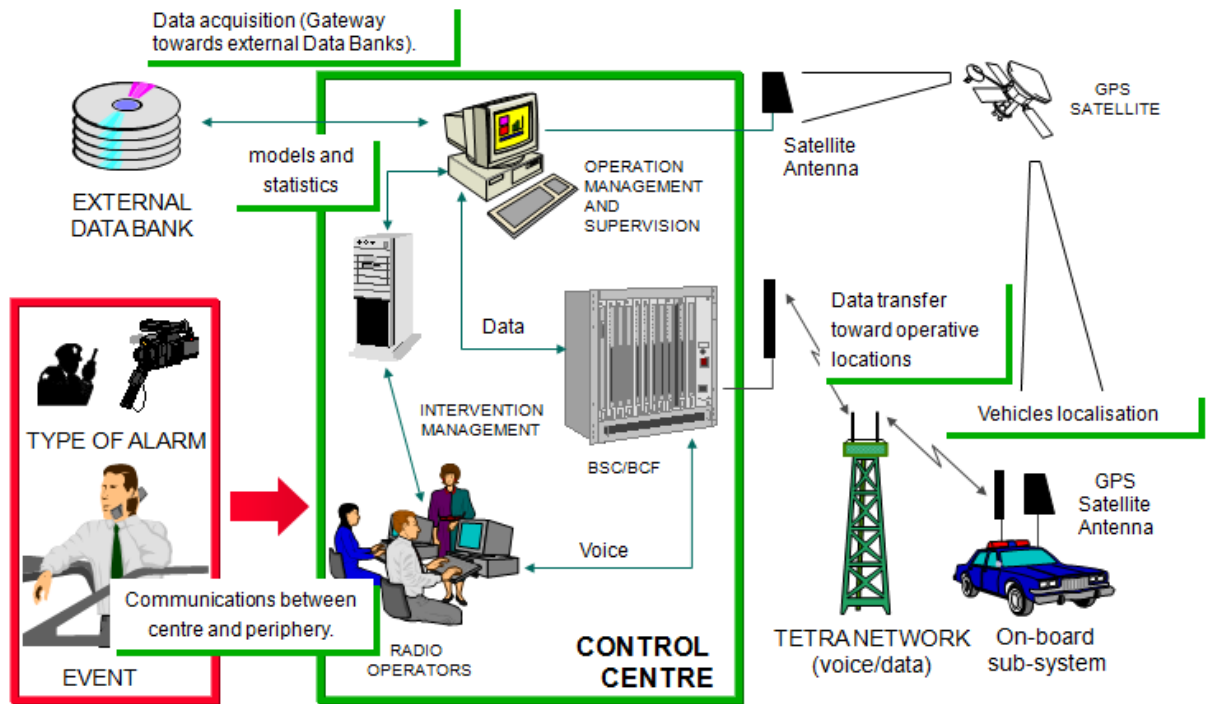
Τυπικό δίκτυο TETRA για τον Τομέα Δημόσιας Ασφάλειας



Υπηρεσίες TETRA για τον Τομέα Δημόσιας Ασφάλειας

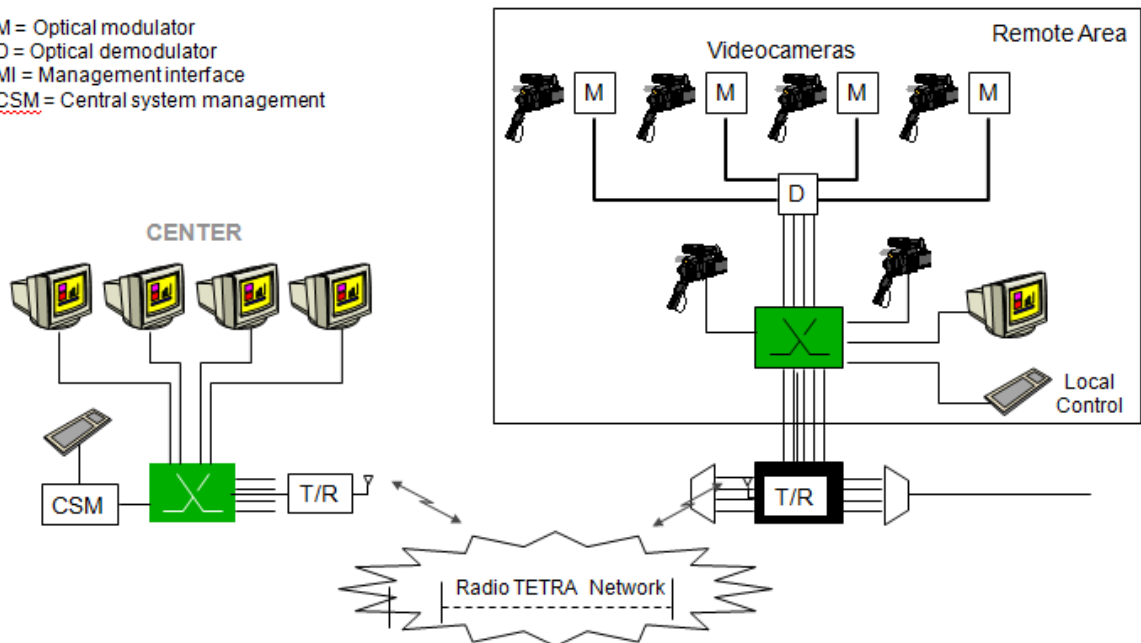


Υπηρεσίες Κέντρου Ελέγχου υποστηριζόμενες από το TETRA

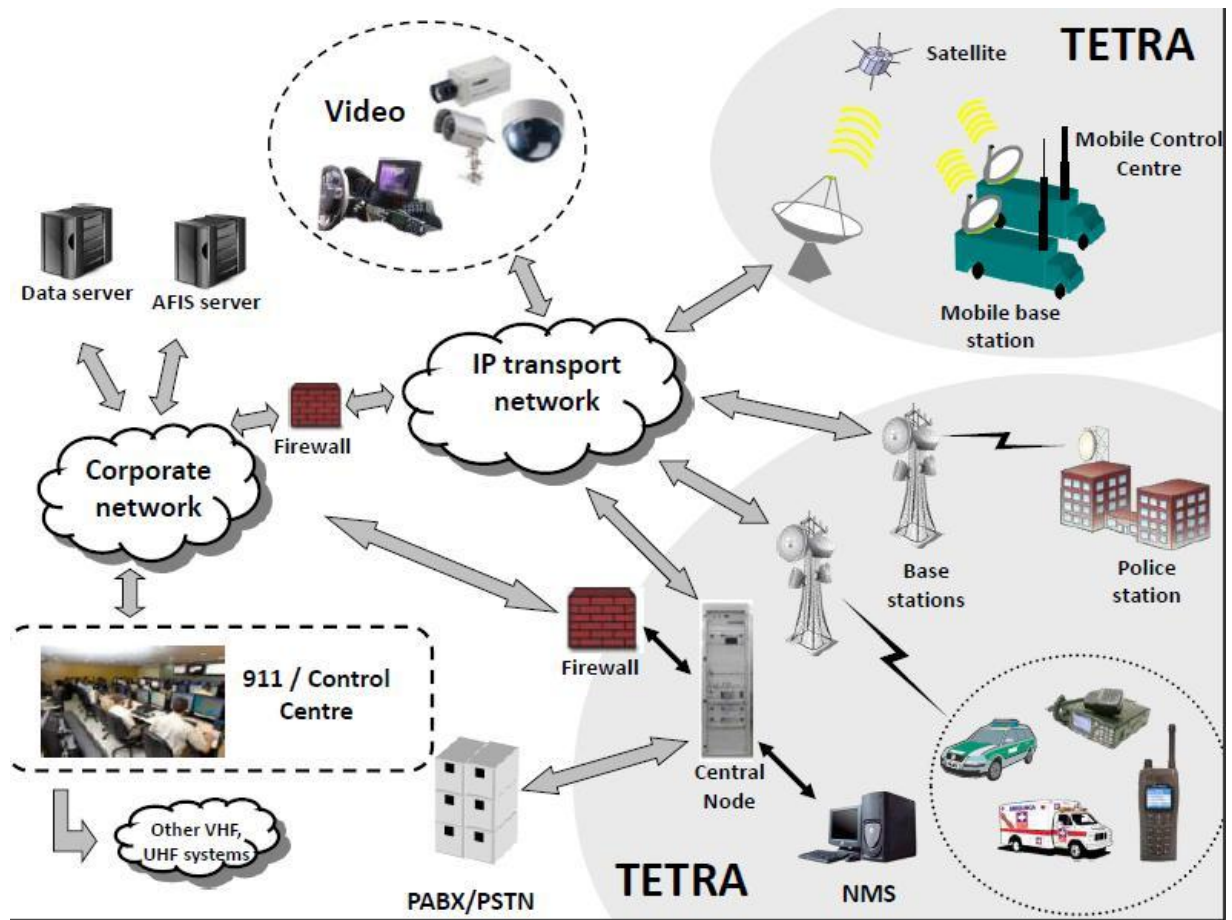


Σύστημα TETRA : Τηλεεπιτήρηση

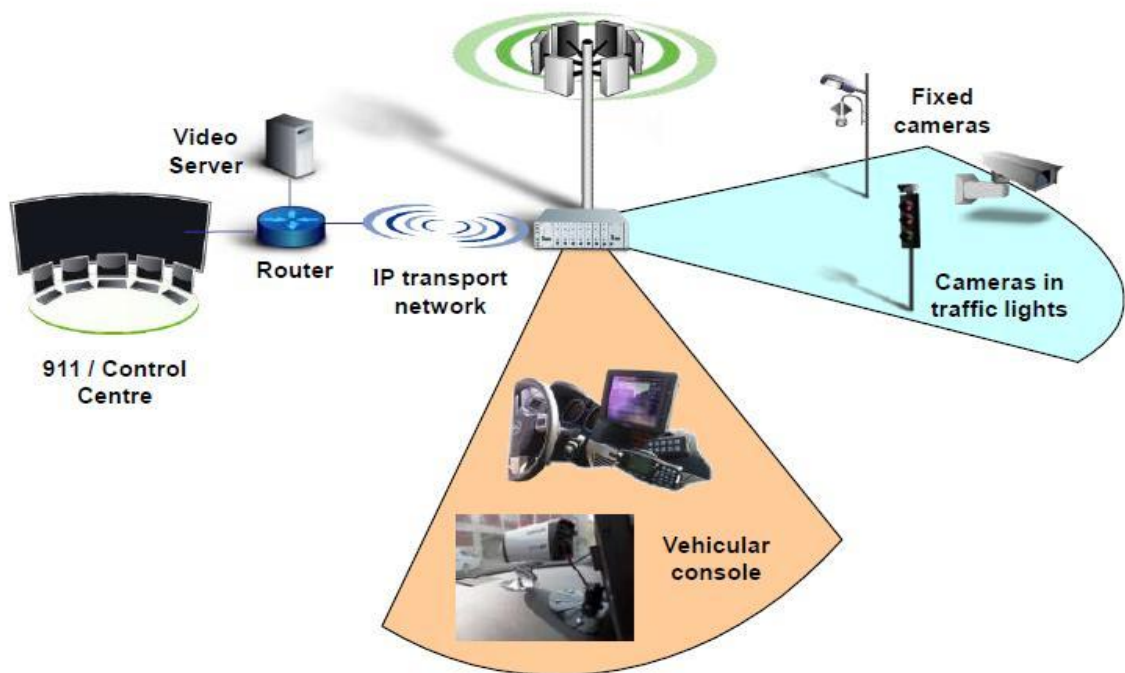
M = Optical modulator
 D = Optical demodulator
 MI = Management interface
 CSM = Central system management



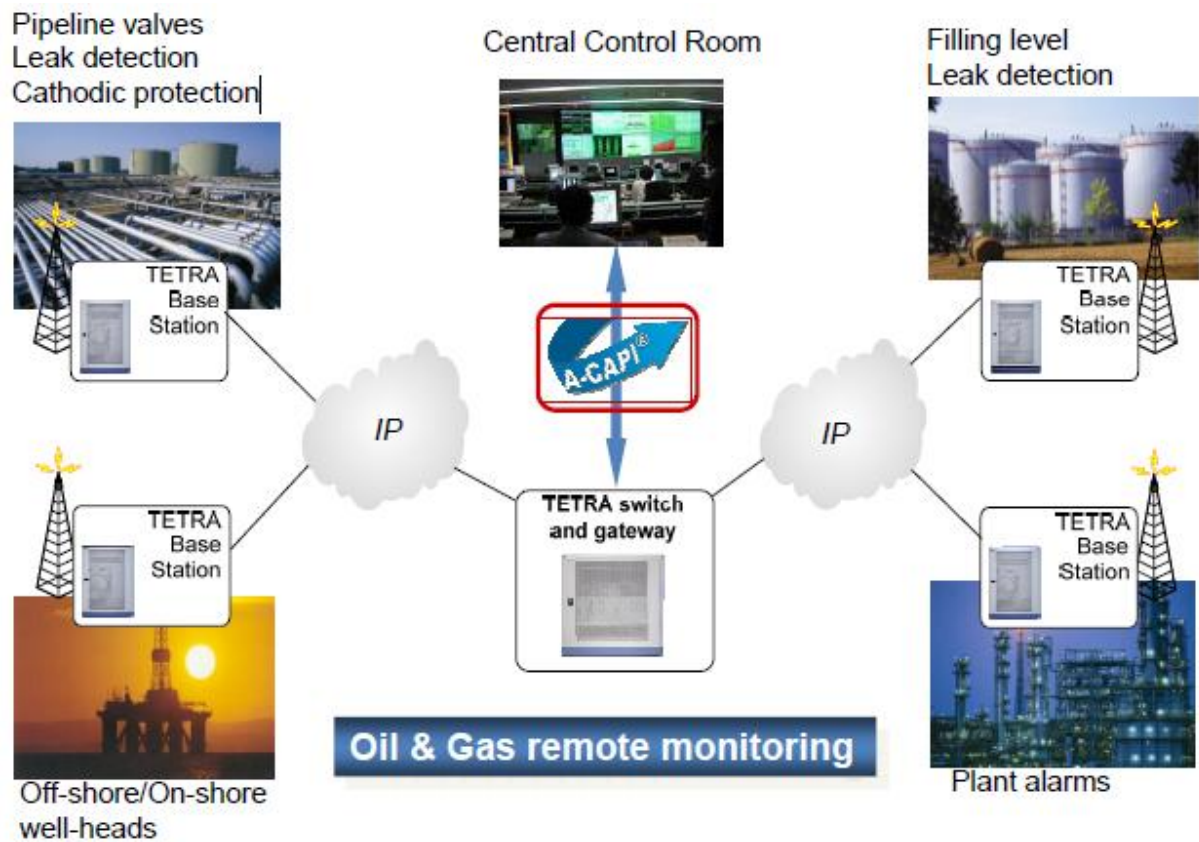
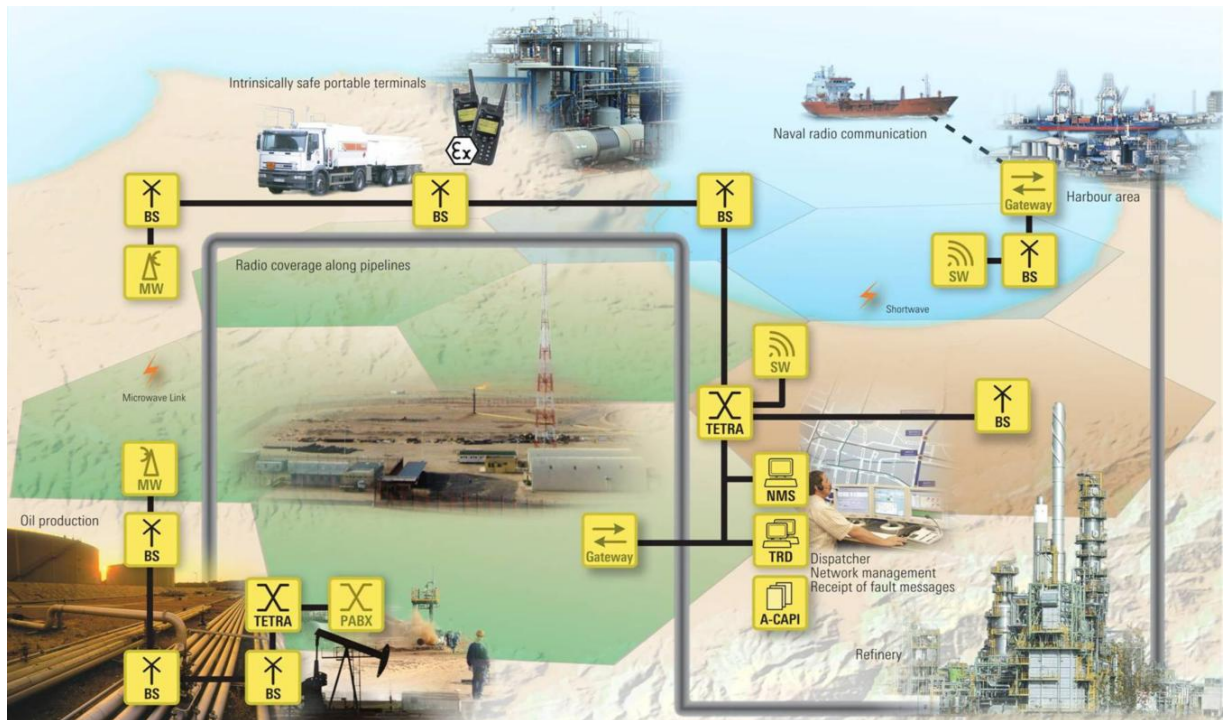
Τυπικό δίκτυο TETRA



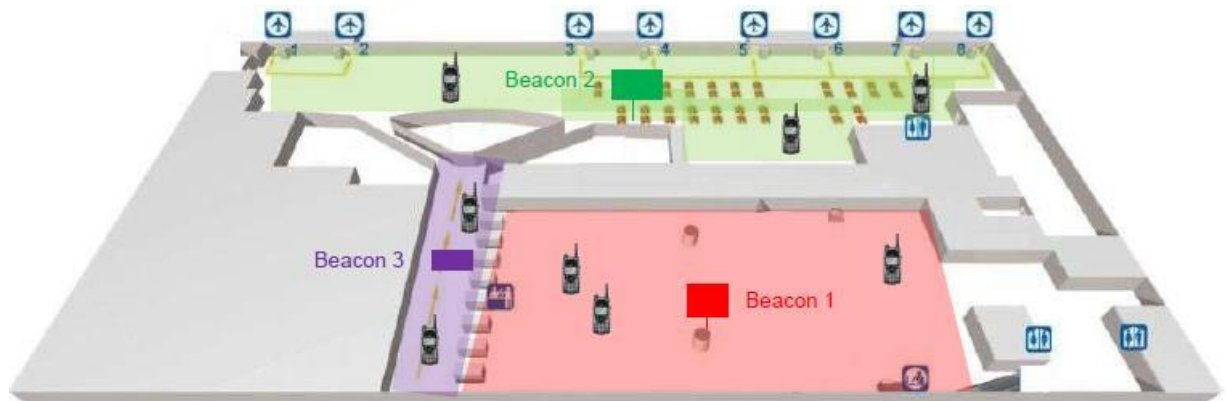
Τυπικό δίκτυο TETRA για την διαχείριση της κυκλοφορίας



Χρήση TETRA σε εμπορική εφαρμογή (Παραγωγή – Διανομή Πετρελαιοειδών)



Χρήση TETRA σε αεροδρόμια



Επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών ραδιοδικτύων PRM

