

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ & ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΙΚΤΥΩΝ II

Σταύρος Κωτσόπουλος, Καθηγητής

Εργαστήριο Ασύρματης Τηλεπικοινωνίας
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών
Πολυτεχνική Σχολή – Πανεπιστήμιο Πατρών

Σεπτέμβριος 2012

Εισαγωγή

Η πρώτη γενιά συστημάτων κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1980. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη γενιά δεν αποτέλεσε το ξεκίνημα των κινητών τηλεπικοινωνιών. Αντίθετα από πιο πριν είχαν εμφανιστεί αρκετά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών τα οποία όμως δεν είχαν τα χαρακτηριστικά των κινητών δικτύων με τον τρόπο που τα εννοούμε σήμερα. Το βασικότερο από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η κυψελωτή δομή του δικτύου. Τα πρώιμα αυτά δίκτυα είχαν περιορισμένες δυνατότητες σε σχέση με τα κυψελωτά. Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα ήταν η υποτυπώδης και προβληματική υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών.

Στα κυψελωτά κινητά δίκτυα, που στο εξής θα αναφέρονται απλώς σαν κινητά δίκτυα, η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρά κελιά. Με αυτόν τον τρόπο οι ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιούνται πολλές φορές στο ίδιο δίκτυο χωρίς να δημιουργούνται έντονα φαινόμενα παρεμβολής. Επομένως, οι δυνατότητες του δικτύου αυξάνονται σημαντικά. Η πρώτη γενιά χρησιμοποιούσε τεχνικές αναλογικής μετάδοσης για την κίνηση η οποία ήταν αποκλειστικά φωνή. Δεν υπήρξε κάποιο πρότυπο που να επικράτησε, αντίθετα υπήρξαν αρκετά πρότυπα όπως το Nordic Mobile Telephone (NMT), το Total Access Communication System (TACS) και το Advanced Mobile Phone Service (AMPS). Τα δύο πρώτα πρότυπα είχαν μία σχετική επιτυχία στις ευρωπαϊκές χώρες, ενώ το τρίτο ήταν το πιο διαδεδομένο στις Η.Π.Α. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι παρόλο που σήμερα η εξέλιξη στις τηλεπικοινωνίες έχει εστιαστεί στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς, υπάρχουν πολλά δίκτυα πρώτης γενιάς που εξακολουθούν να βρίσκονται σε λειτουργία. Βέβαια, στις χώρες όπου υπάρχει προχωρημένη υποδομή στις τηλεπικοινωνίες τα συστήματα αυτά έχουν εγκαταλειφθεί καθώς θεωρείται ότι σπαταλούν πολύτιμο φάσμα συχνοτήτων το οποίο τα σύγχρονα ψηφιακά κινητά δίκτυα επικοινωνιών εκμεταλλεύονται πιο αποδοτικά.

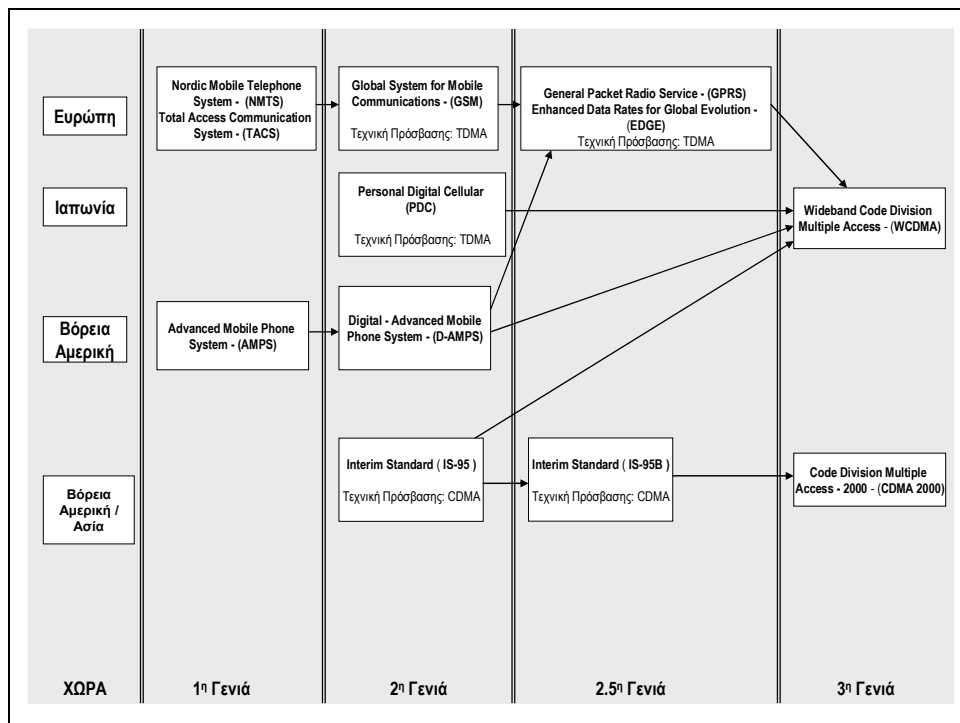
Η δεύτερη γενιά κινητών δικτύων επικοινωνιών χρησιμοποιεί ψηφιακή μετάδοση της κίνησης. Αυτή είναι και η κύρια διαφοροποίηση μεταξύ των κινητών συστημάτων πρώτης και δεύτερης γενιάς: ο διαχωρισμός αναλογικού – ψηφιακού. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς έχουν πολύ ευρύτερες δυνατότητες από αυτά της πρώτης γενιάς. Ένα κανάλι συχνοτήτων διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς χρήστες (είτε με διαίρεση χρόνου είτε με διαίρεση κώδικα). Επιπλέον χρησιμοποιούνται ιεραρχικές δομές κελιών, για την ακρίβεια η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε macrocells (κελιά μεγάλης έκτασης), microcells (κελιά μικρής έκτασης) και picocells (κελιά περιορισμένης έκτασης κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα), με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων. Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: το Global System for Mobile (GSM) communications, το Digital AMPS (D-AMPS), το Code Division Multiple Access (CDMA) IS-95 καθώς και το Personal Digital Cellular (PDC). Το GSM είναι μακράν το πιο επιτυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά τελικά υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Η μόνη ήπειρος στην οποία η διάδοση του GSM υστερεί είναι η αμερικανική. Παρόλα αυτά, το 2001 η βορειοαμερικανική κοινότητα για την Time Division Multiple Access (TDMA) αποφάσισε να υιοθετήσει το σύστημα Wideband CDMA (WCDMA) που ορίστηκε από το Third Generation Partnership Project (3GPP). Προκειμένου να προετοιμαστούν για το WCDMA πολλές αμερικανικές εταιρίες που χρησιμοποιούσαν το D-AMPS έχουν υιοθετήσει ήδη το σύστημα GSM/GPRS. Το βασικό σύστημα GSM χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz. Ο βασικότερος λόγος ήταν η έλλειψη

χωρητικότητα στη ζώνη των 900 MHz. Η ζώνες των 1800 ή 1900 MHz μπορούν να εξυπηρετήσουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η περιοχή κάλυψης όμως μειώνεται σε σχέση με τα συστήματα που λειτουργούν στη ζώνη των 900 MHz. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί και το πρότυπο GSM-400 που αναπτύχθηκε από το ίδρυμα European Telecommunications Standards Institute (ETSI) και το οποίο χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά των δικτύων GSM με υψηλότερες συχνότητες. Παρόλο που το σύστημα αυτό ήταν αρκετά αποδοτικό σε αραιοκατοικημένες και παράκτιες περιοχές, το πρότυπο GSM-400 δε χρησιμοποιείται πλέον.

Με τον όρο «γενιά 2,5» αναφερόμαστε στο ευρύτερο σύνολο των αναβαθμίσεων που έγιναν πάνω στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2,5 είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2,5. Αυτές οι τεχνολογίες είναι: η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE). Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσίασαν οι αρχικές μορφές του GSM ήταν οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης στον αέρα που περιορίζονταν στα 9,6 Kbps. Αργότερα, τέθηκαν οι προδιαγραφές για τα 14,4 Kbps παρόλο που δε χρησιμοποιήθηκαν ευρέως. Η λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία HSCSD. Μέσω αυτής της τεχνολογίας ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί, αντί μίας, περισσότερων χρονοσχισμών (timeslots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί το ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοσχισμή. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή. Πρόσθετο λογισμικό χρειάζεται να υλοποιηθεί στα κέντρα καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχισμές δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητά τους δεν χρησιμοποιούνταν. Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτεροι αν αγνοηθεί η διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτου. Επομένως, δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή/λήψη δεδομένων. Η υλοποίηση του GPRS είναι αρκετά πιο ακριβή από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με μεγαλύτερη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας. Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8PSK). Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

Η γρήγορη εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών (σχήμα 1) ήταν ένα από τα αναμφισβήτητα γεγονότα της δεκαετίας του 1990. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο GSM λειτούργησε στη Φινλανδία το 1991. Την ίδια χρονιά, το ίδρυμα ETSI ξεκινούσε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών. Το σύστημα που προέκυψε από αυτή την προτυποποίηση ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Η ανάπτυξη των κινητών

δικτύων τρίτης γενιάς δεν έγινε μόνο στο ETSI. Υπήρξαν πολλοί οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα, σε παγκόσμιο επίπεδο, που είχαν τον ίδιο σκοπό. Ο βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς είναι η παροχή των κινητών υπηρεσιών «οπουδήποτε» και «κάθε στιγμή». Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης δικτύων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς μπορεί να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς αλλά υπάρχουν άλλου είδους ασύρματα δίκτυα. Για την ακρίβεια, ο χρήστης θα μπορεί να εξυπηρετείται από οικιακά ασύρματα συστήματα, από άλλα κυψελωτά κινητά δίκτυα καθώς και από δορυφορικά δίκτυα. Επιπλέον, οι παρεχόμενες υπηρεσίες επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και σε υπηρεσίες πολυμέσων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (προβλέπονται ρυθμοί που ξεκινούν από τα 144 Kbps και φτάνουν ακόμα και σε ρυθμούς της τάξης των Mbps). Με τον όρο υπηρεσίες πολυμέσων αναφερόμαστε σε υπηρεσίες κατά τις οποίες υπάρχει συνδυασμός εικόνας, ήχου και κειμένου σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ψηφιακό περιβάλλον. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν τα επικρατέστερα, προς το παρόν, συστήματα τρίτης γενιάς τα οποία είναι: το UMTS (Ευρώπη), το CDMA2000 και το NTT Docomo (Ιαπωνία).



Σχήμα 1: Διαχρονική εξέλιξη των ασύρματων δικτύων

Με τον όρο «γενιά 3,5» (3.5G ή 3G+) αναφερόμαστε στη νέα γενιά κινητών δικτύων τα οποία εκτός από την τεχνολογία WCDMA έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA). Η ορολογία HSPA αναφέρεται σε μία γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε από το UMTS Forum προκειμένου να τονίσει τις αναβαθμίσεις του UMTS Radio Interface στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP στάνταρ και να προσδιορίσει τα δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Η HSPA αποτελεί μία νέα τεχνολογία η οποία σχεδιάστηκε προκειμένου να αυξήσει τη χωρητικότητα καταρχήν του κατερχόμενου και σε δεύτερη φάση του ανερχόμενου ασύρματου συνδέσμου 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 πολυμεσικές εφαρμογές. Ιδιαίτερα στην περίπτωση που θα

υπήρχαν πολλοί χρήστες πολυμεσικών εφαρμογών στο ίδιο κελί, αυτό θα σήμαινε ραγδαία πτώση της απόδοσης του δικτύου στο συγκεκριμένο κελί. Το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν να υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS. Το HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του 3GPP στάνταρ (ανακοινώθηκε το 2003 και υλοποιήθηκε το 2005) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 14,4 Mbps ανά χρήστη. Αναφορικά με τον ανερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, το HSUPA εισήχθη στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ δίνοντας τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5,8 Mbps μέσω ενός αφιερωμένου uplink καναλιού. Η βασική ιδέα του HSPA είναι η προσθήκη ενός νέου τύπου ευρυζωνικού καναλιού το οποίο θα είναι βελτιστοποιημένο για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Πρόκειται για το κανάλι High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH) το οποίο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της ρυθμαπόδοσης (throughput) μόνο του κατερχόμενου συνδέσμου. Στο κανάλι αυτό έχουν ενσωματωθεί διάφορες τεχνικές που αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του όσον αφορά ρυθμό μετάδοσης. Προφανώς, η τεχνική HSPA δεν είναι κατάλληλη για όλα τα είδη υπηρεσιών. Για παράδειγμα, δεν παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση, συνεπώς, δεν ενδείκνυται για απαιτητικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα κανάλια (DCH). Αντίθετα, η χρήση του HSPA ενδείκνυται προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου σε hot spots κίνησης δεδομένων.

Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της HSPA τεχνολογίας συγκαταλέγονται οι αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες, η αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών καθώς και η παροχή υψηλής χωρητικότητας του δικτύου προς όφελος κυρίως των πάροχων. Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης παράλληλα με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο μεταφράζονται στην δυνατότητα παροχής μίας μεγάλης γκάμας πολυμεσικών εφαρμογών. Κατά συνέπεια, οι κινητοί χρήστες έχουν πλέον την ικανότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Τέτοιες υπηρεσίες είναι η πολύ γρήγορη, ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο, VoIP, multi-player παιχνίδια, Mobile TV, ενισχυμένη μετάδοση video/MP3 streaming, video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη μελετώνται περαιτέρω δυνατότητες αναβάθμισης της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+. Οι βασικές προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η χρήση της τεχνολογίας MIMO και η χρήση 64 QAM κωδικοποίησης. Η MIMO τεχνική απαιτεί επιπρόσθετες κεραιές λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραιές μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα, η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης.

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+, που οριοθετούν την «γενιά 3,5», αναμένονται να προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP ήδη μελετά και επεξεργάζεται νέες τεχνολογίες που θα επικρατήσουν την αμέσως επόμενη δεκαετία στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό project αποκαλείται 3GPP Long Term Evolution (LTE) και στοχεύει στην επίτευξη ακόμη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρους ζώνης. Κύρια προοπτική του LTE αποτελεί η διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας και η επικράτηση του προτύπου στο

χρονικό ορίζοντα της επόμενης δεκαετίας. Το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης packet-switched εφαρμογών, όπως είναι οι πολυμεσικές εφαρμογές. Επίσης, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα. Το πρότυπο υποστηρίζει κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία. Επιπλέον, στοχεύει στην επίτευξη μέγιστων ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στον κατερχόμενο σύνδεσμο και 50 Mbps στον ανερχόμενο σύνδεσμο για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το «αντίπαλο» πρότυπο που ανταγωνίζεται το LTE είναι το Mobile WiMAX. Το LTE ήδη γνωρίζει έντονη ερευνητική δραστηριότητα και αναμένεται να λειτουργήσει στην αγορά σταδιακά, ξεκινώντας γύρω στο 2010. Συγκεντρικά, η χρονολογική εξέλιξη των 3GPP κυβελωτών προτύπων, ξεκινώντας από τα κινητά δίκτυα 3G έως και τα αντίστοιχα δίκτυα επόμενης γενιάς LTE. Το πρότυπο 3G/UMTS υιοθετήθηκε αρχικά στην 3GPP Release '99 έκδοση, στην Release 5 πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του HSDPA, στην Release 6 η εισαγωγή του HSUPA, ενώ μέσω της ενδιάμεσης Release 7 φθάνουμε στο LTE που περιγράφεται και αναλύεται στην Release 8 του 3GPP.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ψηφιακά Ραδιοσυστήματα 2^{ης} Γενιάς (2 G)

1. **Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile communications – GSM)**

Εισαγωγή

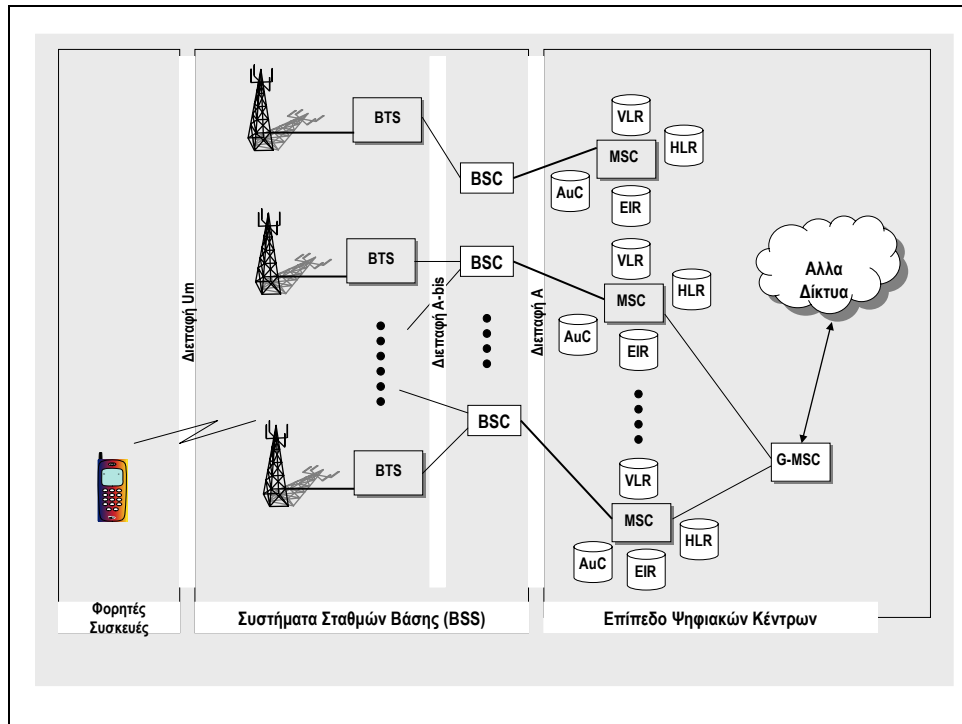
Η ονομασία GSM προήλθε από το **G**lobal **S**ystem for **M**obile communications (GSM). Το GSM έχει προδιαγραφεί από τον ETSI και είναι ένα αποδεκτό πρότυπο παγκόσμιας εμβέλειας το οποίο υποστηρίζει αξιόπιστα ψηφιακές ραδιοεπικοινωνίες. Οι συχνότητες λειτουργίας ανήκουν στις περιοχές των 900 MHz και 1800 MHz του ραδιοφάσματος συχνοτήτων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, το πρότυπο αυτό λειτουργεί στις συχνότητες 800 MHz και 1900 MHz. Το σύστημα αυτό στηρίζεται στην κυψελωτή ιδέα (cellular) όπου η γεωγραφική περιοχή παροχής κινητών υπηρεσιών χωρίζεται σε ζώνες ή κυψέλες (cells) και με την φιλοσοφία της επαναχρησιμοποίησης των ιδίων συχνοτήτων μπορεί να εξυπηρετηθεί μεγάλος αριθμός κινητών συνδρομητών διασφαλίζοντας υψηλές απαιτήσεις ποιότητας παροχής υπηρεσιών (Quality of Service – QoS). Στο πλαίσιο της υλοποίησης του GSM, κατά το χρονικό διάστημα από το 1982 έως το 1985 υπήρχε προβληματισμός από τις αντίστοιχες ομάδες εργασίες του ETSI για το αν το GSM θα έμενε στην αναλογική τεχνολογία ή θα υλοποιούτο με ψηφιακή τεχνολογία. Μετά από πειραματικές μετρήσεις πεδίου πάνω σε πιλοτικά συστήματα απεφασίσθηκε όπως το GSM να υιοθετήσει την ψηφιακή τεχνολογία. Επίσης, το επόμενο στάδιο ήταν ο προβληματισμός χρήσης στενοζωνικής (narrowband) ή ευρυζωνικής (broadband) λύσης. Τον Μάιο του 1987, απεφασίσθηκε η υιοθέτηση στενοζωνικής TDMA τεχνικής. Με τον τρόπο αυτό, το ψηφιακό ραδιοσύστημα θα μπορούσε να εξυπηρετήσει περισσότερους συνδρομητές συγκρινόμενο με ένα σύστημα το οποίο υιοθετεί FDMA τεχνική, διασφαλίζοντας κατ'αυτόν τον τρόπο της απαιτήσεις για οικονομία του φάσματος συχνοτήτων χωρίς από την άλλη μεριά να επηρεάζεται η ποιότητα παρεχομένων υπηρεσιών.

Εκτός από το GSM έχουν κατασκευασθεί από εταιρείες και άλλα κυψελωτά ραδιοδίκτυα τα οποία δεν υποστηρίζουν τις προδιαγραφές του ETSI. Στην περίπτωση αυτή και στο πλαίσιο της διασύνδεσης αυτών με την τεχνολογία GSM απαιτείται η χρήση ειδικών διεπαφών για την διασφάλιση των ανομορφιών συμβατότητας κατά την μετάβαση της πληροφορίας από την μια τεχνολογία στην άλλη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το GSM παρέχει σύνολο συστάσεων (recommendations) και όχι απαιτήσεις (requirements). Επίσης, το GSM προδιαγράφει με λεπτομέρεια τις απαιτήσεις στις λειτουργικές διαδικασίες που πρέπει να υποστηρίζονται καθώς και τις απαιτήσεις στις διεπαφές (interfaces) που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην ιεραρχική δομή του σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που το χαρακτηρίζει. Οι προδιαγραφές όμως δεν αναφέρονται στο υλικό (hardware) το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση των εμπλεκόμενων οντοτήτων του συστήματος. Ο κυριότερος λόγος που γίνεται αυτό είναι να μην υπάρχουν δεσμεύσεις για τον περιορισμό των σχεδιαστών και κατασκευαστών οι οποίοι εμπλέκονται σε υλικές (hardware) υλοποιήσεις των οντοτήτων του συστήματος. Στο πλαίσιο της διασφάλισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών της μεταδιδόμενης πληροφορίας όλοι οι εμπλεκόμενοι κατασκευαστές θα πρέπει να συμμορφώνονται σύμφωνα με τους κανόνες και τις συστάσεις που καθορίζονται σε σχετικό Μνημόνιο Συνεργασίας (MoU) που αφορά τις υλικές (hardware) υλοποιήσεις του συστήματος GSM. Πρέπει να σημειωθεί ότι με τον τρόπο αυτόν οι Παροχείς Κινητών Υπηρεσιών (Operators) μπορούν να προμηθευτούν αντίστοιχους εξοπλισμούς από ένα μεγάλο εύρος κατασκευαστριών εταιριών.

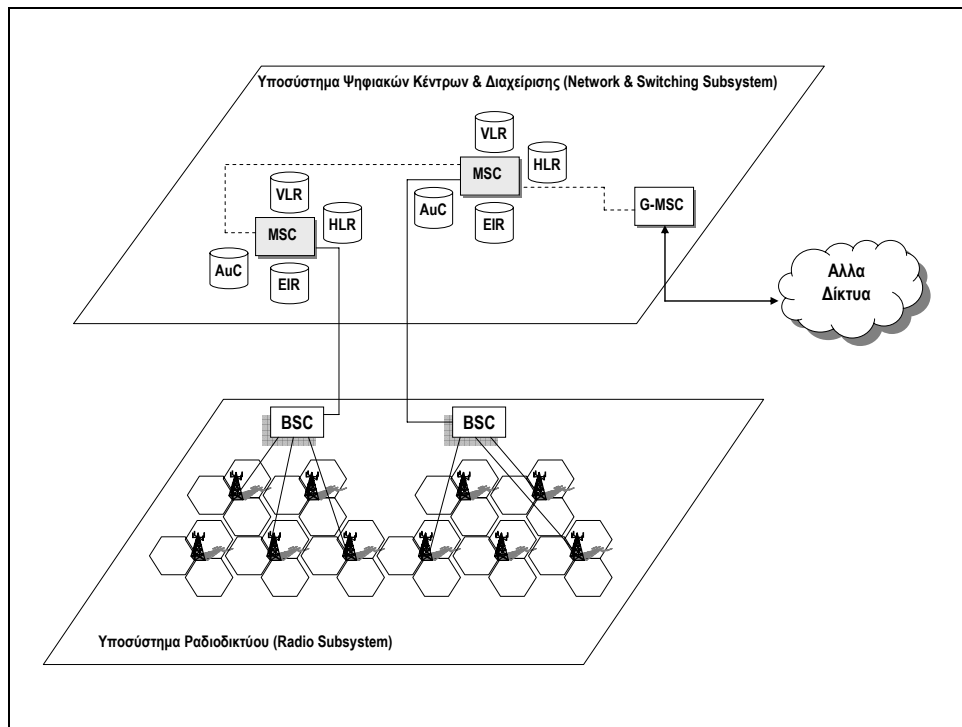
Η αρχιτεκτονική του GSM

Το δίκτυο GSM χαρακτηρίζεται από μια ιεραρχική δομή και απαρτίζεται από τρία κύρια επίπεδα (Σχήμα 2). Το πρώτο επίπεδο αφορά το Σύστημα του Σταθμού Βάσης (Base Station System – BSS), το δεύτερο επίπεδο αφορά το Σύστημα Μεταγωγής (Switching System – SS) και το τρίτο επίπεδο αφορά το Σύστημα Λειτουργίας και Υποστήριξης (Operation & Support System – OSS).



Σχήμα 2: Ιεραρχική δομή του δικτύου GSM

Στην διεθνή βιβλιογραφία, η αρχιτεκτονική εμφανίζεται και με την δομή που δίδεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3: Ιεραρχική δομή του δικτύου GSM

Όπου:

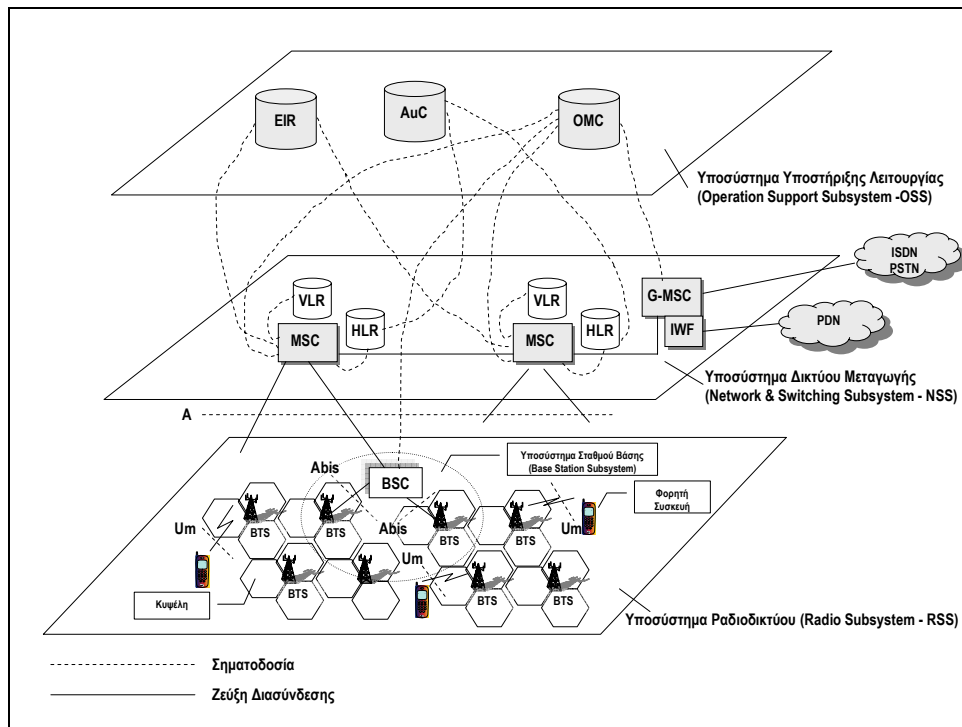
- Υποσύστημα Δικτύου Μεταγωγής (Network & Switching Subsystem – **NSS**) και Υποσύστημα Υποστήριξης Λειτουργίας (Operation Support Subsystem -**OSS**):

Τα υποσυστήματα αυτά περιλαμβάνουν όλο το υλικό και λογισμικό προκειμένου να υποστηρίζονται όλες τις διαδικασίες μεταγωγής και ενσωματώνει και τις διαδικασίες διαχείρισης του δικτύου

- Υποσύστημα Ραδιοδικτύου (Radio Subsystem - **RSS**):

Το υποσύστημα αυτό περιλαμβάνει όλο τον αναγκαίο ραδιο-εξοπλισμό προκειμένου να υποστηρίζονται όλες τις διαδικασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο ραδιοδίκτυο.

Στο σχήμα 4, δείχνονται με περισσότερη λεπτομέρεια οι διάφορες μονάδες, υποσυστήματα και διεπαφές του δικτύου GSM.



Σχήμα 4: Ιεραρχική δομή του δικτύου GSM

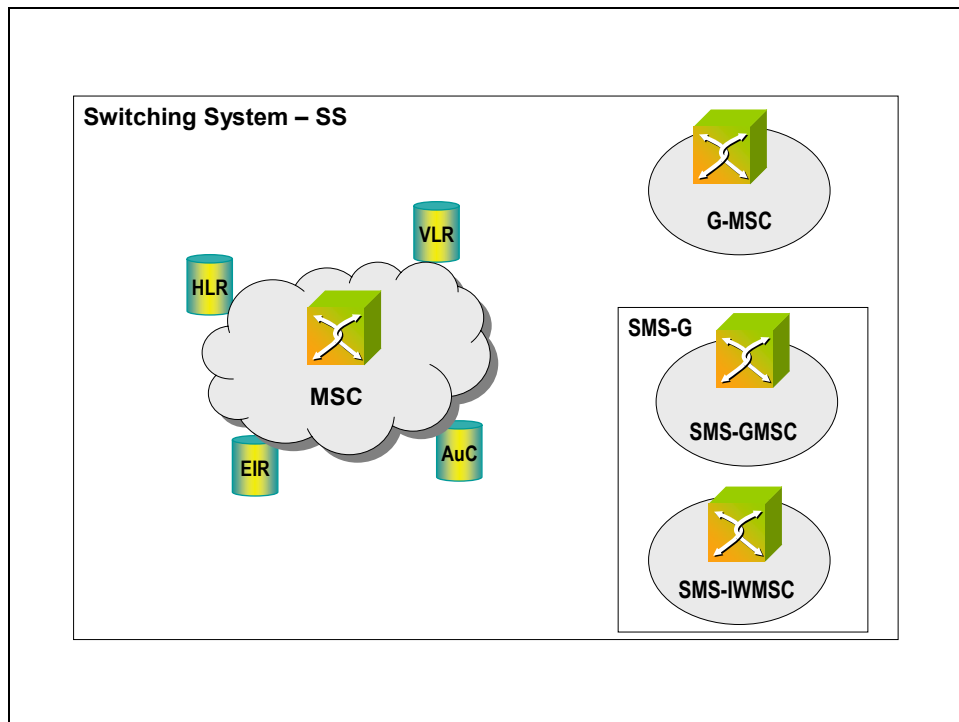
Σύστημα Μεταγωγής (Switching System – SS)

Το Σύστημα Μεταγωγής (Σχήμα 5) διαθέτει το αναγκαίο υλικό και λογισμικό προκειμένου να διασφαλίζονται οι διαδικασίες των κλήσεων από και πρὸς τους συνδρομητές καθώς και οι οποιοσδήποτε διαδικασίες οι οποίες σχετίζονται με τους συνδρομητές. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τις παρακάτω οντότητες:

- **Ψηφιακό Κέντρο (Mobile Switching Center -MSC):** Ο ρόλος του κέντρου αυτού είναι να διασυνδέει τον/τους Σταθμούς Βάσης με άλλα ψηφιακά κέντρα του ίδιου δικτύου καθώς και με το Σύστημα Λειτουργίας και Υποστήριξης. Με βάση την διασφάλιση των διασυνδέσεων αυτών, μπορούν να υποστηρίζονται οι αναγκαίες λειτουργίες μεταγωγής του συστήματος, ο έλεγχος των κλήσεων οι οποίες πραγματοποιούνται μεταξύ των κινητών συνδρομητών του ίδιου Παρόχου ή διαφορετικών Παρόχων καθώς και μεταξύ κινητών συνδρομητών με συνδρομητές του Σταθερού Δικτύου. Επίσης, υποστηρίζει τις διαδικασίες που αφορούν την διεπαφικότητα του δικτύου και την υποστήριξη των αναγκών σημάτων σηματοδοσίας (signaling).
- **Οικεία Βάση Δεδομένων (Home Location Register -HLR):** Η Οικεία Βάση Δεδομένων είναι μια βάση δεδομένων όπου δυναμικά και μόνιμα καταχωρούνται στοιχεία των συνδρομητών. Επομένως η βάση αυτή χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και την διαχείριση των δεδομένων των συνδρομητών. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία που είναι αποθηκευμένα, αφορούν τις υπηρεσίες στις οποίες είναι εγγεγραμμένοι οι συνδρομητές, πληροφορίες σχετιζόμενες με την γεωγραφική θέση των συνδρομητών, κ.λ.π. Χαρακτηριστικό της HLR είναι η χωρητικότητά της και οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα για την προσβασιμότητά της κατά την φάση των κλήσεων των συνδρομητών.
- **Βάση Δεδομένων Επισκεπτών (Visitor Location Register -VLR):** Η βάση αυτή περιέχει πληροφορίες που αφορούν τους συνδρομητές, η αποθήκευση είναι προσωρινή και για

όσο χρονικό διάστημα είναι αναγκαίο από το MSC να εξυπηρετήσει τους επισκέπτες συνδρομητές. Η VLR συνδέεται με το MSC και παίρνει τα αναγκαία δεδομένα του συνδρομητή από την HLR σύμφωνα με τις απαιτήσεις της σηματοδότησης. Επομένως, όταν ένας συνδρομητής περιάγεται από ένα ψηφιακό κέντρο σε ένα νέο ψηφιακό κέντρο, τότε τα δεδομένα του μεταφέρονται από την μια VLR στην νέα VLR με ενεργοποίηση των κατάλληλων σημάτων σηματοδότησης και μέσω της HLR.

- Κέντρο Πιστοποίησης (authentication center - AuC): Το κέντρο (μονάδα) αυτό παρέχει τις παραμέτρους πιστοποίησης και κρυπτογραφίας προκειμένου να ταυτοποιείται (διακρίβώνεται) η ταυτότητα του συνδρομητή και να διασφαλίζεται η εμπιστευτικότητα των κλήσεων των συνδρομητών. Τέλος, το AuC με τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτό, διασφαλίζει το όλο δίκτυο από πιθανές ανεπιθύμητες δόλιες καταστάσεις που μπορούν να προκληθούν κατά την ώρα λειτουργίας του συστήματος.
- Βάση Δεδομένων καταχώρησης Ταυτότητας Εξοπλισμού (equipment identity register - EIR): Η βάση αυτή, περιέχει πληροφορία η οποία σχετίζεται με την ταυτότητα της φορητής συσκευής. Ο ρόλος της βάσης αυτής είναι σημαντικός διότι μπορεί να εμποδίσει να γίνονται κλήσεις από κλεμμένες και από μη πιστοποιημένες φορητές συσκευές. Πρέπει να σημειωθεί ότι το AuC και η EIR, μπορούν να θεωρηθούν σαν stand-alone κόμβοι του δικτύου ή μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας συνδισσόμενος AuC/HLR κόμβος.
- Gateway Mobile Switching Centre (GMSC): Το GMSC θεωρείται ότι είναι το ψηφιακό κέντρο πύλη προς άλλα δίκτυα (κινητής τηλεφωνίας ή σταθερά δίκτυα). Επίσης, το κέντρο αυτό είναι υπεύθυνο για την λήψη της ταυτότητας περιαγωγής MSRN (Mobile Station Roaming Number) από την HLR και βασίζεται στην ταυτότητα MSISDN (Mobile Station ISDN number) του κινητού συνδρομητή.
- Πύλη Υπηρεσίας Αποστολής Μικρών Μηνυμάτων (SMS Gateway – [SMS-G]): Η Πύλη SMS αναφέρεται ουσιαστικά σε δύο πύλες της υπηρεσίας μικρών μηνυμάτων οι οποίες καθορίζονται σύμφωνα με το πρότυπο GSM. Με βάση επομένως το πρότυπο GSM υπάρχουν δύο πύλες οι οποίες χειρίζονται τα δημιουργούμενα από τους συνδρομητές μικρά μηνύματα και τα οποία κατευθύνονται σε διαφορετικές διευθύνσεις. Η πρώτη πύλη SMS-GMSC (Short Message Service Gateway Mobile Switching Centre) είναι υπεύθυνη για την αποστολή μικρών μηνυμάτων τα οποία θα πρέπει να αποσταλούν σε έναν συνδρομητή (τα μηνύματα αυτά προέρχονται από συνδρομητές εκτός δικτύου) και η δεύτερη πύλη SMS-IWMSC (Short Message Service Inter-Working Mobile Switching Centre) είναι υπεύθυνη για να χειρίζεται μικρά μηνύματα τα οποία δημιουργούνται από έναν συνδρομητή εντός του δικτύου. Τέλος, ο ρόλος του SMS-G, είναι παρόμοιος με αυτόν του GMSC, με μόνη διαφορά ότι αναφέρεται σε διαχείριση δρομολόγησης της υπηρεσίας μικρών μηνυμάτων και όχι για πληροφορία που αναφέρεται σε φωνή ή δεδομένα.

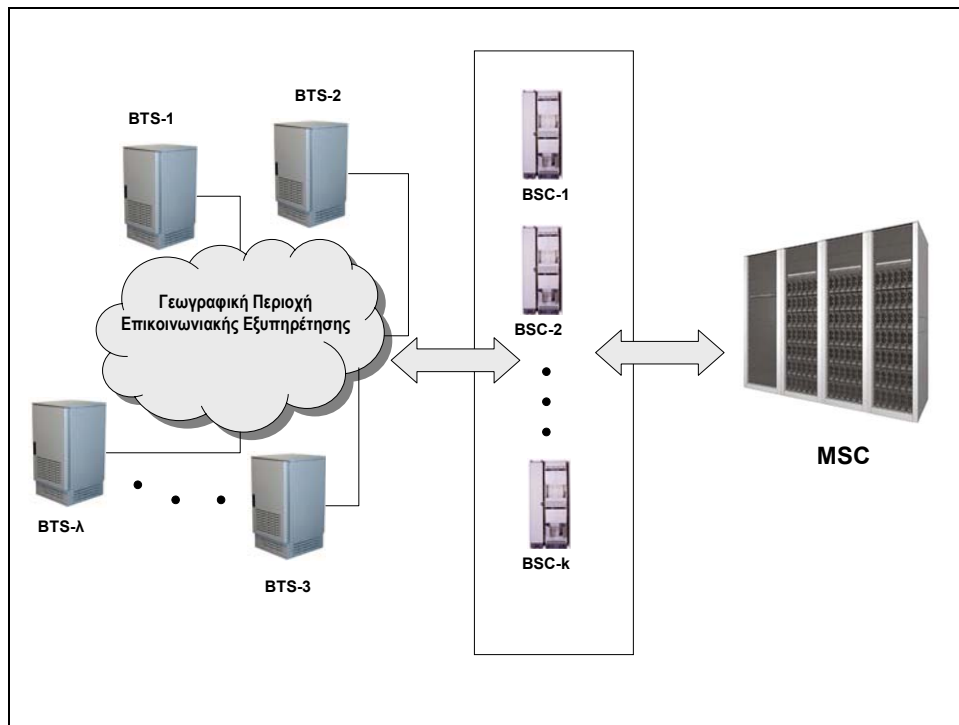


Σχήμα 5: Σύστημα Μεταγωγής (Switching System – SS)

Σύστημα Σταθμού Βάσης (Base Station System - BSS)

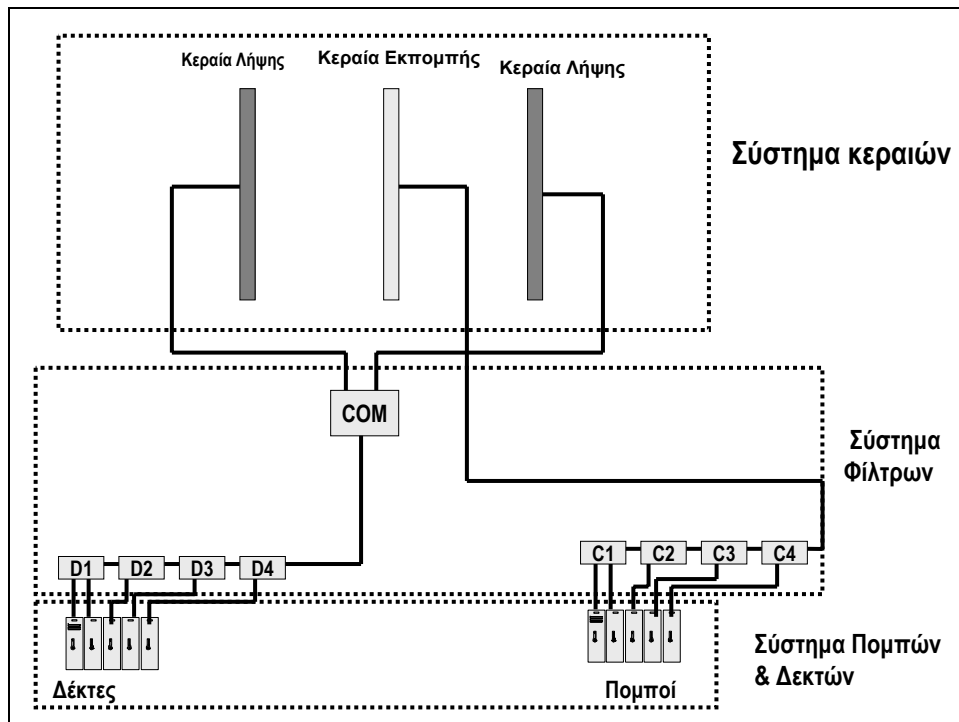
Τα βασικά υποσυστήματα του BSS είναι οι Ελεγκτήρες του Σταθμού Βάσης (Base Station Controlers – BSCs) και οι Σταθμοί Εκπομπής & Λήψης (Base Transceiver Stations – BTSs). Οι οντότητες αυτές του GSM δικτύου επεξηγούνται παρακάτω:

- Ελεγκτήρας Σταθμού Βάσης (Base Station Controlers – BSCs): Η μονάδα αυτή παρέχει και υποστηρίζει όλες τις λειτουργίες ελέγχου καθώς και τις φυσικές διασυνδέσεις μεταξύ του Ψηφιακού Κέντρου (MSC) και του Συστήματος Εκπομπής & Λήψης (BTS). Στην πραγματικότητα είναι ένα διακοπτικό στοιχείο (Σχήμα 6) υψηλής χωρητικότητας προκειμένου να δρομολογεί διάφορες λειτουργικές διαδικασίες (π.χ μεταπομπή, έλεγχος στάθμης ισχύος εκπομπής των πομπών του BTS και έλεγχος συνδρομητικών δεδομένων που αφορούν τις εμπλεκόμενες κυψέλες). Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας BSC έχει την δυνατότητα να ελέγχει έναν αριθμό από BTSs (π.χ μπορεί να ελέγξει μέχρι 84 πομποδέκτες και να υποστηρίξει μέχρι 500 erlangs συνδρομητικό φορτίο κίνησης) και ένα MSC μπορεί να ελέγχει έναν αριθμό BSCs.



Σχήμα 6: Διασύνδεση BSC με BTSs και MSC

- Σταθμός Εκπομπής & Λήψης (Base Transceiver Station – BTS): Η μονάδα αυτή (Σχήμα 7) είναι στην πραγματικότητα η ραδιοεπαφή του συστήματος GSM με τις φορητές συσκευές των κινητών συνδρομητών. Ένας BTS αποτελείται από ένα σύνολο πομποδεκτών και εξυπηρετεί τους συνδρομητές μιας κυψέλης. Ο αριθμός των πομποδεκτών εξαρτάται από τον αριθμό των συχνοτήτων που καταχωρούνται σε μια συγκεκριμένη κυψέλη. Επίσης, ένας BTS συνδέεται και με το αντίστοιχο κεραιοσύστημα το οποίο φωτίζει ηλεκτρομαγνητικά την γεωγραφική περιοχή της αντίστοιχης κυψέλης. Πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι πομποί και όλοι οι δέκτες του BTS συνδέονται με το ίδιο κεραιοσύστημα. Τέλος, ένας αριθμός από BTSs ελέγχονται από έναν BSC.



Σχήμα 7: Διασύνδεση πομποδεκτών του BTS με το αντίστοιχο κεραιοσύστημα

Με βάση τα ανωτέρω και στο πλαίσιο της γενικότερης αρχιτεκτονικής του δικτύου GSM, διακρίνονται οι παρακάτω γενικές περιοχές του συγκεκριμένου δικτύου.

Περιοχή Κυψέλης (Cell Area):

Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί στην γεωγραφική περιοχή της αντίστοιχης κυψέλης, η οποία χαρακτηρίζεται από την γενική της ταυτότητα Cell Global Identity – CGI). Με δεδομένο ότι η γεωγραφική περιοχή επικοινωνιακής εξυπηρέτησης χωρίζεται σε κυψέλες, η κάθε κυψέλη έχει την δική της μοναδική ταυτότητα. Συγκεκριμένα, η γενική ταυτότητα μιας κυψέλης (CGI) είναι:

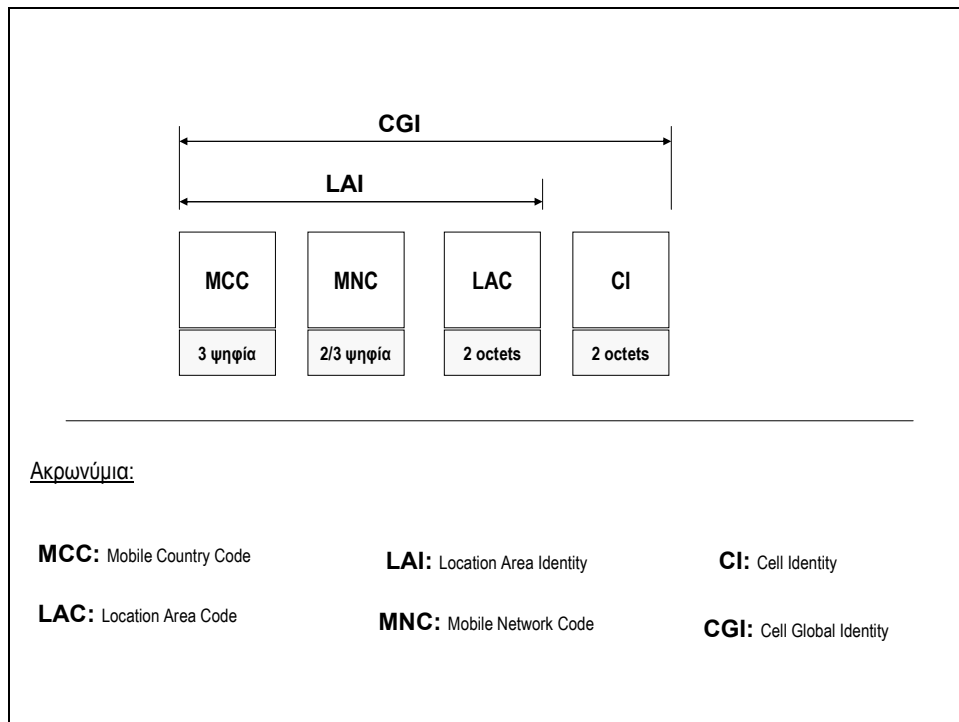
$$CGI = LAI + CI$$

Όπου:

LAI = η ταυτότητα της περιοχής θέσης

CI = η ταυτότητα της κυψέλης σε μια περιοχή θέσης (LA)

Η δομή της γενικής ταυτότητας μιας κυψέλης παρίσταται με το παρακάτω διάγραμμα στο σχήμα 8:

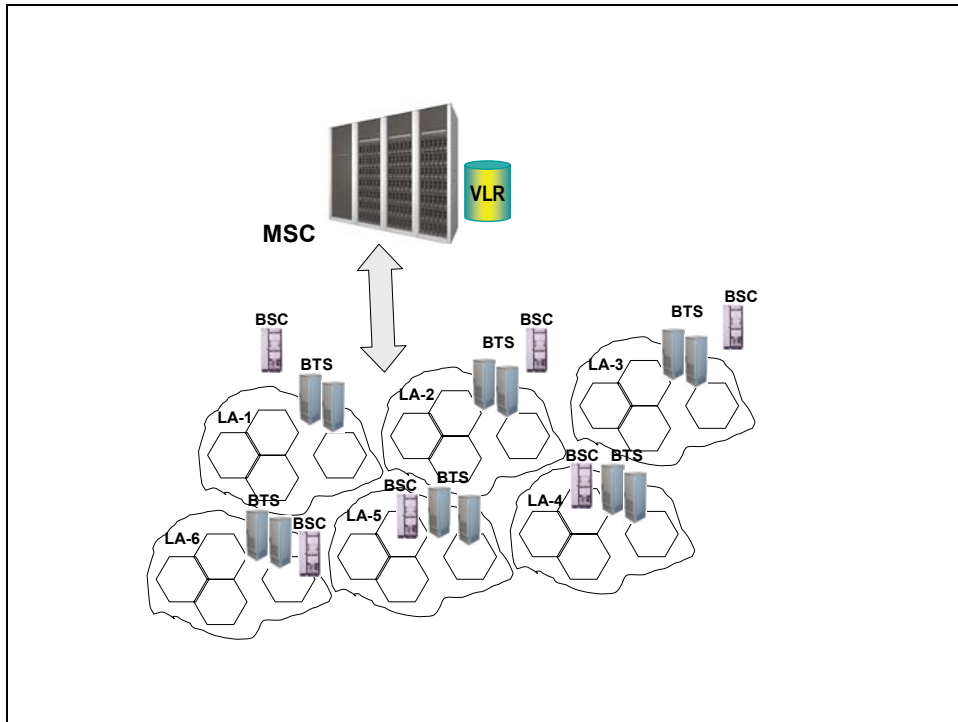


Σχήμα 8: Δομή CGI

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ταυτότητα CGI χρησιμοποιείται από τους παρόχους κινητών επικοινωνιών για υποστήριξη υπηρεσιών εντοπισμού θέσης (Location-based services).

Περιοχή Θέσης (Location Area):

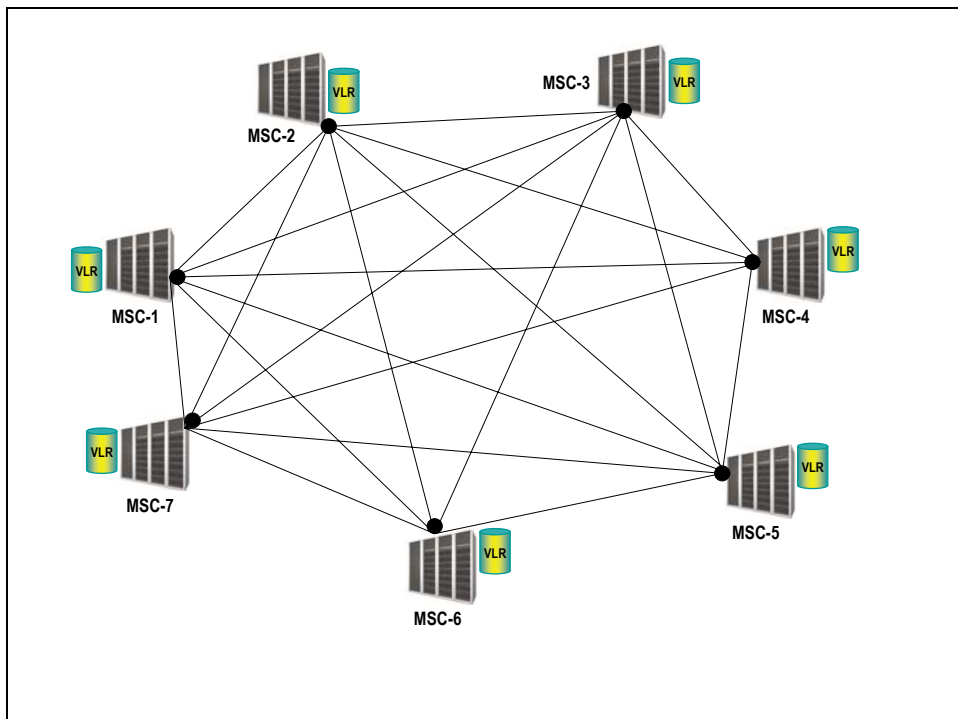
Κάθε γεωγραφική υποπεριοχή του δικτύου κινητής τηλεφωνίας έχει έναν κωδικό θέσης, ο οποίος ονομάζεται Ταυτότητα Θέσης (Location Area Identity – LAI). Στην βιβλιογραφία η ταυτότητα LAI αναφέρεται και σαν Ταυτότητα Περιοχής Δρομολόγησης (Routing Area Identity – RAI). Η ταυτότητα αυτή είναι διεθνής και απαρτίζεται από ένα σύνολο ψηφίων τα οποία καταχωρούνται στις οντότητες MCC, MNC και LAC (σχήμα 8). Στο πλαίσιο των επικοινωνιών, η ταυτότητα LAI μεταφέρεται μέσω του Καναλιού Ελέγχου Broadcast Control Channel (BCCH). Η φορητή συσκευή αναγνωρίζει την ταυτότητα LAI και την αποθηκεύει στην κάρτα Subscriber Identity Module (SIM). Τέλος, για οποιαδήποτε αλλαγή της γεωγραφικής περιοχής θέσης (LA) θα πρέπει να ενεργοποιείται η απαίτηση (request) για νέα ενημέρωση της περιοχής θέσης (Σχήμα 9) στην οποίαν έχει μετακινηθεί ο κινητός συνδρομητής. Επομένως, η Περιοχή Θέσης απαρτίζεται από έναν αριθμό κυψελών και κάθε Περιοχή Θέσης εξυπηρετείται από έναν ή και περισσότερους ελεγκτήρες σταθμών βάσης (BSCs) και ελέγχεται από ένα ψηφιακό κέντρο (MSC).



Σχήμα 9: Περιοχή Θέσης (Location Area)

Περιοχή Μεταγωγής (Switching Area):

Περιοχή μεταγωγής είναι η ενεργός περιοχή του δικτύου η οποία ελέγχεται από ένα ψηφιακό κέντρο (MSC). Επομένως, το πλήρες δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ελέγχεται από έναν αριθμό ψηφιακών κέντρων τα οποία διασυνδέονται μεταξύ τους. Η πλέον ενδεδειγμένη τοπολογία διασύνδεσης των ψηφιακών κέντρων είναι η τοπολογία πλέγματος (Mesh Topology) (Σχήμα 10).

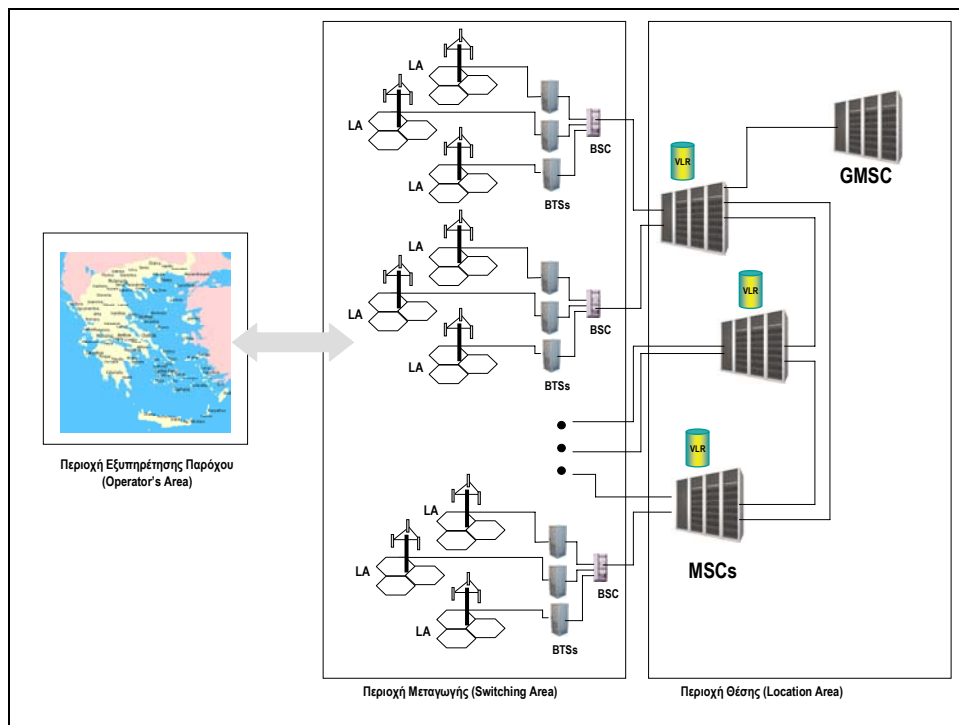


Σχήμα 10: Περιοχή Μεταγωγής (Switching Area)

Περιοχή Εξυπηρέτησης Παρόχου (Operator's Area):

Η Περιοχή Εξυπηρέτησης του Παρόχου, είναι η γεωγραφική περιοχή στην οποία εγκαθίστανται και λειτουργεί το αντίστοιχο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και εξυπηρετεί τους αντίστοιχους συνδρομητές του συγκεκριμένου Παρόχου.

Το γενικό διάγραμμα που δείχνει τις περιοχές (θέσης, μεταγωγής και παρόχου) ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας τεχνολογίας GSM, αποτυπώνεται στο σχήμα 11.



Σχήμα 11: Γενικό διάγραμμα περιοχών (θέσης, μεταγωγής και Παρόχου)

Προδιαγραφές Δικτύου GSM

Το δίκτυο GSM, με βάση το αντίστοιχο πρότυπο του ETSI, λειτουργεί σε δύο εκδόσεις. Στη πρώτη έκδοση οι συχνότητες λειτουργίας είναι στην περιοχή των 900 MHz (GSM 900) και στην δεύτερη έκδοση οι αντίστοιχες συχνότητες λειτουργίας είναι στην περιοχή των 1800 MHz (GSM 1800).

Στον πίνακα 1, δείχνονται τα κύρια τεχνικά στοιχεία των δύο εκδόσεων του GSM

Πίνακας 1: Κύρια τεχνικά στοιχεία των GSM 900 και GSM1800

Τεχνικές Παράμετροι		GSM 900		GSM 1800	
Συχνότητες (MHz)	Λειτουργίας	Κατερχόμενη ζεύξη (down-link)	Ανερχόμενη ζεύξη (up-link)	Κατερχόμενη ζεύξη (down-link)	Ανερχόμενη ζεύξη (up-link)
		935.2–959.8	890.2–914.8	1805–1880	1710–1785
Σύνολο (καναλιών)	Διαύλων	1 - 124		1 - 374	
Συχνотική Ζωνών Λειτουργίας	Απόσταση	45 MHz		95 MHz	
Απόσταση Επικοινωνίας	Διαύλων	200 KHz		200 KHz	
Διαμόρφωση		GMSK		GMSK	
Ρυθμός Μετάδοσης		9.6 kbit/s		43.2 kbit/s (στη κατερχόμενη ζεύξη) και 14.4 kbit/s (στην ανερχόμενη ζεύξη)	
Τεχνική Πρόσβασης		FDMA/TDMA		FDMA/TDMA	
Αριθμός Χρονοθυρίδων		8 ανά TDMA πλαίσιο		8 ανά TDMA πλαίσιο	
Κωδικοποιητής Φωνής		Γραμμικός Κωδικοποιητής: Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction [RPE-LPE]		Γραμμικός Κωδικοποιητής: Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction [RPE-LPE]	

Υπηρεσίες υποστηριζόμενες από το δίκτυο GSM

Το δίκτυο GSM υποστηρίζει υπηρεσίες φωνής οι οποίες ονομάζονται τηλε-υπηρεσίες [teleservices] και δεδομένων (οι οποίες ονομάζονται κομιστικές υπηρεσίες [bearer services]).

- **dual-tone multifrequency (DTMF):** η υπηρεσία αυτή είναι σηματοδοσία διπλού τόνου και χρησιμοποιείται για θέματα ελέγχου μέσω του τηλεφωνικού δικτύου (π.χ έλεγχος συστήματος από απόσταση)
- **facsimile group III:** η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιείται για μετάδοση πληροφορίας μέσω τηλεομοιοτυπίας (C.C.I.T.T Group 3). Συγκεκριμένα, με την υπηρεσία αυτή δίδεται η δυνατότητα της σύνδεσης και επικοινωνίας με κάθε αναλογικό fax στο δίκτυο.
- **short message services:** η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα αποστολής από φορητή συσκευή και λήψης σε φορητή συσκευή βραχέων μηνυμάτων (μέχρι 160 χαρακτήρων). Σε περίπτωση που η φορητή συσκευή του συνδρομητή είναι

απενεργοποιημένη ή ευρεθεί εκτός δικτύου, δίδεται η δυνατότητα αποθήκευσης του μηνύματος και προώθησης αυτού όταν η φορητή συσκευή του συνδρομητή αντίστοιχα ενεργοποιηθεί ή ενταχθεί εντός δικτύου. Επίσης, η υπηρεσία αυτή διασφαλίζει την τελική παράδοση (λήψη) του συγκεκριμένου μηνύματος.

- **cell broadcast:** η υπηρεσία αυτή αφορά την ευρυεκπομπή βραχέως μηνύματος σε μια κυψέλη. Στην περίπτωση αυτή ένα μήνυμα μέχρι 93 χαρακτήρες μήκους μπορεί να μεταδοθεί και να ληφθεί σε όλους και από όλους τους συνδρομητές οι οποίοι κινούνται σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Εφαρμογές της υπηρεσίας αυτής αφορούν περιπτώσεις ενημέρωσης των οδηγών σε θέματα κυκλοφοριακής συμφόρησης ή και ανακοίνωσης ατυχημάτων.
- **voice mail:** η υπηρεσία αυτή είναι φωνητική υπηρεσία η οποία προέρχεται από μια απαντητική μηχανή ελεγχόμενη από τον συνδρομητή. Οι αντίστοιχες φωνητικές κλήσεις προωθούνται στο φωνητικό ταχυδρομείο όπου ο συνδρομητής ελέγχει τα φωνητικά μηνύματά του με χρήση ειδικού κωδικού.
- **fax mail:** η υπηρεσία αυτή αφορά την δυνατότητα που μπορεί να έχει ο συνδρομητής να λαμβάνει fax. Τα αντίστοιχα μηνύματα αποθηκεύονται σε ένα κέντρο, όπου ο συνδρομητής μπορεί να τα λαμβάνει χρησιμοποιώντας ειδικό κωδικό στον αντίστοιχο αριθμό fax.

Παρακάτω αναφέρεται ένα σύνολο από συμπληρωματικές υπηρεσίες οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν από το δίκτυο GSM. Οι υπηρεσίες αυτές αφορούν υπηρεσίες φωνής καθώς και υπηρεσίες δεδομένων.

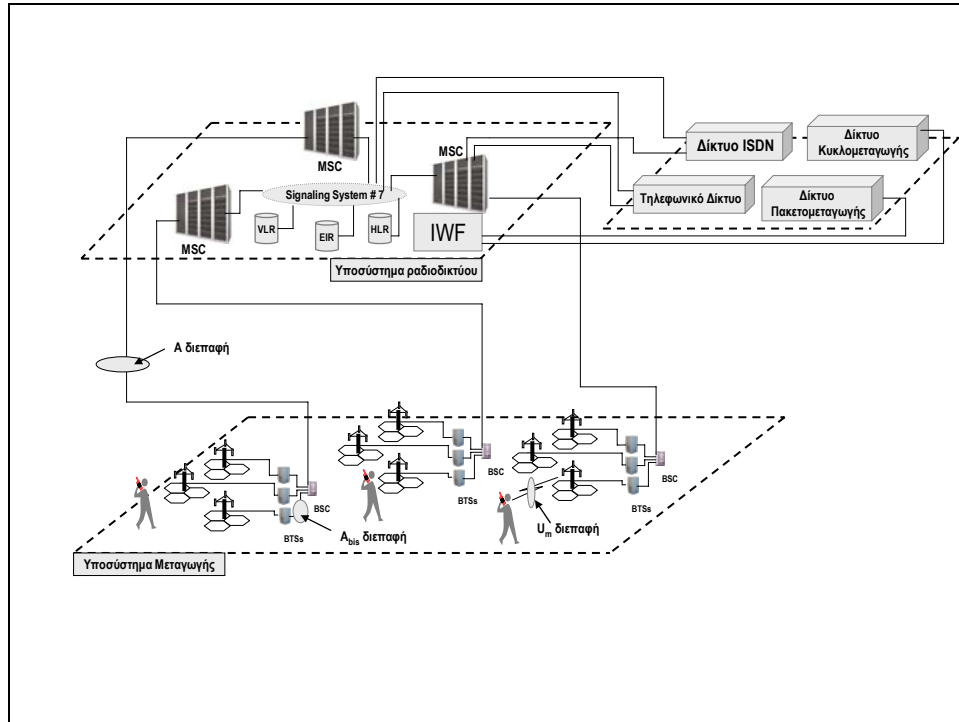
- **call forwarding:** η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στον συνδρομητή να προωθεί τις εισερχόμενες κλήσεις του σε έναν άλλον συνδρομητικό αριθμό εάν η φορητή του συσκευή είναι κατηλειμένη (busy) ή για κάποιο λόγο δεν μπορεί να απαντήσει στην συγκεκριμένη εισερχόμενη κλήση.
- **barring of outgoing calls:** η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα φραγής όλων των εξερχομένων κλήσεων.
- **barring of incoming calls:** η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα φραγής όλων των εισερχομένων κλήσεων. Στην περίπτωση αυτή δίνεται η δυνατότητα της φραγής των εισερχομένων κλήσεων ακόμη και στην περίπτωση όπου ο συνδρομητής περιάγεται σε άλλο δίκτυο.
- **advice of charge (AoC):** η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στον συνδρομητή να εκτιμά την χρέωση των κλήσεων που πραγματοποιεί. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με την συγκεκριμένη υπηρεσία, ο συνδρομητής έχει την δυνατότητα λήψης άμεσης πληροφορίας σχετικά με την χρέωση συγκεκριμένων κλήσεων. Στην περίπτωση όπου μεταδίδονται δεδομένα, η συγκεκριμένη υπηρεσία προσφέρει γνώση στον ασυνδρομητή σχετικά με αντίστοιχες χρεώσεις βάση του καταμετρηθέντος χρόνου μετάδοσης.
- **call hold:** η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στον συνδρομητή να διακόπτει μια κλήση η οποία ευρίσκεται σε εξέλιξη και ακολούθως να την αποκαθιστά. Η υπηρεσία

αυτή αφορά την περίπτωση μετάδοσης φωνής και όχι την περίπτωση μετάδοσης δεδομένων.

- **call waiting:** η υπηρεσία αυτή, δίνει την δυνατότητα στον συνδρομητή για να του γνωστοποιηθεί ότι πιθανά υφίστανται κάποια εισερχόμενη κλήση ενώ ευρίσκεται σε εξέλιξη επικοινωνίας με άλλον συνδρομητή. Ο συνδρομητής μπορεί να επιλέξει στο να απαντήσει ή και να αγνοήσει την συγκεκριμένη εισερχόμενη κλήση. Η αναμονή κλήσης εφαρμόζεται σε όλα τα δίκτυα τεχνολογίας GSM χρησιμοποιώντας συνδέσεις κυκλο-μεταγωγής (circuit-switched connections).
- **multiparty service:** η υπηρεσία αυτή, δίνει την δυνατότητα σε έναν κινητό συνδρομητή να αποκαταστήσει πολυμερή επικοινωνία. Συγκεκριμένα, μπορεί να ενεργοποιήσει ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ τριών ή και έξ άλλων συνδρομητών. Η υπηρεσία αυτή αφορά μετάδοση φωνής και όχι μετάδοση δεδομένων.
- **calling line identification presentation/restriction:** η υπηρεσίες αυτές αναφέρονται στον ISDN αριθμό του καλούντος συνδρομητή. Η πρώτη υπηρεσία (presentation) δίνει την δυνατότητα να εμφανίζεται ο ISDN αριθμός του καλούντος και η δεύτερη υπηρεσία (restriction) δίνει την δυνατότητα της απόκρυψης του ISDN αριθμού του καλούντος.
- **closed user groups (CUGs):** η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα της οργάνωσης για επικοινωνία μιας κλειστής ομάδος συνδρομητών. Η επικοινωνία αυτή λαμβάνει χώρα μεταξύ συγκεκριμένων συνδρομητών.

Διεπαφές του δικτύου GSM

Στο σχήμα 12, δείχνεται η αρχιτεκτονική του δικτύου GSM, όπου επισημαίνονται και οι αντίστοιχες διεπαφές που χρησιμοποιούνται.



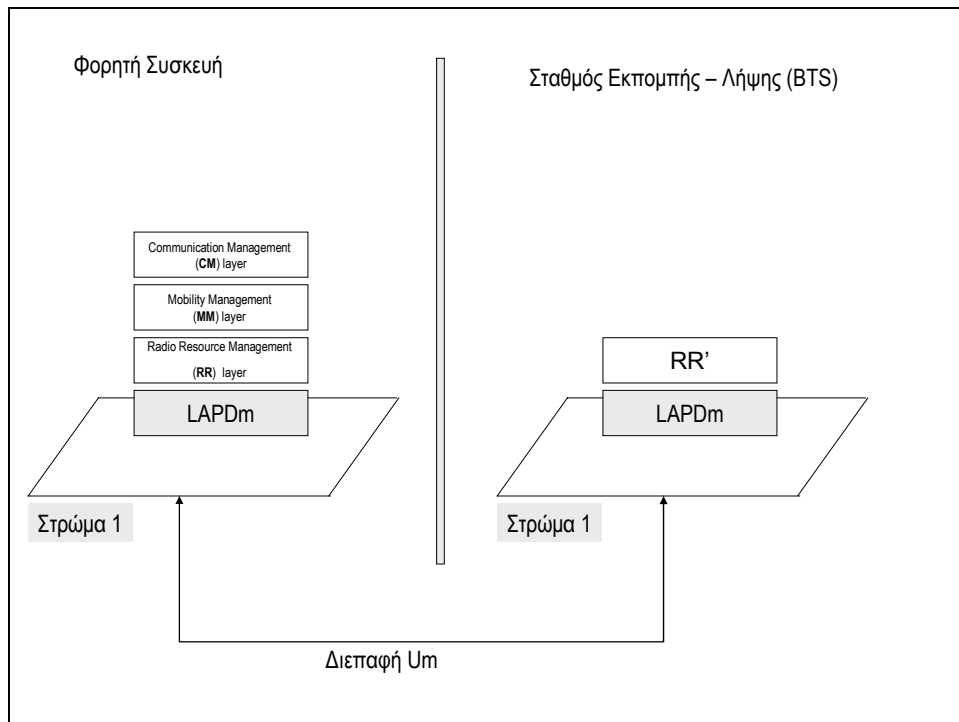
Σχήμα 12: Διεπαφές δικτύου GSM

Διεπαφή Αέρος Um

Η διεπαφή αυτή υφίσταται μεταξύ της φορητής συσκευής και του συστήματος του Σταθμού Βάσης. Με τη συγκεκριμένη διεπαφή υποστηρίζονται οι υπηρεσίες μετάδοσης φωνής και δεδομένων στο ασύρματο κανάλι κατά την επικοινωνία φορητής συσκευής με τον Σταθμό Βάσης. Η ονομασία Um προέρχεται από το αναλογικό τμήμα της φορητής συσκευής (mobile – m) στη διεπαφή U του ISDN και καθορίζεται στις σειρές των προδιαγραφών του GSM συστήματος GSM 04.xx and 05.xx. Η διεπαφή Um μπορεί να υποστηρίξει και τις επικοινωνίες στο δίκτυο GPRS.

Η συγκεκριμένη διεπαφή χρησιμοποιεί το πρωτόκολο LAPDm για τις ανάγκες της σηματοδότησης, για τον έλεγχο των κλήσεων, για την αναφορά των μετρήσεων, για την μεταπομπή, για τον έλεγχο της ισχύος εκπομπής, για την διακρίβωση και την ασφάλεια πρόσβασης, για την ενημέρωση της θέσης, κ.λ.π. Η συνδρομητική κίνηση και η σηματοδότηση στέλνονται σε ριπές διάρκειας 0.577 msec και σε χρονικά διαστήματα μεταξύ ριπών 4.615 msec. Με αυτόν τον τρόπο δομούνται αντίστοιχα πακέτα δεδομένων χρονικής διάρκειας 20 msec εκάστου.

Στο σχήμα 13, δείχνονται τα πρωτόκολα σηματοδότησης του GSM μεταξύ της φορητής συσκευής και του Σταθμού Εκπομπής Λήψης (BTS)



Σχήμα 13: Διεπαφή Um

Όπου:

Communication Management (CM) layer: είναι το στρώμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποκατάσταση των κλήσεων οι οποίες ενεργοποιούνται μετά από απαίτηση των χρηστών. Οι βασικές λειτουργίες που επιτελούνται στο στρώμα αυτό είναι: (α) ο έλεγχος της κλήσης, που διαχειρίζεται τις υπηρεσίες φωνής, (β) διαχείριση των συμπληρωματικών υπηρεσιών, όπου επιτρέπονται τυχόν τροποποιήσεις και έλεγχος αυτών, και (γ) υπηρεσίες βραχέων μηνυμάτων, όπου υποστηρίζονται οι αντίστοιχες υπηρεσίες βραχέων μηνυμάτων σημείου – πρὸς – σημείο (point-to-point short message services).

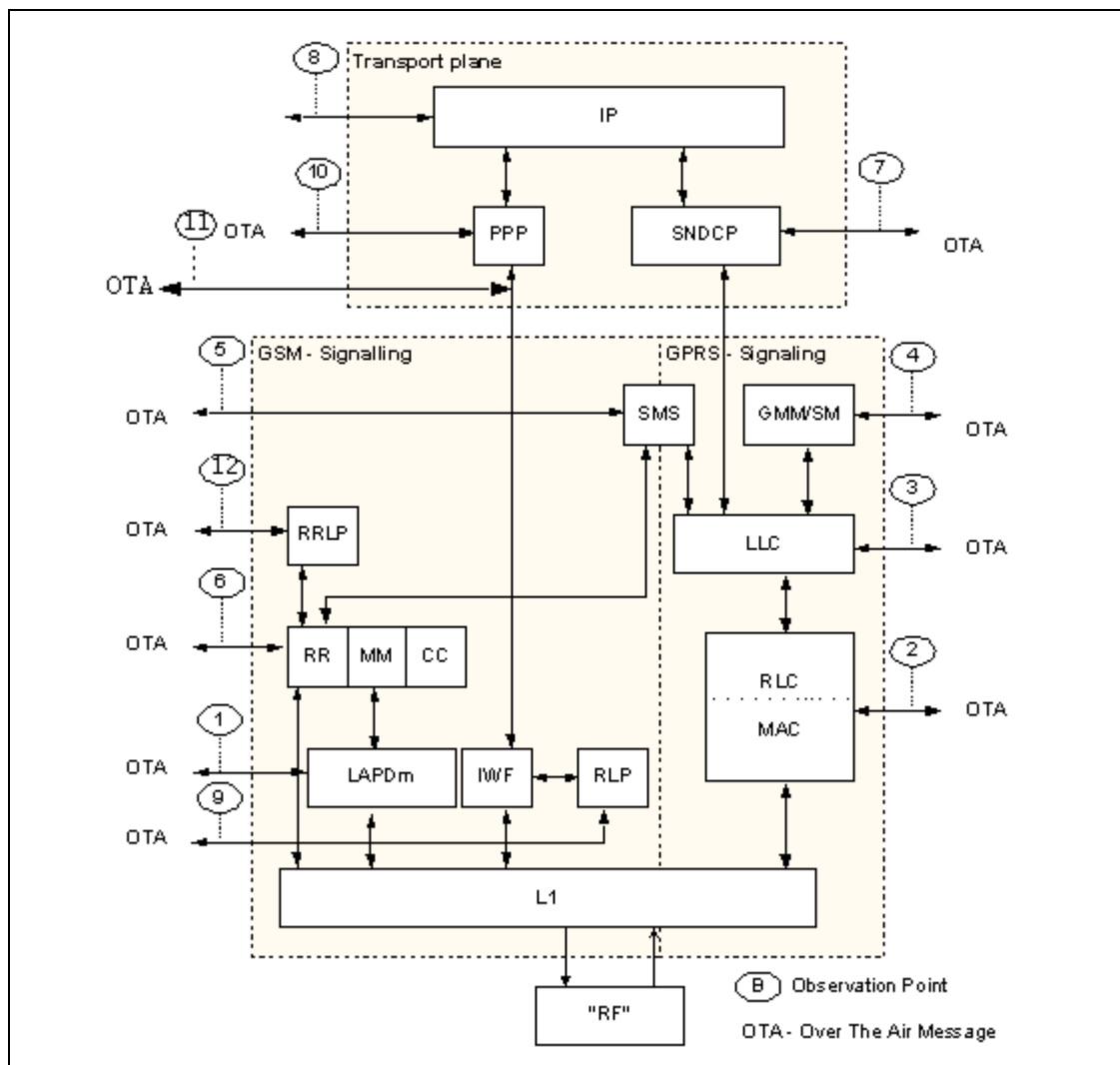
Mobility Management (MM) layer: είναι το στρώμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την διασφάλιση των δεδομένων θέσης καθώς και για την διασφάλιση των διαδικασιών διακρίβωσης και κρυπτογράφησης.

Radio Resource (RR) Management layer: είναι το στρώμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την διασφάλιση της «συνέχειας» και χωρίς διακοπές των επικοινωνιών μεταξύ του ψηφιακού κέντρου (MSC) και της φορητής συσκευής όπου μεταφέρεται η απαραίτητη σηματοδότηση και τα δεδομένα του συνδρομητή. Οι μεταπομπές (handovers) είναι μέρος των αρμοδιοτήτων του συγκεκριμένου στρώματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες λειτουργίες ελέγχονται από τον ελεγκτήρα του σταθμού βάσης (BSC), τον σταθμό εκπομπής – λήψης (BTS) και από την φορητή συσκευή, επίσης κάποιες λειτουργίες ελέγχονται από το ψηφιακό κέντρο (MSC) (ειδικά στην περίπτωση των μεταπομπών που λαμβάνουν χώρα σε επίπεδο ψηφιακού κέντρου [inter-MSC handover]).

RR': είναι το στρώμα το οποίο είναι υπεύθυνο για ένα τμήμα της λειτουργικότητας του στρώματος RR και η διαχείρισή του ελέγχεται από τον σταθμό εκπομπής – λήψης (BTS).

LAPDm: το πρωτόκολλο αυτό είναι μια τροποποιημένη έκδοση του πρωτοκόλλου LAPD (Link Access Protocol for the ISDN D-channel). Οι κύριες τροποποιήσεις αφορούν την διασφάλιση του ισχυρού συγχρονισμού που απαιτείται για την τεχνική πρόσβασης TDMA και για την προστασία του μηχανισμού ελέγχου των σφαλμάτων (bit error) που απαιτείται για την διεπαφή αέρος.

Στο σχήμα 14, δείχνονται με λεπτομέρεια τα εμπλεκόμενα πρωτόκολλα για στην σηματοδοσία του GSM.



Σχήμα 14: Πρωτόκολλα για την σηματοδοσία του GSM

Χαρακτηριστικά Ασφάλειας της διεπαφής Um

Οι προδιαγραφές σχετικά με την ασφάλεια της πληροφορίας όταν διέρχεται από την διεπαφή Um περιγράφονται στην σύσταση GSM 02.09

Η ασφάλεια, αναφέρεται στα παρακάτω στοιχεία:

- πιστοποίηση των συνδρομητών από το δίκτυο
- κρυπτογράφηση στο κανάλι

- ο ανωνυμία των διαδικασιών

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διεπαφή Um, υποστηρίζει και την μεταπήδηση συχνότητας (frequency hopping). Η διαδικασία της μεταπήδησης συχνότητας περιγράφεται στη σύσταση GSM 05.01 Section 6, αλλά δεν έχει να κάνει με θέματα που άπτονται της ασφαλείας. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη διαδικασία πρακτικό ενδιαφέρον στο θέμα της επιβολής πρόσθετων στοιχείων, οπότε εμφανίζεται μια αξιόλογη πολυπλοκότητα στην ζεύξη Um, η οποία πρέπει να διασφαλισθεί. Επίσης, η πιστοποίηση και η κρυπτογράφηση εξαρτώνται από την κλειδα ασφαλείας "Ki" η οποία είναι μοναδική για κάθε συνδρομητή. Αντίγραφα της κλειδας αυτής είναι αποθηκευμένα στην Κάρτα SIM και στο Κέντρο Πιστοποίησης AuC. Σημειώνεται ότι η κλειδα "Ki" δεν μεταδίδεται από την διεπαφή Um. Η ασφάλεια στο GSM δεν παρέχει την δυνατότητα στους συνδρομητές να πιστοποιήσουν το δίκτυο. Η αδυναμία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα να μην διασφαλίζονται οι Σταθμοί Βάσης από «επιθέσεις».

α) πιστοποίηση των συνδρομητών από το δίκτυο

Η διαδικασία πιστοποίησης περιγράφεται στη σύσταση GSM 04.08 Section 4.3.2 και GSM 03.20 Section 3.3.1. Τα κύρια βήματα της διαδικασίας της πιστοποίησης είναι τα εξής:

ΒΗΜΑ 1:

Το δίκτυο δημιουργεί το στοιχείο RAND το οποίο περιλαμβάνει 128 bits τα οποία επιλέγονται σε τυχαία βάση. Η δημιουργία αυτή πραγματοποιείται στην HLR.

ΒΗΜΑ 2:

Το δίκτυο στέλνει το στοιχείο RAND στη φορητή συσκευή μέσω του μηνύματος αίτησης για πιστοποίηση MM Authentication Request message

ΒΗΜΑ 3:

Η φορητή συσκευή δημιουργεί έναν τυχαίο σχηματισμό αποτελούμενο από 32 bits και ο οποίος καλείται SRES. Ο σχηματισμός αυτός μπορεί να δημιουργηθεί και από το Ψηφιακό Κέντρο (MSC). Ο σχηματισμός SPES δημιουργείται κάνοντας κωδικοποίηση του στοιχείου RAND χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο A3 και λαμβάνοντας υπόψη την κλειδα ασφαλείας "Ki". Με βάση την αντίστοιχη σύσταση, από αλγοριθμικής πλευράς ο σχηματισμός SPES, είναι:

$$SPES = A3(RAND, Ki)$$

Ακολούθως, το δίκτυο εκτελεί την ίδια διαδικασία για το SPES.

ΒΗΜΑ 4:

Η φορητή συσκευή στέλνει πίσω την τιμή SPES μέσω του μηνύματος απόκρισης της πιστοποίησης RR Authentication Response message.

ΒΗΜΑ 5:

Το δίκτυο συγκρίνει την τιμή του SPES την οποία έχει προηγουμένως υπολογίσει με αυτή που έχει δημιουργηθεί και έχει ληφθεί από την φορητή συσκευή. Εάν υπάρχει σύμπτωση (προσαρμογή) των τιμών, τότε η φορητή συσκευή είναι πιστοποιημένη.

ΒΗΜΑ 6:

Επίσης, τόσο η φορητή συσκευή όσο και το δίκτυο, υπολογίζουν το κλειδί κρυπτογράφησης “Kc” το οποίο αποτελείται από 32 bits. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται σύμφωνα με τη σύσταση σε αυτή την περίπτωση είναι ο A8. Με βάση την αντίστοιχη σύσταση, από αλγοριθμικής πλευράς η κλείδα, “Kc” είναι:

$$Kc = A8(RAND, Ki)$$

Τέλος, μετά την δημιουργία της κλείδας “Kc” τόσο η φορητή συσκευή όσο και το δίκτυο αποθηκεύουν την συγκεκριμένη τιμή, ώστε να την χρησιμοποιήσουν αργότερα όταν απαιτηθεί η ανάγκη για κρυπτογράφηση της πληροφορίας.

β) κρυπτογράφηση στο κανάλι

Η υλοποίηση της κρυπτογράφησης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του GSM, πραγματοποιείται στα bits των ριπών που αποστέλλονται στο κανάλι, στο χαμηλό επίπεδο L1, αφού προηγουμένως έχει εφαρμοσθεί τεχνική κωδικοποίησης και διόρθωσης λαθών. Το θέμα της συγκεκριμένης ασφάλειας στο GSM είναι σημαντικό, διότι:

- η σκόπιμη περίσσεια (redundancy) του συνελκτικού κώδικα ελαττώνει το μήκος των κωδικοποιημένων δεδομένων (unicity distance)
- η λέξη ισοτιμίας (parity word) μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να επαληθεύσει ορθά την αποκρυπτογράφηση

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τυπικές διαδικασίες κατά την εκτέλεση των επικοινωνιακών σεναρίων, στο GSM, περιλαμβάνει την μετάδοση κενών πλαισίων LAPDm σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης στο GSM καλείται «αλγόριθμος A5». Ο αλγόριθμος A5, εμπλέκει τα παρακάτω τέσσερα εναλλακτικά σενάρια, όπου μόνο τα τρία από αυτά εφαρμόζονται:

- Σενάριο 1: **A5/0** [μη κρυπτογράφηση]
- Σενάριο 2: **A5/1** [ισχυρή κρυπτογράφηση – χρησιμοποιείται στην Βόρειο Αμερική και στην Ευρώπη]
- Σενάριο 3: **A5/2** [ασθενής κρυπτογράφηση – χρησιμοποιείται σε διάφορες χώρες (εκτός Ευρώπης και Βορείου Αμερικής)]
- Σενάριο 4: **A5/3** [πολύ ισχυρή κρυπτογράφηση με δυνατότητα ανοικτής σχεδίασης]

Η κρυπτογράφηση είναι μια διαδικασία, η οποία λαμβάνει χώρα στο υποστρώμα L3 που χειρίζεται τα θέματα των ραδιο-πόρων του συστήματος. Η κρυπτογράφηση είναι στενά συνδεδεμένη με την πιστοποίηση, διότι η κλείδα κρυπτογράφησης “Kc” δημιουργείται στην συγκεκριμένη διαδικασία. Επίσης, η κρυπτογράφηση ενεργοποιείται με το αντίστοιχο μήνυμα εντολής κρυπτογράφησης RR Ciphering Mode Command message, το οποίο προσδιορίζει το σενάριο του αλγορίθμου A5 που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η φορητή συσκευή, εκκινεί την

διαδικασία κρυπτογράφησης και απαντά με το μήνυμα ολοκλήρωσης της κρυπτογράφησης RR Ciphering Mode Complete message.

Σημείωση:

1. το δίκτυο είναι σε θέση να αρνηθεί την επικοινωνιακή εξυπηρέτηση σε οποιαδήποτε φορητή συσκευή η οποία δεν μπορεί να υποστηρίξει τα σενάρια A5/1 ή A5/2. Το θέμα αυτό αναλύεται στη σύσταση GSM 02.09 Section 3.3.3.
2. τα σενάρια A5/1 και A5/2, πρέπει να υποστηρίζονται υποχρεωτικά. Το θέμα αυτό αναλύεται στη σύσταση GSM 02.07 Section 2.

γ) *ανωνυμία των διαδικασιών*

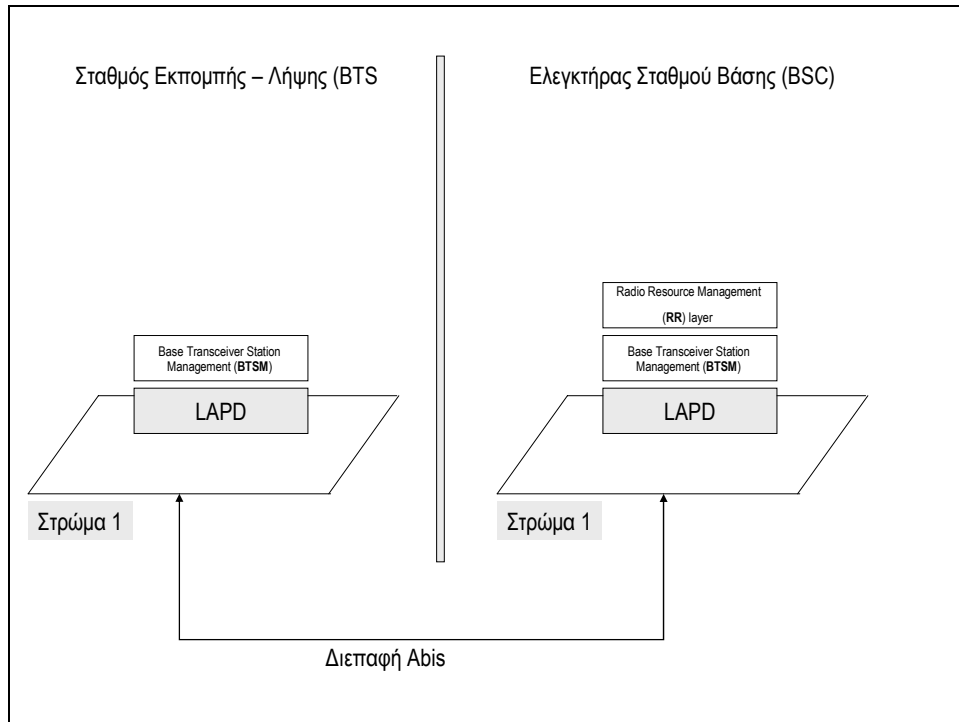
Η ταυτότητα TMSI αντιστοιχεί στην ταυτότητα του συνδρομητή και περιέχει 32 προσωρινά bits. Η ταυτότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθεί η αποστολή της ταυτότητας IMSI στην διεπαφή Um. Η ταυτότητα TMSI εκχωρείται από τον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC) και έχει έννοια μόνο για ένα συγκεκριμένο δίκτυο (αυτό σημαίνει ότι σε ένα άλλο δίκτυο έχει διαφορετικό συνδυασμό των 32 bits και επομένως η ταυτότητα TMSI είναι διαφορετική για τον ίδιο συνδρομητή). Η εκχώρηση της ταυτότητας TMSI, πραγματοποιείται με την εντολή MM TMSI Reallocation Command. Η εντολή αυτή είναι ένα μήνυμα το οποίο δεν αποστέλλεται ενώ έχει ξεκινήσει η διαδικασία της κρυπτογράφησης και επομένως είναι «κρυφή» η αντιστοιχία των ταυτοτήτων TMSI και IMSI. Όταν η ταυτότητα TMSI έχει πλέον σχηματισθεί, αποθηκεύεται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την διασφάλιση της ανωνυμίας του συνδρομητή σε επόμενες επικοινωνιακές διαδικασίες. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ταυτότητα του συνδρομητή πρέπει να σχηματισθεί πριν τις διαδικασίες της πιστοποίησης και της κρυπτογράφησης.

Διεπαφή Abis

Η διεπαφή αυτή (σχήμα 15) υφίσταται μεταξύ του Σταθμού Εκπομπής – Λήψης (BTS) και του Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC). Μεταφέρεται με τα TDM κυκλώματα (DS-1, ES-1, or E1) και χρησιμοποιεί:

- ο για την μετάδοση της πληροφορίας τα κανάλια κίνησης (Traffic Channels – TCH)
- ο για την επίβλεψη του Σταθμού Εκπομπής – Λήψης (BTS) και για την σηματοδότηση το Πρωτόκολλο LAPD

Επίσης, καθήκον της διεπαφής αυτής είναι η μεταφορά των στοιχείων του συγχρονισμού από τον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC) στον Σταθμό Εκπομπής – Λήψης (BTS) και στην φορητή συσκευή.



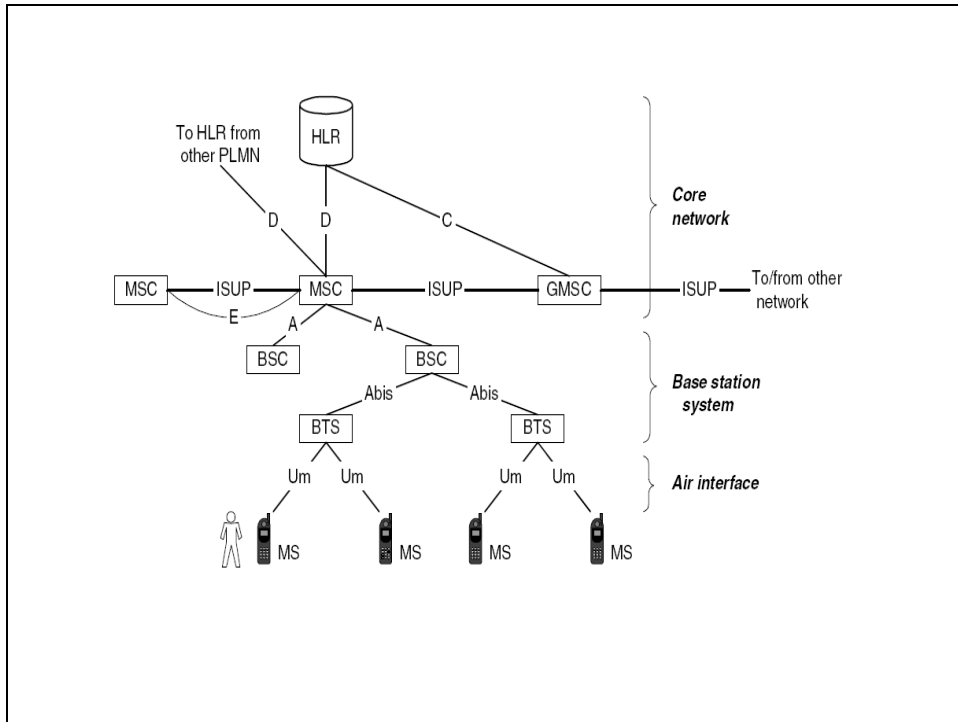
Σχήμα 15: Διεπαφή Abis

Όπου:

Διαχείριση Σταθμού Εκπομπής & Λήψης [Base Transceiver Station Management (BTSM)]: το στρώμα αυτό είναι υπεύθυνο για την μεταφορά της πληροφορίας που προέρχεται από το στρώμα RR και οδηγείται στον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC)

Πρωτόκολλο Ζεύξης Πρόσβασης για το ISDN D κανάλι [Link Access Protocol for the ISDN D-channel (LAPD)]: είναι το ISDN πρωτόκολλο το οποίο υποστηρίζει μετάδοση της πληροφορίας χωρίς σφάλματα μεταξύ του Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC) και του Σταθμού Εκπομπής – Λήψης (BTS)

Η διεπαφή αυτή υποστηρίζει κανάλια ρυθμού μετάδοσης των 16 kbps. Με βάση την αρχιτεκτονική του GSM, στο σχήμα 16, δείχνονται τα σημεία του δικτύου όπου υποστηρίζουν την συγκεκριμένη διεπαφή.

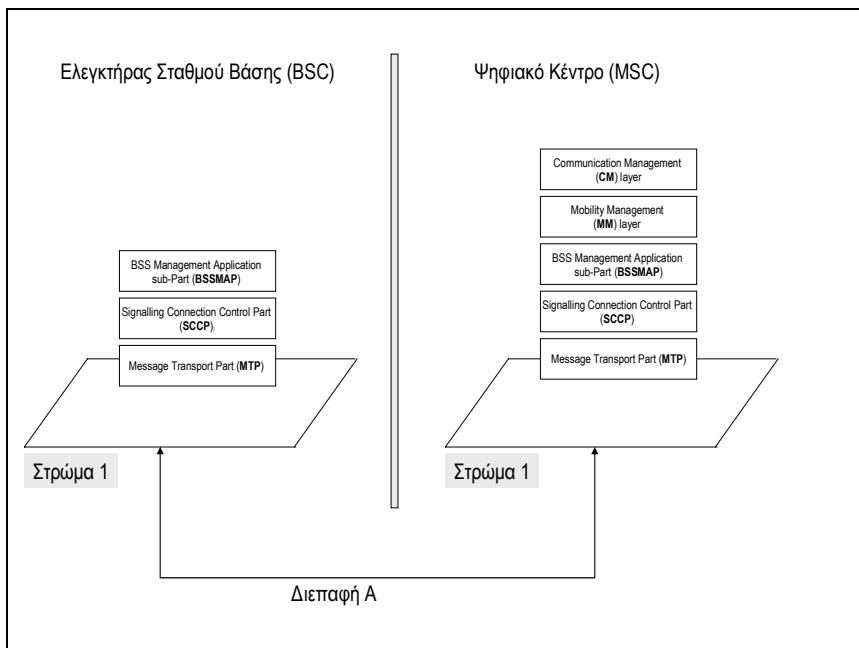


Σχήμα 16: Η Διεπαφή Abis στην αρχιτεκτονική του GSM

Διεπαφή A

Η διεπαφή αυτή (σχήμα 17) υφίσταται μεταξύ του Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC) και του Ψηφιακού Κέντρου (MSC). Χρησιμοποιείται:

- ο για τη μεταφορά της πληροφορίας στα κανάλια κίνησης
- ο για τη μεταφορά μηνυμάτων τα οποία προέρχονται από το στρώμα BSSAP.



Σχήμα 17: Διεπαφή A

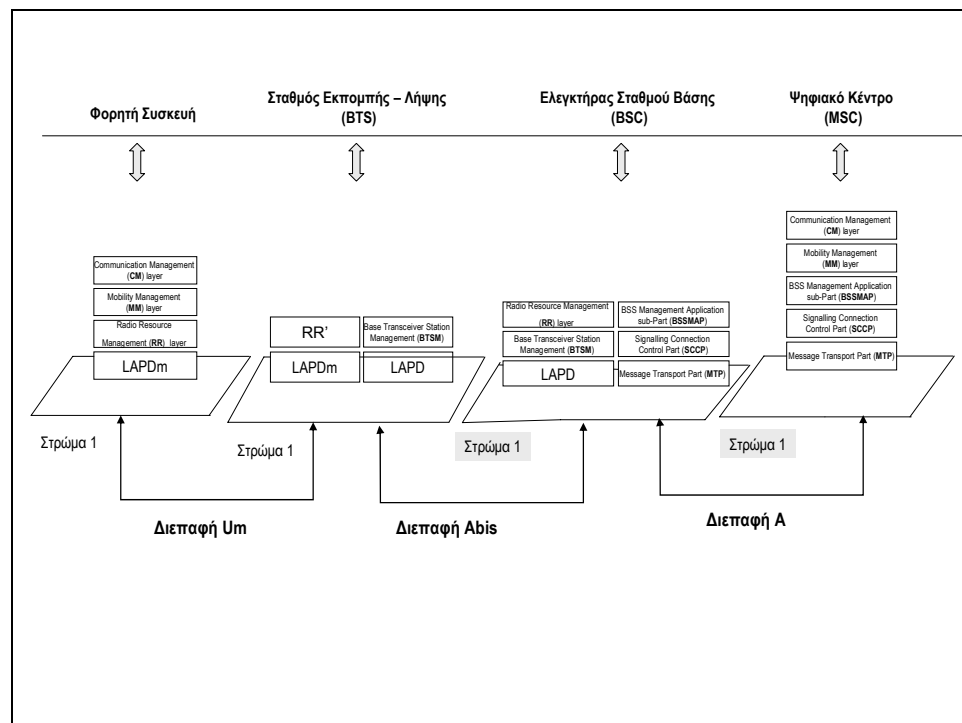
Όπου:

Τμήμα Μετάδοσης Μηνύματος [Message Transport Part (MTP)]: (σηματοδοσία SS7)

Τμήμα Ελέγχου Σύνδεσης Σηματοδοσίας [Signalling Connection Control Part (SCCP)]:
(σηματοδοσία SS7)

Τμήμα Διαχείρισης Εφαρμογής BSS [BSS Management Application Part (BSSMAP)]: το συγκεκριμένο πρωτόκολλο υποστηρίζει όλες τις λειτουργικές διαδικασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα μεταξύ του Ψηφιακού Κέντρου (MSC) και του Υποσυστήματος του Σταθμού Βάσης (BSS). Οι λειτουργίες διαδικασίες αφορούν επεξεργασία της πληροφορίας που σχετίζεται με τις απλές κλήσεις και τη διαχείριση πόρων του συστήματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα υποσύνολο των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο BSSMAP ενεργοποιούνται από μηνύματα τα οποία προέρχονται από το στρώμα RR [Radio Resource Management]. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ του Ψηφιακού Κέντρου (MSC) και της φορητής συσκευής είναι διαφανή στον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης – BSC (μηνύματα MM και CM) και είναι υπό την ευθύνη του Direct Transfer Application Part (DTAP). Η δομή του πρωτοκόλλου BSSMAP απαρτίζεται από δύο πεδία: (α) το πρώτο πεδίο καθορίζει τον τύπο του μηνύματος (Message type) και (β) το δεύτερο πεδίο καθορίζει το στοιχείο της πληροφορίας (Information Element) το μήκος του οποίου μπορεί να είναι σταθερό ή μεταβλητό, όπου το μεταβαλλόμενο μήκος θα καθορίζεται από έναν δείκτη (length indicator).

Στο σχήμα 18, δείχνονται τα πρωτόκολλα σηματοδοσίας του GSM, τα οποία ενεργοποιούνται μεταξύ της φορητής συσκευής, του Σταθμού Εκπομπής – Λήψης (BTS), του Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC) και του Ψηφιακού Κέντρου (MSC).



Σχήμα 18: Σηματοδοσίες δικτύου GSM

Η διεπαφή αυτή, υποστηρίζει κανάλια των 64 kbps για μετάδοση της σηματοδοσίας και της συνδρομητικής κίνησης.

Δευτερεύουσες Διεπαφές

Στον πίνακα 2, δείχνονται οι δευτερεύουσες διεπαφές του δικτύου GSM, καθώς και μια σύντομη περιγραφή αυτών.

Πίνακας 2: Δευτερεύουσες Διεπαφές

A/A	Τύπος Διεπαφής	Περιγραφή
1	B	Η διεπαφή αυτή, υφίσταται μεταξύ του Ψηφιακού Κέντρου (MSC) και της βάσης δεδομένων VLR και υποστηρίζεται από το πρωτόκολλο MAP/B. Τα περισσότερα Ψηφιακά Κέντρα έχουν ενσωματωμένη την δική τους VLR και επομένως η διεπαφή B θεωρείται «εσωτερική». Στην φιλοσοφία αυτή, το Ψηφιακό Κέντρο πρέπει να έχει πρόσβαση σε δεδομένα τα οποία αφορούν την περιοχή θέσης της φορητής συσκευής και επομένως θα πρέπει να επικοινωνήσουν με την VLR χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MAP/B και η διενέργεια αυτή θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσω της διεπαφής B.
2	C	Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση της HLR με το Ψηφιακό Κέντρο Πύλη (GMSC) ή με το Κέντρο Πύλη των βραχέων μηνυμάτων (SMS-G). Κάθε κλήση η οποία προέρχεται εκτός δικτύου GSM (π.χ τερματισμός κλήσης φορητής συσκευής που προκαλείται από το δημίοο τηλεφωνικό δίκτυο [PSTN]) πρέπει να διέλθει υποχρεωτικά μέσω Πύλης (Gate) για να λάβει την αναγκαία πληροφορία δρομολόγησης προκειμένου να διεκπεραιώσει την διαδικασία της συγκεκριμένης κλήσης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο MAP/C μέσω της διεπαφής C. Επιπλέον, το Ψηφιακό Κέντρο (MSC) μπορεί να προωθήσει σχετική πληροφορία που αφορά την χρέωση στην HLR μετά τον τερματισμό της κλήσης.
3	D	Η συγκεκριμένη διεπαφή χρησιμοποιείται για την διασύνδεση της VLR με την HLR. Στο πλαίσιο της διενέργειας αυτής χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο MAP/D για την ανταλλαγή δεδομένων που αφορούν τη θέση της φορητής συσκευής και στοιχεία που άπτονται της διαχείρισης του συγκεκριμένου συνδρομητή.
4	E	Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση δύο Ψηφιακών Κέντρων (MSCs). Με την διεπαφή αυτή, ανταλλάσσονται δεδομένα που αφορούν την μεταπομπή (handover) των συνδρομητών (από το ένα Ψηφιακό Κέντρο στο άλλο). Η ανταλλαγή αυτή πραγματοποιείται με χρήση του πρωτοκόλλου MAP/E.
5	F	Η διεπαφή αυτή, συνδέει το Ψηφιακό Κέντρο (MSC) με τη βάση δεδομένων EIR. Για τη διασύνδεση αυτή χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο MAP/F προκειμένου να επαληθευθεί από το Ψηφιακό Κέντρο η κατάσταση της ταυτότητας IMEI της φορητής συσκευής την οποία διαχειρίζεται.

- 6 **G** Η διεπαφή αυτή διασυνδέει δύο βάσεις δεδομένων VLR οι οποίες ανήκουν σε διαφορετικά Ψηφιακά Κέντρα (MSCs). Για τη διασύνδεση αυτή, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο MAP/G το οποίο είναι το αρμόδιο για τη μετάδοση πληροφορίας που αφορούν τους συνδρομητές (π.χ δεδομένα που προέρχονται από τη διαδικασία της ενημέρωσης της θέσης των συνδρομητών).
- 7 **H** Η διεπαφή αυτή υποστηρίζει τη διασύνδεση του Ψηφιακού Κέντρου (MSC) με το Κέντρο Πύλη των βραχέων μηνυμάτων (SMS-G). Το πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιείται στη περίπτωση αυτή είναι το MAP/H. Κατά τη διαδικασία αυτή υποστηρίζεται η μετάδοση βραχέων μηνυμάτων.
- 8 **I** Η διεπαφή αυτή υφίσταται μεταξύ Ψηφιακού Κέντρου (MSC) και της φορητής συσκευής. Τα μηνύματα τα οποία ανταλλάσσονται μέσω της συγκεκριμένης διεπαφής μεταδίδονται με τρόπο διαφανή (transparently) μέσω του Συστήματος του Σταθμού Βάσης (BSS).

Um Λογικά Κανάλια

Τα κανάλια αυτά περιγράφονται στην προδιαγραφή GSM 04.03 και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: (α) τα κανάλια κίνησης (traffic channels), (β) τα αφιερωμένα κανάλια ελέγχου (dedicated control channels) και (γ) τα μη-αφιερωμένα κανάλια ελέγχου (non-dedicated control channels).

(α) κανάλια κίνησης (traffic channels - TCH)

Τα κανάλια αυτά είναι κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες σημείου – προς – σημείο (point – to – point) και αντιστοιχούν στα ISDN B κανάλια. Στην βιβλιογραφία τα κανάλια κίνησης εμφανίζονται και με την ονομασία Κανάλια Bm. Τα κανάλια κίνησης χρησιμοποιούν διαγώνιο διεμπλοκέα των 8 ριπών (8-burst diagonal interleaving), με νέο μπλοκ το οποίο εκκινεί σε κάθε τέταρτη ριπή και κάθε δεδομένη ριπή περιέχει bits από δύο διαφορετικά πλαίσια κίνησης. Ο τύπος του διεμπλοκέα που χρησιμοποιείται στο GSM θωρακίζει τα κανάλια κίνησης από τις διαλλείψεις. Η κωδικοποίηση του καναλιού κίνησης εξαρτάται από τον τύπο του vocoder που χρησιμοποιείται, σημειώνοντας ότι στην πλειονότητα οι περισσότεροι κωδικοποιητές μπορούν να αντιμετωπίσουν τις τυχόν απώλειες απλής ριπής. Όλα τα κανάλια κίνησης χρησιμοποιούν TDMA δομή η οποία αποτελείται από 26 πολύ-πλαίσια.

A.1) Κανάλια κίνησης πλήρους ρυθμού (Full-rate traffic channels – TCH/F)

Τα κανάλια πλήρους ρυθμού χρησιμοποιούν τα 24 από τα 26 πολύ-πλαίσια. Ο ρυθμός μετάδοσης των bit στα κανάλια αυτά είναι 22.7 kbit/s, παρόλο που ο πραγματικός ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται μεταξύ 9.6-14 kbit/s. Αυτό φυσικά εξαρτάται από τον τύπο της κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται στο κανάλι. Το κανάλι χρησιμοποιείται με τα εξής πρότυπα για κωδικοποίηση φωνής: το πρότυπο GSM 06.10 για τον πλήρη ρυθμό (Full Rate), το πρότυπο GSM 06.60 για αναβαθμισμένο πλήρη ρυθμό (Enhanced Full Rate) και το πρότυπο GSM 06.90 για προσαρμοσμένο πολλαπλό ρυθμό (Adaptive Multi-Rate). Τέλος, τα κανάλια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση δεδομένων (π.χ fax, δεδομένα κυκλο-μεταγωγής)

A.2) Κανάλια κίνησης ημίσεως ρυθμού (Half-rate traffic channels – TCH/H)

Τα κανάλια ημίσεως ρυθμού χρησιμοποιούν τα 12 από τα 26 πολύ-πλαίσια. Ο ρυθμός μετάδοσης των bit στα κανάλια αυτά είναι 11.4 kbit/s, παρόλο που ο πραγματικός ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται μεταξύ 4.8-7 kbit/s. Το κανάλι χρησιμοποιείται με τα εξής πρότυπα για κωδικοποίηση φωνής: το πρότυπο GSM 06.20 για την περίπτωση του ημίσεως ρυθμού (Half Rate) και το πρότυπο GSM 06.90 για προσαρμοσμένο πολλαπλό ρυθμό (Adaptive Multi-Rate).

(β) τα αφιερωμένα κανάλια ελέγχου (dedicated control channels)

Τα κανάλια αυτά είναι κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες σημείου – προς – σημείο (point – to – point) και αντιστοιχούν στα ISDN D κανάλια. Στην βιβλιογραφία τα συγκεκριμένα κανάλια ελέγχου εμφανίζονται και με την ονομασία Κανάλια Dm.

B.1) Standalone Dedicated Control Channel (SDCCH)

Τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται για τις πλέον μικρές διενέργειες που απαιτούνται στο δίκτυο. Οι διενέργειες αυτές αφορούν το αρχικό βήμα της αποκατάστασης μιας κλήσης, την εγγραφή στο συνδρομητή στο δίκτυο και την μεταφορά του βραχέως μηνύματος (SMS). Παρέχεται στο συγκεκριμένο κανάλι η δυνατότητα ενός ωφέλιμου ρυθμού μετάδοσης της τάξης των 0.8 kbit/s. Επίσης, μέχρι 8 κανάλια SDCCH, μπορούν να πολυπλεχθούν στον χρόνο σε ένα απλό φυσικό κανάλι. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιεί διεμπλοκέα των 4 ριπών σε ένα πολύπλευρο πλαίσιο τάξεως 51 (51 - multiframe).

B.2) Fast Associated Control Channel (FACCH)

Το κανάλι αυτό συνυπάρχει πάντα μαζί με ένα κανάλι κίνησης. Η φιλοσοφία του συγκεκριμένου καναλιού είναι να αποσπά bits ριπών από το κανάλι κίνησης με το οποίο συνλειτουργεί. Το FACCH, χρησιμοποιείται για την σηματοδότηση των κλήσεων, συμπεριλαμβάνοντας την αποδέσμευση των κλήσεων (call disconnect), τις μεταπομπές και τις τελευταίες καταστάσεις της διαδικασίας της αποκατάστασης των κλήσεων. Ο ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης είναι της τάξης των 9.2 kbit/s όταν υφίσταται συνλειτουργία με ένα FACCH πλήρους ρυθμού (FACCH/F) και 4.6 kbit/s όταν υφίσταται συνλειτουργία με ένα FACCH ημίσεως ρυθμού (FACCH/H). Τέλος, το κανάλι FACCH χρησιμοποιεί τον ίδιο διεμπλοκέα καθώς και την ίδια πολύ-πλαισιακή δομή με αυτή του καναλιού κίνησης (TCH).

B.3) Slow Associated Control Channel (SACCH)

Στην περίπτωση αυτή, κάθε κανάλι SDCCH ή FACCH έχει ένα συμπεργαζόμενο κανάλι SACCH. Η βασική του λειτουργία είναι να μεταφέρει πληροφοριακά μηνύματα του συστήματος στην κάτω ζεύξη, να μεταφέρει αναφορές μετρήσεων των δεκτών στην άνω ζεύξη και να πραγματοποιεί σε κλειστή διαδικασία έλεγχο των ισχύων και του χρονισμού. Η κλειστή διαδικασία ελέγχου του χρονισμού και των ισχύων πραγματοποιούνται με χρήση μιας φυσικής επικεφαλίδας (physical header) στην έναρξη κάθε L1 πλαισίου. Η φυσική επικεφαλίδα απαρτίζεται από 16 bits και μεταφέρει την πληροφορία της πραγματικής ισχύος και του χρονισμού στην άνω ζεύξη και επίσης δίδει εντολή για μεταφορά των αντίστοιχων τιμών της ισχύος και του χρονισμού στην κάτω ζεύξη. Ένα άλλο σημαντικό καθήκον του καναλιού SACCH είναι η παράδοση βραχέως μηνύματος (SMS) κατά την διάρκεια μιας κλήσης που ευρίσκεται σε εξέλιξη. Ο ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης είναι της τάξης των 0.2-0.4 kbit/s και εξαρτάται από το κανάλι με το οποίο συνεργάζεται. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιεί έναν διεμπλοκέα των τεσσάρων ριπών (4-burst block interleaving) και διαθέτει τον ίδιο τύπο πολυπλαϊσίου με αυτόν του καναλιού που συνεργάζεται (δηλαδή του TCH ή του SDCCH).

(γ) τα μη-αφιερωμένα κανάλια ελέγχου (non-dedicated control channels)

Τα κανάλια της κατηγορίας αυτής είναι ευρείας εκπομπής και δεν υποστηρίζουν τις αναλογικές διασυνδέσεις με το ISDN. Η κατηγορία αυτή των καναλιών χρησιμοποιούνται για θέματα που άπτονται της διαχείρισης των ραδιο-πόρων του συστήματος. Από την κατηγορία αυτή, τα κανάλια CCCH και RACH απαρτίζουν το μέσο για την υποστήριξη του μηχανισμού πρόσβασης για την διεπαφή Um.

Γ.1) Broadcast Control Channel (BCCH)

Το BCCH κανάλι μεταφέρει μηνύματα σχετικά με πληροφορίες που αφορούν το σύστημα (π.χ διαθέσιμα χαρακτηριστικά του Σταθμού Εκπομπής & Λήψης [BTS], μεταφορά των αναφορών

μετρήσεων, μεταφορά της ταυτότητας LAI και της ταυτότητας CGI). Η μεταφορά αυτή της πληροφορίας επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα καθοριζόμενα από τις προδιαγραφές του συστήματος GSM. Τέλος, η συχνότητα λειτουργίας του BCCH είναι συγκεκριμένη για κάθε BTS.

Γ.2) Synchronization Channel (SCH)

Το κανάλι συγχρονισμού SCH μεταδίδει τον κώδικα της ταυτότητας του Σταθμού Βάσης καθώς και την τρέχουσα τιμή του ωρολογίου TDMA.

Γ.3) Frequency Correction Channel (FCCH)

Το κανάλι FCCH είναι υπεύθυνο για τη γέννεση ενός «τόνου» στον ραδιο-διάλογο, όπου χρησιμοποιείται από την φορητή συσκευή για την ενεργοποίηση και διόρθωση του τοπικού του ταλαντωτή.

Γ.4) Common Control Channel (CCCH)

Το CCCH είναι ένα κανάλι ευρυεκπομπής της κάτω ζεύξης και μεταφέρει την αναγκαία πληροφορία για αιτήσεις αναζήτησης (paging) καθώς επίσης και πληροφορία που αφορά την καταχώρηση συχνότητας (συγκεκριμένα μεταφέρει άμεσα μηνύματα σχετικά με την καταχώρηση της συχνότητας καναλιού). Το κανάλι CCCH υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους κανάλια, το ένα κανάλι είναι το Κανάλι Αναζήτησης (Paging Channel – PCH) και το δεύτερο κανάλι είναι το Κανάλι Εκχώρησης Πρόσβασης (Access Grant Channel – AGCH). Επομένως, μια φορητή συσκευή η οποία ελέγχεται από έναν συγκεκριμένο Σταθμό Εκπομπής & Λήψης (BTS) επιτηρεί μέσω του καναλιού αναζήτησης PCH για ανάθεση υπηρεσίας από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Γ.5) Random Access Channel (RACH)

Το κανάλι τυχαίας πρόσβασης RACH, είναι κανάλι της άνω ζεύξης και είναι αντίστοιχο με το κανάλι CCCH. Το κανάλι RACH είναι ένα κοινής χρήσης κανάλι (shared channel) όπου οι φορητές συσκευές μεταδίδουν ριπές τυχαίας πρόσβασης σε αιτήματα εκχώρησης καναλιών από τον Σταθμό Εκπομπής & Λήψης (BTS).

Επιτρεπόμενοι Συνδυασμοί Καναλιών

Με βάση τους κανόνες πολύπλεξης, το σύστημα GSM επιτρέπει συγκεκριμένους συνδυασμούς λογικών καναλιών προκειμένου να υποστηρίξουν την μετάδοση της πληροφορίας σε ένα φυσικό κανάλι. Οι κυριώτεροι συνδυασμοί που επιτρέπονται δίδονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Επιτρεπτοί Συνδυασμοί Λογικών Καναλιών

Επιτρεπτοί Συνδυασμοί			
A/A	Κωδικός Συνδυασμού	Τύπος Λογικών καναλιών	Χρήση

1	I	TCH/F + FACCH/F + SACCH	Χρησιμοποιείται για κίνηση πλήρους ρυθμού
2	II	TCH/H + FACCH/H + SACCH	Χρησιμοποιείται για κίνηση ημίσεως ρυθμού, όταν είναι αναγκαία η χρήση ενός μόνο καναλιού
3	III	2 TCH/H + 2 FACCH/H + 2 SACCH	Χρησιμοποιείται για κίνηση ημίσεως ρυθμού
4	IV	FCCH + SCH + BCCH + CCCH	Χρησιμοποιείται για κυψέλες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους
5	V	FCCH + SCH + BCCH + CCCH + 4 SDCCH + 4 SACCH	Χρησιμοποιείται για κυψέλες μικρού μεγέθους
6	VI	BCCH + CCCH	Χρησιμοποιείται για παροχή πρόσθετης χωρητικότητας στο κανάλι CCCH σε μεγάλες κυψέλες
7	VII	8 SDCCH + 8 SACCH	Χρησιμοποιείται για παροχή πρόσθετης χωρητικότητας στο κανάλι CCCH για κυψέλες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους

Θεμελιώδεις Διενέργειες με χρήση της διεπαφής Um

Η βασική υπηρεσία μετάδοσης φωνής στο GSM, τις εξής απαιτεί πέντε διενέργειες:

- (α) αποκατάσταση ραδιο-διαύλου (radio channel establishment),
- (β) ενημέρωση θέσης (location update)
- (γ) αποκατάσταση κλήσης με αφετηρία έναρξης την φορητή συσκευή (mobile-originating call [MOC] establishment)
- (δ) αποκατάσταση κλήσης με τερματισμό την φορητή συσκευή (mobile-terminating call establishment)
- (ε) Τερματισμός κλήσης (call clearing)

(α) αποκατάσταση ραδιο-διαύλου (radio channel establishment)

Τα κύρια βήματα για την συγκεκριμένη διενέργεια είναι τα εξής παρακάτω (σχήμα 19):

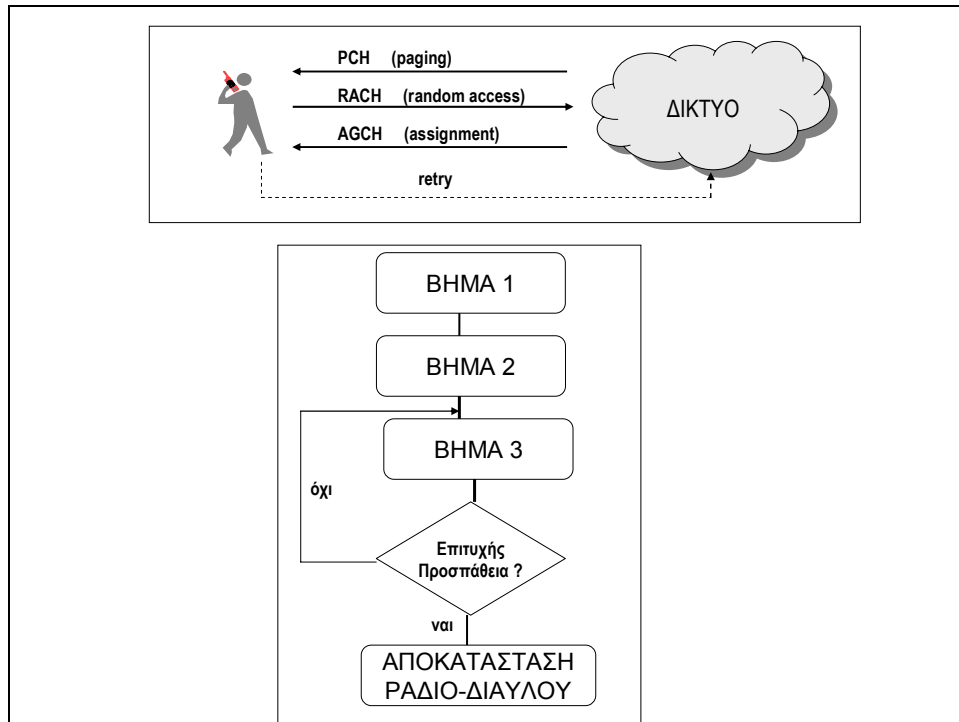
ΒΗΜΑ 1: Αναζήτηση: Το δίκτυο στέλνει ένα μήνυμα αναζήτησης (RR paging Request message) μέσω του καναλιού PCH, χρησιμοποιώντας σαν διεύθυνση την ταυτότητα IMSI (International Mobile Subscriber Identity) ή την ταυτότητα TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) του συνδρομητή. Το βήμα αυτό της αναζήτησης λαμβάνει χώρα μόνο όταν η διαδικασία ενεργοποιείται από το δίκτυο.

ΒΗΜΑ 2: Τυχαία Πρόσβαση: Η φορητή συσκευή στέλνει μια ριπή μέσω του RACH καναλιού. Η ριπή κωδικοποιεί μια ετικέτα των 8 bit και τον κωδικό του Σταθμού Βάσης BSIC (Base Station Identity Code) όπου πρόκειται να εξυπηρετήσει τον συνδρομητή ο συγκεκριμένος BTS. Ένας μεταβλητός αριθμός των πλέον σημαντικότερων bits στην ετικέτα, κωδικοποιεί την αιτιολογία της αίτησης για πρόσβαση. Στο 3^ο στρώμα (L3) η συγκεκριμένη ετικέτα παρουσιάζεται σαν ένα μήνυμα αναζήτησης (RR paging Request message). Η φορητή συσκευή καταγράφει την κατάσταση του ωρολογιού TDMA κατά την χρονική στιγμή όπου μεταδίδεται η ριπή μέσω του RACH. Στην περίπτωση όπου η διαδικασία ενεργοποιείται από την φορητή συσκευή, η Τυχαία Πρόσβαση θεωρείται ως 1^ο βήμα έναρξης των διαδικασιών.

ΒΗΜΑ 3: Εκχώρηση: Με τη βοήθεια του καναλιού AGCH, το δίκτυο στέλνει το μήνυμα αναζήτησης (RR paging Request message) για να δεσμεύσει ένα κανάλι, συνήθως ένα SDCCH. Το συγκεκριμένο μήνυμα κατευθύνεται στην φορητή συσκευή, λαμβάνοντας υπόψη την ετικέτα των 8 bits από την αντίστοιχη ριπή του καναλιού RACH και τον δηλωθέντα χρόνο (time - stamp) που δηλώνει την κατάσταση του TDMA ωρολογιού, την στιγμή που λαμβάνεται η ριπή του καναλιού RACH. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο κανάλι για να εκχωρηθεί, ο Σταθμός Εκπομπής & Λήψης (BTS) απαντά με ένα αντίστοιχο μήνυμα ακύρωσης (RR Immediate Assignment Reject message), το οποίο πάλι κατευθύνεται στην φορητή συσκευή και περιέχει πληροφορία σχετικά με τον χρόνο αποδέσμευσης (hold-off time) προκειμένου να ξεκινήσει εκ νέου η επόμενη προσπάθεια πρόσβασης. Στην περίπτωση συνδρομητών οι οποίοι ευρίσκονται σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης, όταν λαμβάνεται το συγκεκριμένο μήνυμα ακύρωσης, τότε αυτοί απαλλάσσονται από τον χρόνο αποδέσμευσης και μπορεί η διαδικασία της εκχώρησης να επαναληφθεί πάλι άμεσα.

ΒΗΜΑ 4: Επαναληπτική Προσπάθεια (Retry): Εάν η ριπή του καναλιού RACH κατά την διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο 2^ο βήμα, δεν απαντηθεί για καταχώρηση ή ακύρωση,

όπως επιβάλλει το 3^ο βήμα μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα (συνήθως 0.5 sec), τότε η φορητή συσκευή θα επαναλάβει το 2^ο βήμα μετά από μια μικρή χρονική καθυστέρηση. Ο κύκλος αυτός μπορεί να επαναληφθεί για εξ έως οκτώ φορές. Εάν στο χρονικό αυτό διάστημα το 4^ο βήμα δεν είναι επιτυχές τότε η φορητή συσκευή ματαιώνει την Επαναληπτική Προσπάθεια.



Σχήμα 19: Αποκατάσταση ραδιο-διαύλου (radio channel establishment)

Σημείωση:

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει μια μικρή πιθανότητα όπου δύο φορητές συσκευές μπορούν να στείλουν ίδιες RACH ριπές την ίδια χρονική στιγμή στο Βήμα 2. Εάν οι RACH ριπές φθάνουν στον Σταθμό Εκπομπής & Λήψης (BTS) με μια περίπου ίδια συγκριτική ισχύ, τότε το άθροισμα των ραδιο-σημάτων δεν θα μπορεί να αποδιαμορφωθεί και στην περίπτωση αυτή αμφότερες οι φορητές συσκευές θα μεταβούν στο Βήμα 4 των διαδικασιών. Εάν όμως έχουν αρκετή διαφορά στην ισχύ λήψης, τότε ο Σταθμός Εκπομπής & Λήψης (BTS) θα «δεί» και θα απαντήσει στην ισχυρότερη RACH ριπή. Αμφότερες οι φορητές συσκευές θα λάβουν και θα απαντήσουν στην εκχώρηση καναλιού όπως θέτει η διαδικασία του Βήματος 3. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανάκτησης, η διεπαφή Um χρησιμοποιεί μια «διαδικασία επίλυσης» στο στρώμα L2, όπως περιγράφεται στη σύσταση GSM 04.06 5.4.1.4, στην οποία το πρώτο πλαίσιο μηνύματος του στρώματος L3, το οποίο πάντα περιέχει την ταυτότητα της φορητής συσκευής (mobile ID), ηχοείται στην φορητή συσκευή για επαλήθευση.

(β) ενημέρωση θέσης (location update)

Η διενέργεια της ενημέρωσης θέσης (σχήμα 20), καθορίζεται και περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.08 Sections 4.4.1 και 7.3.1. Η διαδικασία αυτή τελειώνει κυρίως κατά την χρονική στιγμή όπου η φορητή συσκευή ευρίσκεται στην φάση ανόδου ισχύος (power up) ή όταν η

συγκεκριμένη φορητή συσκευή εισέρχεται σε μια νέα περιοχή θέσης (Location Area). Κατά την τέλεση της διαδικασίας αυτής ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

ΒΗΜΑ 1:

Η φορητή συσκευή και ο Σταθμός Εκπομπής & Λήψης (BTS), εκτελούν την διαδικασία της εκχώρησης του ραδιο-διαύλου.

ΒΗΜΑ 2:

Κατά την φάση όπου εκχωρείται ο ραδιο-διάυλος, η φορητή συσκευή στέλνει το μήνυμα αίτησης (MM Location Updating Request message) το οποίο περιέχει την ταυτότητα IMSI ή την ταυτότητα TMSI. Το μήνυμα αυτό υποδηλώνει και την σύνδεση με το υποστρώμα MM.

ΒΗΜΑ 3:

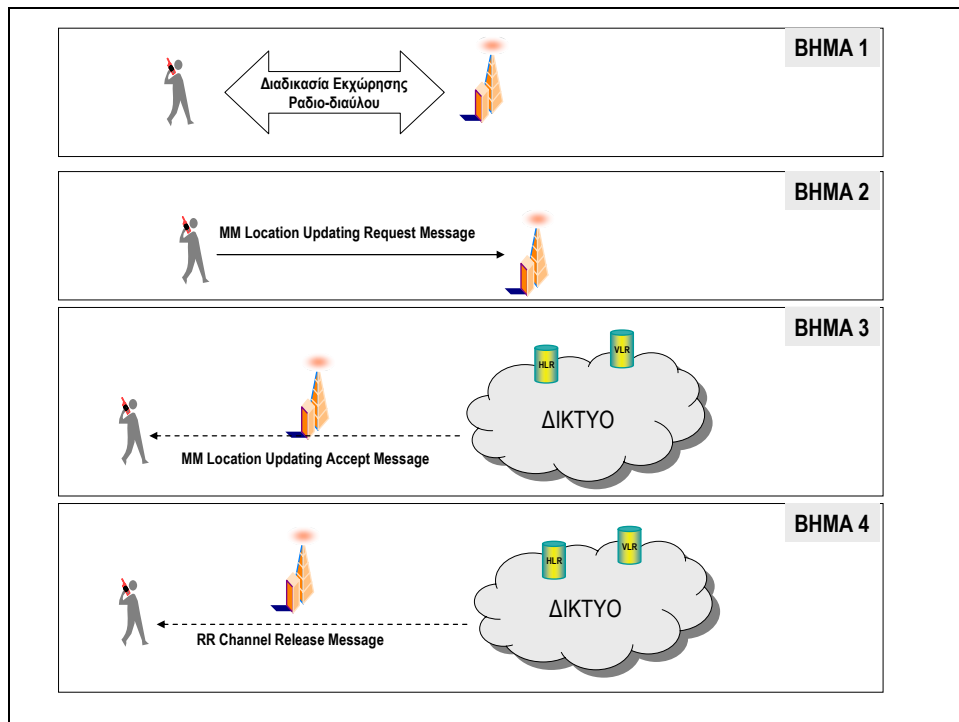
Το δίκτυο επαληθεύει στην ταυτότητα της φορητής συσκευής στην βάση δεδομένων HLR ή στην βάση δεδομένων VLR και απαντά με το μήνυμα αποδοχής (MM Location Updating Accept message).

ΒΗΜΑ 4:

Το δίκτυο αποδεσμεύει το κανάλι Dm με την αποστολή του μηνύματος ελευθέρωσης (RR Channel Release message)

Οι επιπλέον επεξεργασίες που μπορούν να υποστηριχθούν από την συγκεκριμένη διαδικασία είναι:

- Πιστοποίηση (authendication)
- Κρυπτογράφηση (ciphering)
- Εκχώρηση της ταυτότητας TMSI
- Ερωτήματα για άλλου τύπου ταυτότητες
- Απόρριψη της ενημέρωσης θέσης



Σχήμα 20: Ενημέρωση θέσης (location update)

(γ) αποκατάσταση κλήσης με αφητηρία έναρξης την φορητή συσκευή (mobile-originating call [MOC] establishment)

Η διαδικασία αυτή (σχήμα 21) αφορά εξερχόμενη κλήση από την φορητή συσκευή και περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.08 Sections 5.2.1 και 7.3.2. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο κύριος πυρήνας της διαδικασίας αυτής έχει ληφθεί από την σύσταση ISDN Q.931. Παρακάτω περιγράφονται τα κύρια βήματα της συγκεκριμένης διαδικασίας:

BHMA 1:

Η φορητή συσκευή ενεργοποιεί την διαδικασία της εκχώρησης ραδιο-διαύλου και εκχωρεί σε ένα Dm κανάλι, συνήθως είναι ένα SDCCH. Στο βήμα αυτό πραγματοποιείται σύνδεση στο υποστρώμα L3 RR.

BHMA 2:

Το πρώτο μήνυμα στέλνεται μέσω του Dm καναλιού και αυτό είναι η απαίτηση MM Connection Mode service Request. Η αποστολή αυτή λαμβάνει χώρα από την φορητή συσκευή. Το μήνυμα περιέχει την ταυτότητα του συνδρομητή (IMSI ή TMSI) καθώς επίσης και την περιγραφή της αιτούμενης υπηρεσίας (στην προκειμένη περίπτωση η αιτούμενη υπηρεσία είναι η αποκατάσταση κλήσης (MOC)).

BHMA 3:

Ακολούθως, το δίκτυο επαληθεύει τα χαρακτηριστικά του συνδρομητή στην βάση δεδομένων HLR και απαντά με το μήνυμα MM Connection Mode Service Accept message. Στο τμήμα αυτό της διαδικασίας πραγματοποιείται σύνδεση στο υποστρώμα L3 MM. Το περιγραφέν σενάριο

είναι απλοποιημένο. Στα περισσότερα δίκτυα η αποκατάσταση MM πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη στο συγκεκριμένο σημείο τις διαδικασίες της πιστοποίησης και της κρυπτογράφησης.

ΒΗΜΑ 4:

Η φορητή συσκευή στέλνει το μήνυμα CC Setup message, το οποίο περιέχει τον αριθμό του κληθέντος συνδρομητή.

ΒΗΜΑ 5:

Με την προϋπόθεση ότι ο αριθμός του κληθέντος συνδρομητή είναι έγκυρο, το δίκτυο απαντά με το μήνυμα έναρξης προόδου κλήσης CC Call Proceeding message.

ΒΗΜΑ 6:

Το δίκτυο στέλνει το μήνυμα εκχώρησης RR Assignment message, προκειμένου να μετακινήσει την διαδικασία από το κανάλι SDCCCH και να την εναποθέσει στον συνδυασμό TCH+FACCH.

ΒΗΜΑ 7:

Την στιγμή όπου η φορητή συσκευή έχει αποκτήσει τον χρονισμό στον συνδυασμό TCH+FACCH, απαντά μέσω του FACCH με το μήνυμα ολοκλήρωσης της εκχώρησης καναλιού RR Assignment Complete message. Από το σημείο αυτό και πέρα, όλος ο έλεγχος των διαδικασιών μεταφέρονται στο FACCH.

ΒΗΜΑ 8:

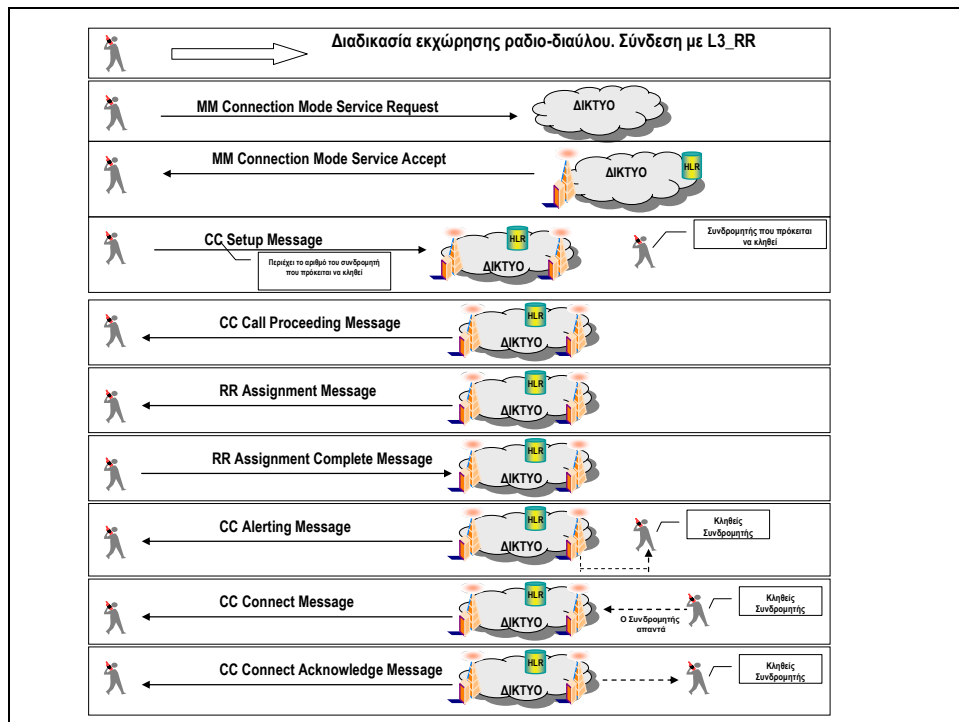
Όταν ο συναγερμός (alert) του κληθέντος συνδρομητή (προορισμός) έχει επαληθευθεί, τότε το δίκτυο στέλνει το μήνυμα συναγερμού CC Alerting message

ΒΗΜΑ 9:

Όταν ο κληθείς συνδρομητής απαντήσει, τότε το δίκτυο στέλνει το μήνυμα σύνδεσης CC Connect message.

ΒΗΜΑ 10:

Η φορητή συσκευή απαντά με το μήνυμα αναγνώρισης σύνδεσης CC Connect Acknowledge message. Στο σημείο αυτό η κλήση είναι πλέον ενεργή.



Σχήμα 21: Αποκατάσταση κλήσης με αφητηρία έναρξης την φορητή συσκευή (mobile-originating call [MOC] establishment)

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εκχώρηση με χρήση του συνδυασμού των καναλιών TCH+FACCH μπορεί να ενεργοποιηθεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης διαδικασίας και εξαρτάται από την υφιστάμενη αρχιτεκτονική του δικτύου. Υφίστανται οι παρακάτω τρεις πιθανές προσεγγίσεις στο θέμα της εκχώρησης (Σχήμα 22):

Προσέγγιση 1^η: Εγκαιρη Εκχώρηση (Early Assignment)

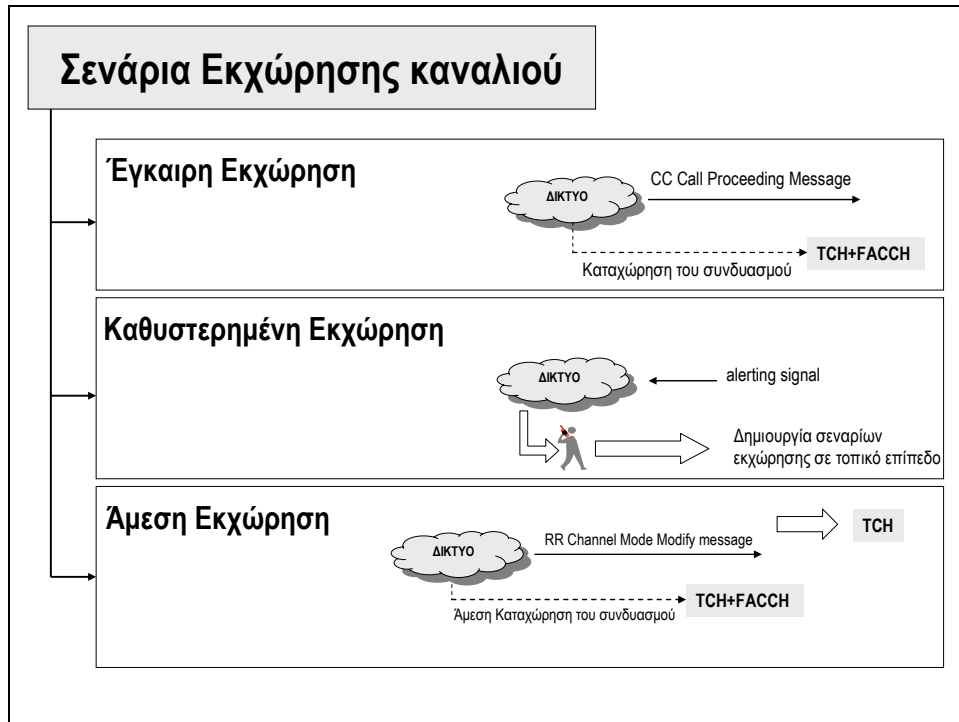
Το δίκτυο καταχωρεί τον συνδυασμό TCH+FACCH, αφού προηγουμένως στείλει το μήνυμα CC Call Proceeding και ολοκληρώσει την αποκατάσταση της κλήσης με χρήση του καναλιού FACCH. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο χρησιμοποιεί συγκεκριμένα σενάρια.

Προσέγγιση 2^η: Καθυστερημένη Εκχώρηση (Late Assignment)

Το δίκτυο δεν καταχωρεί τον συνδυασμό TCH+FACCH, αν προηγουμένως δεν λάβει το σήμα συναγεμμού (alerting signal). Το σενάριο αυτό εξαναγκάζει την φορητή συσκευή σε τοπικό επίπεδο να δημιουργήσει σενάρια εκχώρησης αφού το κανάλι κίνησης TCH δεν έχει καταχωρηθεί μέχρι στιγμής για να μεταφέρει την πληροφορία (φωνή).

Προσέγγιση 3^η: Άμεση Εκχώρηση (Very Early Assignment)

Το δίκτυο πραγματοποιεί άμεση εκχώρηση στον συνδυασμό των καναλιών TCH+FACCH κατά τη φάση της εγκατάστασης του υποστρώματος RR και εκτελεί την πλήρη διαδικασία στο κανάλι FACCH. Στην περίπτωση αυτή, το κανάλι SDCCH δεν χρησιμοποιείται. Επειδή η άμεση εκχώρηση εκκινεί το κανάλι FACCH μόνο στο θέμα της σηματοδότησης, το δίκτυο πρέπει να στείλει το μήνυμα τροποποίησης καναλιού RR Channel Mode Modify message προκειμένου σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή να ενεργοποιήσει το κανάλι κίνησης TCH.



Σχήμα 22: Προσεγγίσεις στην εκχώρηση καναλιών

(δ) αποκατάσταση κλήσης με τερματισμό την φορητή συσκευή (*mobile-terminating call [MTC] establishment*)

Η διαδικασία αυτή που αφορά εισερχόμενη κλήση στην φορητή συσκευή περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.08 Sections 5.2.2 και 7.3.3. Το κύριο πυρήνας της συγκεκριμένης διαδικασίας έχει ληφθεί από τη σύσταση ISDN Q.931. Κατά την φάση εκτέλεσης της διαδικασίας αυτής ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα (σχήμα 23):

ΒΗΜΑ 1:

Το δίκτυο ενεργοποιεί την διαδικασία εγκατάστασης του ραδιο-διαύλου και θέτει την φορητή συσκευή σε ένα κανάλι Dm. Συνήθως το κανάλι αυτό είναι ένα SDCCH. Η συγκεκριμένη ενέργεια πραγματοποιεί τη σύνδεση στο υποστρώμα L3 RR.

ΒΗΜΑ 2:

Η φορητή συσκευή στέλνει το πρώτο μήνυμα στο νέο εγκατασταθέν Dm κανάλι. Το μήνυμα αυτό είναι το RR Paging Response message. Το μήνυμα περιέχει την ταυτότητα της φορητής συσκευής (IMSI ή TMSI) και επίσης επιχειρεί την προσπάθεια για σύνδεση στο υποστρώμα MM.

ΒΗΜΑ 3:

Το δίκτυο επαληθεύει τα χαρακτηριστικά του συνδρομητή με αυτά που είναι καταχωρημένα στην βάση δεδομένων HLR και επίσης επαληθεύει ότι όντως η φορητή συσκευή έχει αναζητηθεί για εξυπηρέτηση. Στο σημείο αυτό, το δίκτυο μπορεί να ενεργοποιήσει τις

διαδικασίες της πιστοποίησης και της κρυπτογράφησης. Στην απλή περίπτωση, το δίκτυο μπορεί να στείλει το μήνυμα της αποκατάστασης στέλνοντας το σήμα CC Setup message για να ενεργοποιήσει την κλήση ελέγχου του τύπου Q.931.

ΒΗΜΑ 4:

Η φορητή συσκευή απαντά με το μήνυμα διαβεβαίωσης CC Call Confirmed

ΒΗΜΑ 5:

Το δίκτυο στέλνει το μήνυμα καταχώρησης RR Assignment message για να περατώσει την διαδικασία στο κανάλι SDCCH και να την οδηγήσει στον συνδυασμό καναλιών TCH+FACCH.

ΒΗΜΑ 6:

Μόλις η φορητή συσκευή αποκτήσει τον χρονισμό στον συνδυασμό των καναλιών TCH+FACCH, στέλνει μέσω του νέου καναλιού FACCH το μήνυμα ολοκλήρωσης της εκχώρησης RR Assignment Complete message. Από το σημείο αυτό και πέρα, ο πλήρης έλεγχος των διαδικασιών υποστηρίζεται από το κανάλι FACCH.

ΒΗΜΑ 7:

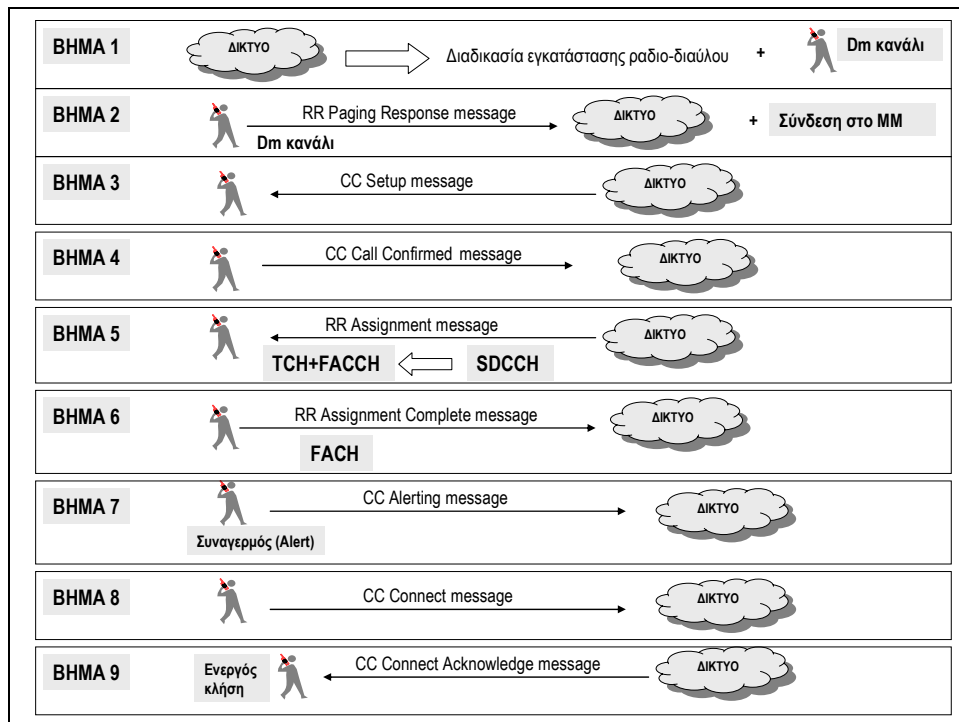
Η φορητή συσκευή ξεκινά τον συναγερμό (ηχητικό σήμα) και στέλνει στο δίκτυο το μήνυμα συναγερμού CC Alerting message

ΒΗΜΑ 8:

Όταν ο συνδρομητής απαντήσει, τότε η φορητή συσκευή του στέλνει στο δίκτυο το μήνυμα σύνδεσης CC Connect message.

ΒΗΜΑ 9:

Το δίκτυο απαντά με το μήνυμα αναγνώρισης της σύνδεσης CC Connect Acknowledge message. Από το σημείο αυτό, η κλήση είναι πλέον στην ενεργό κατάσταση.



Σχήμα 23: Αποκατάσταση κλήσης με τερματισμό την φορητή συσκευή (mobile-terminating call [MTC] establishment)

Σημείωση: Όπως στην περίπτωση της αποκατάστασης κλήσης με αφητηρία έναρξης την φορητή συσκευή (mobile-originating call [MOC] establishment), η καταχώρηση του συνδυασμού των καναλιών TCH+FACCH μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή, ανάλογα με τις απαιτήσεις των συνδρομητών. Επίσης, στην περίπτωση αυτή διακρίνουμε τις παρακάτω τρεις τεχνικές:

- Εγκαιρη Εκχώρηση (Early Assignment)
- Καθυστερημένη Εκχώρηση (Late Assignment)
- Αμεση Εκχώρηση (Very Early Assignment)

(ε) *Τερματισμός κλήσης (call clearing)*

Η διαδικασία του τερματισμού μιας κλήσης περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.08 Sections 5.4 και 7.3.4. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι η ίδια ανεξάρτητα αν ενεργοποιείται από την ίδια φορητή συσκευή ή από το δίκτυο. Η διαφορά τους έγκειται στην αντιστροφή των ρόλων των εμπλεκόμενων οντοτήτων του δικτύου ή της φορητής συσκευής. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο κύριος πυρήνας της διαδικασίας αυτής έχει ληφθεί από την σύσταση Q.931. Η εκτέλεση της διαδικασίας αυτής περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα τα οποία λαμβάνουν μεταξύ δύο ενεργών συνδρομητών (σχήμα 24):

ΒΗΜΑ 1:

Η φορητή συσκευή του συνδρομητή Σ1 στέλνει το μήνυμα αποσύνδεσης CC Disconnect message

ΒΗΜΑ 2:

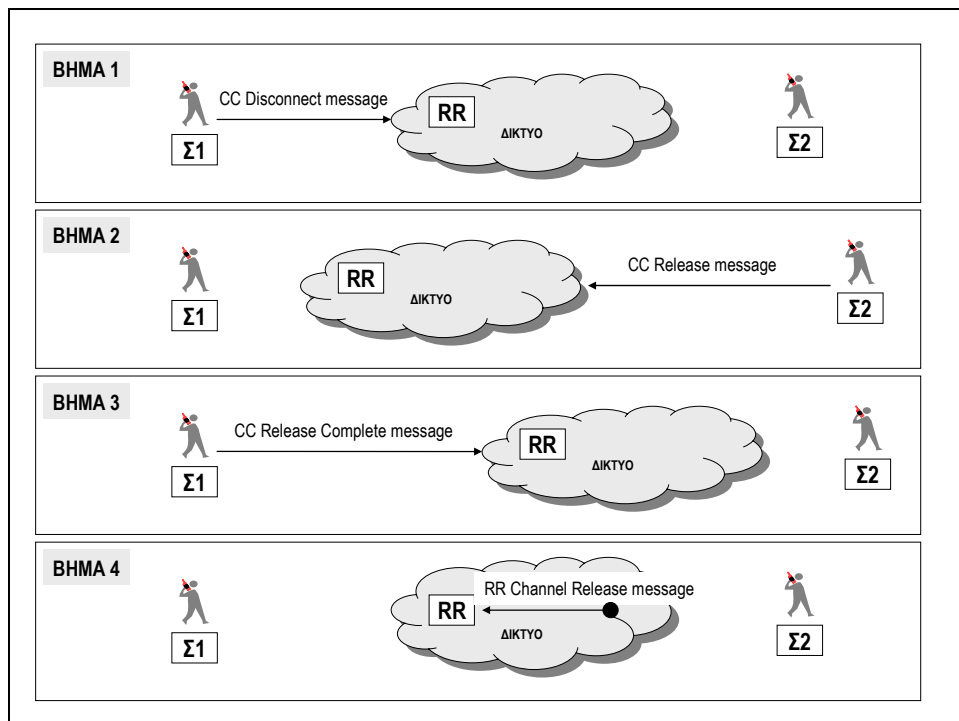
Η φορητή συσκευή του συνδρομητή Σ2 απαντά με το μήνυμα ελευθέρωσης CC Release message

ΒΗΜΑ 3:

Η φορητή συσκευή του συνδρομητή Σ1 απαντά με το μήνυμα ολοκλήρωσης της ελευθέρωσης CC Release Complete message

ΒΗΜΑ 4:

Το δίκτυο ελευθερώνει τη σύνδεση στο υποστρώμα RR με το μήνυμα RR Channel Release message. Η συγκεκριμένη ενέργεια ενεργοποιείται πάντα από το δίκτυο, ανεξάρτητα του ποιος συνδρομητής έχει ενεργοποιήσει την διαδικασία του τερματισμού της κλήσης.



Σχήμα 24: Τερματισμός κλήσης (call clearing)

Μετάδοση Βραχέως Μηνύματος (SMS) μέσω της διεπαφής Um

Η μετάδοση ενός βραχέως μηνύματος (SMS) καθορίζεται στην σύσταση GSM 04.11 και 03.40. Η μετάδοση υποστηρίζεται από τα παρακάτω πέντε στρώματα:

Στρώμα L1:

Ο έλεγχος της ενέργειας αυτής μεταφέρεται από το χρησιμοποιούμενο κανάλι Dm με χρήση των καναλιών ελέγχου SDCCH ή SACCH. Οι δραστηριότητες του στρώματος αυτού τερματίζονται στον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC).

Στρώμα L2:

Το στρώμα αυτό είναι το LAPDm (στο πρότυπο GPRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Logical Link Control [LLC], το οποίο περιγράφεται στη σύσταση GSM 04.64). Οι δραστηριότητες του στρώματος αυτού τερματίζονται στον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC).

Στρώμα L3:

Το στρώμα αυτό είναι το στρώμα σύνδεσης και περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.11 Section 5. Οι δραστηριότητες του στρώματος αυτού τερματίζονται στο Ψηφιακό Κέντρο (MSC).

Στρώμα L4:

Το στρώμα αυτό είναι το στρώμα αναμετάδοσης (relay layer) και περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.11 Section 6. Οι δραστηριότητες του στρώματος αυτού τερματίζονται στο Ψηφιακό Κέντρο (MSC).

Στρώμα L5:

Το στρώμα αυτό είναι το στρώμα μετάδοσης (transfer layer) και περιγράφεται στην σύσταση GSM 03.40. Οι δραστηριότητες του στρώματος αυτού τερματίζονται στο Κέντρο Βραχέων Μηνυμάτων (SMSC).

Εναρξη Βραχέως Μηνύματος από την φορητή συσκευή (Mobile – Originated SMS [MO-SMS])

Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στη σύσταση GSM 04.11 Sections 5, 6 και Annex B. Παρακάτω αναλύονται τα εμπλεκόμενα βήματα της συγκεκριμένης διαδικασίας:

ΒΗΜΑ 1:

Η φορητή συσκευή ενεργοποιεί την εδραίωση ενός καναλιού SDCCH χρησιμοποιώντας την RR διαδικασία εδραίωσης (RR establishment procedure)

ΒΗΜΑ 2:

Η φορητή συσκευή στέλνει το μήνυμα απαίτησης για εξυπηρέτηση CM Service Request

ΒΗΜΑ 3:

Η φορητή συσκευή ενεργοποιεί το ανάλογο πολύ-πλαίσιο στο σημείο πρόσβασης για εξυπηρέτηση Service Access Point-3 [SAP3] με την κανονική διαδικασία όπως επιβάλλει το πρωτόκολλο LAPDm χρησιμοποιώντας το πλαίσιο Set Asynchronous Balanced Mode (SABM).

ΒΗΜΑ 4:

Η φορητή συσκευή στέλνει ένα μήνυμα CP-DATA. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα στο στρώμα L3 σύμφωνα με την προδιαγραφή GSM 04.11 Section 7.2.1. Το μήνυμα αυτό μεταφέρει ένα μήνυμα RP-DATA που αφορά το στρώμα L4 σύμφωνα με την προδιαγραφή GSM 04.11 Section 7.3.1 για την μονάδα αναμετάδοσης Relay Protocol Data Unit (RPDU)

ΒΗΜΑ 5:

Το δίκτυο απαντά με το μήνυμα αναγνώρισης CP-ACK message για το στρώμα L3, όπως περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.11 Section 7.2.2.

ΒΗΜΑ 6:

Το δίκτυο συνδέει την μονάδα επεξεργασίας Reconfigurable Data Processing Unit (RDPU) στο Ψηφιακό Κέντρο (MSC).

ΒΗΜΑ 7:

Το Ψηφιακό Κέντρο (MSC) απαντά με ένα μήνυμα αναγνώρισης RP-ACK. Η ενέργεια αυτή αφορά το στρώμα L4 και περιγράφεται στην σύσταση GSM 04.11 Section 7.3.3.

ΒΗΜΑ 8:

Το δίκτυο στέλνει το μήνυμα CP-DATA στην φορητή συσκευή μεταφέροντας την ωφέλιμη πληροφορία του μηνύματος αναγνώρισης RP-ACK στη μονάδα αναμετάδοσης Relay Protocol Data Unit (RPDU)

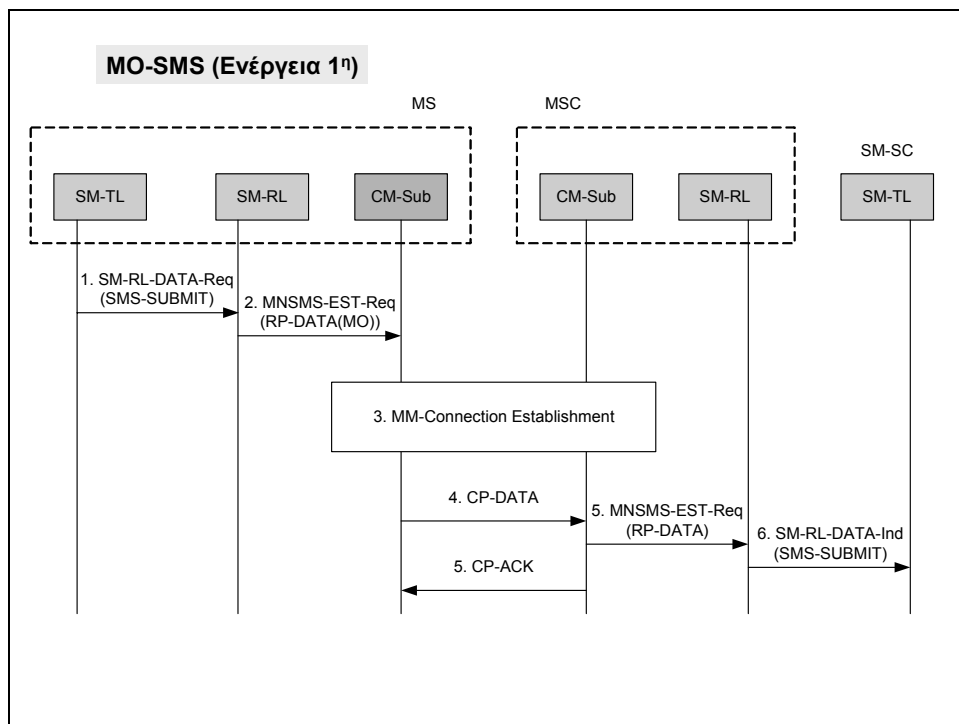
ΒΗΜΑ 9:

Η φορητή συσκευή απαντά με το μήνυμα αναγνώρισης CP-ACK

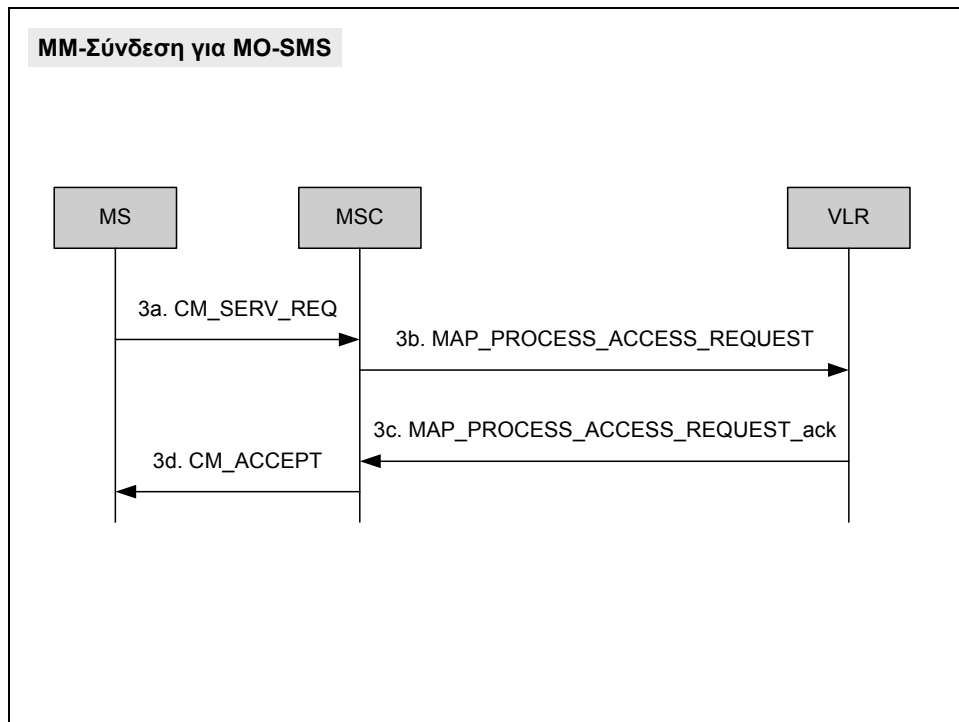
ΒΗΜΑ 10:

Στο βήμα αυτό, το δίκτυο αποδεσμεύει το κανάλι SDCCH με την αποστολή του μηνύματος αποδέσμευσης καναλιού RR Channel Release message. Αυτή η ενέργεια σημαίνει το «κλείσιμο» του υποστρώματος MM και την ενεργοποίηση των διαδικασιών αποδέσμευσης των στρωμάτων L2 και L1.

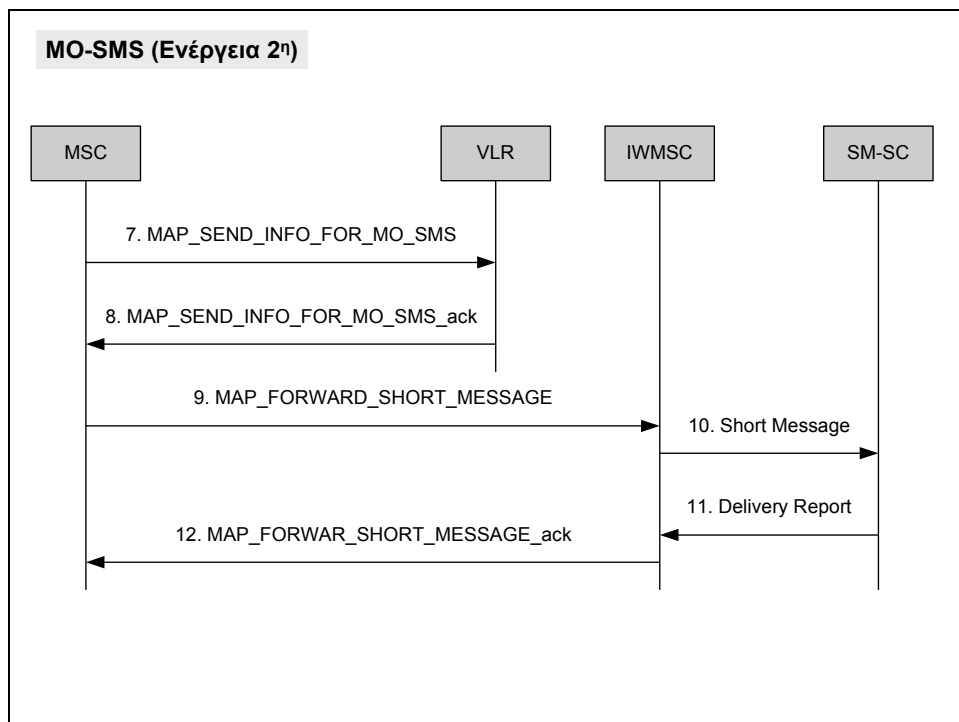
Τα σχήματα 25, 26, 27 και 28 δείχνουν τα βήματα τα οποία λαμβάνουν χώρα για την διαδικασία Εναρξης Βραχέως Μυνήματος από την φορητή συσκευή.



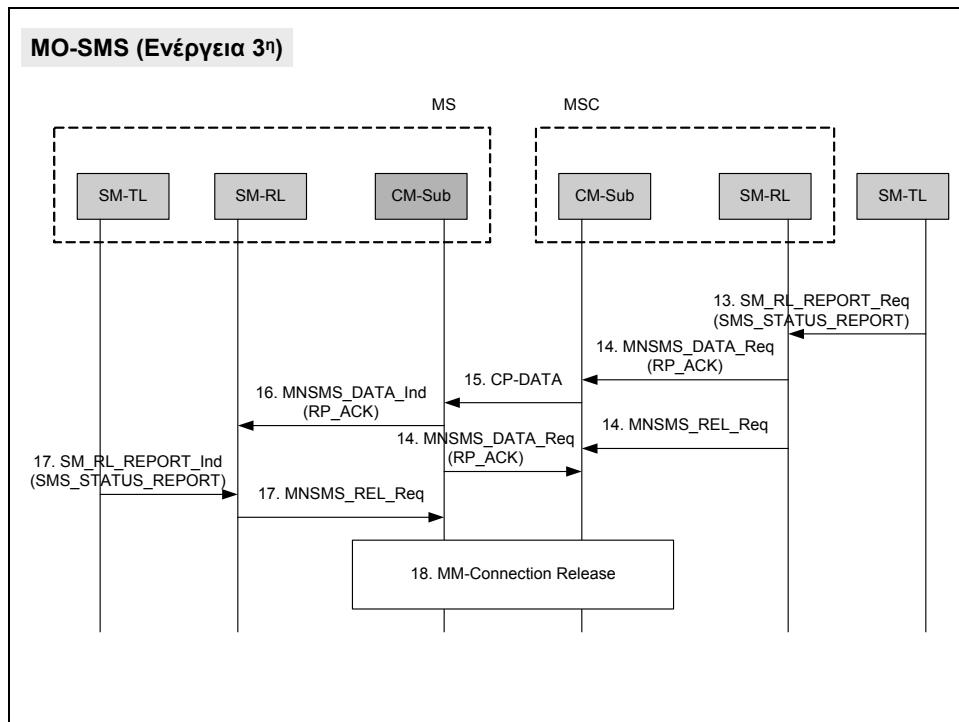
Σχήμα 25: Εναρξη Βραχέως Μυνήματος από την φορητή συσκευή (ενέργεια 1^η)



Σχήμα 26: MM Σύνδεση για MO-SMS



Σχήμα 27: Εναρξη Βραχέως Μηνύματος από την φορητή συσκευή (ενέργεια 2^η)



Σχήμα 28: Εναρξη Βραχέως Μηνήματος από την φορητή συσκευή (ενέργεια 3^η)

Τερματισμός Βραχέως Μηνύματος από την φορητή συσκευή (Mobile – Terminated SMS [MT-SMS])

Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στη σύσταση GSM 04.11 Sections 5, 6 και Annex B. Παρακάτω αναλύονται τα εμπλεκόμενα βήματα της συγκεκριμένης διαδικασίας:

ΒΗΜΑ 1:

Το δίκτυο αναζητά την φορητή συσκευή ακολουθώντας την τυποποιημένη διαδικασία αναζήτησης.

ΒΗΜΑ 2:

Η φορητή συσκευή εγκαθιστά ενεργό ένα κανάλι SDCCH, υιοθετώντας την διαδικασία απόκρισης αναζήτησης RR paging response procedure. Η συγκεκριμένη ενέργεια συνεπάγεται την σύνδεση του υπο-στρώματος CC.

ΒΗΜΑ 3:

Το δίκτυο ενεργοποιεί ένα πολύ-πλαίσιο στο σημείο πρόσβασης για εξυπηρέτηση Service Access Point-3 [SAP3].

ΒΗΜΑ 4:

Το δίκτυο στέλνει το μήνυμα RP-DATA.

ΒΗΜΑ 5:

Η φορητή συσκευή απαντά με το μήνυμα CP-ACK message.

ΒΗΜΑ 6:

Η φορητή συσκευή ενεργοποιεί την μονάδα αναμετάδοσης Relay Protocol Data Unit (RPDU)

ΒΗΜΑ 7:

Η φορητή συσκευή στέλνει ένα μήνυμα CP-DATA στο δίκτυο, το οποίο περιέχει το μήνυμα RP-ACK message της μονάδας αναμετάδοσης Relay Protocol Data Unit (RPDU)

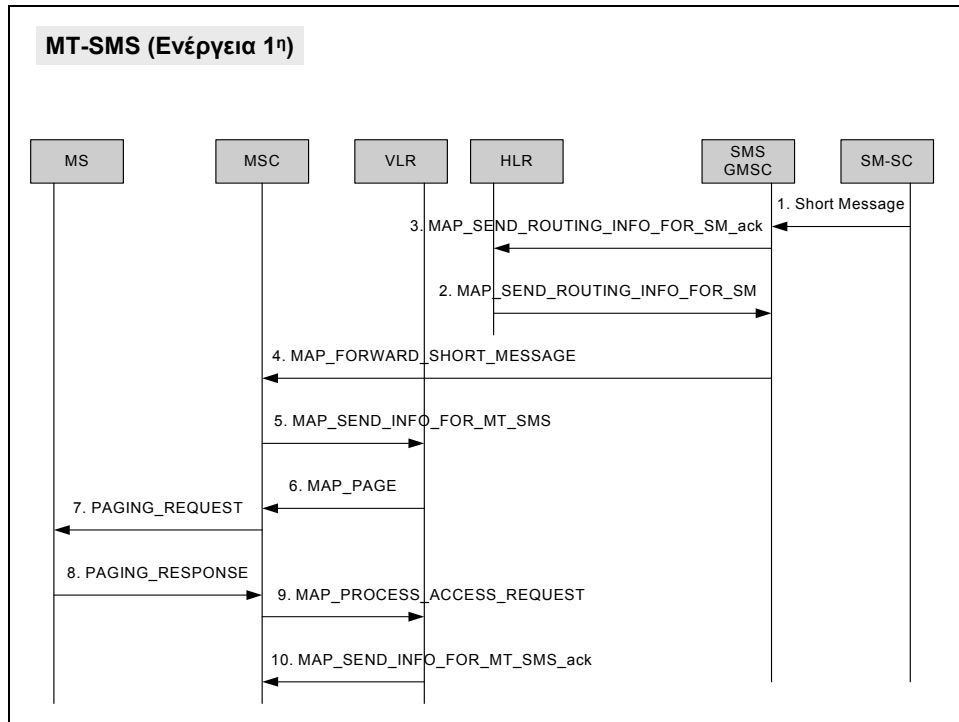
ΒΗΜΑ 8:

Το δίκτυο απαντά με ένα μήνυμα CP-ACK message

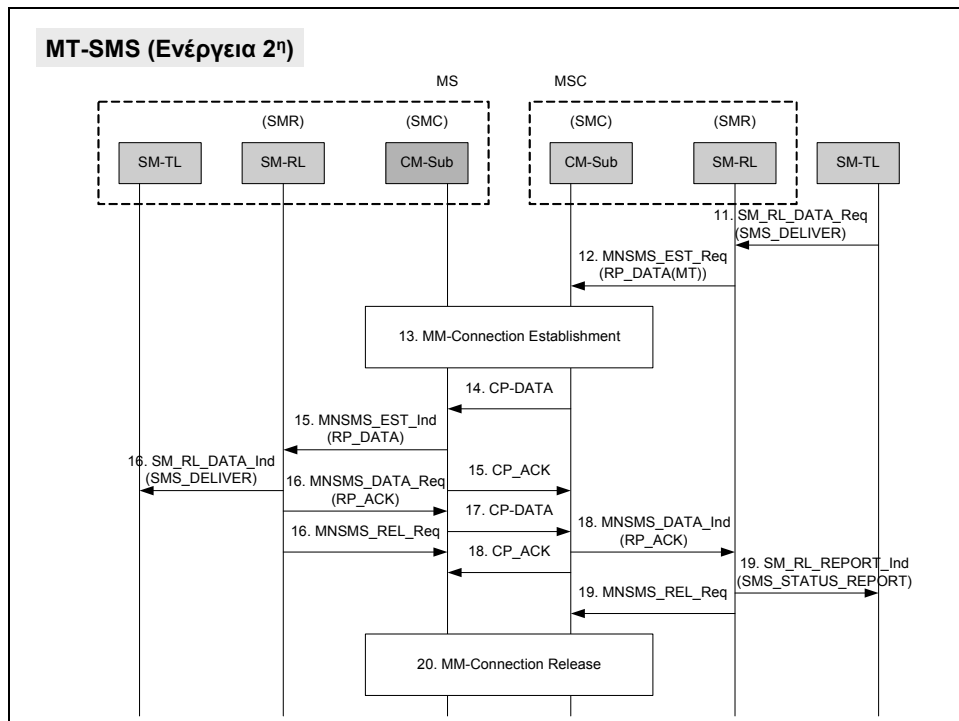
ΒΗΜΑ 9:

Το δίκτυο αποδεσμεύει το κανάλι SDCCH με την χρήση του μηνύματος αποδέσμευσης καναλιού RR Channel Release message. Με την ενέργεια αυτή, κλείνει η σύνδεση με το υπο-στρώμα MM και παράλληλα ενεργοποιείται η αποδέσμευση των στρωμάτων L2 και L1

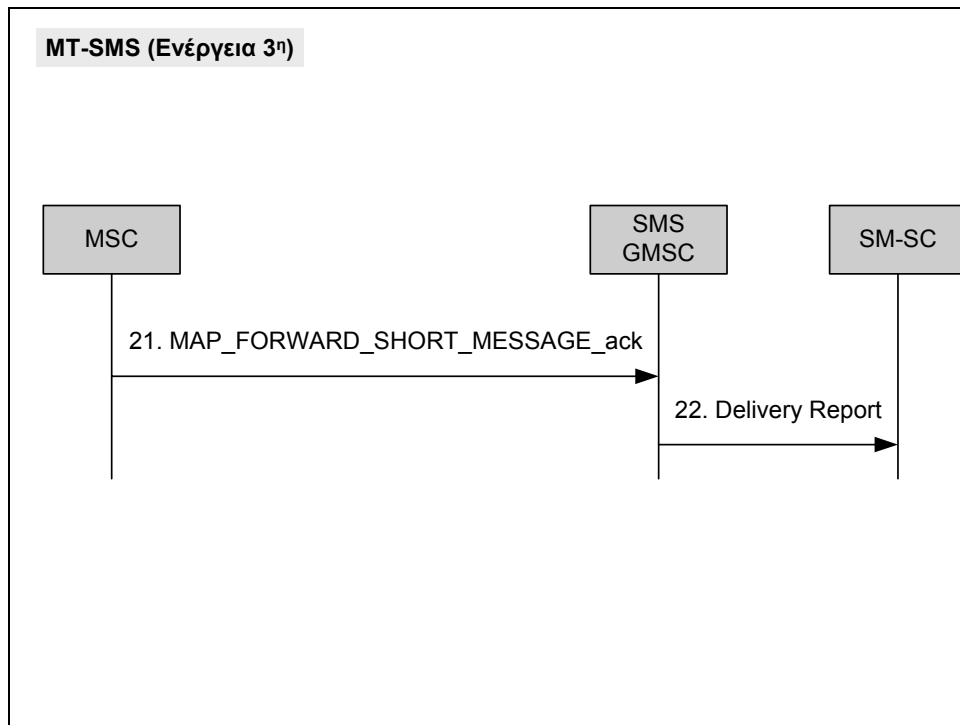
Τα σχήματα 29, 30 και 31 δείχνουν τα βήματα τα οποία λαμβάνουν χώρα για την διαδικασία του Τερματισμού Βραχέως Μυνήματος από την φορητή συσκευή.



Σχήμα 29: Τερματισμός Βραχέως Μυνήματος από την φορητή συσκευή (ενέργεια 1^η)



Σχήμα 30: Τερματισμός Βραχέως Μυνήματος από την φορητή συσκευή (ενέργεια 2^η)



Σχήμα 31: Τερματισμός Βραχέως Μηνύματος από την φορητή συσκευή (ενέργεια 3^η)

Σύστημα Σηματοδοσίας # 7 (SS7)

Οι τηλεφωνικές κλήσεις απαρτίζονται από δύο βασικά λειτουργικά τμήματα. Το πρώτο τμήμα αφορά το κυρίως περιεχόμενο της κλήσης (π.χ φωνή, δεδομένα, κ.λ.π) και το δεύτερο τμήμα αφορά την εμπλεκόμενη πληροφορία που σχετίζεται με την εκτέλεση διαδικασιών σύνδεσης και δρομολόγησης μεταξύ τηλεφωνικών κέντρων, προκειμένου να μεταδοθεί η χρήσιμη πληροφορία των συνδρομητών στους αντίστοιχους τερματικούς προορισμούς. Η τηλεφωνική σηματοδοσία πραγματοποιείται σύμφωνα με πρότυπα που θέτουν οι αρμόδιοι φορείς τυποποίησης και με την έννοια «σηματοδοσία» εννοούμε ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία υιοθετούνται από διάφορες τεχνολογίες δικτύων και προφανώς αυτά είναι κατάλληλα για τη μετάδοση της πληροφορίας. Το Σύστημα Σηματοδοσίας No.7 (SS7) είναι ένα σύνολο από πρωτόκολλα τα οποία περιγράφουν τον τρόπο επικοινωνίας που θα πρέπει να πραγματοποιηθεί για τη μετάδοση της πληροφορίας μεταξύ τηλεφωνικών κέντρων στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN). Το SS7 στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται και πολλές φορές και με το ακρωνύμιο C7. Ο επίσημος τηλεπικοινωνιακός οργανισμός ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αντίστοιχη σύσταση είναι η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU-T).

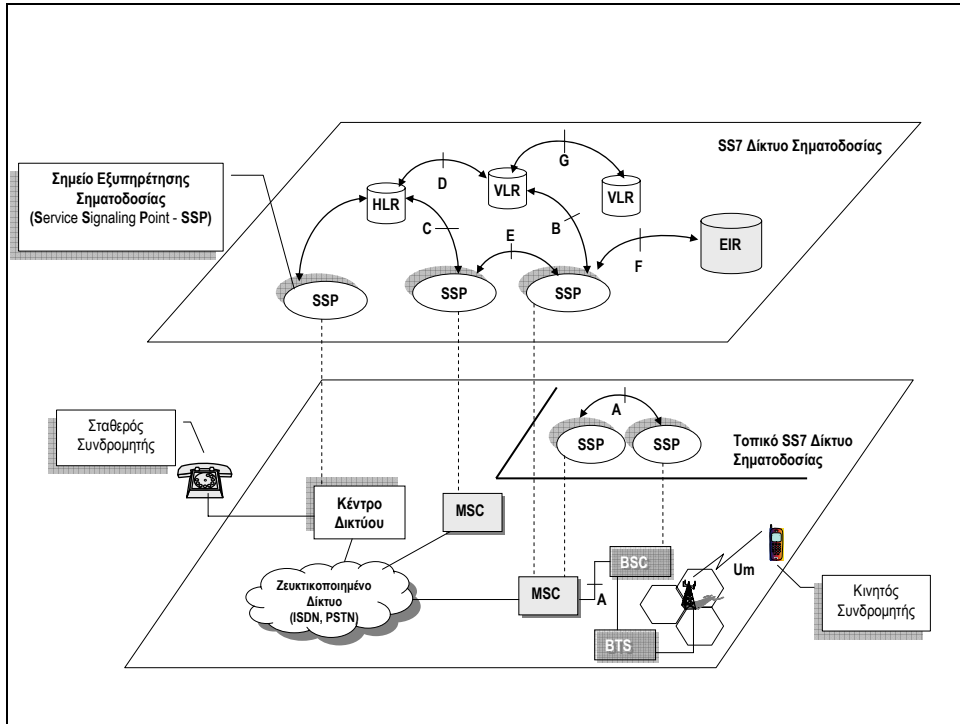
Το πρωτόκολλο SS7 χρησιμοποιήθηκε από τηλεφωνικές εταιρείες για ενδο-γραφειακή (διασύνδεση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων σε επίπεδο γραφείου) σηματοδοσία. Η εφαρμοζόμενη μέθοδος αυτή της σηματοδοσίας επέτρεπε την χρήση ενός φυσικού καναλιού για μετάδοση και της σηματοδοσίας ελέγχου της κλήσης καθώς και του περιεχομένου της υπο μετάδοση πληροφορίας της συνδεδεμένης κλήσης ενός συνδρομητή. Η συγκεκριμένη μέθοδος της σηματοδοσίας αποδείχθηκε ανεπαρκής και αντικαταστάθηκε με τεχνικές σηματοδοσίας κοινού καναλιού (common – channel signaling techniques).

Ένα δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί σηματοδοσία κοινού καναλιού, συμπεριφέρεται σαν να είναι δύο δίκτυα ενσωματωμένα σε ένα. Τα δύο επιμέρους δίκτυα είναι:

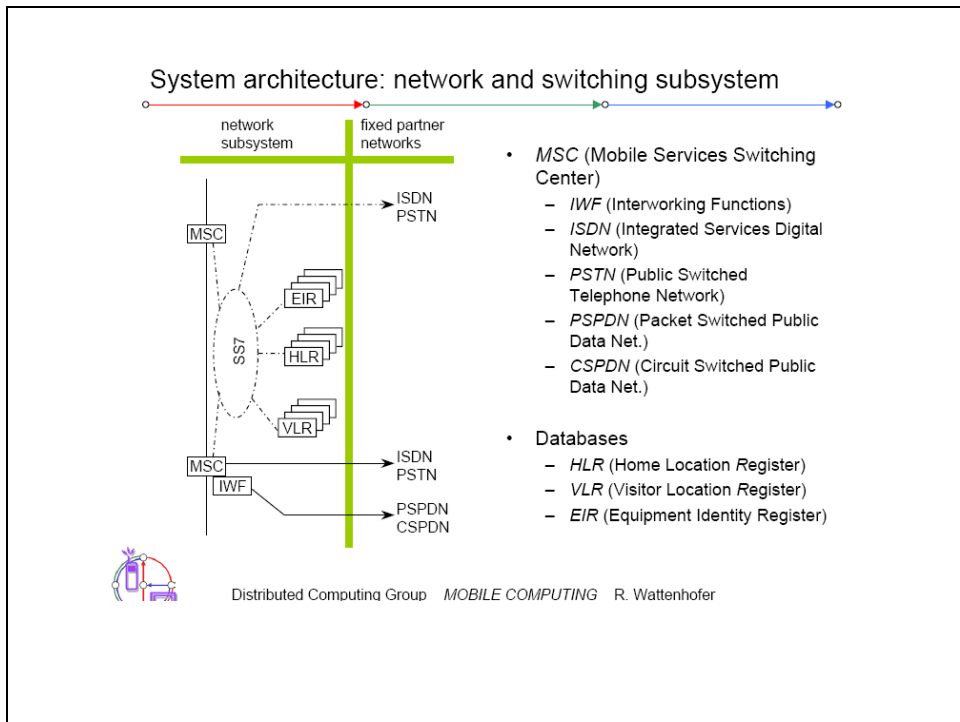
- ο το δίκτυο κυκλωμεταγωγής (circuit-switched) το οποίο μεταφέρει την χρήσιμη συνδρομητική πληροφορία του χρήστη (π.χ φωνή, δεδομένα, κ.λ.π). Στην πραγματικότητα το δίκτυο αυτό παρέχει τον φυσικό τηλεπικοινωνιακό δρόμο μεταξύ πηγής και προορισμού.
- ο το δίκτυο σηματοδοσίας το οποίο μεταφέρει την κίνηση της πληροφορίας που αφορά τον έλεγχο της κλήσης. Το δίκτυο αυτό, είναι δίκτυο πακετο-μεταγωγής (packet-switched) και χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο μεταγωγής κοινού καναλιού (common channel switching protocol).

Τα αρχικά πρωτόκολλα επικοινωνίας κοινού καναλιού για εφαρμογές εντός γραφείου, βασίζονται στο Σύστημα Σηματοδοσίας #6 (SS#6). Το SS#7 είναι στην πραγματικότητα το αντίστοιχο πρωτόκολλο για εφαρμογές ISDN. Η κύρια λειτουργική διαδικασία του SS#7, είναι να παρέχει τον έλεγχο της κλήσης, τη απομακρυσμένη διαχείριση του δικτύου και τις δυνατότητες συντήρησης του τηλεφωνικού δικτύου. Η πραγματοποίηση των διαδικασιών αυτών πραγματοποιείται με την ανταλλαγή των μνημάτων ελέγχου μεταξύ των τηλεφωνικών κέντρων (αναφέρονται και σαν Σημεία Σηματοδοσίας Εξυπηρέτησης [service signalling points – SSPs]) και των Δρομολογητών [routers] (αναφέρονται και σαν Σημεία Σηματοδοσίας Μεταφοράς [Signalling Transfer Points – STPs]).

Τα σχήματα 32 και 33 δείχνουν την τυπική SS7 αρχιτεκτονική.



Σχήμα 32: SS7 αρχιτεκτονική (1)



Σχήμα 33: SS7 αρχιτεκτονική (2)

Στρώματα Πρωτοκόλλου (SS7)

1ο Στρώμα: *Τμήμα Μεταφοράς Μηνυμάτων (Message Transfer Part – MTP)*

Το στρώμα αυτό είναι υπεύθυνο για θέματα δρομολόγησης των κλήσεων καθώς και για δυνατότητες διεπαφών του δικτύου, το οποίο υποστηρίζει τις οντότητες SCCP, TCAP και ISUP, τα οποία θα επεξηγηθούν στην ενότητα αυτή. Το Τμήμα MTP, υποδιαιρείται σε τρία επιμέρους επίπεδα:

α) *Το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)_MTP-1*

Το επίπεδο αυτό, καθορίζει τα φυσικά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ζεύξεων σηματοδοσίας του SS7 δικτύου. Οι ζεύξεις σηματοδοσίας χρησιμοποιούν τα DS-0 κανάλια και μεταφέρουν δεδομένα σηματοδοσίας με ρυθμούς 56 kbps ή 64 kbps. Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση ρυθμού μετάδοσης 56 kbps είναι η πλέον κοινή υλοποίηση. Επίσης, το MTP-1 καθορίζει τα φυσικά, ηλεκτρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της ψηφιακής ζεύξης σηματοδοσίας. Οι καθοριζόμενες φυσικές διεπαφές περιλαμβάνουν την κατηγορία σύνδεσης E-1 που αφορούν κανάλια των 2048 kb/s; 32 και 64 kb/s, την κατηγορία σύνδεσης DS-1 που αφορούν κανάλια των 1544 kb/s; 24 και 64 kb/s, την κατηγορία σύνδεσης V.35 που αφορά ρυθμό μετάδοσης 64 kb/s, την κατηγορία σύνδεσης DS-0 που αφορά ρυθμό μετάδοσης 64 kb/s και την κατηγορία σύνδεσης DS-OA που αφορά ρυθμό μετάδοσης 56 kb/s.

β) *MTP επίπεδο 2_MTP-2*

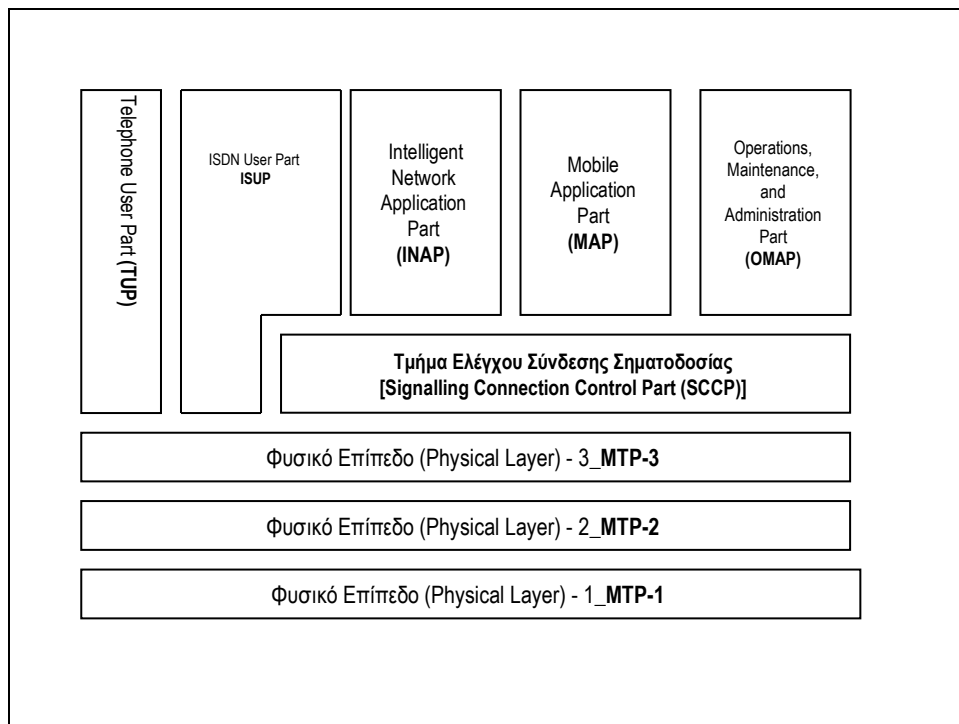
Το 2^ο επίπεδο αφορά θέματα λειτουργικότητας. Συγκεκριμένα, υποστηρίζει την ανταλλαγή των μηνυμάτων σηματοδοσίας μεταξύ δύο τερματικών σημείων μιας ζεύξης σηματοδοσίας. Παράλληλα, συμπεριλαμβάνει τις δυνατότητες του ελέγχου των σφαλμάτων, της ροής του ελέγχου και τον έλεγχο της σειράς των διαδικασιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι το επίπεδο αυτό, υποστηρίζει θέματα που αφορούν την αξιοπιστία (π.χ ανίχνευση και διόρθωση λαθών). Τέλος, το 2^ο επίπεδο μαζί με το 3^ο επίπεδο παρέχουν την δυνατότητα της αξιόπιστης μεταφοράς των μηνυμάτων σηματοδοσίας μεταξύ δύο απευθείας συνδεδεμένων σημείων σηματοδοσίας.

γ) *MTP επίπεδο 3_MTP-3*

Το 3^ο επίπεδο, επεκτείνει τις δυνατότητες του 2^{ου} επιπέδου παρέχοντας την αντίστοιχη αναβαθμισμένη επέκταση της λειτουργικότητας. Με το επίπεδο αυτό, διασφαλίζεται η παράδοση των μηνυμάτων μεταξύ των σημείων σηματοδοσίας του δικτύου SS7, ανεξάρτητα του τρόπου διασύνδεσης αυτών. Στο πλαίσιο αυτό, παρέχει δυνατότητες, όπως διευθυνσιοδότηση των κόμβων, δρομολόγηση, εναλλακτικά σενάρια δρομολογήσεων και έλεγχο της συμφόρησης της κίνησης. Το 3^ο επίπεδο υποστηρίζει δηλαδή τα θέματα που αφορούν την ζεύξη, την δρομολόγηση και τη διαχείριση της κίνησης. Επομένως, διασφαλίζεται η αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων σηματοδοσίας ακόμη και σε περιπτώσεις πιθανών αστοχιών των σημείων ζεύξεων και των Σημείων Σηματοδοσίας Μεταφοράς [Signalling Transfer Points – STPs]. Το πρωτόκολλο, επομένως περιλαμβάνει τις αναγκαίες λειτουργίες και διαδικασίες προκειμένου να υπάρχει η κατάλληλη πληροφόρηση στα απομακρυσμένα σημεία του δικτύου σηματοδοσίας για τις συνέπειες των τυχόν αστοχιών

και να δωθούν οι κατευθύνσεις για τον επασχεδιασμό των δρομολογήσεων των μηνυμάτων στο υφιστάμενο δίκτυο σηματοδοσίας.

Στο σχήμα 34, δείχνονται τα εμπλεκόμενα στρώματα του πρωτοκόλλου SS7.



Σχήμα 34: Στρώματα του πρωτοκόλλου SS7

2ο Στρώμα: Signaling Connection Control Part (SCCP)

Το στρώμα αυτό υποστηρίζει δύο κύριες λειτουργίες οι οποίες δεν μπορούν να υποστηριχθούν από το Τμήμα Μεταφοράς Μηνυμάτων (MTP). Η πρώτη λειτουργία αφορά τη δυνατότητα της υποστήριξης εφαρμογών (π.χ εφαρμογή λογισμικού) στα σημεία σηματοδοσίας. Το MTP μπορεί μόνο να λαμβάνει και να παραδίδει μηνύματα από ένα κόμβο και δεν ασχολείται με εφαρμογές λογισμικού μέσα στον κόμβο. Ενώ μηνύματα διαχείρισης και βασικά μηνύματα που αφορούν την αποκατάσταση των κλήσεων, μπορούν να κατευθύνονται σε έναν κόμβο, άλλες κατηγορίες μηνυμάτων χρησιμοποιούνται από διαφορετικές εφαρμογές, οι οποίες αναφέρονται και σαν υποσυστήματα, σε έναν κόμβο. Παραδείγματα τέτοιων υποσυστημάτων είναι η διεξαγωγή μιας κλήσης, υπηρεσίες σηματοδοσίας (π.χ επανάληψη αριθμοδότησης μιας κλήσης), κ.λ.π.

Η δεύτερη κύρια λειτουργία, η οποία υποστηρίζεται από το SCCP στρώμα, είναι η Περιεκτική Μετάφραση Τίτλου (Global Title Translation – GTT) με την οποία εκτελείται η διαδικασία της δρομολόγησης. Συγκεκριμένα, η λειτουργία GTT ελευθερώνει Σημεία Σηματοδοσίας από τον φόρτο της γνώσης κάθε δυνατού προορισμού που θα πρέπει να έχουν για τις αντίστοιχες δρομολογήσεις των μηνυμάτων. Ένας μεταγωγέας (switch) μπορεί να απευθύνει ένα ερώτημα και να το κατευθύνει σε ένα Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς [Signalling Transfer Point – STP]) μαζί με τη σχετική απαίτηση για Περιεκτική Μετάφραση Τίτλου (GTT). Το Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) λήψης μπορεί να εξετάσει ένα τμήμα του μηνύματος,

προκειμένου να προσδιορίσει για το που θα δρομολογηθεί το συγκεκριμένο και μήνυμα, και αφού προβεί στον προσδιορισμό αυτόν, τότε δρομολογεί το μήνυμα για τον προορισμό του.

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της λειτουργίας GTT, ένα Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζει τον ακριβή τελικό προορισμό του μηνύματος. Μπορεί να εκτελέσει «ενδιάμεση» λειτουργία GTT, όπου με βάση τους πίνακές του να προσδιορίσει ένα άλλο ενδιάμεσο Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) το οποίο ευρίσκεται κατά μήκος της πορείας του μηνύματος προς τον τελικό προορισμό. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται μέχρις ότου το μήνυμα φθάσει στον τελικό προορισμό.

Η «ενδιάμεση» λειτουργία GTT, ελαχιστοποιεί την αναγκαιότητα για ένα Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) να διατηρεί την πλεονάζουσα πληροφορία για τους κόμβους που ευρίσκονται μακριά του σύμφωνα με το σενάριο μιας δρομολόγησης ενός μηνύματος προς τον προορισμό. Επιπλέον, η «ενδιάμεση» λειτουργία GTT, χρησιμοποιείται στο Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) προκειμένου να μοιράσει τον φόρτο μεταξύ των κόμβων του δικτύου (Service Control Points – SCPs) σχετικά με θέματα που αφορούν επιτυχή σενάρια και σενάρια αστοχιών κατά τη φάση μιας δρομολόγησης. Στη περίπτωση αυτή, όταν τα μηνύματα φθάνουν σε ένα Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) για μια τελική διαδικασία GTT και δρομολόγηση σε μια βάση δεδομένων, τότε το Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) μπορεί να επιλέξει ένα διαθέσιμο SCP. Η επιλογή αυτή, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε επίπεδο προτεραιότητας (αυτό συνήθως αναφέρεται σαν primary backup) είτε σε επίπεδο ισοστάθμισης φορτίου μεταξύ των εμπλεκόμενων SCPs (αυτό συνήθως αναφέρεται σαν load sharing).

3ο Στρώμα: Τμήμα Χρήση (Telephone User Part [TUP])

Το 3^ο στρώμα είναι το Τμήμα του Χρήστη (Telephone User Part – TUP). Το στρώμα αυτό παρέχει τις συμβατικές τηλεφωνικές PSTN υπηρεσίες. Στην πρωταρχική του έκδοση δεν υποστήριζε υπηρεσίες ISDN. Σήμερα, το στρώμα αυτό έχει αντικατασταθεί από το στρώμα που αφορά το Τμήμα του Χρήστη για υποστήριξη ISDN υπηρεσιών (ISDN User Part [ISUP]). Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμη και σήμερα το στρώμα αυτό ευρίσκεται σε λειτουργική χρήση σε μερικές χώρες (π.χ στην Κίνα). Το στρώμα TUP προδιαγράφεται από την ITU-T με τη σύσταση Q.721-725. Στη σύσταση αυτή καθορίζονται οι λειτουργίες για τη σηματοδοσία ελέγχου των τηλεφωνικών κλήσεων για χρήση στο σύστημα SS7.

4ο Στρώμα: Τμήμα Χρήστη για υποστήριξη ISDN υπηρεσιών (ISDN User Part [ISUP])

Το στρώμα αυτό καθορίζει τα μηνύματα και το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκαθίδρυση και την ανάκτηση κλήσεων φωνής και δεδομένων στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN). Επίσης, είναι υπεύθυνο για τις διαδικασίες διαχείρισης του δικτύου οι οποίες εμπλέκονται για τις κλήσεις αυτές. Το ISUP χρησιμοποιείται για ISDN και μη-ISDN κλήσεις. Ειδικά για τη Βόρειο Αμερική σε αντίστοιχη έκδοση του SS7, τα ISUP μηνύματα εξαρτώνται από το MTP προκειμένου να μεταφερθούν μηνύματα μεταξύ συγκεκριμένων κόμβων.

Το ISUP ελέγχει τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση κίνησης φωνής και δεδομένων. Επίσης, η οντότητα αυτή επαληθεύει και διαχειρίζεται την κατάσταση των εμπλεκόμενων κυκλωμάτων. Η διαχείριση αυτή της κυκλωματικής υποδομής μπορεί να πραγματοποιηθεί και για περιπτώσεις απλών κυκλωμάτων καθώς και για περιπτώσεις ομάδων κυκλωμάτων.

Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν διαδικασίες ISUP είναι: υπηρεσίες μεταγωγής, Φωνητικό ταχυδρομείο (voice mail), υπηρεσία συνόδου διαδικτύου. Επιπλέον το ISUP είναι ιδανικό για εφαρμογές στις οποίες οι αντίστοιχες κλήσεις δρομολογούνται μεταξύ τερματικών σταθμών (endpoints).

Τέλος, το ISUP σε συνδυασμό με το Τμήμα Διενεργειών Δυνατοτήτων Εφαρμογής (Transaction Capabilities Application Part [TCAP]) χρησιμοποιείται για λύσεις από-φόρτισης (off-load) της διαδικτυακής πληροφορίας, όπου σύνοδοι διαδικτύου σχετικά μεγάλης χρονικής διάρκειας μπορούν να απομονωθούν από υφιστάμενες σύντομες τηλεφωνικές συνδιαλέξεις.

Μια απλή ροή κλήσης που χρησιμοποιεί σηματοδοσία ISUP περιγράφεται παρακάτω:

α) *Αποκατάσταση κλήσης (Call set up):*

Κατά τη φάση αυτή, το αρχικό Σημείο Σηματοδοσίας Εξυπηρέτησης [service signalling points – SSP]), μεταδίδει το ISUP μήνυμα Initial Address Message (IAM) προκειμένου να δεσμεύσει ένα διαθέσιμο (ελεύθερο) κύκλωμα τηλεφωνίας από τον αρχικό μεταγωγέα μέχρι τον μεταγωγέα προορισμού. Ο μεταγωγέας προορισμού προκαλεί σήμα συναγερμού το οποίο μεταδίδεται στη γραμμή του καλούμενου χρήστη (εφόσον είναι διαθέσιμη) και μεταδίδει το ISUP μήνυμα ολοκλήρωσης Address Complete Message (ACM) στον αρχικό μεταγωγέα προκειμένου να δηλώσει ότι ο μεταγωγέας προορισμού του κυκλώματος τηλεφωνίας έχει δεσμευθεί. Το Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) δρομολογεί το μήνυμα ACM στον αρχικό μεταγωγέα ο οποίος προκαλεί σήμα συναγερμού στη γραμμή του καλούντος χρήστη και τη συνδέει στο κύκλωμα τηλεφωνίας προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία μετάδοσης φωνής από την πηγή μέχρι τον προορισμό.

β) *Σύνδεση κλήσης (Call connection):*

Όταν ο κληθείς χρήστης σηκώνει την συσκευή του, ο μεταγωγέας προορισμού τερματίζει το σήμα συναγερμού (ringing tone) και μεταδίδει ISUP μήνυμα απάντησης ANswer Message (ANM) στον αρχικό μεταγωγέα μέσω του οικείου STP (home STP). Ακολούθως, το Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) δρομολογεί το μήνυμα ANM στον αρχικό μεταγωγέα το οποίο επαληθεύει ότι η γραμμή του καλούντος χρήστη έχει συνδεθεί στο δεσμευμένο κύκλωμα, και αν αυτό έχει επιτευχθεί τότε εκκινεί τη διαδικασία της χρέωσης της κλήσης.

γ) *Αποδέσμευση κλήσης (Call tear down):*

Εάν ο καλών χρήστης κατεβάσει (hang up) την συσκευή του πρώτος, ο αρχικός μεταγωγέας στέλνει το ISUP μήνυμα αποδέσμευσης Release Message (REL) προκειμένου να αποδεσμευθεί το κύκλωμα τηλεφωνίας μεταξύ των μεταγωγέων. Το Σημείο Σηματοδοσίας Μεταφοράς (STP) δρομολογεί το μήνυμα REL στον μεταγωγέα προορισμού. Εάν ο κληθείς χρήστης κατεβάσει (hang up) την συσκευή του πρώτος, ή αν η γραμμή είναι κατειλημμένη (busy), τότε ο μεταγωγέας προορισμού στέλνει το μήνυμα REL στον αρχικό μεταγωγέα δηλώνοντας ότι έχει γίνει κανονική αποδέσμευση ή ότι η γραμμή είναι κατειλημμένη. Με την λήψη του μηνύματος REL, ο μεταγωγέας προορισμού αποσυνδέει το κύκλωμα φωνής από την γραμμή του κληθέντος χρήστη, θέτει το κύκλωμα φωνής σε κατάσταση «νεκρή – idle» και μεταδίδει το ISUP μήνυμα ολοκλήρωσης της αποδέσμευσης ReLease Complete message (RLC) στον αρχικό μεταγωγέα προκειμένου να αναγνωρισθεί η αποδέσμευση του απομακρυσμένου άκρου του κυκλώματος φωνής. Όταν ο αρχικός μεταγωγέας λαμβάνει (ή

δημιουργεί) το μήνυμα RLC, τερματίζει τον κύκλο της χρέωσης και θέτει το κύκλωμα φωνής σε κατάσταση προετοιμασίας για την επόμενη κλήση.

Σημείωση: Τμήμα Διενεργειών Δυνατοτήτων Εφαρμογής (Transaction Capabilities Application Part [TCAP])

Το τμήμα αυτό ορίζει τα μηνύματα και το πρωτόκολλο που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ των υποσυστημάτων σε έναν κόμβο. Χρησιμοποιείται για υπηρεσίες βάσεων δεδομένων, για υπηρεσίες μεταγωγέα-μεταγωγέα όπου συμπεριλαμβάνεται ο επανασχηματισμός του κωδικού κλήσης (repeat dialing) και η επιστροφή κλήσης (call return). Επειδή τα μηνύματα TCAP πρέπει να παραδωθούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές (ονομάζονται και υποσυστήματα) μέσα σε έναν κόμβο, χρησιμοποιούν το SCCP για τη μεταφορά. Με το TCAP δίδεται η δυνατότητα της ανάπτυξης προχωρημένων ευφυών δικτυακών υπηρεσιών, υποστηρίζοντας ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των σημείων σηματοδότησης χρησιμοποιώντας την SCCP υπηρεσία μη-σύνδεσης (SCCP connectionless service). Ένα μήνυμα TCAP αποτελείται από το τμήμα διενέργειας (transaction) και από το τμήμα συνιστώσας (component). Τέλος, το TCAP μεταφέρει μηνύματα MAP που στέλνονται μεταξύ των κινητών μεταγωγέων και των βάσεων δεδομένων στο πλαίσιο της υποστήριξης της πιστοποίησης του χρήστη (user authentication), της ταυτότητας της συσκευής (equipment identification) και της περιαγωγής (roaming).

5ο Στρώμα: Τμήμα Κινητής Εφαρμογής (Mobile Application Part [MAP])

Το Τμήμα Κινητής Εφαρμογής (MAP) είναι μια επέκταση των πρωτοκόλλων SS7, το οποίο προστίθεται στο πλαίσιο της υποστήριξης των κυψελωτών δικτύων. Συγκεκριμένα, καθορίζει τις λειτουργίες μεταξύ των οντοτήτων MSC, HLR, VLR, EIR, φορητή συσκευή και του σταθερού δικτύου. Το MAP λειτουργεί σε δύο εναλλακτικές εκδόσεις. Η μία έκδοση είναι το GSM-MAP, το οποίο υποστηρίζει μόνο το δίκτυο GSM και η άλλη έκδοση είναι το ANSI-41, το οποίο υποστηρίζει τα συστήματα AMPS, NAMPS, D-AMPS/TDMA, CDMA (cdma One and cdma 2000), και GSM. Πρέπει να σημειωθεί ότι η έκδοση GSM-MAP είναι μια διεθνής έκδοση, ενώ η έκδοση ANSI-41 είναι έκδοση της Βορείου Αμερικής. Με τη σηματοδότηση MAP δίδεται η δυνατότητα για ενημέρωση της θέσης, για υλοποίηση μεταπομπής, για την υλοποίηση της λειτουργικότητας της περιαγωγής, για την υλοποίηση της πιστοποίησης, για την υλοποίηση της δρομολόγησης των εισερχομένων κλήσεων και για την ολοκλήρωση της μετάδοσης των βραχέων μηνυμάτων (SMS). Επιπλέον, το MAP καθορίζει ένα σύνολο υπηρεσιών και ροών πληροφορίας μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου GSM, προκειμένου να υλοποιηθούν οι αντίστοιχες υποστηριζόμενες επικοινωνιακές υπηρεσίες. Το MAP χρησιμοποιεί το υποστρώμα TCAP πάνω από το SCCP και MTP. Το υποστρώμα TCAP πραγματοποιεί την συσχέτιση μεταξύ ανεξάρτητων λειτουργιών και επιπλέον διαχειρίζεται τις εμπλεκόμενες διενέργειες σε μια διατεμαχική βάση (end-to-end basis). Στο πλαίσιο αυτό το πρωτόκολλο MAP χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο TCAP για να μεταφέρει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των οντοτήτων του NSS. Επομένως:

- ο το πρωτόκολλο MAP παρέχει την λειτουργικότητα για την δρομολόγηση των κλήσεων προς/και από τους κινητούς συνδρομητές. Κατέχει τους απαραίτητους μηχανισμούς για μεταφορά της πληροφορίας των συνδρομητών κατά τη φάση περιαγωγής αυτής στις οντότητες του δικτύου.

- ο η έκδοση της Αμερικής είναι γνωστή σαν ANSI-41-MAP (standardized by EIA/TIA)
- ο η διεθνής έκδοση είναι γνωστή σαν GSM-MAP (standardized by ITU/ETSI)

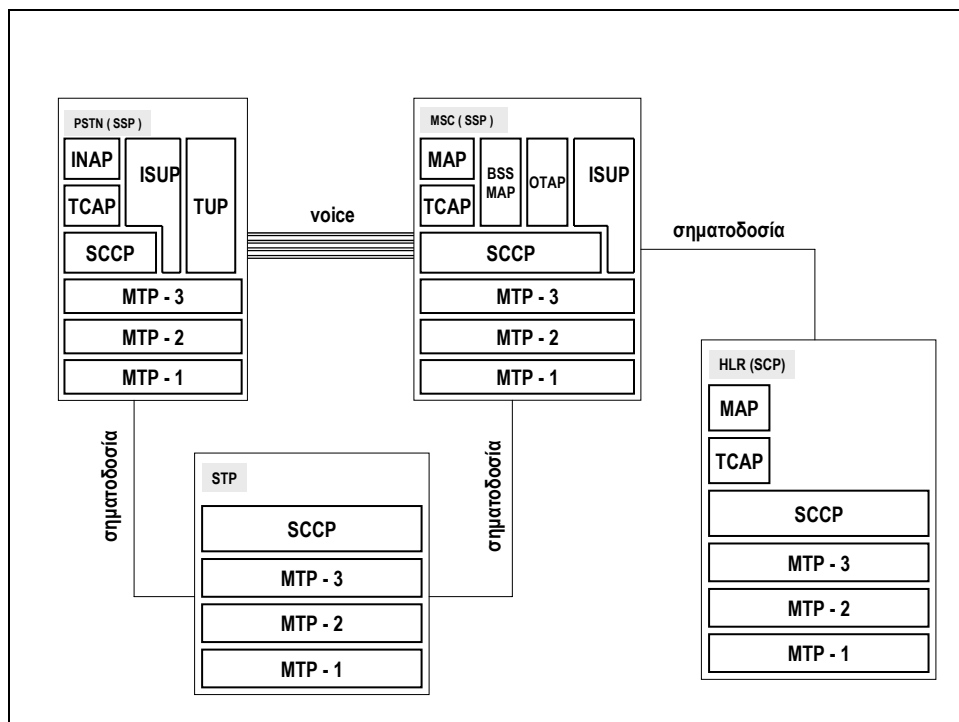
6ο Στρώμα: Τμήμα Εφαρμογής Ευφυούς Δικτύου (Intelligent Network Application Part [INAP])

Το στρώμα INAP είναι ένα πρωτόκολλο σηματοδοσίας το οποίο χρησιμοποιείται στην αρχιτεκτονική των ευφύων δικτύων. Είναι τμήμα του πρωτοκόλλου SS7 και δομικά ευρίσκεται πάνω από το TCAP. Μια διαδικασία που μπορεί να υποστηρίξει το INAP είναι η υπηρεσία Μετάφρασης των Αριθμών (Number Translation Service).

7ο Στρώμα: Τμήμα Λειτουργιών, Συντήρησης και Διαχείρισης (Operations, Maintenance, and Administration Part [OMAP])

Το OMAP καθορίζει τα μηνύματα και τα πρωτόκολλα τα οποία έχουν ειδικά σχεδιασθεί για την βοήθεια των διαχειριστών του δικτύου σηματοδοσίας SS7. Με το στρώμα αυτό δίδεται η δυνατότητα της υποστήριξης των διαδικασιών αξιολόγησης των πινάκων δρομολόγησης του δικτύου, και η δυνατότητα της υποστήριξης των διαδικασιών που διαγνώνουν τις πιθανές αστοχίες των επιμέρους ζεύξεων του δικτύου. Τέλος, το OMAP περιλαμβάνει μηνύματα τα οποία χρησιμοποιούν τόσο το MTP όσο και το SCCP για θέματα που άπτονται των δρομολογήσεων.

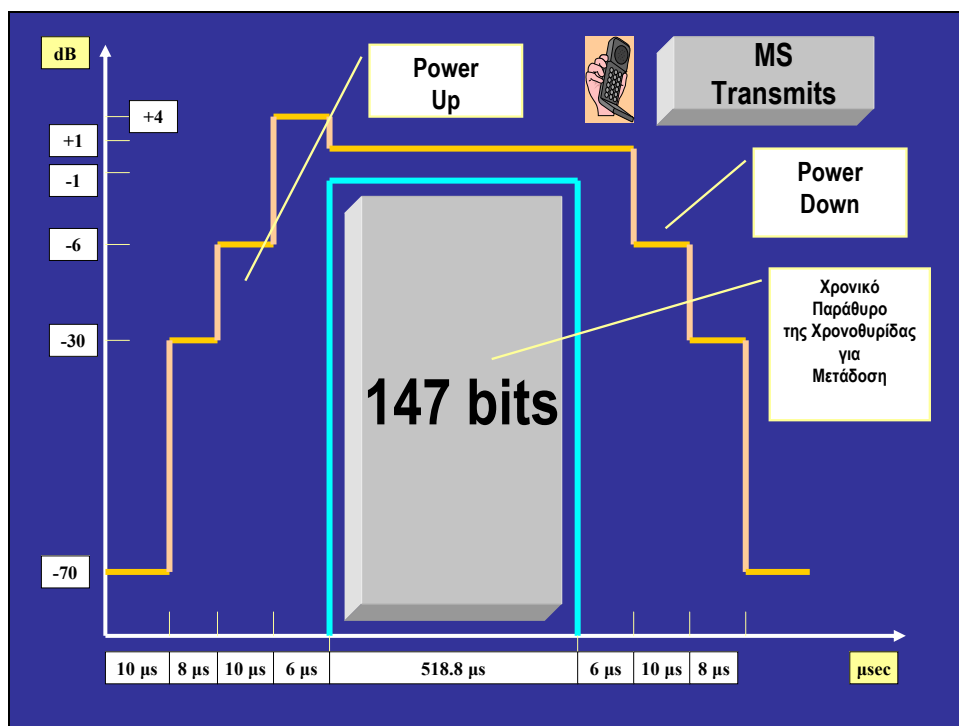
Στο σχήμα 35. δείχνονται τα πρωτόκολλα που απαιτούνται για τη μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ των οντοτήτων του GSM και του PSTN.



Σχήμα 35: Απαιτούμενα Πρωτόκολλα για λειτουργικές οντότητες (MSC, HLR και PSTN)

Δομή χρονοθυρίδας στο GSM

Η χρονική διάρκεια μιας χρονοθυρίδας (time slot) στο GSM είναι 577 μsec (σχήμα 36). Οι χρονοθυρίδες χαρακτηρίζονται από τις περιόδους “ανόδου ισχύος - power up” και “καθόδου ισχύος - power down” προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τις ταχείες μεταβολές της ισχύος των ραδιοσημάτων. Συγκεκριμένα, οι χρόνοι ανόδου και καθόδου της ισχύος χρησιμοποιείται για να μειώσει τις ανεπιθύμητες εκπομπές οι οποίες μπορεί να προκληθούν από τα ταχέως μεταβαλλόμενα σήματα.



Σχήμα 36: Δομή χρονοθυρίδας

Με βάση την τεχνική πρόσβασης TDMA, η δομή της χρονοθυρίδας (time slot) περιλαμβάνει πέντε πεδία (πληροφοριακά τμήματα). Τα πεδία αυτά είναι:

- ο πεδίο 1: Πεδίο preamble για συγχρονισμό
- ο πεδίο 2: Πεδίο επικεφαλίδας ελέγχου (control)
- ο πεδίο 3: Πεδίο δεδομένων χρήστη (user data)
- ο πεδίο 4: Πεδίο δεδομένων σηματοδότησης (signaling data)
- ο πεδίο 5: Πεδίο ανίχνευσης σφαλμάτων (error detection)

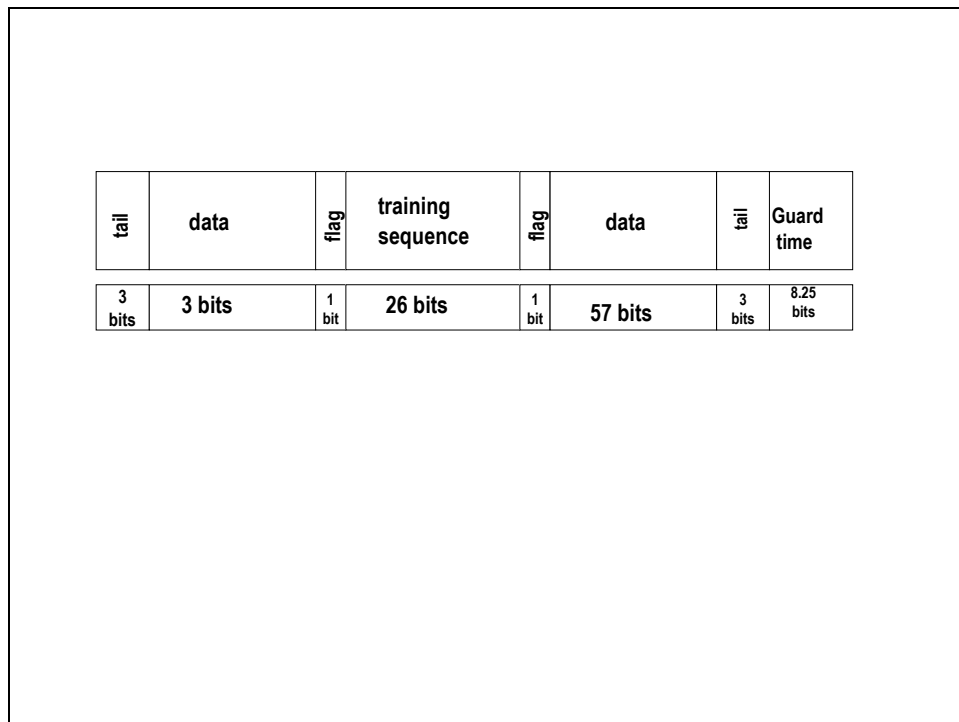
Μια απλή μετάδοση χρονοθυρίδας καλείται ραδιο-ριπή (radio-burst). Το σύστημα GSM χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω τέσσερα είδη ραδιο-ριπών:

α) Κανονική Ριπή (Normal Burst):

Η κανονική ριπή (σχήμα 37) χρησιμοποιείται για τις κανονική επικοινωνία μεταξύ της φορητής συσκευής και του Σταθμού Βάσης. Κάθε κανονική ριπή μπορεί να μεταφέρει 114 bits χρήσιμης

πληροφορίας του χρήστη. Τυπικά με τη ριπή αυτή μεταφέρονται δεδομένα ψηφιοποιημένης φωνής. Η δομή της συγκεκριμένης ριπής είναι η παρακάτω:

- **3 tail bits:** Τα bits αυτά τιθέμενα στην αρχή της ριπής, δίδουν τον αναγκαίο χρόνο στον πομπό προκειμένου να πραγματοποιήσει την άνοδο της ισχύος (power up).
- **57 data bits:** Το σύνολο των bits στο πεδίο αυτό, χρησιμοποιούνται για μεταφορά πληροφορίας και συνήθως περιέχει δεδομένα ψηφιοποιημένης φωνής ή σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεταφορά πληροφορίας σηματοδότησης που χρησιμοποιείται στο κανάλι Fast Associated Control CHannel (FACCH). Ο τύπος των δεδομένων δηλώνεται από το flag που ακολουθεί.
- **1 bit flag:** Το συγκεκριμένο bit στη ριπή δηλώνει το τύπο των δεδομένων του προηγούμενου πεδίου.
- **26 bits training sequence:** Η σειρά αυτή των bits στο συγκεκριμένο πεδίο, χρησιμοποιείται για αναφορά χρονισμού και για την ισοστάθμιση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οκτώ (8) διαφορετικοί συνδυασμοί σειρών, όπου ο κάθε συνδυασμός περιέχει 26 bits. Η ίδια σειρά χρησιμοποιείται σε κάθε χρονθυρίδα του GSM, αλλά κοντινοί Σταθμοί Βάσης οι οποίοι χρησιμοποιούν τις ίδιες ραδιοσυχνότητες, τότε θα χρησιμοποιήσουν διαφορετικό συνδυασμό σειράς. Με βάση το περιεχόμενο του πεδίου αυτού η φορητή συσκευή μπορεί να διαφοροποιηθεί μεταξύ κυψελών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.
- **1 bit flag:** Το συγκεκριμένο bit στη ριπή δηλώνει το τύπο των δεδομένων του προηγούμενου πεδίου.
- **57 data bits:** Το σύνολο των bits στο πεδίο αυτό της ριπής χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων.
- **3 tail bits:** Τα συγκεκριμένα 3 bits ευρίσκονται στο τέλος της ριπής και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ενεργοποιήσουν την κάθοδο της ισχύος εκπομπής (Power down).
- **8.25 bits guard time:** Το τελευταίο αυτό τμήμα της ριπής αφορά την χρονική διάρκεια φύλαξης (guard period). Το πεδίο αυτό εισάγεται προκειμένου, μεταδιδόμενες ριπές από διαφορετικές φορητές συσκευές να μην επικαλύπτονται.



Σχήμα 37: Κανονική Ριπή (Normal Burst)

β) Ριπή τυχαίας Πρόσβασης ή Βραχεία Ριπή (Random Access Burst or Shortened Burst)
 Η ριπή αυτή (σχήμα 38) είναι μια ριπή των 88 bit, που χρησιμοποιείται για θέμα αίτησης πρόσβασης στο σύστημα GSM. Οι φορητές συσκευές χρησιμοποιούν την βραχεία ριπή για να μεταδώσουν την αίτηση πρόσβασης στο GSM, στο πλαίσιο της αποφυγής της πιθανότητας επικάλυψης ριπών με ριπές μετάδοσης σε γειτονικές χρονοθυρίδες. Η δομή της συγκεκριμένης ριπής είναι η παρακάτω:

- **7 tail bits:** Ο επιπρόσθετος αριθμός των bits τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο συγκεκριμένο πεδίο, παρέχουν την δυνατότητα για επιπλέον περιθώριο ασφαλείας όταν επιχειρείται πρόσβαση στο δίκτυο.
- **41 training bits:** Η σειρά αυτή των bits στο συγκεκριμένο πεδίο, χρησιμοποιείται για αναφορά χρονισμού και για την ισοστάθμιση.
- **36 data bits:** Το σύνολο των bits στο πεδίο αυτό της ριπής χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων.
- **3 tail bits :** Τα συγκεκριμένα 3 bits ευρίσκονται στο τέλος της ριπής και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ενεργοποιήσουν την κάθοδο της ισχύος εκπομπής (Power down).
- **69.25 bits guard time:** Το τελευταίο αυτό τμήμα της ριπής αφορά την χρονική διάρκεια φύλαξης (guard period). Το πεδίο αυτό εισάγεται προκειμένου, να παρέχεται περισσότερο χρόνος διαφοράς από την επόμενη χρονοθυρίδα.

tail	<i>training</i>	data	tail	Guard time
7 bits	41 bits	36 bits	3 bits	69.25 bits

Σχήμα 38: Ριπή τυχαίας Πρόσβασης ή Βραχεία Ριπή (Random Access Burst or Shortened Burst)

γ) Ριπή Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Burst)

Η ριπή αυτή (σχήμα 39) περιέχει 142 bits των οποίων η τιμή τους είναι «0». Η λήψη και η αποκωδικοποίηση της ριπής αυτής επιτρέπει στην φορητή συσκευή να ρυθμίσει τον χρονισμό της έτσι ώστε να μπορεί να λάβει και να αποδιαμορφώσει καλύτερα το σήμα στον ραδιοδίαυλο. Η δομή της συγκεκριμένης ριπής είναι η παρακάτω:

- **3 tail bits:** Τα bits αυτά τιθέμενα στην αρχή της ριπής, δίδουν τον αναγκαίο χρόνο στον πομπό προκειμένου να πραγματοποιήσει την άνοδο της ισχύος (power up).
- **142 bits all set to zero:** Όλα τα bits, έχουν τιμή «0»
- **3 tail bits:** Τα συγκεκριμένα 3 bits ευρίσκονται στο τέλος της ριπής και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ενεργοποιηθούν την κάθοδο της ισχύος εκπομπής (Power down).
- **8.25 bits guard time:** Το τελευταίο αυτό τμήμα της ριπής αφορά την χρονική διάρκεια φύλαξης (guard period). Το πεδίο αυτό εισάγεται προκειμένου, μεταδιδόμενες ριπές από διαφορετικές φορητές συσκευές να μην επικαλύπτονται.

tail	Η τιμή όλων των bits είναι «0»	tail	Guard time
3 bits	142 bits	3 bits	8.25 bits

Σχήμα 39: Ριπή Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Burst)

δ) Ριπή Συγχρονισμού (Synchronization Burst)

Η ριπή αυτή (σχήμα 40) περιέχει την αναγκαία πληροφορία για τον συγχρονισμό του συστήματος. Η πληροφορία αυτή είναι μια κωδική λέξη των 78 bits η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ταυτότητας του μετρητή υπερ-πλασιού (hyper-frame). Η ριπή συγχρονισμού ακολουθείται μετά την ριπή διόρθωσης της συχνότητας. Η δομή της συγκεκριμένης ριπής είναι η παρακάτω:

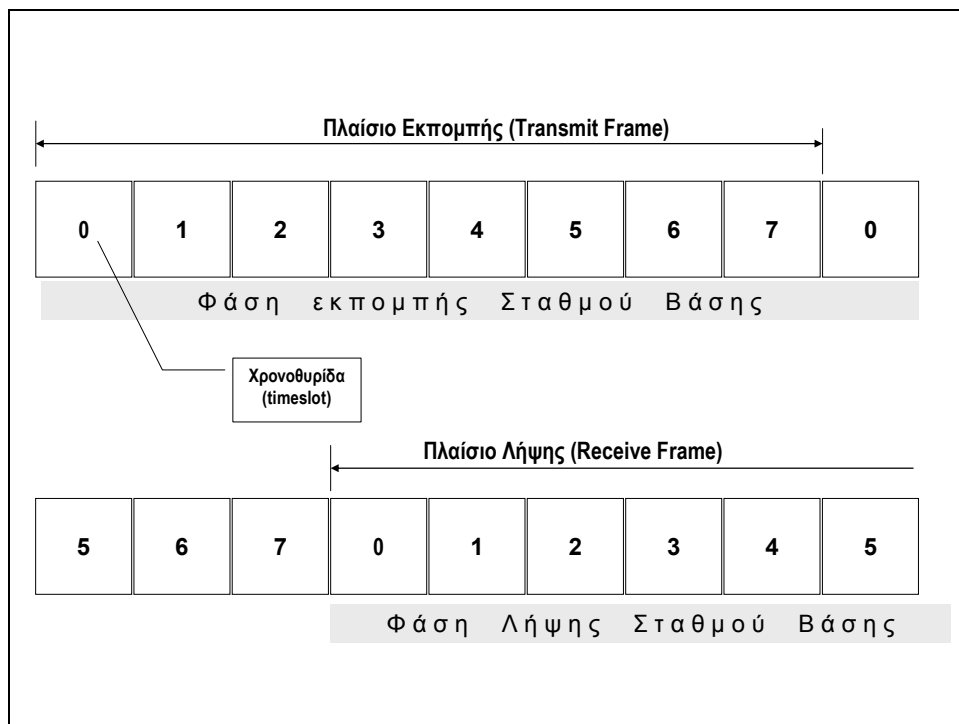
- **3 tail bits:** Τα bits αυτά τιθέμενα στην αρχή της ριπής, δίδουν τον αναγκαίο χρόνο στον πομπό προκειμένου να πραγματοποιήσει την άνοδο της ισχύος (power up).
- **39 bits of information:** Το σύνολο των bits στο πεδίο αυτό, χρησιμοποιούνται για μεταφορά πληροφορίας
- **64 bits of a Long Training Sequence:** Η σειρά αυτή των bits στο συγκεκριμένο πεδίο, χρησιμοποιείται για αναφορά χρονισμού και για την ισοστάθμιση.
- **39 bits Information:** Το σύνολο των bits στο πεδίο αυτό της ριπής χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων.
- **3 tail bits:** Τα συγκεκριμένα 3 bits ευρίσκονται στο τέλος της ριπής και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ενεργοποιήσουν την κάθοδο της ισχύος εκπομπής (Power down).
- **8.25 bits guard time:** Το τελευταίο αυτό τμήμα της ριπής αφορά την χρονική διάρκεια φύλαξης (guard period). Το πεδίο αυτό εισάγεται προκειμένου, μεταδιδόμενες ριπές από διαφορετικές φορητές συσκευές να μην επικαλύπτονται.

tail	information	Long Training Sequence	information	tail	Guard time
3 bits	39 bits	64 bits	39 bits	3 bits	8.25 bits

Σχήμα 40: Ριπή Συγχρονισμού (Synchronization Burst)

Δομή GSM TDMA Πλαισίου

Σύμφωνα με το πρότυπο του συστήματος GSM, το TDMA πλαίσιο (frame) αποτελείται από 8 χρονοθυρίδες (σχήμα 41). Η κάθε χρονοθυρίδα η οποία ονομάζεται και περίοδος ριπής (burst period) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις επικοινωνιακές ανάγκες διαφορετικών συνδρομητών. Οι χρονοθυρίδες εκπομπής και λήψης αντισταθμίζονται στον χρόνο, έτσι ώστε η εκπομπή και η λήψη αυτών να μην πραγματοποιείται την ίδια χρονική στιγμή. Η χρονική διάρκεια της ριπής (χρονοθυρίδας) είναι της τάξης των 0.577 ms (15/26 ms). Η χρονική διάρκεια του πλήρους πλαισίου (TDMA Frame) είναι της τάξης των 4.615 ms (120/26 ms). Πρέπει να σημειωθεί ότι η κάθε χρονοθυρίδα αποτελεί και ένα φυσικό κανάλι (physical channel). Με βάση ότι ο Σταθμός Βάσης εκπέμπει δύο τύπων καναλιών (κανάλια κίνησης και κανάλια ελέγχου), υφίστανται δύο κατηγορίες TDMA πλαίσιο. Η πρώτη κατηγορία αφορά το πλαίσιο κίνησης (traffic frame) και η δεύτερη κατηγορία αφορά το πλαίσιο ελέγχου (control frame).



Σχήμα 41: TDMA πλαίσιο (frame)

GSM TDMA Πολυπλαίσιο (Multiframe)

Με βάση το πρότυπο του συστήματος GSM, τα TDMA πλαίσια (frames), ομαδοποιούνται σε Πολυπλαίσια, προκειμένου να οργανωθεί το κατάλληλο χρονοδιάγραμμα για τις επικείμενες λειτουργικές διαδικασίες που πρέπει να τελεσθούν, καθώς επίσης και να πραγματοποιηθεί ο συγχρονισμός του δικτύου. Επειδή οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα GSM δίκτυο αφορούν αφενός μεν την συνδρομητική κίνηση και αφετέρου τον έλεγχο, διακρίνουμε τις παρακάτω δύο κατηγορίες πολυπλαισίων (σχήμα 42):

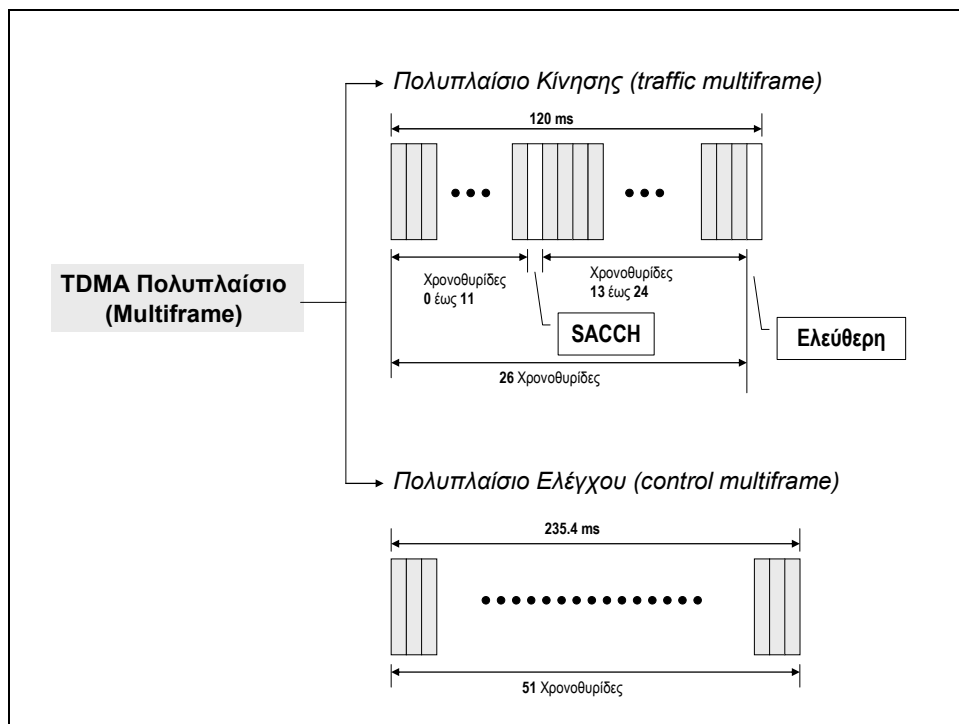
- Πολυπλαίσιο Κίνησης (traffic multiframe):

Το πολυπλάσιο κίνησης αποτελείται από 26 ριπές (χρονοθυρίδες) συνολικής χρονικής διάρκειας 120 ms. Από το σύνολο των ριπών, οι 24 χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες της συνδρομητικής κίνησης. Συγκεκριμένα, είναι οι χρονοθυρίδες από 0 έως 11 και οι χρονοθυρίδες από 13 έως 24. Μία από τις δύο υπόλοιπες ριπές χρησιμοποιείται για το SACCH και η άλλη παραμένει ελεύθερη για πιθανή χρήση.

- ο Πολυπλάσιο Ελέγχου (control multiframe):

Το πολυπλάσιο αυτό αποτελείται από 51 ριπές συνολικής χρονικής διάρκειας 235.4 ms. Το πολυπλάσιο αυτό, υποδιαιρείται σε λογικά κανάλια τα οποία είναι χρονικά προγραμματισμένα για τις επικείμενες λειτουργίες. Τα λογικά κανάλια και οι αντίστοιχες λειτουργίες που επιτελούν είναι:

- ο Ριπή Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Burst)
- ο Ριπή Συγχρονισμού (Synchronization Burst)
- ο Κανάλι Εκπομπής (Broadcast Channel – BCH)
- ο Κανάλι Αναζήτησης και Πρόσβασης (Paging and Access Grant Channel (PACCH))
- ο Αυτόνομο Αφιερωμένο Κανάλι Ελέγχου (Stand Alone Dedicated Control Channel (SDCCH))



Σχήμα 42: TDMA Πολυπλάσιο (Multiframe)

GSM Υπερπλάσιο (Superframe)

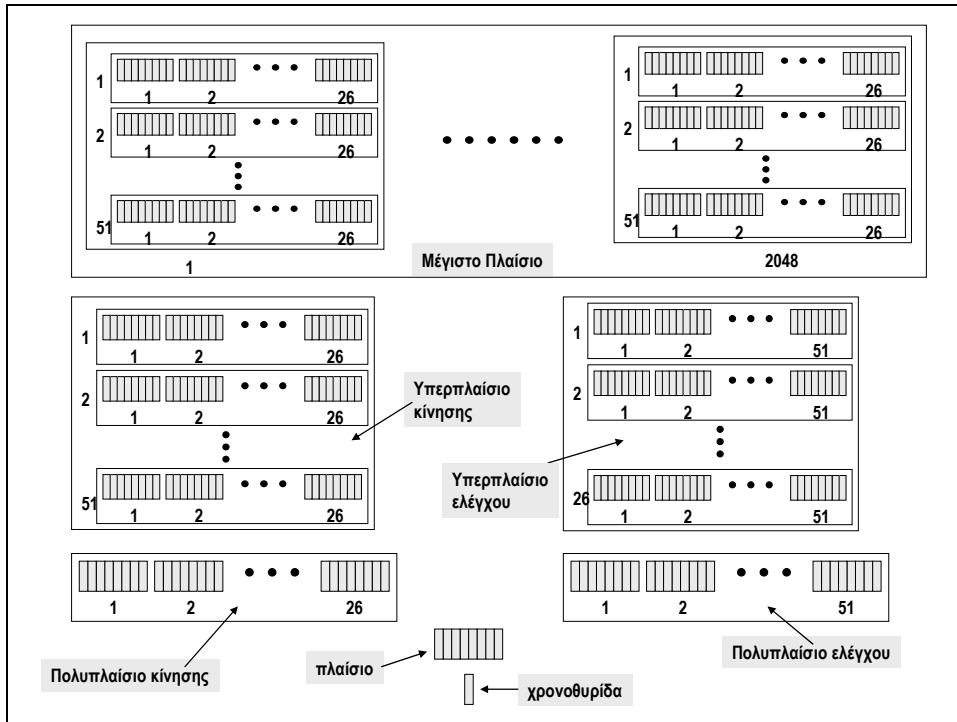
Το υπερπλάσιο απαρτίζεται από 51 πολυπλάσια κίνησης ή 26 πολυπλάσια ελέγχου. Τα πολυπλάσια κίνησης έχουν μήκος 26 ριπών και τα πολυπλάσια ελέγχου έχουν αντίστοιχα μήκος 51 ριπών. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε ένα υπερπλάσιο μπορεί να καταχωρηθεί διαφορετικός αριθμός πολυπλαισίων κίνησης και ελέγχου με την προϋπόθεση ότι όλα τα εμπλεκόμενα υπερπλάσια θα χαρακτηρίζονται από την ίδια διάρκεια.

GSM Μέγιστο πλαίσιο (Hyperframe)

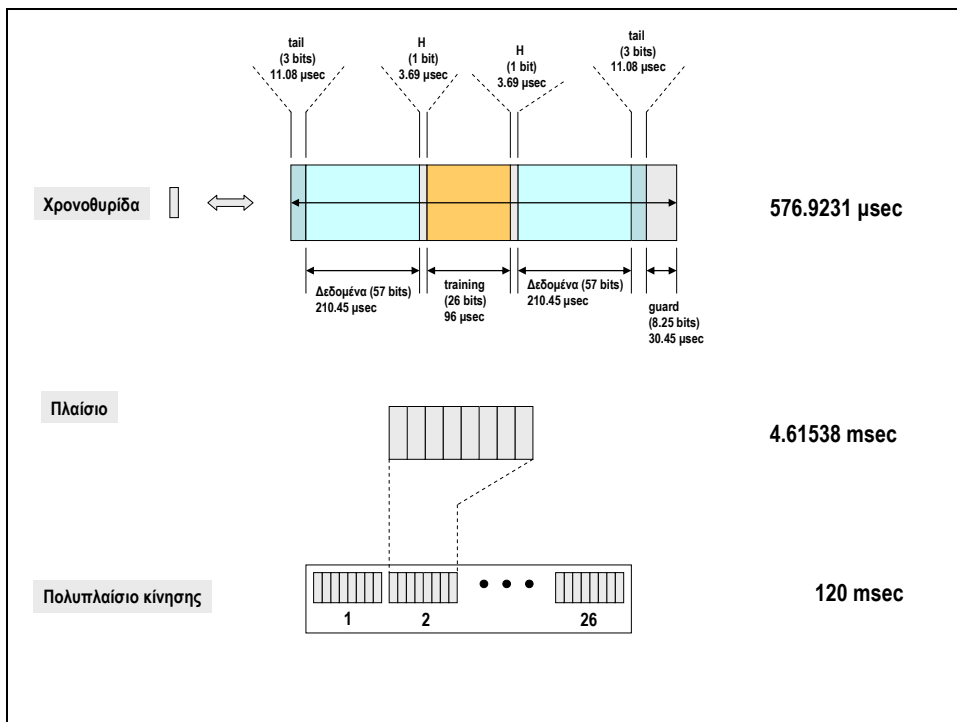
Στην περίπτωση αυτή 2048 (ή 2^{11}) υπερπλαίσια ομαδοποιούνται σε ένα Μέγιστο Πλαίσιο το οποίο, με βάση το πρότυπο του GSM μπορεί να επαναλαμβάνεται κάθε 3 ώρες 28 min 53.76 sec. Το μέγιστο πλαίσιο έχει την μεγαλύτερη διάρκεια σύμφωνα με τη δομή πλαισίων του GSM. Στο μέγιστο πλαίσιο υπάρχει ένας μετρητής και κάθε χρονοθυρίδα έχει ένα μοναδικό σειριακό αριθμό όπου δηλώνεται ο αριθμός πλαισίου και ο αριθμός της χρονοθυρίδας. Η χρήση αυτού είναι σημαντική διότι διασφαλίζεται ο συγχρονισμός των διαφόρων δρομολογούμενων λειτουργιών με την οργάνωση των πλαισίων που πρόκειται να δημιουργηθούν. Στην περίπτωση αυτή συμπεριλαμβάνονται και οι παρακάτω λειτουργίες:

- **Μεταπήδηση Συχνότητας (Frequency hopping):** Η διαδικασία της μεταπήδησης της συχνότητας είναι μια προαιρετική λειτουργία την οποία μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα GSM. Η διαδικασία αυτή βοηθά στο να μειωθούν οι πιθανές παρεμβολές καθώς επίσης και να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα λόγω διαλλείψεων (fading). Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης θα πρέπει να συγχρονισθούν ώστε να μεταπηδήσουν στις ίδιες συχνότητες την ίδια χρονική στιγμή.
- **Κρυπτογράφηση (Encryption):** Η διαδικασία της κρυπτογράφησης συγχρονίζεται με βάση τα κριτήρια του μεγίστου πλαισίου στο οποίο υπάρχει ένας μετρητής, και η διαδικασία της κρυπτογράφησης επαναλαμβάνεται σε κάθε μέγιστο πλαίσιο. Επειδή όμως το κάθε μέγιστο πλαίσιο επαναλαμβάνεται κάθε 3 ώρες 28 min 53.76 sec, και επειδή η επικοινωνία των συνδρομητών σπα'ναι διαρκεί τόσες ώρες, είναι αμφίβολο αν μπορεί να επιτευχθεί η αναμενόμενη ασφάλεια στο σύστημα.

Με βάση τα ανωτέρω, η γενική δομή των πλαισίων στο GSM, δείχνονται στα σχήματα 43 και 44.



Σχήμα 43: Γενική Δομή Πλαισίων του Συστήματος GSM (1)



Σχήμα 44: Γενική Δομή Πλαισίων του Συστήματος GSM (2)

Με βάση τα ανωτέρω, δομώντας τη σηματοδότηση στο GSM σε πλαίσια, πολυπλαίσια, υπερπλαίσια και μέγιστα πλαίσια, διασφαλίζεται ο συγχρονισμός όσο η οργάνωση του συστήματος, προκειμένου οι επικοινωνίες μεταξύ των φορητών συσκευών και του Σταθμού Βάσης να πραγματοποιηθούν με αξιοπιστία και επάρκεια.

GSM Ζώνες Συχνοτήτων

Στον πίνακα 4, δείχνονται για κάθε έκδοση κυψελωτού συστήματος τεχνολογίας GSM, οι αντίστοιχες περιοχές συχνοτήτων λειτουργίας.

Πίνακας 4: Ζώνες Συχνοτήτων στο Σύστημα GSM

Τεχνολογία Κυψελωτού Συστήματος	Περιοχή Συχνοτήτων Λειτουργίας	Ανω Ζεύξη (MHz)	Κάτω Ζεύξη (MHz)
T-GSM 380	380	380.2 - 389.8	390.2 - 399.8
T-GSM 410	410	410.2 - 419.8	420.2 - 429.8
GSM 450	450	450.4 - 457.6	460.4 - 467.6
GSM 480	480	478.8 - 486.0	488.8 - 496.0
GSM 710	710	698.0 - 716.0	728.0 - 746.0
GSM 750	750	747.0 - 762.0	777.0 - 792.0
T-GSM 810	810	806.0 - 821.0	851.0 - 866.0
GSM 850	850	824.0 - 849.0	869.0 - 894.0
P-GSM 900	900	890.0 - 915.0	935.0 - 960.0
E-GSM 900	900	880.0 - 915.0	925.0 - 960.0
R-GSM 900	900	876.0 - 915.0	921.0 - 960.0
T-GSM 900	900	870.4 - 876.0	915.4 - 921.0
GSM 1800	1800	1710.0 - 1785.0	1805.0 - 1880.0
GSM 1900	1900	1850.0 - 1910.0	1930.0 - 1990.0

Υπολογισμοί Συχνοτήτων Λειτουργίας

Για τον υπολογισμό της συχνότητας λειτουργίας των καναλιών χρησιμοποιείται η παράμετρος **ARFCN** που αναφέρεται στην απόλυτη τιμή της συχνότητας του ραδιο-διαύλου. Το **ARFCN** είναι η συντομογραφία του **Absolute Radio Frequency Channel Number**.

Στον πίνακα 5, δείχνονται οι τιμές της παραμέτρου ARFCN καθώς και οι τύποι υπολογισμού των συχνοτήτων των αντίστοιχων καναλιών τόσο για την άνω ζεύξη όσο και για την κάτω ζεύξη. Ο πίνακας περιλαμβάνει τιμές για διάφορες εκδόσεις της τεχνολογίας GSM.

Πίνακας 5: Υπολογισμοί Συχνοτήτων στα κανάλια του Συστήματος GSM

Τεχνολογία και Περιοχή Συχνοτήτων Λειτουργίας	Πεδίο Τιμών της παραμέτρου ARFCN	Ανω Ζεύξη (MHz)	Κάτω Ζεύξη (MHz)
P-GSM 900	1..124	$890+0.2*ARFCN$	$935+0.2*ARFCN$
E-GSM 900	0..124 975..1023	$890+0.2*ARFCN$ $890+0.2*(ARFCN-1024)$	$935+0.2*ARFCN$ $935+0.2*(ARFCN-1024)$
DCS 1800	512..885	$1710.2+0.2*(ARFCN-512)$	$1805.2+0.2*(ARFCN-512)$
PCS 1900	512..810	$1850.2+0.2*(ARFCN-512)$	$1930.2+0.2*(ARFCN-512)$
R-GSM 900	0..124	$890+0.2*ARFCN$	$935+0.2*ARFCN$

	955..1023	$890+0.2*(ARFCN-1024)$	$935+0.2*(ARFCN-1024)$
GSM 450	259..293	$450.6+0.2*(ARFCN-259)$	$460.6+0.2*(ARFCN-259)$
GSM 480	306..340	$479+0.2*(ARFCN-306)$	$489+0.2*(ARFCN-306)$
GSM 850	128..251	$824.2+0.2*(ARFCN-128)$	$869.2+0.2*(ARFCN-128)$
GSM 750	438..511	$747.2+0.2*(ARFCN-438)$	$777.2+0.2*(ARFCN-438)$

Παραδείγματα Υπολογισμού Συχνοτήτων

Παράδειγμα 1: P-GSM 900: Κάτω Ζεύξη (MHz)

Συχνότητα Εκκίνησης: 935 MHz

Εύρος Καναλιού: 200 KHz

Πίνακας 6: Τεχνολογία P-GSM 900 [Συχνότητες Κάτω Ζεύξης (MHz)]

Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)
1	935.2	2	935.4	3	935.6	4	935.8
5	936	6	936.2	7	936.4	8	936.6
9	936.8	10	937	11	937.2	12	937.4
13	937.6	14	937.8	15	938	16	938.2
17	938.4	18	938.6	19	938.8	20	939
21	939.2	22	939.4	23	939.6	24	939.8
25	940	26	940.2	27	940.4	28	940.6
29	940.8	30	941	31	941.2	32	941.4
33	941.6	34	941.8	35	942	36	942.2
37	942.4	38	942.6	39	942.8	40	943
41	943.2	42	943.4	43	943.6	44	943.8
45	944	46	944.2	47	944.4	48	944.6
49	944.8	50	945	51	945.2	52	945.4
53	945.6	54	945.8	55	946	56	946.2
57	946.4	58	946.6	59	946.8	60	947
61	947.2	62	947.4	63	947.6	64	947.8
65	948	66	948.2	67	948.4	68	948.6
69	948.8	70	949	71	949.2	72	949.4
73	949.6	74	949.8	75	950	76	950.2
77	950.4	78	950.6	79	950.8	80	951
81	951.2	82	951.4	83	951.6	84	951.8
85	952	86	952.2	87	952.4	88	952.6
89	952.8	90	953	91	953.2	92	953.4
93	953.6	94	953.8	95	954	96	954.2
97	954.4	98	954.6	99	954.8	100	955
101	955.2	102	955.4	103	955.6	104	955.8
105	956	106	956.2	107	956.4	108	956.6
109	956.8	110	957	111	957.2	112	957.4
113	957.6	114	957.8	115	958	116	958.2
117	958.4	118	958.6	119	958.8	120	959
121	959.2	122	959.4	123	959.6	124	959.8

Παράδειγμα 2: P-GSM 900: Ανω Ζεύξη (MHz)

Συχνότητα Εκκίνησης: 890 MHz

Εύρος Καναλιού: 200 KHz

Πίνακας 7: Τεχνολογία P-GSM 900 [Συχνότητες Ανω Ζεύξης (MHz)]

Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)
1	890.2	2	890.4	3	890.6	4	890.8
5	891	6	891.2	7	891.4	8	891.6
9	891.8	10	892	11	892.2	12	892.4
13	892.6	14	892.8	15	893	16	893.2
17	893.4	18	893.6	19	893.8	20	894
21	894.2	22	894.4	23	894.6	24	894.8
25	895	26	895.2	27	895.4	28	895.6
29	895.8	30	896	31	896.2	32	896.4
33	896.6	34	896.8	35	897	36	897.2
37	897.4	38	897.6	39	897.8	40	898
41	898.2	42	898.4	43	898.6	44	898.8
45	899	46	899.2	47	899.4	48	899.6
49	899.8	50	900	51	900.2	52	900.4
53	900.6	54	900.8	55	901	56	901.2
57	901.4	58	901.6	59	901.8	60	902
61	902.2	62	902.4	63	902.6	64	902.8
65	903	66	903.2	67	903.4	68	903.6
69	903.8	70	904	71	904.2	72	904.4
73	904.6	74	904.8	75	905	76	905.2
77	905.4	78	905.6	79	905.8	80	906
81	906.2	82	906.4	83	906.6	84	906.8
85	907	86	907.2	87	907.4	88	907.6
89	907.8	90	908	91	908.2	92	908.4
93	908.6	94	908.8	95	909	96	909.2
97	909.4	98	909.6	99	909.8	100	910
101	910.2	102	910.4	103	910.6	104	910.8
105	911	106	911.2	107	911.4	108	911.6
109	911.8	110	912	111	912.2	112	912.4
113	912.6	114	912.8	115	913	116	913.2
117	913.4	118	913.6	119	913.8	120	914
121	914.2	122	914.4	123	914.6	124	914.8

Παράδειγμα 3: GSM 1800: Κάτω Ζεύξη (MHz)

Συχνότητα Εκκίνησης: 1805.2 MHz

Εύρος Καναλιού: 200 KHz

Πίνακας 7: Τεχνολογία GSM 1800 [Συχνότητες Κάτω Ζεύξης (MHz)]

Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)
512	1805.2	513	1805.4	514	1805.6	515	1805.8
516	1806	517	1806.2	518	1806.4	519	1806.6
520	1806.8	521	1807	522	1807.2	523	1807.4
524	1807.6	525	1807.8	526	1808	527	1808.2
528	1808.4	529	1808.6	530	1808.8	531	1809
532	1809.2	533	1809.4	534	1809.6	535	1809.8
536	1810	537	1810.2	538	1810.4	539	1810.6
540	1810.8	541	1811	542	1811.2	543	1811.4
544	1811.6	545	1811.8	546	1812	547	1812.2
548	1812.4	549	1812.6	550	1812.8	551	1813
552	1813.2	553	1813.4	554	1813.6	555	1813.8
556	1814	557	1814.2	558	1814.4	559	1814.6
560	1814.8	561	1815	562	1815.2	563	1815.4
564	1815.6	565	1815.8	566	1816	567	1816.2
568	1816.4	569	1816.6	570	1816.8	571	1817
572	1817.2	573	1817.4	574	1817.6	575	1817.8
576	1818	577	1818.2	578	1818.4	579	1818.6
580	1818.8	581	1819	582	1819.2	583	1819.4
584	1819.6	585	1819.8	586	1820	587	1820.2
588	1820.4	589	1820.6	590	1820.8	591	1821
592	1821.2	593	1821.4	594	1821.6	595	1821.8
596	1822	597	1822.2	598	1822.4	599	1822.6
600	1822.8	601	1823	602	1823.2	603	1823.4
604	1823.6	605	1823.8	606	1824	607	1824.2
608	1824.4	609	1824.6	610	1824.8	611	1825
612	1825.2	613	1825.4	614	1825.6	615	1825.8
616	1826	617	1826.2	618	1826.4	619	1826.6
620	1826.8	621	1827	622	1827.2	623	1827.4
624	1827.6	625	1827.8	626	1828	627	1828.2
628	1828.4	629	1828.6	630	1828.8	631	1829
632	1829.2	633	1829.4	634	1829.6	635	1829.8
636	1830	637	1830.2	638	1830.4	639	1830.6
640	1830.8	641	1831	642	1831.2	643	1831.4
644	1831.6	645	1831.8	646	1832	647	1832.2
648	1832.4	649	1832.6	650	1832.8	651	1833
652	1833.2	653	1833.4	654	1833.6	655	1833.8
656	1834	657	1834.2	658	1834.4	659	1834.6
660	1834.8	661	1835	662	1835.2	663	1835.4
664	1835.6	665	1835.8	666	1836	667	1836.2
668	1836.4	669	1836.6	670	1836.8	671	1837
672	1837.2	673	1837.4	674	1837.6	675	1837.8
676	1838	677	1838.2	678	1838.4	679	1838.6
680	1838.8	681	1839	682	1839.2	683	1839.4
684	1839.6	685	1839.8	686	1840	687	1840.2
688	1840.4	689	1840.6	690	1840.8	691	1841
692	1841.2	693	1841.4	694	1841.6	695	1841.8
696	1842	697	1842.2	698	1842.4	699	1842.6

700	1842.8	701	1843	702	1843.2	703	1843.4
704	1843.6	705	1843.8	706	1844	707	1844.2
708	1844.4	709	1844.6	710	1844.8	711	1845
712	1845.2	713	1845.4	714	1845.6	715	1845.8
716	1846	717	1846.2	718	1846.4	719	1846.6
720	1846.8	721	1847	722	1847.2	723	1847.4
724	1847.6	725	1847.8	726	1848	727	1848.2
728	1848.4	729	1848.6	730	1848.8	731	1849
732	1849.2	733	1849.4	734	1849.6	735	1849.8
736	1850	737	1850.2	738	1850.4	739	1850.6
740	1850.8	741	1851	742	1851.2	743	1851.4
744	1851.6	745	1851.8	746	1852	747	1852.2
748	1852.4	749	1852.6	750	1852.8	751	1853
752	1853.2	753	1853.4	754	1853.6	755	1853.8
756	1854	757	1854.2	758	1854.4	759	1854.6
760	1854.8	761	1855	762	1855.2	763	1855.4
764	1855.6	765	1855.8	766	1856	767	1856.2
768	1856.4	769	1856.6	770	1856.8	771	1857
772	1857.2	773	1857.4	774	1857.6	775	1857.8
776	1858	777	1858.2	778	1858.4	779	1858.6
780	1858.8	781	1859	782	1859.2	783	1859.4
784	1859.6	785	1859.8	786	1860	787	1860.2
788	1860.4	789	1860.6	790	1860.8	791	1861
792	1861.2	793	1861.4	794	1861.6	795	1861.8
796	1862	797	1862.2	798	1862.4	799	1862.6
800	1862.8	801	1863	802	1863.2	803	1863.4
804	1863.6	805	1863.8	806	1864	807	1864.2
808	1864.4	809	1864.6	810	1864.8	811	1865
812	1865.2	813	1865.4	814	1865.6	815	1865.8
816	1866	817	1866.2	818	1866.4	819	1866.6
820	1866.8	821	1867	822	1867.2	823	1867.4
824	1867.6	825	1867.8	826	1868	827	1868.2
828	1868.4	829	1868.6	830	1868.8	831	1869
832	1869.2	833	1869.4	834	1869.6	835	1869.8
836	1870	837	1870.2	838	1870.4	839	1870.6
840	1870.8	841	1871	842	1871.2	843	1871.4
844	1871.6	845	1871.8	846	1872	847	1872.2
848	1872.4	849	1872.6	850	1872.8	851	1873
852	1873.2	853	1873.4	854	1873.6	855	1873.8
856	1874	857	1874.2	858	1874.4	859	1874.6
860	1874.8	861	1875	862	1875.2	863	1875.4
864	1875.6	865	1875.8	866	1876	867	1876.2
868	1876.4	869	1876.6	870	1876.8	871	1877
872	1877.2	873	1877.4	874	1877.6	875	1877.8
876	1878	877	1878.2	878	1878.4	879	1878.6
880	1878.8	881	1879	882	1879.2	883	1879.4
884	1879.6	885	1879.8				

Παράδειγμα 4: GSM 1900: Κάτω Ζεύξη (MHz)

Συχνότητα Εκκίνησης: 1930.2 MHz

Εύρος Καναλιού: 200 KHz

Πίνακας 8: Τεχνολογία GSM 1900 [Συχνότητες Κάτω Ζεύξης (MHz)]

Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)	Τιμή ARFCN	Συχνότητα (MHz)
512	1930.2	513	1930.4	514	1930.6	515	1930.8
516	1931	517	1931.2	518	1931.4	519	1931.6
520	1931.8	521	1932	522	1932.2	523	1932.4
524	1932.6	525	1932.8	526	1933	527	1933.2
528	1933.4	529	1933.6	530	1933.8	531	1934
532	1934.2	533	1934.4	534	1934.6	535	1934.8
536	1935	537	1935.2	538	1935.4	539	1935.6
540	1935.8	541	1936	542	1936.2	543	1936.4
544	1936.6	545	1936.8	546	1937	547	1937.2
548	1937.4	549	1937.6	550	1937.8	551	1938
552	1938.2	553	1938.4	554	1938.6	555	1938.8
558	1939.4	559	1939.6	560	1939.8	561	1940
562	1940.2	563	1940.4	564	1940.6	565	1940.8
566	1941	567	1941.2	568	1941.4	569	1941.6
570	1941.8	571	1942	572	1942.2	573	1942.4
574	1942.6	575	1942.8	576	1943	577	1943.2
578	1943.4	579	1943.6	580	1943.8	581	1944
582	1944.2	583	1944.4	584	1944.6	585	1944.8
586	1945	587	1945.2	588	1945.4	589	1945.6
590	1945.8	591	1946	592	1946.2	593	1946.4
594	1946.6	595	1946.8	596	1947	597	1947.2
598	1947.4	599	1947.6	600	1947.8	601	1948
602	1948.2	603	1948.4	604	1948.6	605	1948.8
606	1949	607	1949.2	608	1949.4	609	1949.6
610	1949.8	611	1950	612	1950.2	613	1950.4
614	1950.6	615	1950.8	616	1951	617	1951.2
618	1951.4	619	1951.6	620	1951.8	621	1952
622	1952.2	623	1952.4	624	1952.6	625	1952.8
626	1953	627	1953.2	628	1953.4	629	1953.6
630	1953.8	631	1954	632	1954.2	633	1954.4
634	1954.6	635	1954.8	636	1955	637	1955.2
638	1955.4	639	1955.6	640	1955.8	641	1956
642	1956.2	643	1956.4	644	1956.6	645	1956.8
646	1957	647	1957.2	648	1957.4	649	1957.6
650	1957.8	651	1958	652	1958.2	653	1958.4
654	1958.6	655	1958.8	656	1959	657	1959.2
658	1959.4	659	1959.6	660	1959.8	661	1960
662	1960.2	663	1960.4	664	1960.6	665	1960.8
666	1961	667	1961.2	668	1961.4	669	1961.6

670	1961.8	671	1962	672	1962.2	673	1962.4
674	1962.6	675	1962.8	676	1963	677	1963.2
678	1963.4	679	1963.6	680	1963.8	681	1964
682	1964.2	683	1964.4	684	1964.6	685	1964.8
686	1965	687	1965.2	688	1965.4	689	1965.6
690	1965.8	691	1966	692	1966.2	693	1966.4
694	1966.6	695	1966.8	696	1967	697	1967.2
698	1967.4	699	1967.6	700	1967.8	701	1968
702	1968.2	703	1968.4	704	1968.6	705	1968.8
706	1969	707	1969.2	708	1969.4	709	1969.6
710	1969.8	711	1970	712	1970.2	713	1970.4
714	1970.6	715	1970.8	716	1971	717	1971.2
718	1971.4	719	1971.6	720	1971.8	721	1972
722	1972.2	723	1972.4	724	1972.6	725	1972.8
726	1973	727	1973.2	728	1973.4	729	1973.6
730	1973.8	731	1974	732	1974.2	733	1974.4
734	1974.6	735	1974.8	736	1975	737	1975.2
738	1975.4	739	1975.6	740	1975.8	741	1976
742	1976.2	743	1976.4	744	1976.6	745	1976.8
746	1977	747	1977.2	748	1977.4	749	1977.6
750	1977.8	751	1978	752	1978.2	753	1978.4
754	1978.6	755	1978.8	756	1979	757	1979.2
758	1979.4	759	1979.6	760	1979.8	761	1980
762	1980.2	763	1980.4	764	1980.6	765	1980.8
766	1981	767	1981.2	768	1981.4	769	1981.6
770	1981.8	771	1982	772	1982.2	773	1982.4
774	1982.6	775	1982.8	776	1983	777	1983.2
778	1983.4	779	1983.6	780	1983.8	781	1984
782	1984.2	783	1984.4	784	1984.6	785	1984.8
786	1985	787	1985.2	788	1985.4	789	1985.6
790	1985.8	791	1986	792	1986.2	793	1986.4
794	1986.6	795	1986.8	796	1987	797	1987.2
798	1987.4	799	1987.6	800	1987.8	801	1988
802	1988.2	803	1988.4	804	1988.6	805	1988.8
806	1989	807	1989.2	808	1989.4	809	1989.6
810	1989.8						

Χρονισμός στο GSM (Timing)

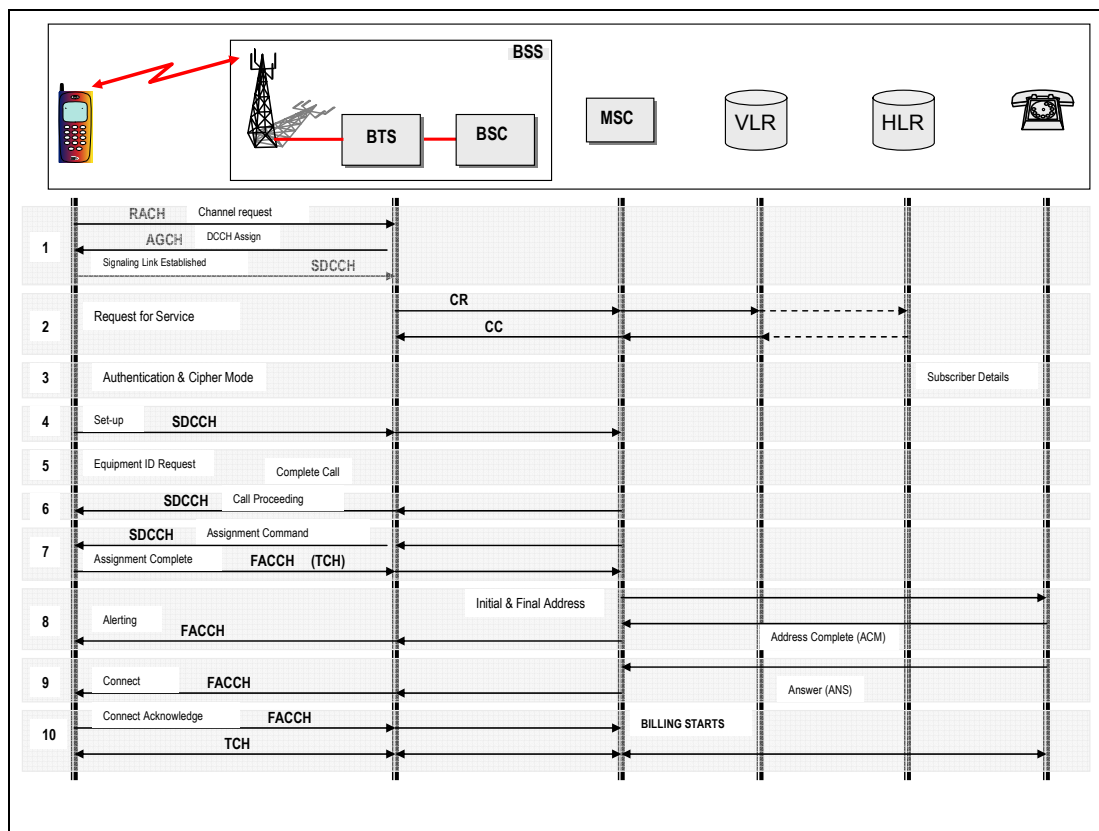
Στον πίνακα 9, δείχνεται ο χρονισμός στο σύστημα GSM

Πίνακας 9: Χρονισμός στο GSM

	Σύμβολα	Ριπές	Πλαίσια	Χρονική Διάρκεια	Ρυθμός
Σύμβολο	1	1/8	1/1250	48/13 μ s (3.692 μ s)	270833/s
Ριπή	156.25	1	1/8	15/26 ms (576.9 μ s)	1733/s
Πλαίσιο	1250	8	1	60/13 ms (4.615 ms)	216.6/s
(26) Πολυπλαίσιο	32500	208	26	120 ms	8.333/s
(51) Πολυπλαίσιο	63750	408	51	235.4 ms	4.248/s
(52) Πολυπλαίσιο	65000	416	52	240 ms	4.167/s
Υπερπλαίσιο	2071875000	84864	1326	6120 ms	9.803/min
Μέγιστο Πλαίσιο	4.2432E+12	173801472	2715648	3h:28m:53.760s	6.893/day

Αποκατάσταση Κλήσης στο GSM

Στο σχήμα 45, δείχνεται η σηματοδότηση για την αποκατάσταση της κλήσης στο GSM.



Σχήμα 45: Σηματοδότηση για την αποκατάσταση κλήσης στο Σύστημα GSM

Μεταπομπή (handover) στο GSM

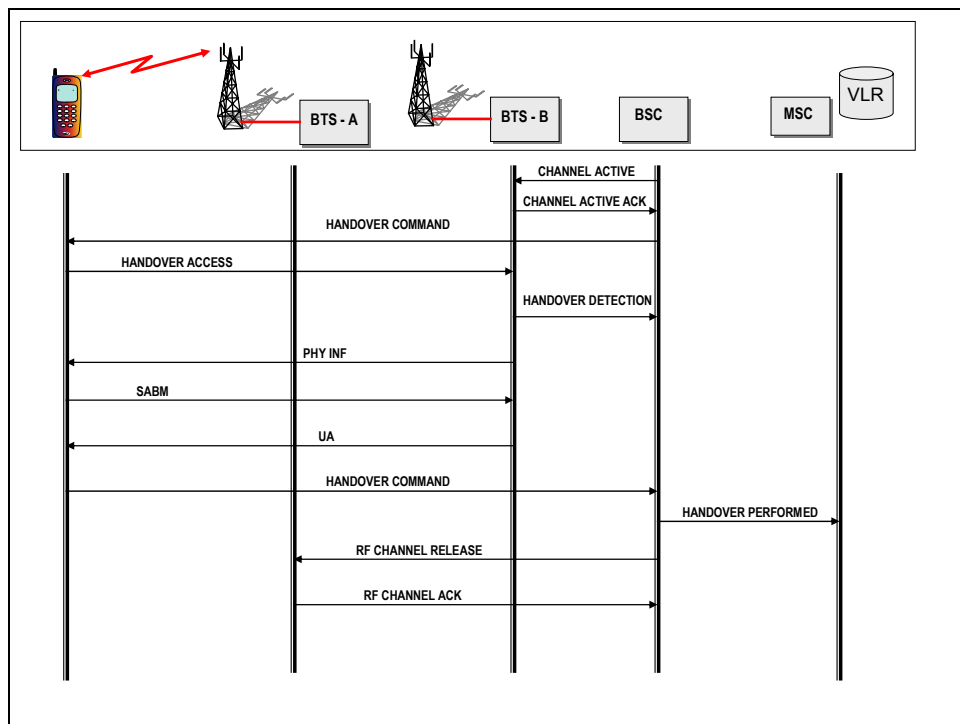
Στο πλαίσιο της διαδικασίας της μεταπομπής (handover) διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

- Ενδο-κυψελωτή Μεταπομπή (intra-cell handover):
Οι αναγκαίες διασυνδέσεις μεταφέρονται σε άλλον ραδιο-διάλογο του ίδιου BTS.
- Εγκλεισμένη εσω-κεψελωτή μεταπομπή (intern inter-cell handover):
Η διασύνδεση μεταφέρεται σε άλλον BTS υπό τον έλεγχο του ίδιου BSC.
- Εγκλεισμένη μεταπομπή σε επίπεδο MSC (MSC intern handover):
Η διασύνδεση μεταφέρεται μεταξύ BTSs τα οποία ανήκουν σε δύο διαφορετικούς BSCs υπό τον έλεγχο του ίδιου MSC.
- Εξωτερική μεταπομπή σε επίπεδο MSC (MSC extern handover):

Η διασύνδεση μεταφέρεται σε ένα BTS το οποίο ευρίσκεται υπό τον έλεγχο διαφορετικού MSC.

Η απόφαση για την εκτέλεση της διαδικασίας της μεταπομπής πραγματοποιείται στον BSC. Κατά την χρονική διάρκεια της σύνδεσης, η φορητή συσκευή στέλνει τις αναφορές για τη στάθμη του λαμβανομένου σήματος από όλα τα BTSs που δύναται να λάβει. Οι συγκεκριμένες αναφορές στέλνονται στον BTS χρησιμοποιώντας το μήνυμα (MEAS REP – **MEASUREMENT REPORT**) στο RR πρωτόκολλο. Οι αναφορές των μετρήσεων στέλνονται σε κάθε SACCH πλαίσιο, το οποίο επαναλαμβάνεται κάθε 480 ms. Εάν το SACCH χρησιμοποιείται για άλλα είδη μεταδόσεων, τότε τουλάχιστον κάθε δεύτερο SACCH πλαίσιο χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των αναφορών μετρήσεων. Οι αναφορές των μετρήσεων δεν αναλύονται και επεξεργάζονται στον BTS, αλλά προωθούνται στο BSC μέσω του μηνύματος (MEAS RES – **Measurement Result**) στο BTSM (**Base Transceiver Station Management**) πρωτόκολλο. Με βάση τις συγκεκριμένες μετρήσεις το BSC μπορεί να προκαλέσει την έναρξη της διαδικασίας της μεταπομπής.

Στο σχήμα 46, δείχνεται η σηματοδότηση για την πραγματοποίηση της διαδικασίας της Εγκλεισμένης εσω-κεφαλωτής μεταπομπής (intern inter-cell handover).



Σχήμα 46: Εγκλεισμένη εσω-κεφαλωτή μεταπομπή (intern inter-cell handover)

Με βάση το σχήμα 46, η διαδικασία της μεταπομπής εκκινεί με την κατάχώρηση καναλιού στο νέο BTS. Ακολούθως, το BSC δίνει την αντίστοιχη εντολή στην φορητή συσκευή με την αποστολή του σήματος **HANDOVER COMMAND** στο νέο καταχωρηθέν κανάλι. Την επόμενη χρονική στιγμή, η φορητή συσκευή μεταγεται στο νέο BTS και ενεργοποιεί τη μετάδοση του **HANDOVER ACC** (Handover **Access**) στο νέο κανάλι. Όταν αυτό ανιχνεύεται τότε αποστέλλεται το μήνυμα **PHY INF**, το οποίο περιέχει πληροφορία στο φυσικό επίπεδο για το νέο κανάλι, και ακολούθως πραγματοποιείται σύνδεση στο στρώμα 2 με βάση τη σειρά **SABM** (**Set Asynchronous Balanced Mode**) – **UA** (**Unnumbered Acknowledge**). Στο σημείο αυτό, η

μεταπομπή ολοκληρώνεται και ο προηγούμενος ραδιο-δίαυλος απελευθερώνεται. Εάν κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής, η φορητή συσκευή δεν λαμβάνει απάντηση στο αποστέλλέν μήνυμα HANDOVER ACC (Handover **A**ccess) τότε ο έλεγχος επιτρέπει στο παλαιό κανάλι. Για τον λόγο αυτόν, ο BSC, δεν απελευθερώνει το παλαιό κανάλι εάν προηγουμένως δεν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της μεταπομπής.

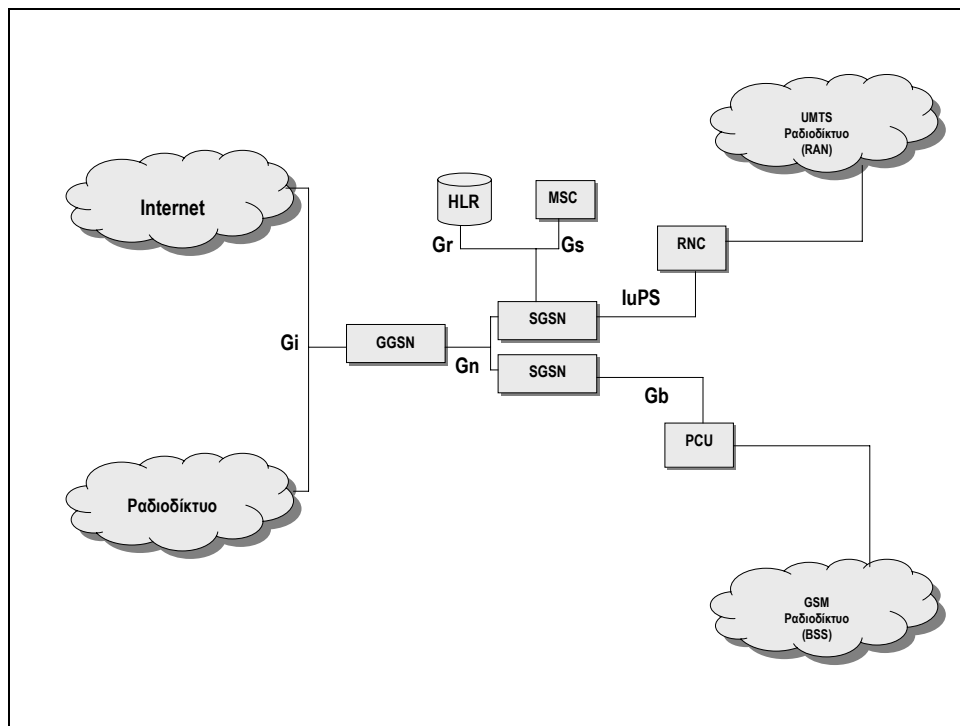
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ψηφιακά Ραδιοσυστήματα 2.5^{ης} Γενιάς (2.5 G)

2.1 General Packet Radio Service (GPRS)

Δομή Δικτύου Πυρήνα GPRS

Το GPRS (σχήμα 47) είναι η αναβαθμισμένη έκδοση του συστήματος GSM, το οποίο υποστηρίζει μετάδοση IP πακέτων. Η δομή του πυρήνα του δικτύου GSM υποστηρίζει τα δίκτυα τεχνολογιών WCDMA και 3ης Γενιάς. Το δίκτυο πυρήνα του GPRS είναι ένα ολοκληρωμένο τμήμα του υποσυστήματος μεταγωγής του δικτύου GSM.



Σχήμα 47: Δίκτυο πυρήνας του GPRS

Οι υποστηριζόμενες κύριες λειτουργίες από το δίκτυο αυτό, είναι η διαχείριση της κινητικότητας, η διαχείριση των συνόδων και η μετάδοση υπηρεσιών δομημένων με πακέτα IP για δίκτυα τεχνολογιών GSM και WCDMA. Το δίκτυο πυρήνας, υποστηρίζει επίσης και επιπρόσθετες λειτουργίες, όπως χρέωση και έλεγχο υποκλοπών.

Το δίκτυο πυρήνας GPRS, χαρακτηρίζεται από τους κόμβους υποστήριξης (GPRS Support Nodes – GSN). Το GSN είναι επομένως ένας κόμβος του δικτύου το οποίο υποστηρίζει τη χρήση του GPRS σε ένα δίκτυο GSM. Πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι κόμβοι GSN θα πρέπει να διαθέτουν την διεπαφή Gn και να υποστηρίζουν το πρωτόκολλο σήραγγος (GPRS Tunneling Protocol - GTP). Στο πλαίσιο των κόμβων αυτών, και με βάση την αρχιτεκτονική του δικτύου GPRS, διακρίνουμε το Κόμβο Πύλη (Gateway GPRS Support Node – GGSN) και τον Κόμβο Εξυπηρέτησης (Serving GPRS Support Node – SGSN).

Ο κόμβος GGSN, θεωρείται πολύ βασικός για ένα δίκτυο GPRS. Συγκεκριμένα, ο κόμβος αυτός είναι υπεύθυνος για την υποστήριξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ ενός GPRS δικτύου και ενός άλλου δικτύου πακετομεταγωγής (π.χ διαδίκτυο, X.25, κ.λ.π). Στην πραγματικότητα ο κόμβος GGSN είναι ένας δρομολογητής (router) ο οποίος χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση σε ένα άλλο υπο-δίκτυο. Επομένως, ο κόμβος αυτός, όταν λαμβάνει δεδομένα τα οποία κατευθύνονται σε συγκεκριμένο συνδρομητή, τότε ελέγχει εάν ο συνδρομητής αυτός είναι

ενεργός. Εάν είναι, τότε κατευθύνει την πληροφορία στον αντίστοιχο κόμβο εξυπηρέτησης SGSN ο οποίος είναι υπεύθυνος για την περιοχή όπου κινείται ο συγκεκριμένος συνδρομητής. Στη περίπτωση όμως όπου ο συγκεκριμένος συνδρομητής είναι ανενεργός, τότε ο κόμβος GGSN απορρίπτει την μεταφερόμενη πληροφορία. Επιπλέον, ο κόμβος GGSN, αποτελεί τον τελευταίο κρίκο της αλυσίδας για τη διαχείριση της κινητικότητας του συνδρομητή κατά τη μεταγωγή του από ένα δίκτυο GPRS σε ένα δίκτυο UMTS. Συγκεκριμένα, ο κόμβος GGSN μετατρέπει (π.χ σε IP, X.25) τα GPRS πακέτα πληροφορίας τα οποία έρχονται από έναν κόμβο εξυπηρέτησης SGSN, σύμφωνα με το κατάλληλο πρωτόκολλο πακέτων δεδομένων (Packet Data Protocol – PDP) και τα αποστέλλει στο αντίστοιχο δίκτυο πακετομεταγωγής. Στη περίπτωση όπου η πληροφορία θα πρέπει να κατευθυνθεί σε συνδρομητή του GSM δικτύου, τότε ο κόμβος αυτός, κατευθύνει την πληροφορία στον υπεύθυνο κόμβο εξυπηρέτησης όπου εξυπηρετείται ο συγκεκριμένος συνδρομητής. Τέλος, ο κόμβος GGSN, υποστηρίζει τη λειτουργία της πιστοποίησης καθώς και λειτουργίες που αφορούν τη χρέωση των κλήσεων.

Ο κόμβος εξυπηρέτησης SGSN, είναι ένας κόμβος ο οποίος είναι υπεύθυνος για την παράδοση των πακέτων πληροφορίας από και προς σε συνδρομητές οι οποίοι κινούνται στη γεωγραφική περιοχή ευθύνης αυτού. Τα καθήκοντα του συγκεκριμένου κόμβου περιλαμβάνουν: δρομολόγηση και μεταφορά πληροφορίας, διαχείριση κινητικότητας, διαχείριση λογικών ζεύξεων επικοινωνίας, πιστοποίηση και διαδικασίες χρέωσης κλήσεων. Ο Καταχωρητής Θέσης (Location Register) του κόμβου SGSN, αποθηκεύει πληροφορίες (π.χ υφιστάμενη κυψέλη, υφιστάμενη πληροφορία προερχόμενη από την αντίστοιχη VLR και στοιχεία που αφορούν το προφίλ του συνδρομητή [π.χ ταυτότητα IMSI, διευθύνσεις όλων των GPRS συνδρομητών οι οποίοι είναι εγγεγραμμένοι στον κόμβο SGSN]).

Η Μονάδα Ελέγχου των Πακέτων (**Packet Control Unit – PCU**) είναι υπεύθυνη για την προώθηση της κίνησης των δεδομένων σε ένα δίκτυο GPRS και είναι ένα επιπρόσθετο υλικό κύκλωμα ενσωματωμένο στον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC) υποστηριζόμενο από το κατάλληλο λογισμικό για την υποστήριξη των αντίστοιχων διαδικασιών δρομολόγησης.

Ο Ελεγκτήρας Ραδιο-δικτύου (**Radio Network Controller – RNC**) είναι υπεύθυνος για τη σύνδεση με τη φορητή συσκευή του συνδρομητή ο οποίος κινείται σε μια συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου.

Οι κύριες λειτουργίες του κόμβου SGSN είναι:

- λήψη GTP πακέτων από έναν κόμβο GGSN (κατερχόμενη ζεύξη)
- προώθηση IP πακέτων σε έναν κόμβο GGSN (ανερχόμενη ζεύξη)
- διεξαγωγή της διαχείρισης κινητικότητας (ρόλος standby mode) καθώς η φορητή συσκευή κινείται από μια περιοχή σε μια άλλη
- επεξεργασία δεδομένων χρέωσης συνδρομητή

Οι ειδικές λειτουργίες του κόμβου SGSN για την περίπτωση περιαγωγής GSM/EDGE (**Enhanced Data Rates for GSM Evolution**), είναι:

- υποστήριξη ρυθμού μετάδοσης 60 kbit/s (150 kbit/s for EDGE) ανά συνδρομητή
- σύνδεση μέσω πλαισίου αναμετάδοσης (frame relay) ή IR με τη μονάδα ελέγχου των πακέτων (PCU) χρησιμοποιώντας την διεπαφή Gb
- αποδοχή δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης για τον σχηματισμό πακέτων IP
- κρυπτογράφηση δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης και αποκρυπτογράφηση δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης

- ο διεξαγωγή της διαχείρισης της κινητικότητας συνδεδεμένων συνδρομητών σε επίπεδο κυψέλης

Οι ειδικές λειτουργίες του κόμβου SGSN για την περίπτωση περιαγωγής σε δίκτυο WCDMA, είναι:

- ο υποστήριξη μεταφοράς μέχρι 42 Mbit/s κίνησης στην κατερχόμενη ζεύξη και 5.8 Mbit/s κίνησης στην ανερχόμενη ζεύξη (HSPA+)
- ο λήψη/προώθηση πακέτων από κατερχόμενη/ανερχόμενη ζεύξη προς τον ελεγκτήρα του ραδιο-δικτύου (RNC)
- ο διεξαγωγή της διαχείρισης κινητικότητας συνδεδεμένων συνδρομητών σε επίπεδο ενός RNC

Το πρωτόκολλο σήραγγος (**GPRS Tunneling Protocol - GTP**), είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο προσαρμόζει το πρωτόκολλο IP για τις ανάγκες του δικτύου GPRS. Το πρωτόκολλο αυτό, επιτρέπει τους τελικούς χρήστες (συνδρομητές) ενός δικτύου GSM ή ενός δικτύου WCDMA να συνεχίζουν την σύνδεσή τους με το διαδίκτυο ενώ μετακινούνται από περιοχή σε περιοχή κάτω από τον έλεγχο ενός κόμβου GGSN. Ένα δίκτυο GPRS μπορεί να υποστηρίξει τις παρακάτω τρεις εκδόσεις του πρωτοκόλλου GTP:

GTP-U: Η έκδοση αυτή είναι κατάλληλη για τη μεταφορά δεδομένων των συνδρομητών που ανήκουν σε ξεχωριστές σήραγγες για κάθε PDP περιεχόμενο (context)

GTP-C: Η έκδοση αυτή είναι κατάλληλη για τους παρακάτω ελέγχους:

- ο αποκατάσταση και διαγραφή των PDP περιεχομένων (Contexts)
- ο επαλήθευση και εφικτότητα σύνδεσης με κόμβο υποστήριξης (GSN)
- ο ενημερώσεις στα στοιχεία που αφορούν τους συνδρομητές (π.χ μετακίνηση συνδρομητών από έναν κόμβο SGSN σε έναν άλλον)

GTP': Η έκδοση αυτή είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά δεδομένων χρέωσης στην μονάδα υπολογισμού της χρέωσης (Charging Function)

Τα δεδομένα του περιεχομένου PDP (context data) περιλαμβάνουν:

- ο την IP διεύθυνση του συνδρομητή
- ο την ταυτότητα IMSI του συνδρομητή
- ο την ταυτότητα του σημείου πέρατος της σήραγγος στου συνδρομητή στον κόμβο GGSN (**Tunnel Endpoint ID – TEID**)
- ο την ταυτότητα του σημείου πέρατος της σήραγγος στου συνδρομητή στον κόμβο SGSN (**Tunnel Endpoint ID – TEID**)

Σημειώνεται ότι η ταυτότητα TEID είναι ένας αριθμός ο οποίος καταχωρείται από έναν κόμβο υποστήριξης GSN, ο οποίος αναγνωρίζει τα δεδομένα τα οποία αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο PDP περιεχόμενο.

Με βάση το πρότυπο του GPRS, υφίστανται τα παρακάτω δύο είδη PDP περιεχομένων:

- ο κύριο περιεχόμενο: Το περιεχόμενο αυτό αναφέρεται στην μοναδιαία διεύθυνση IP

- ο δευτερεύων περιεχόμενο: το περιεχόμενο αυτό αναφέρεται (α) στο μοίρασμα της διεύθυνσης IP με ένα άλλο PDP περιεχόμενο, (β) στη δημιουργία του περιεχομένου βασιζόμενο στο υφιστάμενο PDP περιεχόμενο και (γ) στον καθορισμό παραμέτρων για διαφορετική ποιότητα παρεχομένων υπηρεσιών (Quality of Service – QoS)

Τέλος, σημειώνεται ότι μέχρι 11 διαφορετικά είδη PDP περιεχομένων μπορούν να συνυπάρχουν στο επικοινωνιακό σενάριο. Στο πλαίσιο της διαφόρισης των διαφορετικών PDP περιεχομένων χρησιμοποιείται η παράμετρος εξακρίβωσης πρόσβασης εξυπηρέτησης Network (Layer) **Service Access Point Identifier (NSAPI)**.

Στο πλαίσιο της υποστήριξης των επικοινωνιακών διαδικασιών σε ένα GPRS δίκτυο, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω διεπαφές και σημεία αναφοράς (πίνακας 10):

Πίνακας 10: Διεπαφές του GPRS

A/A	Ονομασία Διεπαφής	Επεξήγηση ρόλου
1	Gb	Διεπαφή για τη σύνδεση του Υποσυστήματος του Σταθμού Βάσης (BSS) και του κόμβου εξυπηρέτησης SGSN. Το πρωτόκολλο μετάδοσης μπορεί να είναι το Frame Relay ή το IP.
2	Gn	Είναι μια διεπαφή (IP based) η οποία χρησιμοποιείται μεταξύ ενός κόμβου εξυπηρέτησης SGSN που συνδέεται με άλλους κόμβους SGSNs καθώς και με εσωτερικούς κόμβους GGSNs. Στην διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο GTP.
3	Gp	Είναι μια διεπαφή (IP based) η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση ενός εσωτερικού κόμβου εξυπηρέτησης SGSN και εξωτερικών κόμβων εξυπηρέτησης GGSNs. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διασύνδεση ενός κόμβου εξυπηρέτησης SGSN και ενός εξωτερικού κόμβου εξυπηρέτησης GGSN υπάρχει μια πύλη εξόδου (η οποία είναι βασικά ένα firewall). Στην διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο GTP.
4	Ga	Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τις ανάγκες διασύνδεσης ενός κόμβου υποστήριξης εξυπηρέτησης (GSN) με τη πύλη της μονάδας χρέωσης (Charging Gateway Function – CGF). Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στη περίπτωση αυτή, είναι το GTP.
5	Gr	Είναι η διεπαφή η οποία υφίσταται μεταξύ ενός κόμβου εξυπηρέτησης SGSN και της Οικείας Βάσης Δεδομένων (HLR). Τα μηνύματα τα οποία διέρχονται μέσω της συγκεκριμένης διεπαφής χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο MAP3.
6	Gd	Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του κόμβου εξυπηρέτησης SGSN με τη Πύλη Βραχέων Μηνυμάτων (G-SMS). Στη περίπτωση αυτή η μετάδοση των αντίστοιχων μηνυμάτων διασφαλίζεται με τα πρωτόκολλα MAP1, MAP2 ή MAP3.
7	Gs	Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του κόμβου εξυπηρέτησης SGSN με το Ψηφιακό Κέντρο [MSC(VLR)]. Για τη μετάδοση των μηνυμάτων χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο BSSAP+. Η συγκεκριμένη διεπαφή διασφαλίζει την διαδικασία

της αναζήτησης (paging) και τη διαθεσιμότητα μιας φορητής συσκευής στο πλαίσιο της μεταφοράς δεδομένων. Όταν η φορητή συσκευή ευρίσκεται υπό τον έλεγχο του δικτύου GPRS τότε ενεργοποιείται ο αντίστοιχος κόμβος εξυπηρέτησης SGSN, ο οποίος καταγράφει την περιοχή πορείας (routing area – RA) από την οποία η συγκεκριμένη φορητή συσκευή άρχισε να ελέγχεται από το GPRS δίκτυο. Η περιοχή πορεία RA, είναι μέρος μιας μεγαλύτερης περιοχής θέσης (Location Area – LA). Όταν έχει επιτευχθεί ο στόχος της αναζήτησης της φορητής συσκευής, τότε η εμπλεκόμενη πληροφορία, χρησιμοποιείται για τη δέσμευση των αντίστοιχων πόρων του δικτύου προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι επικοινωνιακές απαιτήσεις του συνδρομητή. Όταν η φορητή συσκευή πραγματοποιεί ένα PDP περιεχόμενο, ο κόμβος εξυπηρέτησης SGSN έχει τον ακριβή Σταθμό Εκπομπής & Λήψης (BTS) που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

- | | | |
|----|-----|---|
| 8 | Gi | Είναι μια διεπαφή (IP based) η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση ενός κόμβου εξυπηρέτησης GGSN και του Δημόσιου Δικτύου Δεδομένων (Public Data Network – PDN). Η περίπτωση αυτή αφορά τη σύνδεση με το διαδίκτυο ή και με μια πύλη WAP. |
| 9 | Ge | Είναι μια διεπαφή η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση ενός κόμβου εξυπηρέτησης SGSN με ένα Σημείο Ελέγχου Εξυπηρέτησης (Service Control Point – SCP). Στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο CAP. |
| 10 | Gx | Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του κόμβου εξυπηρέτησης GGSN με τη μονάδα χρέωσης (Charging Rules Function – CRF). Η αντίστοιχη μετάδοση των μηνυμάτων υποστηρίζεται από ντο πρωτόκολλο DIAMETER. |
| 11 | Gy | Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του κόμβου εξυπηρέτησης GGSN και το on-line σύστημα χρέωσης (Online Charging System – OCS). Η αντίστοιχη μετάδοση των μηνυμάτων υποστηρίζεται από ντο πρωτόκολλο DIAMETER. |
| 12 | Gz | Η διεπαφή αυτή, χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση μεταξύ ενός κόμβου εξυπηρέτησης (GPRS Service Node – GSN) και της Πύλης Χρέωσης (Charging Gate – CG). Η μετάδοση των μηνυμάτων αφορά off-line επεξεργασίες και χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο GTP'. |
| 13 | Gmb | Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση κόμβου εξυπηρέτησης GGSN με ένα ένα κέντρο ευρυεκπομπής (Broadcast – Multicast Service Center – [BM-SC]). Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ελέγχου κομιστικών πολυμεσικών εφαρμογών και υπηρεσιών (Multimedia Broadcast Multicast Services (MBMS)). |

2.2 Terrestrial Trunked Radio (TETRA)

Το παν-Ευρωπαϊκό ζευκτικοποιημένο πρότυπο TETRA
- σημερινή κατάσταση, προοπτικές και τεχνολογία

TETRA – Πρότυπο Ψηφιακού Ζευκτικοποιημένου Ραδιο-δικτύου

Η αγορά των Επαγγελματικών Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών, η οποία περιλαμβάνει Ιδιωτικά και Δημόσια Ραδιο-δίκτυα πρόσβασης (PMR and PAMR), έχει επεκταθεί προς πολλές κατευθύνσεις, σε σχέση με τις τεχνολογίες, την καταχώρηση συχνοτήτων κ.λ.π. Η πρώτη ολοφάνερη αλλαγή σε σχέση με τα διεθνή πρότυπα, ήταν η εισαγωγή του αναλογικού MPT 1327 ζευκτικοποιημένου προτύπου ραδιο-συστήματος, το οποίο παρουσιάζει επιτυχία στην αγορά, στα περισσότερα μέρη του κόσμου.

Το TETRA είναι το πρώτο ανοιχτό ψηφιακό δίκτυο κινητών επικοινωνιών και το πρότυπο καθορίστηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Τηλεπικοινωνιακής Τυποποίησης (European Telecommunications Standards Institute - ETSI).

Το βασικό μέρος του TETRA έχει εγκριθεί σε διεθνείς κρίσεις στο τέλος του 1995 (22 χώρες αναγνώρισαν την έγκρισή του). Νέα χαρακτηριστικά και υπηρεσίες θα συνεχίσουν να γίνονται πρότυπα στο TETRA τα επόμενα χρόνια, όπως έγινε στο παρελθόν με το GSM.

Οι Πάροχοι Δικτύων και οι Κατασκευαστές συστημάτων, έχουν υπογράψει το Μνημόνιο Συνεργασίας TETRA (Memorandum of Understanding - MoU), το οποίο είναι μια κοινή προσπάθεια να υποστηρίξουν και να προωθήσουν τη γρήγορη και συνεπή εφαρμογή των συστημάτων TETRA στις χώρες μέλη. Για να εξασφαλισθεί μια ευρεία ελεύθερη αγορά, το TETRA MoU προσπαθεί για την μέγιστη διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού από τους διαφορετικούς κατασκευαστές. Στο πλαίσιο αυτό, το TETRA MoU δημοσιεύει μια τριμηνιαία έκδοση αποκαλούμενη «TETRA News» το οποίο είναι διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση www.tetramou.com.

Επομένως, το TETRA, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το πρώτο και πλήρως εγκεκριμένο ψηφιακό ζευκτικοποιημένο πρότυπο όχι μόνο στην Ευρώπη αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Προδιαγραφές του TETRA

Όλοι οι πάροχοι του συγκεκριμένου συστήματος πρέπει να προσφέρουν υπηρεσίες αλλά και τερματικές συσκευές που να ακολουθούν τα αντίστοιχα πρότυπα όσον αφορά κυρίως την συμβατότητα με άλλα δίκτυα αλλά και μεταξύ τους. Στον πίνακα 11 δείχνονται οι σημαντικότερες προδιαγραφές του ραδιοδικτύου οι οποίες αφορούν κυρίως το τμήμα των επικοινωνιών.

Πίνακας 11: Προδιαγραφές ραδιοδικτύου TETRA

ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΔΙΚΤΥΟΥ TETRA	
Περιοχή συχνοτήτων	380-400 MHz για σώματα δημόσιας ασφάλειας 410-430 MHz για εμπορικές εφαρμογές

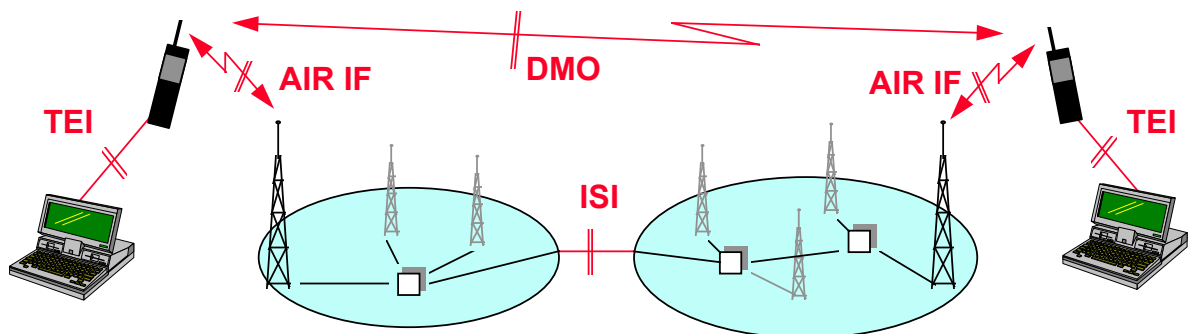
	450-470 MHz 870-876/915-921 MHz
Αμφίδρομη επικοινωνία	Frequency Division Duplex FDD
Εύρος αμφίδρομης επικοινωνίας	Στην Ευρώπη 10 MHz στην φάση της κατερχόμενης ζεύξης
Εύρος ζώνης φερουσών συχνοτήτων	25 KHz
Πολύπλεξη καναλιών	TDMA με 4 χρονοθυρίδες ανά πλαίσιο και 18 πλαίσια ανά πολλαπλό πλαίσιο
Διάρκεια χρονοθυρίδας, πλαισίου, πολλαπλού πλαισίου	14.167 msec, 56.667 ms, 1.02 sec
Ισχύς εκπομπής	Φορητή Συσκευή: 15-45 dBm (0.03-30W) σε βήματα των 5 dB Σταθμός Βάσης: 28-46 dBm (0.6-40W) ανάλογα με την κλάση ισχύος της κινητής μονάδας
Ρυθμός μετάδοσης	36 Kbps
Διαμόρφωση	π/4-QPSK με συντελεστή roll-off $\alpha=0.35$
Κωδικοποίηση ομιλίας	A-CELP (Algebraic Code-Excited Linear Predictive Codec), 4.8 Kbps
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Data Rate)	Έως 7.2 Kbps ανά κανάλι (Time Slot) και 28.8 Kbps με την δέσμευση ενός ολόκληρου πλαισίου

Η επίδραση των χρηστών στην ανάπτυξη του TETRA μπορεί να φανεί ολοκάθαρα. Ειδικά οι χρήστες υπηρεσιών άμεσης ανάγκης (emergency service users) έχουν συμβάλει δραστικά στην δημιουργία του προτύπου. Έτσι, το TETRA διασφαλίζει υψηλή λειτουργικότητα για υπηρεσίες άμεσης ανάγκης και επιπλέον είναι πολύ καλά προσαρμοσμένο για εμπορικούς χρήστες ζευκτικοποιημένου ραδιο-δικτύου. Ο υψηλός βαθμός εμπλοκής του χρήστη στη δημιουργία του προτύπου, εγγυάται ότι θα καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών.

Διεπαφές του TETRA

Το ραδιοδίκτυο TETRA υποστηρίζει τέσσερις βασικές διαφορετικές διεπαφές επικοινωνίας (σχήμα 48). Οι διεπαφές αυτές είναι η διεπαφή του αέρα, η διεπαφή του τερματικού εξοπλισμού, η ενδογενής διεπαφή του συστήματος και τέλος η διεπαφή μεταξύ των τερματικών μονάδων. Στην συνέχεια περιγράφονται αναλυτικότερα αυτές οι τέσσερις κατηγορίες :

1. Διεπαφή Αέρα (Air Interface, AIR IF): Η διεπαφή αυτή αφορά τον ραδιοδίαυλο μεταξύ της κινητής μονάδας του συστήματος TETRA και του αντίστοιχου σταθμού βάσης με τον οποίο πραγματοποιείται η επικοινωνία. Στην περίπτωση αυτή εξασφαλίζεται η πλήρης συνεργασία και συμβατότητα των τερματικών συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών με ένα οποιοδήποτε ραδιοδίκτυο TETRA.
2. Διεπαφή Τερματικού Εξοπλισμού (Terminal Equipment Interface, TEI): Η διεπαφή αυτή παρέχει την δυνατότητα ανεξάρτητης ανάπτυξης των κινητών εφαρμογών του ραδιοδικτύου.
3. Ενδογενής Διεπαφή (Inter-System Interface, ISI): Χάρη στην διεπαφή αυτή, ραδιοδίκτυα TETRA διαφορετικών κατασκευαστών τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές του ETSI μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη συμβατότητα και συνεργασία.
4. Διεπαφή Απ' Ευθείας Επικοινωνίας (Direct Mode Operation, DMO): Μία από τις βασικές διαφορές του TETRA από άλλα δίκτυα δημοσίας χρήσεως (όπως το GSM) είναι η ύπαρξη της διεπαφής DMO η οποία καθορίζει την άμεση επικοινωνία μεταξύ δύο κινητών μονάδων χωρίς την ανάγκη διαμεσολάβησης ενός σταθμού βάσης. Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερως χρήσιμη σε περίπτωση όπου η μία από τις δύο μονάδες είναι εκτός ραδιοκάλυψης αλλά και σε περιπτώσεις φυσικών και άλλων καταστροφών.

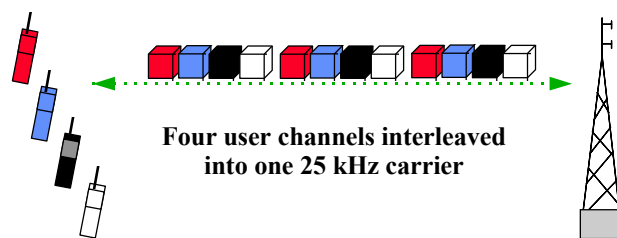


Σχήμα 48: Διεπαφές ραδιοδικτύου TETRA

Τεχνικά Χαρακτηριστικά του TETRA

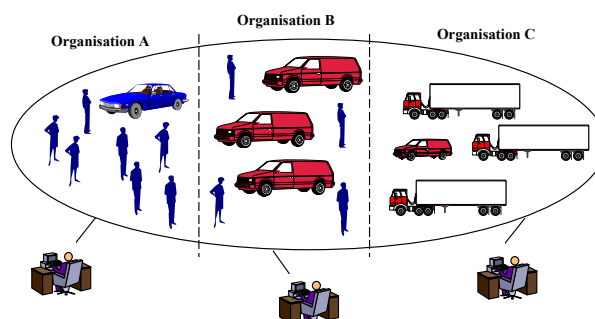
Το TETRA εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα φωνής και πολύ χαμηλό ρυθμό μετάδοσης σφαλμάτων στα δεδομένα.

Το TETRA υποστηρίζει μετάδοση φωνή, υπηρεσίες δεδομένων μεταγωγής πακέτου και μεταγωγής κυκλώματος, με τη δυνατότητα της επιλογής στο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και στο επίπεδο της προστασίας λαθών. Το TETRA χρησιμοποιεί την τεχνική της πολύπλεξης (σχήμα 49) στο πεδίο του χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) με 4 χρονοθυρίδες στην κάθε φέρουσα και 25 kHz απόσταση των διαδοχικών φερουσών. Αυτό το γεγονός 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 kbit/s, ενώ το εύρος ζώνης απελευθερώνεται δυναμικά .



Σχήμα 49: Δομή TDMA πλαισίου

Επίσης, το TETRA έχει σχεδιαστεί από την αρχή σαν ζευκτικοποιημένο σύστημα το οποίο υποστηρίζει οικονομικά και αποτελεσματικά την καταμερισμένη χρήση του δικτύου από διάφορους φορείς (οργανισμούς), το οποίο διασφαλίζει την απαιτούμενη ασφάλεια της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Η δικτύωση μέσα στο δίκτυο TETRA επιτρέπει σε κάθε φορέα (οργανισμό) να λειτουργεί σε ανεξάρτητη βάση (σχήμα 50), και επίσης να απολαμβάνει τα οφέλη ενός μεγάλου συστήματος υψηλής λειτουργίας με την πλέον αποδοτική διαχείριση των πόρων του όλου δικτύου.



Σχήμα 50: Ανεξάρτητη λειτουργία φορέων

Το TETRA παρέχει ασφάλεια όπως επιβάλλει η υψηλή τεχνολογία του, η οποία μεταξύ άλλων περιλαμβάνει αποκρυπτογράφηση φωνής, δεδομένων σηματοδότησης και ταυτότητας των χρηστών. Διαθέτει του παρακάτω δύο μηχανισμούς αποκρυπτογράφησης:

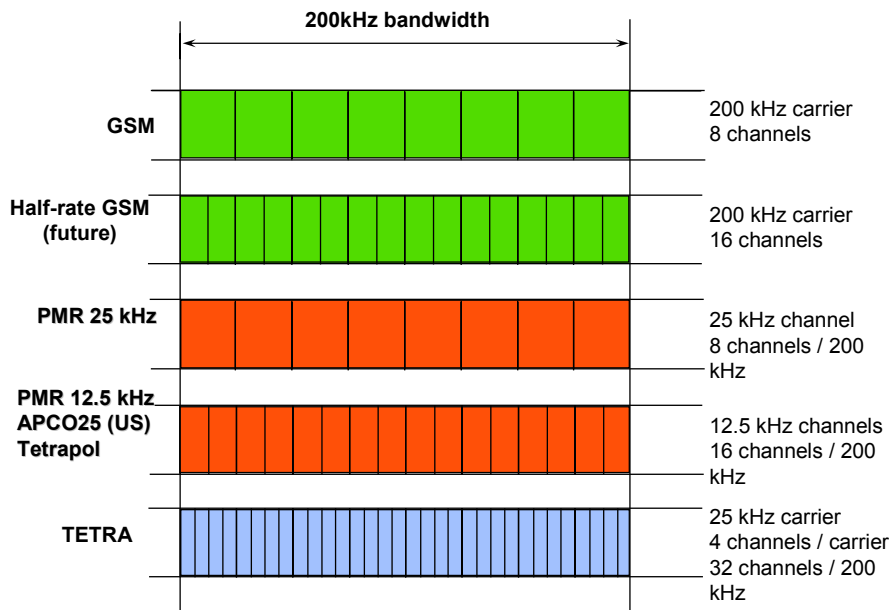
- Αποκρυπτογράφηση Διεπαφής Αέρος (air interface encryption), η οποία αποκρυπτογραφεί το ράδιο κανάλι μεταξύ της τερματικού και του σταθμού βάσης.
- Διατερματική Αποκρυπτογράφηση (end-to-end encryption) για τις πιο κρίσιμες εφαρμογές, όπου η αποκρυπτογράφηση είναι απαραίτητη από την αρχή μέχρι το τέλος.

Το TETRA εξασφαλίζει πολύ μικρό χρόνο αποκατάστασης κλήσης (300 msec), το ποίο είναι σημαντικό για υπηρεσίες άμεσης ανάγκης και υπηρεσίες ασφάλειας των πολιτών. Φυσικά, το TETRA υποστηρίζει ημι-αμφίδρομες υπηρεσίες για ομαδικές επικοινωνίες και πλήρεις αμφίδρομες υπηρεσίες για ατομικές τηλεφωνικές κλήσεις. Με τον τρόπο αυτόν το TETRA ικανοποιεί και τις πιο απαιτητικές εφαρμογές χρηστών σε κρίσιμο χρόνο. Τέλος, τα πολλαπλά σχήματα προτεραιότητας κλήσεων, εξασφαλίζουν αποδοτικότερη κατανομή των πόρων για την αμεσότερη επικοινωνία στο δίκτυο.

Δομή του Δικτύου TETRA

Η δομή του ραδιοδικτύου TETRA έχει αρκετά όμοια σημεία με άλλα γνωστά δίκτυα κινητών επικοινωνιών όπως είναι το GSM αλλά και βασικές διαφορές. Το ραδιοδίκτυο TETRA ακολουθεί την τεχνολογία TDMA. Έτσι, λοιπόν, με την πολύπλεξη στον χρόνο ο κάθε χρήστης δεν καταλαμβάνει μία ολόκληρη συχνότητα επικοινωνίας όπως συνέβαινε σε παλαιότερα αναλογικά δίκτυα. Αντιθέτως, η πληροφορία που μεταδίδεται χωρίζεται σε χρονοθυρίδες (Time Slots) όπου η κάθε χρονοθυρίδα αντιστοιχεί και σε ένα λογικό κανάλι. Τέσσερα TS αποτελούν ένα πλαίσιο (frame). Σε κάθε μία συχνότητα του συστήματος μπορούν να υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά κανάλια και κατά συνέπεια τέσσερις διαφορετικοί ταυτόχρονοι χρήστες. Η κάθε μία συχνότητα στο TETRA έχει εύρος ζώνης 25 KHz. Με την μέθοδο TDMA που χρησιμοποιείται έχουμε δύο βασικά πλεονεκτήματα. Καταρχάς πετυχαίνουμε ικανοποιητική κατανομή του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων. Αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό μιας και οι διαθέσιμες συχνότητες για κάθε δίκτυο είναι όχι μόνο περιορισμένες αλλά και ακριβές στην εκμετάλλευση. Το δεύτερο μεγάλο πλεονέκτημα έχει να κάνει με την δυνατότητα συνδυασμού περισσότερων του ενός Time Slot ανά χρήστη για την ικανοποίηση εφαρμογών που απαιτούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από αυτό των βασικών υπηρεσιών.

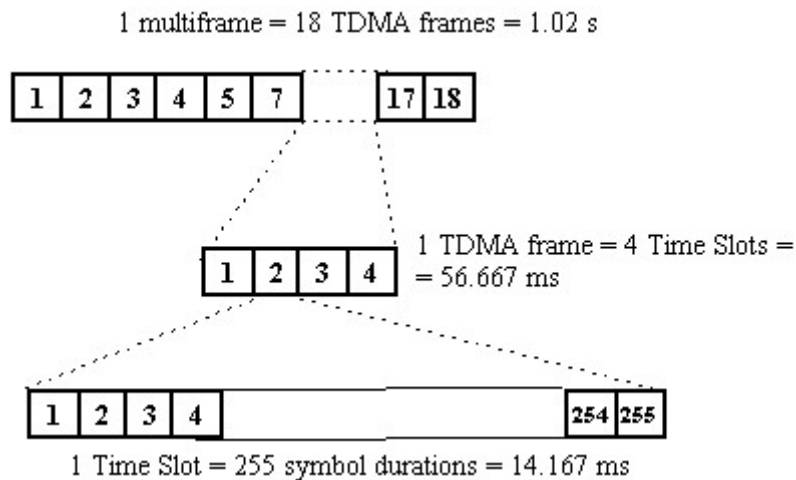
Στο Σχήμα 51 φαίνεται η αποτελεσματικότητα στην εκμετάλλευση του εύρους ζώνης που πετυχαίνει το TETRA εν συγκρίσει με το GSM αλλά και με άλλα δημοφιλή δίκτυα κινητών επικοινωνιών.



Σχήμα 51: Εκμετάλλευση εύρους ζώνης σε ασύρματα δίκτυα διαφόρων τεχνολογιών

Είναι χαρακτηριστικό ότι ενώ στο GSM έχουμε φέρουσες με εύρος 200 KHz, στο ίδιο εύρος ζώνης με το TETRA έχουμε 32 κανάλια επικοινωνίας και 8 φέρουσες.

Στο ραδιοδίκτυο TETRA, όπως ήδη προαναφέρθηκε τέσσερις χρονοθυρίδες απαρτίζουν ένα πλαίσιο. Ωστόσο η πληροφορία μπορεί να συγκεντρωθεί και σε δομές ανώτερης τάξης. Έτσι, λοιπόν, και σύμφωνα πάντα με τον ETSI, 18 πλαίσια απαρτίζουν ένα πολυ-πλαίσιο το οποίο με την σειρά του αποτελείται από 18x4 χρονοθυρίδες. Ορισμένα στοιχεία για το TETRA που θα πρέπει να αναφερθούν είναι πως 1 TS έχει χρονική διάρκεια 14.167 msec, 1 frame 56.667 ms ενώ ένα multiframe διαρκεί 1.02 sec. Στο Σχήμα 52 φαίνεται παραστατικά η δομή ενός πλαισίου στο συγκεκριμένο ραδιοδίκτυο.



Σχήμα 52: Δομή πλαισίου στο σύστημα TETRA

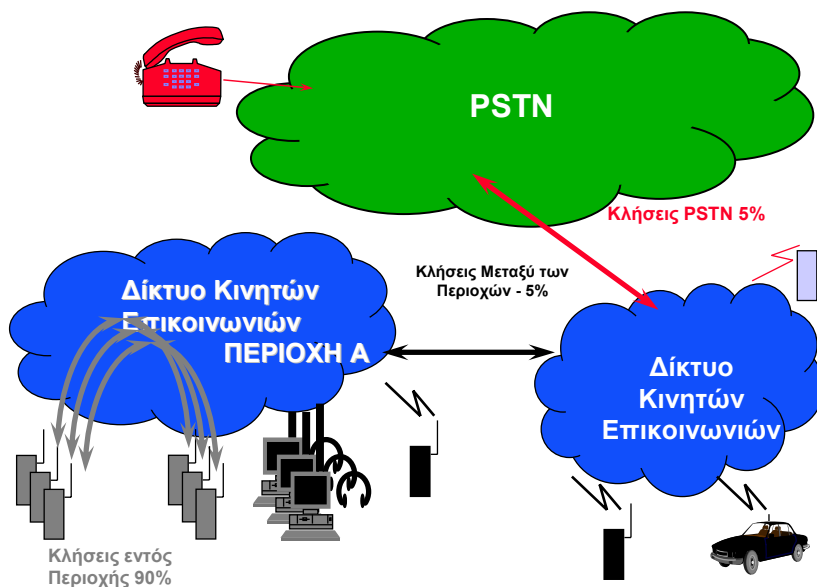
Βασικό είναι να αναφερθεί το γεγονός πως η μεταδιδόμενη πληροφορία στο TETRA όπως και στο GSM μεταδίδεται με την μορφή ριπών (burst). Στην διάρκεια, λοιπόν, μίας χρονοθυρίδας, ένας σταθμός μεταδίδει την πληροφορία ακολουθώντας την λογική του “power up – power down”. Ειδικότερα, το τερματικό ανεβάζει διαδοχικά την ισχύ εκπομπής μέχρι ενός σημείου. Από εκεί και έπειτα μπορεί να μεταδοθεί η ωφέλιμη πληροφορία. Στην συνέχεια και μετά το πέρας του χρόνου όπου η ισχύς διατηρείται σταθερή, επέρχεται μία διαδοχική αντίστοιχη μείωσή της μέχρι ένα κατώτατο όριο. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται στην διάρκεια κάθε χρονοθυρίδας.

Στο TETRA όπως έχει ήδη σημειωθεί υπάρχουν τα φυσικά και τα λογικά κανάλια. Κάθε ένα φυσικό κανάλι μπορεί να περιέχει περισσότερα από ένα λογικά κανάλια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι σε ένα multiframe κάθε 18 πλαίσια μεταδίδεται ένα πλαίσιο ελέγχου το οποίο εμπεριέχει ένα κανάλι ελέγχου. Στο TETRA V+D τα κανάλια χωρίζονται σε κανάλια κίνησης και κανάλια ελέγχου. Τα τελευταία χωρίζονται με την σειρά τους σε υποκατηγορίες ως εξής :

- Broadcast Control Channel (BCCH): Σκοπός του καναλιού αυτού είναι η αναγνώριση του δικτύου από την πλευρά του τερματικού. Επίσης, το κανάλι αυτό προσδιορίζει βασικές παραμέτρους της πρόσβασης στο σύστημα. Το BCCH χωρίζεται σε δύο υποκανάλια τα οποία είναι το Broadcast Synchronization Channel (BSCH) και το Broadcast Network Channel (BNCH).

- Linearization Channel (LCH): Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται τόσο από τον σταθμό βάσης όσο και από την κινητή μονάδα προκειμένου να επιτευχθεί η ευθυγράμμιση και ο συγχρονισμός των δεδομένων στον πομπό και στον δέκτη.
- Signaling Channel (SCH): Το κανάλι αυτό είναι από τα βασικότερα του συστήματος μιας και ο σκοπός του είναι η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του σταθμού βάσης και της κινητής μονάδας σε περίπτωση εγγραφής της τελευταίας στο δίκτυο. Επίσης, χρησιμοποιείται και κατά την φάση της εγκατάστασης μίας κλήσης (call setup).
- Access Assign Channel (AACH): Το κανάλι αυτό εκπέμπεται μόνο από τον σταθμό βάσης στην μέση μιας ριπής δεδομένων. Σκοπός του είναι η περιγραφή της χρήσης του τρέχοντος φυσικού καναλιού καθώς επίσης και η δυνατότητα πρόσβασης σε αυτό άλλων συνδρομητών.
- Stealing Channel (STCH): Το κανάλι αυτό σχετίζεται άμεσα με ένα TCH. Κατά την διάρκεια μίας κλήσης, τα κανάλια κίνησης μπορούν να αντικατασταθούν από τα STCH στην περίπτωση που θα πρέπει να γίνει ανταλλαγή σημαντικών πληροφοριών που αφορούν πρωτόκολλα επικοινωνίας. Μια σημαντική τέτοια πληροφορία είναι η ανάγκη για παράδειγμα μεταγωγής του τερματικού χρήστη από ένα κύτταρο σε ένα άλλο.

Στο σχήμα 53 δείχνεται η ροή δεδομένων στο TETRA μεταξύ των κινητών μονάδων και του ραδιοδικτύου:



Σχήμα 53: Ροή δεδομένων στο TETRA μεταξύ κινητών μονάδων και του ραδιοδικτύου

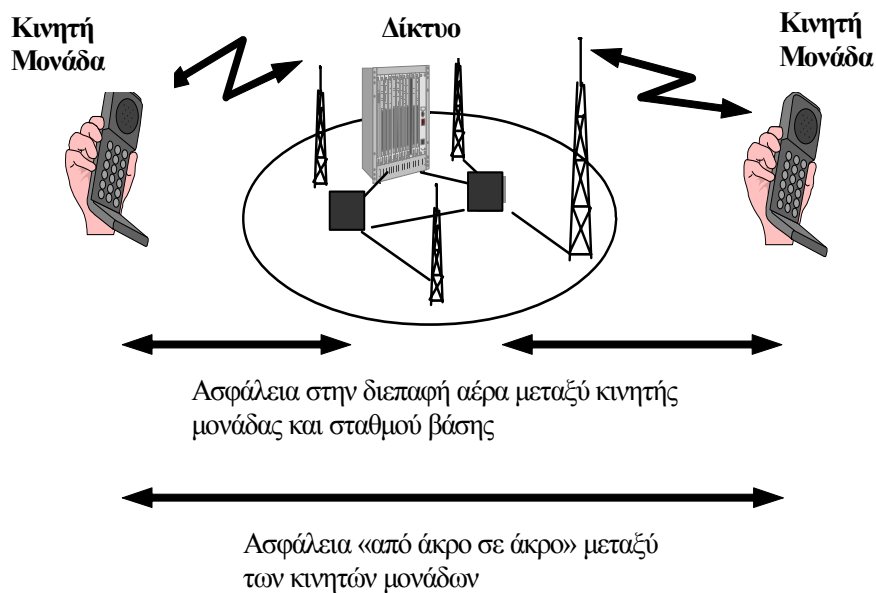
Ασφάλεια του TETRA

Από την εμφάνιση των πρώτων ραδιοδικτύων κινητών επικοινωνιών έγινε μεγάλη προσπάθεια για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ασφάλειας που απαιτούσαν τα δίκτυα αυτά. Το GSM αποτέλεσε το πρώτο δίκτυο το οποίο ενσωμάτωσε σημαντικούς αλγορίθμους ασφάλειας και κρυπτογράφησης κάνοντάς το ιδιαίτερος ισχυρό απέναντι σε ανεπιθύμητους «εισβολείς». Η έννοια του ελέγχου της αυθεντικότητας κάθε φορά που ένας χρήστης του GSM εγγραφόταν στο σύστημα αποτέλεσε εμπόδιο σε εκείνους που σε παλαιότερα συστήματα χρησιμοποιούσαν τρόπους για να εισβάλλουν παρανόμως στη δομή του ραδιοδικτύου με όλες τις επακόλουθες συνέπειες που αυτό είχε. Το TETRA, αποτελώντας ένα ραδιοδίκτυο ειδικού σκοπού, υιοθέτησε αρκετές από τις τεχνικές κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης του GSM. Ωστόσο δεν αρκέστηκε μόνο σε αυτές αλλά εφάρμοσε και νέες ισχυρότερες μιας και οι χρήστες του TETRA είναι ομάδες ανθρώπων με σαφώς υψηλότερες ανάγκες κρυπτογράφησης και προστασίας των δεδομένων τους.

Καθώς η διεπαφή αέρα κάθε συστήματος κινητών επικοινωνιών είναι πολύ ευάλωτη απέναντι σε σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα υποκλοπών, απαιτείται η χρήση ισχυρής

κωδικοποίησης ώστε να εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση το απόρρητο των δεδομένων. Η ασφάλεια της διεπαφής αέρα αφορά την προστασία των δεδομένων που ταξιδεύουν στο τηλεπικοινωνιακό κανάλι μεταξύ του κινητού σταθμού του χρήστη του συστήματος και του αντίστοιχου σταθμού βάσης, με τον οποίο πραγματοποιείται η επικοινωνία. Παρότι το δημοφιλές δίκτυο GSM χρησιμοποιεί ικανοποιητικά συστήματα διασφάλισης της διεπαφής αυτής, αυτά δεν είναι αρκετά για την χρήση και στο TETRA. Στο TETRA, λόγω της σημαντικότητας των χρηστών, η ασφάλεια των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των κινητών μονάδων δεν θα πρέπει να περιορίζεται μόνο στην διεπαφή του αέρα αλλά να επεκτείνεται και στην διαδρομή που αυτά κολουθούν μέσα στο δίκτυο. Κατά συνέπεια ένα επίπεδο ασφάλειας από «άκρο σε άκρο» (“end to end security”) κρίνεται ως το πιο αποτελεσματικό.

Στο Σχήμα 54 δείχνεται καθαρά η διαφορά μεταξύ της ασφάλειας στην διεπαφή του αέρα και στην διαδρομή από «άκρο σε άκρο».



Σχήμα 54: Ασφάλεια διεπαφής αέρα και «από άκρο σε άκρο»

Η κρυπτογράφηση στην διεπαφή του αέρα χρησιμοποιεί έναν πολύπλοκο και μεγάλο αριθμό κλειδιών για να διασφαλίσει την επικοινωνία μεταξύ κινητού χρήστη και σταθμού βάσης. Έτσι, λοιπόν, κρυπτογραφεί τα δεδομένα του χρήστη αλλά και του δικτύου (π.χ. σηματοδότηση) και

αφορά τόσο την επικοινωνία φωνής όσο και την επικοινωνία δεδομένων. Τα κλειδιά που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση αυτή είναι πολλών ειδών και δυνατοτήτων. Το κλειδί μπορεί να μεταφέρεται σαν ένα μέρος της διαδικασίας ταυτοποίησης (authentication) του χρήστη, να αποστέλλεται σε αυτόν μέσω της διαδικασίας OTAR (Over The Air Re-Keying) ή ακόμα και να είναι προφορτωμένο στις κινητές μονάδες. Να σημειωθεί εδώ ότι η διαδικασία OTAR είναι μια μέθοδος ώστε να διανέμονται ή να αναβαθμίζονται κλειδιά κρυπτογράφησης κατά ασφαλή τρόπο μέσω της διεπαφής του αέρα. Τα μηνύματα της διαδικασίας OTAR είναι επίσης κωδικοποιημένα και μπορούν να αποστέλλονται από τον σταθμό βάσης προς τις κινητές μονάδες τόσο στην περίπτωση ομαδικών όσο και στην περίπτωση ατομικών κλήσεων. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως τα διάφορα χρησιμοποιούμενα κλειδιά έχουν μεταβλητή χρονική διάρκεια ύπαρξης. Στην συνέχεια περιγράφονται με συντομία τα βασικότερα από αυτά που χρησιμοποιεί το TETRA.

Το «αποκτούμενο κρυφό κλειδί» (Derived Cipher Key, DCK) δημιουργείται κατά την διάρκεια της διαδικασίας ταυτοποίησης του χρήστη κάθε φορά που αυτός εγγράφεται στο δίκτυο. Χρησιμοποιείται για να κρυπτογραφήσει το τηλεπικοινωνιακό κανάλι μεταξύ του κινητού σταθμού και του σταθμού βάσης σε αυτόνομη βάση. Επίσης μπορεί να παρέχει μία ευρεία αλλά έμμεση διαδικασία ταυτοποίησης κατά την διάρκεια των κλήσεων.

Το «δημόσιο κρυφό κλειδί» (Common Cipher Key, CCK) δημιουργείται από το ραδιοδίκτυο TETRA και αφού κρυπτογραφηθεί με το DCK, διανέμεται στις κινητές μονάδες. Το CCK είναι αποτελεσματικό για την κρυπτογράφηση μηνυμάτων που οδεύουν σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Με τον όρο εδώ περιοχή εννοούμε μία γεωγραφική περιοχή στην οποία λειτουργούν κάποιες κινητές μονάδες που συνδέονται με κάποιο τρόπο μεταξύ τους. Μία περίπτωση είναι για παράδειγμα οι οργανισμοί δημόσιας ασφάλειας. Στην πράξη το κλειδί CCK μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να γίνει η εγκατάσταση ομαδικών κλήσεων μεταξύ συνδρομητών που σε κάποια χρονική στιγμή βρίσκονται σε μία από τις προαναφερθείσες περιοχές.

Το «κρυφό κλειδί ομάδας» (Group Cipher Key, GCK) αφορά ένα συγκεκριμένο κλειστό γκρουπ χρηστών του ραδιοδικτύου. Δημιουργείται από το ίδιο το δίκτυο και διανέμεται στην ομάδα αυτή των χρηστών. Εντός των ορίων μίας «περιοχής» το GCK χρησιμοποιείται πάντα σε μία τροποποιημένη μορφή. Το GCK κρυπτογραφείται από το CCK προκειμένου να αποκτηθεί το «τροποποιημένο κρυφό κλειδί ομάδας» (Modified Group Cipher Key, MGCK). Αν ένας κινητός

σταθμός βρίσκεται μέσα στα όρια της «περιοχής» αυτής το MGCK κρυπτογραφεί τα μηνύματα του χρήστη που προορίζονται για την ομάδα στην οποία ανήκει.

Το τελευταίο σημαντικό κλειδί που έχει το ραδιοδίκτυο TETRA είναι το «στατικό κρυφό κλειδί» (Static Cipher Key, SCK). Αυτό διαφέρει από τα προηγούμενα αφού είναι προκαθορισμένο και δεν απαιτείται κάποια διαδικασία ταυτοποίησης προκειμένου να παραχθεί. Ο όρος στατικός σημαίνει πως το κλειδί SCK δεν αλλάζει σε καμία φάση της λειτουργίας του ραδιοδικτύου μέχρι να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο. Το TETRA υποστηρίζει την δημιουργία μέχρι και 32 τέτοιων κλειδιών. Αυτά μπορούν να διανεμηθούν κατά όμοιο τρόπο με τα κλειδιά GCK. Η χρήση των SCK είναι ευρεία με σημαντικότερη εκείνη που αφορά την απ' ευθείας επικοινωνία μεταξύ των τερματικών μονάδων (Direct Mode Operation). Επίσης, τα κλειδιά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε ατομικές όσο και ομαδικές κλήσεις.

Μία σημαντική ιδιότητα του TETRA που το κάνει να ξεχωρίζει σε σχέση με άλλα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι η δυνατότητα κρυπτογράφησης από «άκρο σε άκρο» (end to end encryption). Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει το βαθμό κρυπτογράφησης της πληροφορίας που ανταλλάσσει με άλλους έτσι ώστε να μπορεί να διασφαλίζει τις τηλεπικοινωνιακές του απαιτήσεις σε κάθε περίπτωση. Έτσι, λοιπόν, φορείς όπως αστυνομικά, πυροσβεστικά κ.α. σώματα μπορούν να χρησιμοποιούν το μέγιστο βαθμό κρυπτογράφησης σε σχέση με χρήστες όπως εταιρίες διαχείρισης στόλων οχημάτων κ.λ.π..

Η κρυπτογράφηση από «άκρο σε άκρο» διαφέρει από τις υπόλοιπες στο ότι αφορά την κρυπτογράφηση των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ κινητών συνδρομητών σε όλο το επικοινωνιακό κανάλι. Αυτή έχει να κάνει τόσο με την "uplink" επικοινωνία (από κινητή μονάδα προς σταθμό βάσης) όσο και με την "downlink" επικοινωνία (από σταθμό βάσης προς κινητή μονάδα) αλλά και με τον ίδιο τον κορμό του ραδιοδικτύου είτε είναι ενσύρματος είτε ασύρματος. Οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση αυτοί είναι ποικίλοι με πιο γνωστό τον IDEA. Ο οργανισμός θεσπίσεως του συστήματος TETRA αλλά και ο ETSI δίνουν την δυνατότητα να επιλεγούν αλγόριθμοι κρυπτογράφησης από «άκρο σε άκρο» τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε οι υπάρχοντες είτε να αναπτυχθούν νέοι σε εθνική κλίμακα σε κάθε χώρα.

Τα κλειδιά κρυπτογράφησης που χρησιμοποιούνται σε αυτό το είδος είναι διαφορετικά από ότι στην κρυπτογράφηση της διεπαφής αέρα που περιγράφηκε προηγουμένως. Πρώτο βασικό κλειδί είναι το κλειδί «κρυπτογράφησης κίνησης» (Traffic Encryption Key, TEK). Εδώ ανήκουν τρεις υποκατηγορίες κλειδιών που χρησιμοποιούνται κυρίως για την κύρια κρυπτογράφηση των δεδομένων. Το κλειδί «κρυπτογράφησης ομάδας» (Group Encryption Key, GEK) χρησιμοποιείται για την προστασία των TEK σε περίπτωση που έχουμε ενεργοποίηση του μηχανισμού επανακαθορισμού των κλειδιών μέσω της διεπαφής αέρα (διαδικασία OTAR). Κατά αντιστοιχία τα KEK είναι αναγκαία για την προστασία των GEK με την εφαρμογή της ίδιας διαδικασίας με πριν. Τέλος τα κλειδιά «κρυπτογράφησης κίνησης» (Signaling Encryption Key, SEK) ενεργοποιούνται κατ' επιλογή και σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις και στόχο έχουν τον έλεγχο των δεδομένων σηματοδότησης του ραδιοδικτύου.

Ενεργοποίηση και Απενεργοποίηση Τερματικών Συσκευών στο TETRA

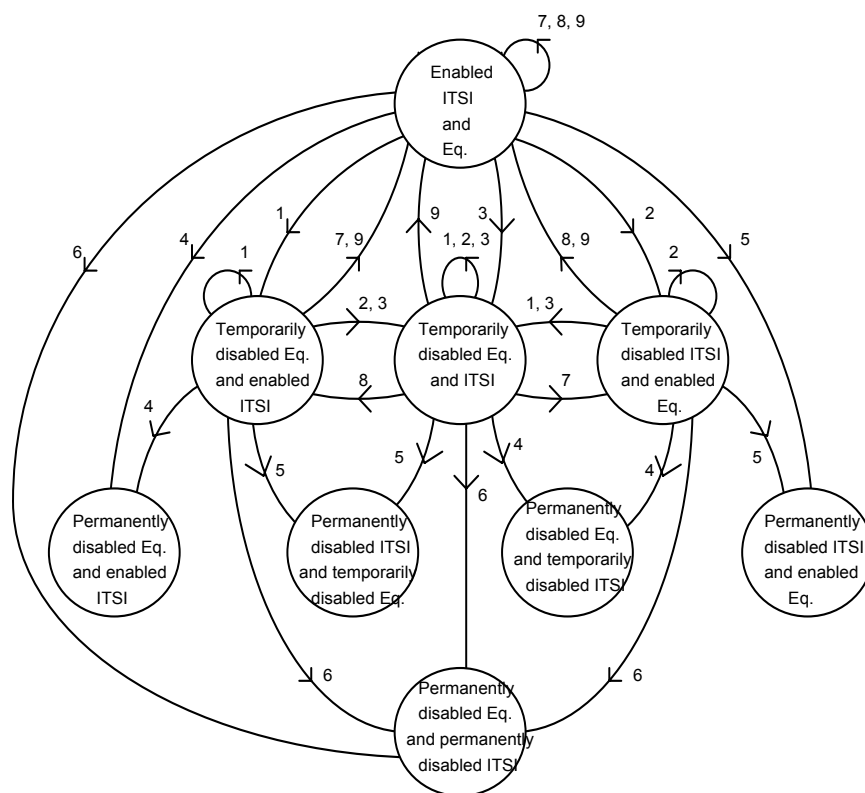
Το TETRA παρέχει ποικίλες δυνατότητες ασφαλούς ενεργοποίησης και απενεργοποίησης τερματικών συσκευών. Η πρώτη από αυτές αφορά την τερματική μονάδα και βασίζεται στην ταυτότητά της (Terminal Equipment Identity, TEI). Όπως και στο GSM έτσι και στο TETRA κάθε τερματική συσκευή διαθέτει έναν αποκλειστικό αριθμό που είναι μοναδικός σε παγκόσμιο επίπεδο. Η δεύτερη δυνατότητα του TETRA έχει να κάνει με την συνδρομή και όχι την μονάδα του χρήστη του ραδιοδικτύου. Η ταυτότητα που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή είναι η ανεξάρτητη ταυτότητα του συνδρομητή (Individual TETRA Subscriber Identity, ITSΙ). Τέλος η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μπορεί να βασισθεί και στον συνδυασμό των δύο παραπάνω περιπτώσεων.

Στην περίπτωση που η TEI έχει απενεργοποιηθεί από το δίκτυο, δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίησή της ακόμα και από άλλους συνδρομητές με διαφορετικό ITSΙ. Αντίθετα αν η ITSΙ έχει απενεργοποιηθεί η συσκευή δύναται να ενεργοποιηθεί από κάποιον άλλο χρήστη. Η ITSΙ όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από καμία συσκευή. Η απενεργοποίηση μπορεί να είναι είτε μόνιμη είτε προσωρινή. Οι δυνατές καταστάσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 12:

Πίνακας 12: Δυνατές καταστάσεις στις φάσεις ενεργοποίησης και απενεργοποίησης

Ταυτότητα Συσκευής (TEI)	Τερματικής	Ατομική Συνδρομητή (ITSI)	Ταυτότητα
Ενεργοποιημένο		Ενεργοποιημένο	
Ενεργοποιημένο		Προσ.Απενεργοποιημένο	
Ενεργοποιημένο		Μόνιμα Απενεργοποιημένο	
Προσ.Απενεργοποιημένο		Ενεργοποιημένο	
Προσ.Απενεργοποιημένο		Προσ.Απενεργοποιημένο	
Προσ.Απενεργοποιημένο		Μόνιμα Απενεργοποιημένο	
Μόνιμα Απενεργοποιημένο		Ενεργοποιημένο	
Μόνιμα Απενεργοποιημένο		Προσ.Απενεργοποιημένο	
Μόνιμα Απενεργοποιημένο		Μόνιμα Απενεργοποιημένο	

Το διάγραμμα καταστάσεων (σχήμα 55) αφορά όλες τις δυνατές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρίσκεται ο τερματικός χρήστης και η τερματική μονάδα.



Σχήμα 55: Διάγραμμα δυνατών καταστάσεων συνδρομητή και κινητής μονάδας στο TETRA

Όπου οι αντίστοιχοι κωδικοί των μεταπτώσεων είναι:

- 1) Προσωρινή απενεργοποίηση εξοπλισμού
- 2) Προσωρινή απενεργοποίηση του ITSI;
- 3) Προσωρινή απενεργοποίηση εξοπλισμού και ITSI;
- 4) Μόνιμη απενεργοποίηση εξοπλισμού
- 5) Μόνιμη απενεργοποίηση του ITSI;
- 6) Μόνιμη απενεργοποίηση εξοπλισμού και ITSI;
- 7) Ενεργοποίηση εξοπλισμού
- 8) Ενεργοποίηση του ITSI;
- 9) Ενεργοποίηση εξοπλισμού και ITSI.

Υποστηριζόμενα Είδη Επικοινωνίας

Στο ραδιοδίκτυο TETRA υποστηρίζονται τρία είδη επικοινωνιών: η πλήρως αμφίδρομη, η ημιαμφίδρομη, και η μονόδρομη επικοινωνία. Σε κάθε περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις παραπάνω δυνατότητες επικοινωνίας.

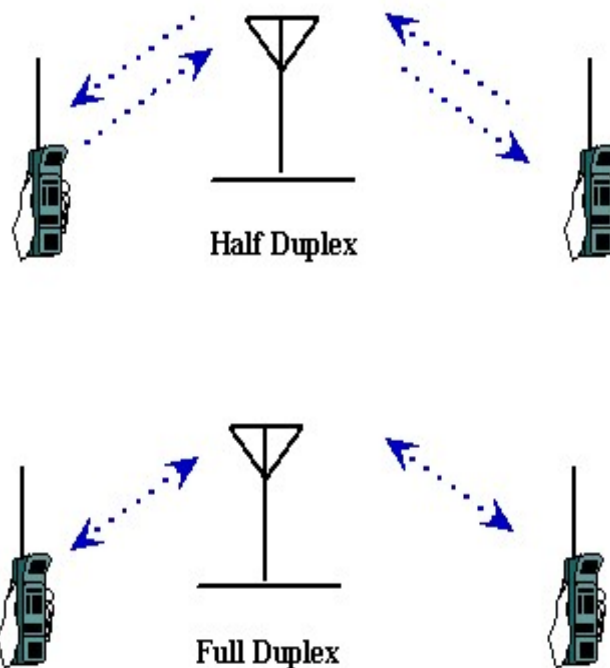
- Πλήρως Αμφίδρομη (full duplex): Στην κατηγορία αυτή εμπίπτει η επικοινωνία κατά την οποία τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης μπορούν να μιλούν ταυτόχρονα έχοντας την δυνατότητα να αντιλαμβάνεται ο ένας την πληροφορία που στέλνει ο άλλος.
- Ημιαμφίδρομη (semi duplex): Στην περίπτωση αυτή τόσο ο δέκτης όσο και ο πομπός μπορεί να μεταδώσει την επιθυμητή πληροφορία. Ωστόσο αυτό δεν μπορεί να γίνει ταυτόχρονα και έτσι απαιτείται πρώτα η ολοκλήρωση της επικοινωνίας προς την μία κατεύθυνση για να διεξαχθεί η αντίστοιχη της άλλης. Για πληροφορία ομιλίας εάν μιλούν ταυτόχρονα και οι δύο χρήστες κανένας από τους δύο δεν μπορεί να ακούσει τον άλλον.
- Μονόδρομη (simplex): Η περίπτωση αυτή αφορά την μετάδοση δεδομένων εκπομπής συνήθως από έναν σταθμό βάσης προς ένα ή περισσότερα τερματικά.

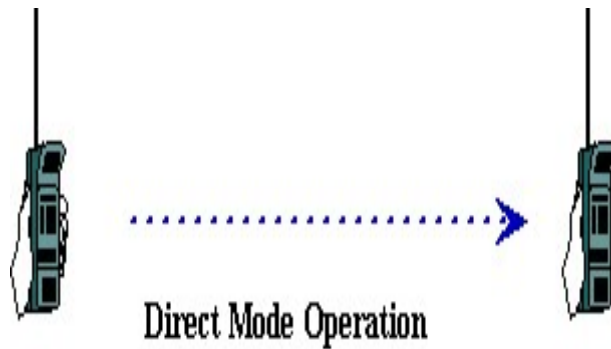
Προκειμένου να αποφεύγουμε τις οποιεσδήποτε παρεμβολές κατά την φάση της επικοινωνίας μεταξύ του σταθμού βάσης και της κινητής μονάδας, οι συχνότητες της “uplink” επικοινωνίας (από Κ.Μ. προς Σ.Β.) θα πρέπει να είναι διαφορετικές από αυτές της “downlink” επικοινωνίας

(από Σ.Β. προς Κ.Μ.). Σαν απόσταση ασφαλείας χρησιμοποιείται ένα εύρος ζώνης της τάξεως των 10 MHz.

Μία εναλλακτική δυνατότητα επικοινωνίας που παρέχει το TETRA έχει να κάνει με την ονομαζόμενη "Direct Mode Operation" ή DMO. Στην περίπτωση αυτή δύο τερματικά μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους παρακάμπτοντας τον σταθμό βάσης. Αυτή είναι μία δυνατότητα που δεν υπάρχει στην πλειοψηφία των ραδιοδικτύων δημοσίας χρήσεως όπως το GSM 900 και 1800. Η DMO επικοινωνία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση που ένα τερματικό TETRA βρίσκεται εκτός ραδιοκάλυψης από τους Σ.Β. του δικτύου και θέλει να μεταδώσει κάποια πληροφορία. Επίσης, αυτή η επιλογή είναι εξίσου σημαντική σε περιπτώσεις φυσικών ή άλλων καταστροφών, για χρήστες σωμάτων ασφαλείας μιας και ακόμα και με βλάβη του επίγειου δικτύου των σταθμών βάσης εξασφαλίζεται επικοινωνία.

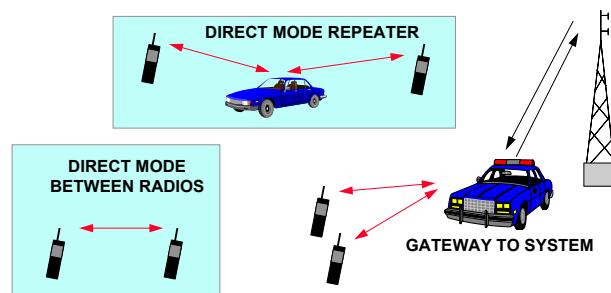
Στα Σχήμα 56 δείχνονται οι περιπτώσεις της full duplex, semi duplex μετάδοσης καθώς επίσης και η λειτουργία DMO.





Σχήμα 56: Τρία είδη επικοινωνίας στο TETRA

Το TETRA περιλαμβάνει διεπαφή αμεσότροπης λειτουργίας (σχήμα 57) μεταξύ των κινητών τερματικών, χωρίς τη χρήση της υποδομής του δικτύου. Επίσης χρησιμοποιούνται επαναλήπτες και πύλες για να εκταθεί η κάλυψη των κινητών τερματικών μονάδων χειρός στο αμεσότροπη λειτουργία και στη λειτουργία του δικτύου.



Σχήμα 57: Αμεσότροπη Λειτουργία

Ο ραδιοεξοπλισμός του TETRA μπορεί να ρυθμίζει αυτόματα την ισχύ εξόδου ανάλογα με το απαιτούμενο πεδίο ισχύος. Οι τάξεις ισχύος του ράδιο εξοπλισμού είναι:

- **Τάξεις Ισχύος Εκπομπής για τους Σταθμούς Βάσης και τις Φορητές Συσκευές**

Οι διαθέσιμοι ραδιοδίαυλοι χρησιμοποιούνται για:

- (α) την επικοινωνία από τον Σταθμό Βάσης προς την φορητή Συσκευή. Η περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται ως κατερχόμενη ζεύξη (Downlink - DL).
- (β) την επικοινωνία από την φορητή συσκευή προς τον Σταθμό Βάσης. Η περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται ως ανερχόμενη ζεύξη (Uplink - UL)

Πίνακας 13: Ονομαστική ισχύς πομπών Σταθμού Βάσης

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

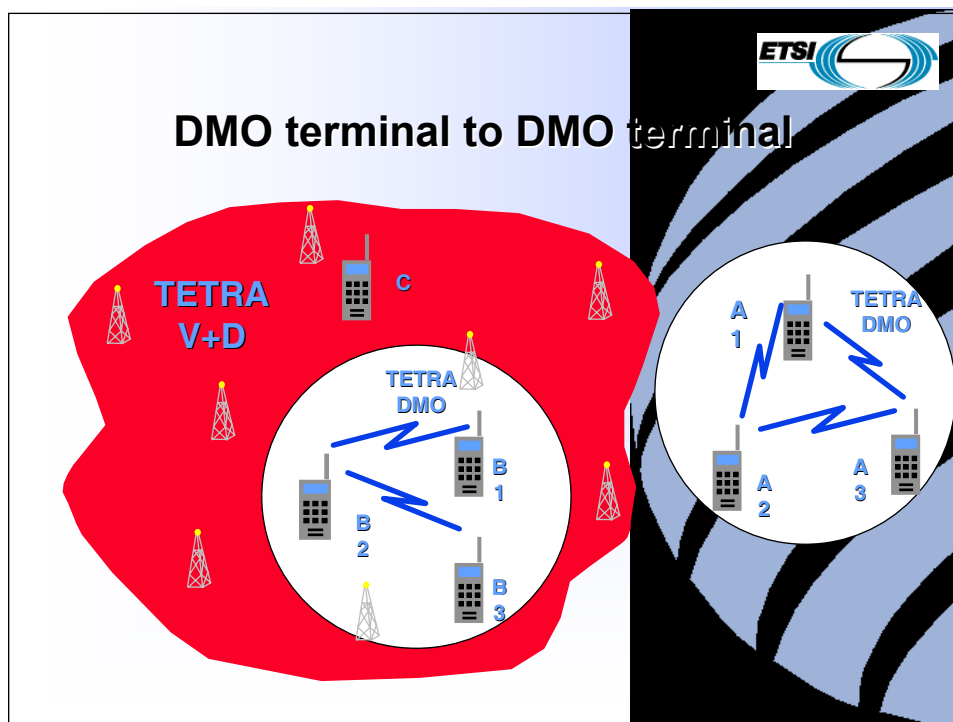
Πίνακας 14: Ονομαστική ισχύς πομπών Φορητών Συσκευών

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

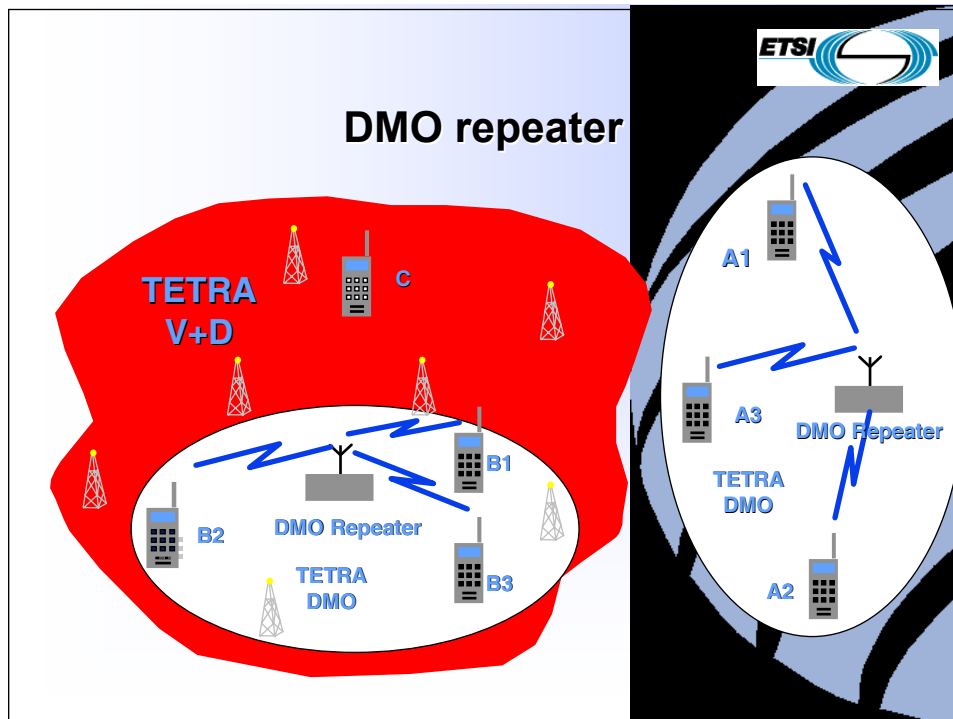
Επικοινωνία με τον Αμεσότροπο Τρόπο λειτουργίας (DMO)

Ο τρόπος αυτός της επικοινωνίας επιβάλλει τη μη χρήση της φυσικής υποδομής του ραδιοδικτύου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι φορητές συσκευές δουλεύουν σαν walkie-talkie όπου η πληροφορία μεταδίδεται σε συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας. Ο αμεσότροπος τρόπος λειτουργίας μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω επαναλήπτη (repeater). Στα σχήματα 58, 59, 60 και 61, δείχνονται οι DMO λειτουργίες. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας που υποστηρίζεται από το ραδιοδίκτυο TETRA είναι χρήσιμο για:

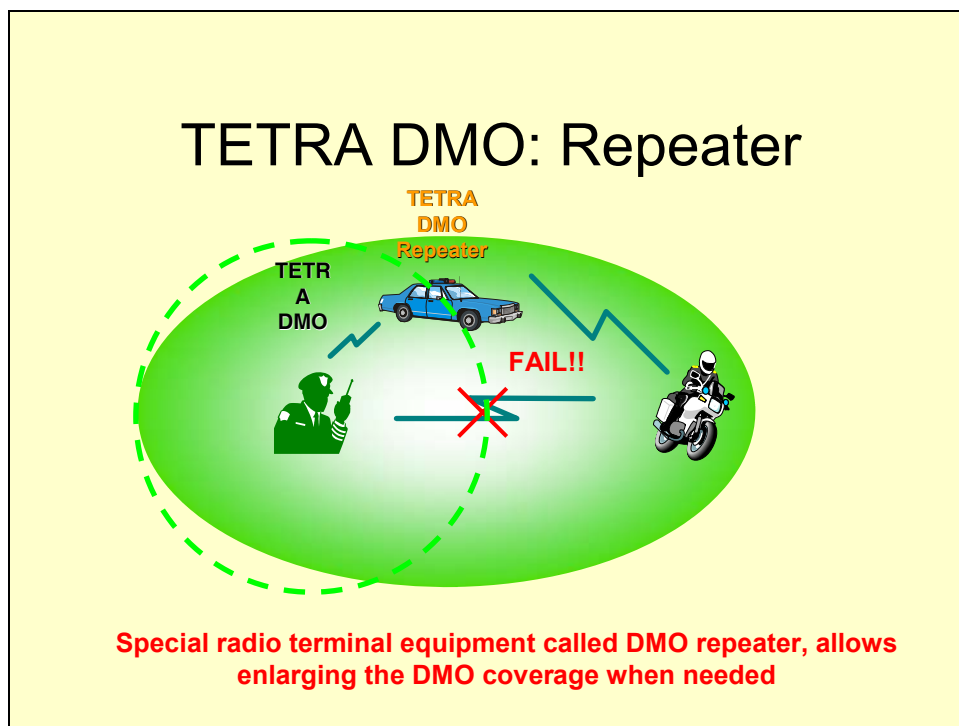
- (α) την διασφάλιση των επικοινωνιών σε περιοχές όπου δεν υπάρχει ραδιοκάλυψη
- (β) την διασφάλιση των επικοινωνιών όπου υπάρχει υποβαθμισμένο σήμα από τον τοπικό Σταθμό Βάσης



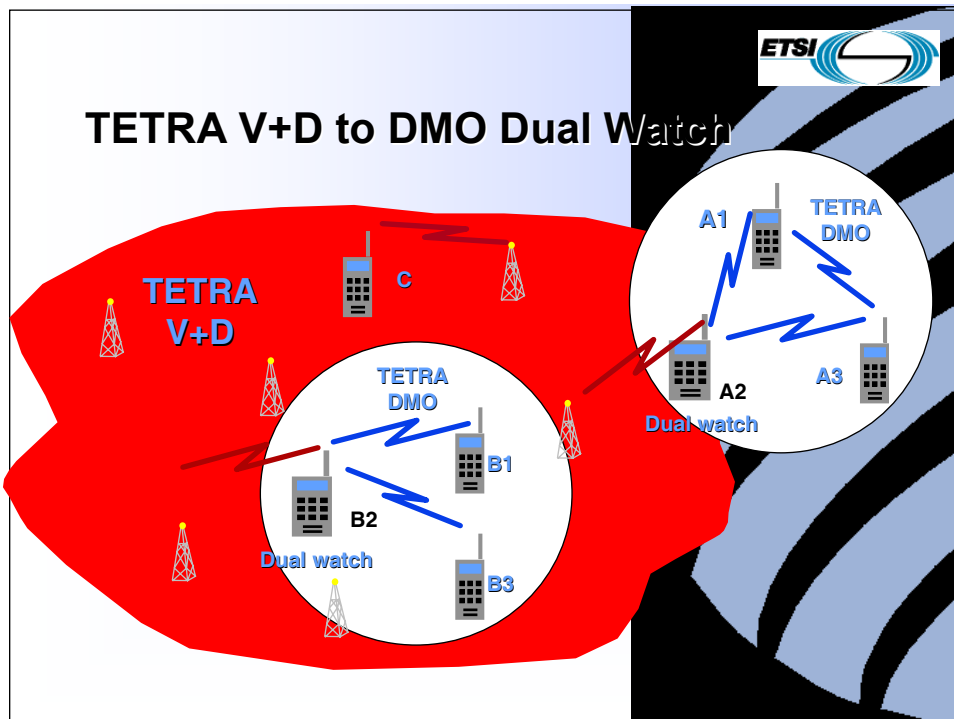
Σχήμα 58: Αμεσότροπη Λειτουργία μεταξύ δύο φορητών συσκευών



Σχήμα 59: Αμεσότροπη Λειτουργία μεταξύ δύο φορητών συσκευών μέσω επαναλήπτη



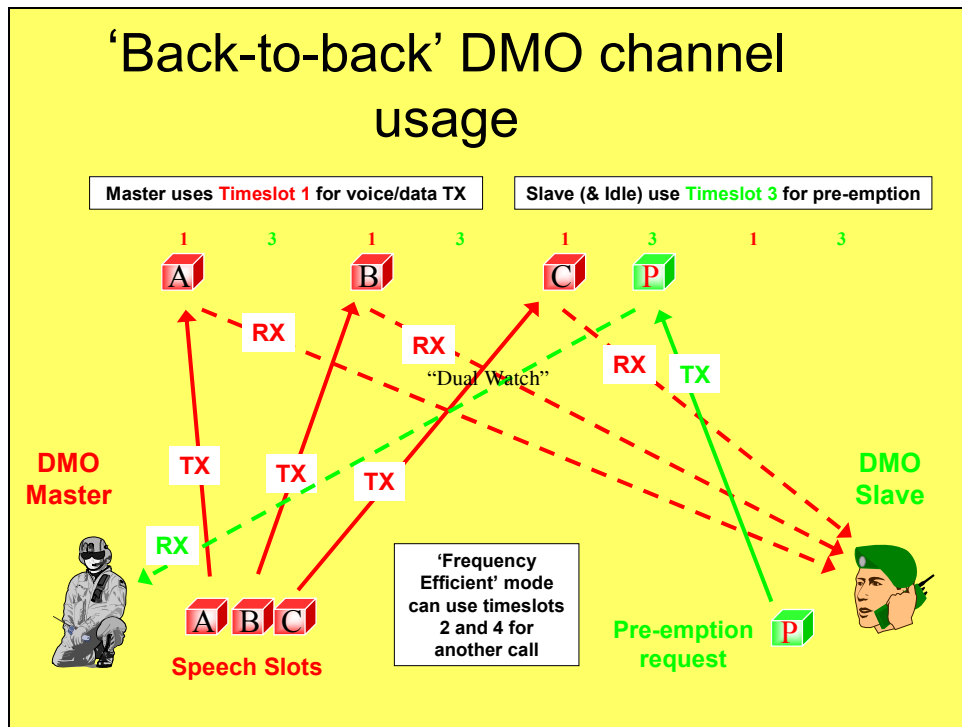
Σχήμα 60: Αμεσότροπη Λειτουργία μεταξύ δύο φορητών συσκευών μέσω επαναλήπτη. Ενδειξη αστοχίας του απλού DMO



Σχήμα 61: Αμεσότροπη Λειτουργία μεταξύ δύο φορητών συσκευών (Dual Watch)

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα κύρια χαρακτηριστικά της λειτουργίας DMO, είναι:

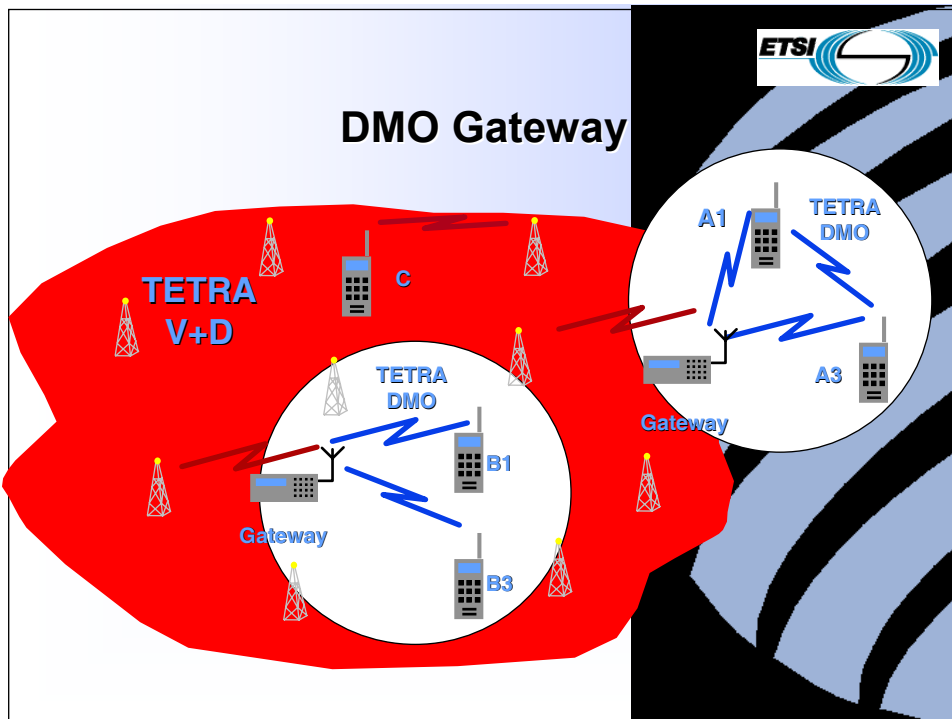
- στη DMO λειτουργία, δεσμεύεται να πραγματοποιηθεί μία επικοινωνία σε ένα κανάλι (δηλαδή μια επικοινωνία με χρήση των 4ρων χρονοθυρίδων. Στην περίπτωση αυτή, δεσμεύονται μόνο οι 2 χρονοθυρίδες και οι υπόλοιπες δύο είναι ελεύθερες)
- στη DMO λειτουργία, δεσμεύονται να πραγματοποιηθούν δύο επικοινωνίες σε ένα κανάλι (δηλαδή μια επικοινωνία με χρήση των 4ρων χρονοθυρίδων. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται και οι 4ρες χρονοθυρίδες [δύο χρονοθυρίδες για κάθε κλήση])
- η εκπομπή ενεργεί ως 'Master' σε ένα απλό κανάλι DMO (δηλαδή ζεύγος εναλλακτικών χρονοθυρίδων) (σχήμα 62)
- η λήψη ενεργεί ως 'Slave' σε ένα απλό κανάλι DMO (σχήμα 62)
- Η χρονοθυρίδα 1, χρησιμοποιείται ως κανάλι κίνησης για τη φωνή και η μετάδοση των δεδομένων λαμβάνει χώρα με την αντίστοιχη δέσμευση των χρονοθυρίδων σύμφωνα με την ενέργεια 'Master'.
- Η χρονοθυρίδα 3 χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της σηματοδosis μέσω των συστημάτων που δεσμεύονται σύμφωνα με τις ενέργειες 'Master' και 'Slave' (π.χ απαίτηση προ-εκκένωσης (pre-emption) push - to - talk [PTT])



Σχήμα 62: Αμεσότροπη Λειτουργία μεταξύ δύο φορητών συσκευών (Master-Slave)

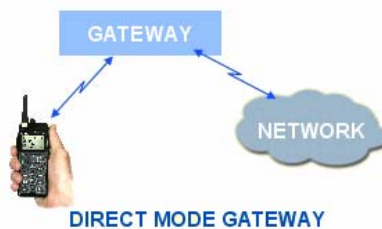
Επικοινωνία μεταξύ συνδρομητών DMO και TMO

Στον τρόπο λειτουργίας Trunked Mode Operation (TMO), η ευφυία του δικτύου χρησιμοποιείται για την καταχώρηση καναλιών και τη μετάδοση της φωνής από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Επομένως για τη μετάδοση της πληροφορίας χρησιμοποιείται η φυσική υποδομή του ραδιοδικτύου και επιτυγχάνεται με χρήση των DMO πυλών (DMO Gateways) (σχήμα 63).



Σχήμα 63: DMO Πύλη

Στο σχήμα 64 δείχνεται η επικοινωνία TMO και DMO μέσω της αντίστοιχης πύλης.



Σχήμα 64: Επικοινωνία TMO και DMO συνδρομητών μέσω Πύλης

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διελκυσή των ζευκτικοποιημένων δικτύων. Επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τις απαιτούμενες διασυνδέσεις του ζευκτικοποιημένου δικτύου με συνδρομητές που ανήκουν σε διαφορετικούς DMO σχηματισμούς. Στη περίπτωση αυτή υπάρχει δυνατότητα της υποστήριξης της διαδικασίας "Dual Watch" κατά την οποία πραγματοποιείται περιοδική λειτουργική επισκόπηση των κλήσεων από TMO και DMO συνδρομητές (σχήμα 65).



Σχήμα 65: Χρήση της διαδικασίας Dual Watch για τις επικοινωνιακές απαιτήσεις TMO και DMO συνδρομητών

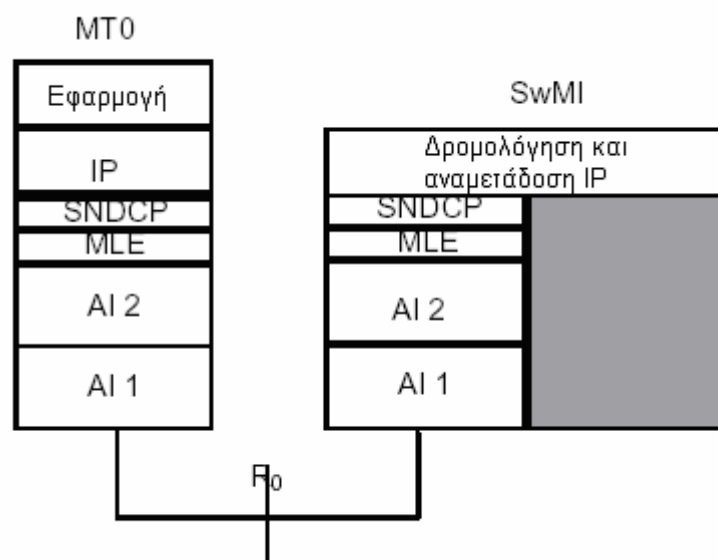
Παράδειγμα:

Θεωρούμε ότι σε μια δεδομένη χρονική στιγμή για την επικοινωνιακή ανάγκη επικοινωνίας δύο συνδρομητών επιλέγεται ο τρόπος λειτουργίας DMO. Τότε η φορητή συσκευή πραγματοποιεί περιοδικό έλεγχο των κλήσεων από τις φορητές συσκευές οι οποίες λειτουργούν με το τρόπο TMO. Θα πρέπει επομένως, για να υποστηριχθεί η διαδικασία “Dual Watch”, να διασφαλίζεται η αξιόπιστη ραδιοκάλυψη από το ζευκτικοποιημένο δίκτυο (TMO).

Πρωτόκολλο TETRA Packet Data (PDP)

Το TETRA υιοθετεί το πρωτόκολλο Packet Data για τη μετάδοση πληροφορίας δεδομένων. Με βάση τις προδιαγραφές το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χαρακτηρίζεται από την ευελιξία του στο να μεταφέρει δεδομένα αξιόπιστα δίδοντας αντίστοιχα σημαντικά πλεονεκτήματα στο δίκτυο TETRA έναντι των άλλων ασύρματων δικτύων. Αυτό φυσικά έχει θετικό αντίκτυπο σε εξυπηρετήσεις που επιβάλλουν απαιτήσεις για αυξημένη χωρητικότητα. Με βάση το πρωτόκολλο αυτό, το ραδιοδίκτυο TETRA μπορεί να συμπεριφερθεί σαν ένα δίκτυο IP. Αυτό ακριβώς αποτελεί ένα επιπλέον πλεονέκτημα για την υλοποίηση και υποστήριξη τυποποιημένων υπηρεσιών και εφαρμογών.

Στο σχήμα 66, δείχνεται η χρήση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου όταν σε μια εφαρμογή χρησιμοποιείται ήδη το IP πρωτόκολλο. Το ακρωνύμιο SwMI προέρχεται από τα αρχικά **Switching and Management Infrastructure** η οποία είναι μια υποδομή μεταγωγής και διαχείρισης. Η υποδομή αυτή χρησιμοποιείται για να δηλώσει όλο τον εξοπλισμό και τα υποσυστήματα του δικτύου TETRA (στη περίπτωση αυτή στη συγκεκριμένη υποδομή συμπεριλαμβάνονται και οι Σταθμοί Βάσης).



Σχήμα 66: Χρήση του TETRA PDP για IP εφαρμογές

Όπου:

SNDCP (SubNetwork Dependent Convergence Protocol): Οι δραστηριότητες του πρωτοκόλλου αυτού σχετίζονται με τις λειτουργικές διαδικασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στη φορητή συσκευή. Οι δραστηριότητες αυτές εμπίπτουν στις εξής οκτώ (8) καταστάσεις: CLOSED, IDLE, IDLE – TEMPORARY BREAK, STANDBY, STANDBY – TEMPORARY BREAK, RESPONSE – WAITNG, READY και READY - TEMPORARY BREAK. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι δραστηριότητες του SNDCP που σχετίζονται με το TETRA SwMI χαρακτηρίζονται από τις εξής τρεις (3) πιθανές καταστάσεις: IDLE, STANDBY και READY.

MLE (Mobile/base Link Entity Protocol): Το πρωτόκολλο αυτό έχει σαν στόχο τη μέτρηση της στάθμης της έντασης του πεδίου στις γειτονικές κυψέλες (ως προς τη θέση του συνδρομητή) του ραδιοδικτύου. Οι μετρήσεις αυτές, μαζί με σχετική πληροφορία που αφορούν τις καταστάσεις των κυψελών, εκπέμπονται σύμφωνα με τους κανόνες του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, προκειμένου να διασφαλισθούν αξιόπιστα τα κριτήρια της ραδιο-διεπαφής (air interface) κατά τη πιθανή φάση της ενδο-κυψελωτής μεταπομπής (inter-cell handover).

R (Reference point) - 0: Είναι ένα σημείο αναφοράς (reference point) της φυσικής διεπαφής εντός της φορητής συσκευής και αντιστοιχεί στις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα όταν η φορητή συσκευή ευρίσκεται στα όρια του δικτύου εξυπηρέτησης στο πλαίσιο της προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης (rate adaptation).

AI (Air interface layer) -1 και 2: Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του TETRA, το στρώμα αυτό παρέχει το φυσικό κανάλι στη διεπαφή αέρος Ro.

Γενικά χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου SNDCP

Το πρωτόκολλο SNDCP είναι ένα πρωτόκολλο που σχετίζεται με τη σύγκλιση του υπο-δικτύου και υποστηρίζει τις παρακάτω κύριες λειτουργικές διαδικασίες

1. Διασφαλίζει την επικοινωνία μεταξύ της φορητής συσκευής και της υποδομής SwMI. Στην προκειμένη περίπτωση όταν κάποια πακέτα πρόκειται να δρομολογηθούν σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση του PDP πλαισίου, δεσμεύεται η συγκεκριμένη διεύθυνση στην ταυτότητα του συνδρομητή ITSΙ. Επίσης, στο πλαίσιο της μετάδοσης της πληροφορίας επιλέγει τη κατάλληλη τεχνική (αλγόριθμο) για τη συμπίεση των δεδομένων.
2. Πραγματοποιεί τον συνεχή έλεγχο της μετάδοσης των δεδομένων από τη φορητή συσκευή στην υποδομή SwMI χωρίς να υπάρχει η ανάγκη των επιμέρους επιβεβαιώσεων πάνω από τη διεπαφή αέρος, κατά τις διάφορες φάσεις επιτέλεσης των αντίστοιχων λειτουργικών διαδικασιών.
3. Πραγματοποιεί την ενεργοποίηση πλαισίων του PDP και τη διαχείριση των διευθύνσεων αυτού κατά τη φάση της πρόσβασης μιας φορητής συσκευής μέσω του πρωτοκόλλου SNDCP
4. Διαχειρίζεται τα κανάλια για τη μετάδοση των πακέτων δεδομένων

Περιγραφή των καταστάσεων του SNDCP και των αντίστοιχων μεταπτώσεων

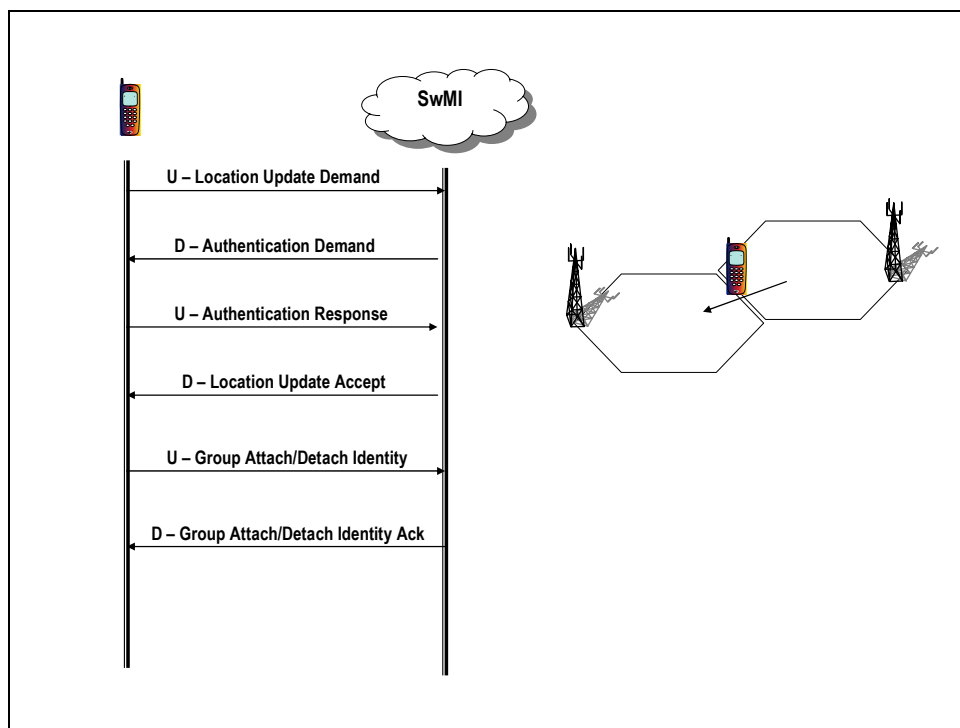
Οι υπηρεσίες παρέχονται μέσα από το SNDCP είναι οι εξής παρακάτω:

- SN-DATA: αφορά την υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων με ακολουθούμενη επιβεβαίωση από τη μονάδα ελέγχου LLC (Logical Link Control).
- SN-DELIVERY: αφορά τη διαδικασία η οποία καταθέτει την ολοκλήρωση ή τη μη ολοκλήρωση της SN-DATA.

- SN-NSAPI ALLOC: αφορά τη περίπτωση όπου απαιτείται του αναγνωριστικού δείκτη πρόσβασης NSAPI (Network Service Access Point Identifier).
- SN-NSAPI DEALLOC: αφορά τη περίπτωση απόρριψης για περαιτέρω χρήση του αναγνωριστικού δείκτη πρόσβασης NSAPI
- SN-QoS: αφορά για το καθορισμό της ποιότητας παρεχομένων υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) κατά τη φάση πρόσβασης της φορητής συσκευής με την υποδομή SwMI.
- SN-UNITDATA: αφορά τη μετάδοση των δεδομένων χωρίς να επιβάλλεται η λήψη επιβεβαίωσης από τη μονάδα ελέγχου LLC καθώς και από το SNDCCP.
- SN-PAGE: αφορά τη χρήση του στον αλγόριθμο αναζήτησης των πακέτων πληροφορίας.

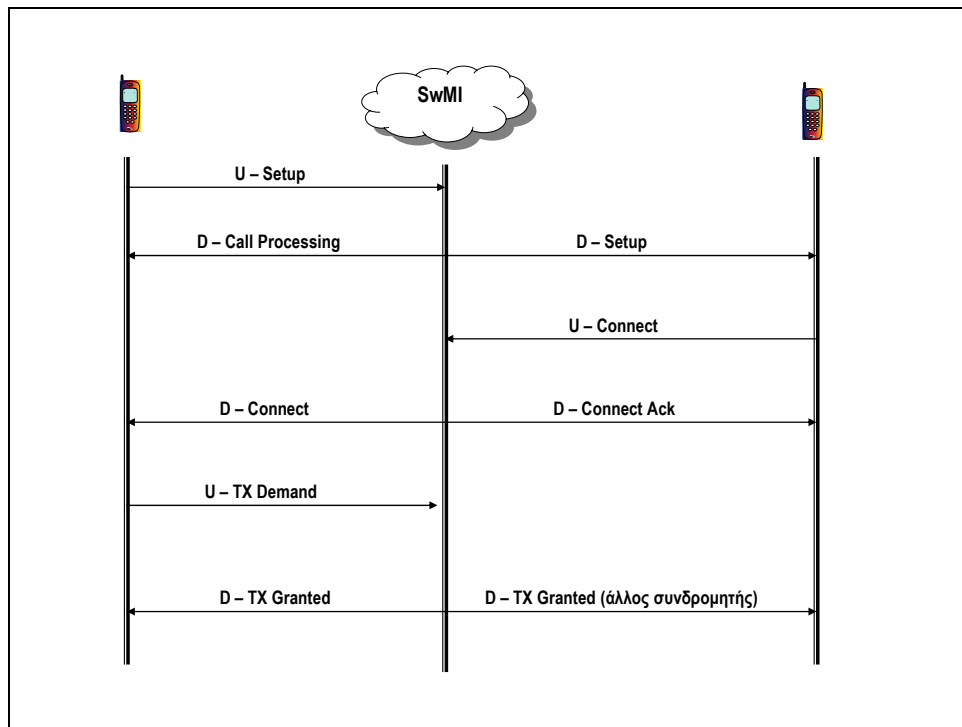
Διαχείριση της Κινητικότητας - Αποκατάσταση Κλήσης και απαίτηση για εκπομπή

Το σχήμα 67 δείχνει τη διαδικασία σε επίπεδο σηματοδοσίας που λαμβάνει χώρα στη διαχείριση της κινητικότητας.



Σχήμα 67: Διαχείριση Κινητικότητας

Το σχήμα 68 δείχνει τη διαδικασία σε επίπεδο σηματοδοσίας που λαμβάνει χώρα στην αποκατάσταση μιας κλήσης και της αντίστοιχης απαίτησης για εκπομπή.



Σχήμα 68: Αποκατάσταση Κλήσης και απαίτηση για εκπομπή

Όπου:

U – Setup: Είναι ένα μήνυμα της διεπαφής αέρος το οποίο μεταδίδεται όταν απαιτείται να γίνει μια κλήση.

D – Connect – Ack: Είναι ένα μήνυμα της διεπαφής αέρος το οποίο μεταδίδεται από τον Σταθμό Βάσης δηλώνοντας ότι η φορητή συσκευή μπορεί να αρχίσει να εκπέμπει.

U – Location – Update – Demand: Είναι ένα μήνυμα της διεπαφής αέρος το οποίο μεταδίδεται από τη φορητή συσκευή δηλώνοντας ότι απαιτεί πρόσβαση στο σύστημα.

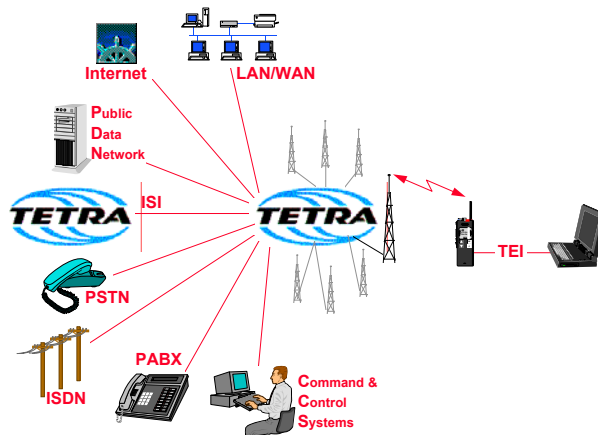
D – Location – Update – Accept: Είναι ένα μήνυμα της διεπαφής αέρος το οποίο μεταδίδεται από τον Σταθμό Βάσης δηλώνοντας ότι αποδέχεται τη φορητή συσκευή να έχει πρόσβαση στο σύστημα.

Υποστήριξη πρωτοκόλλων IP

Το δίκτυο TETRA μπορεί να υποστηρίξει τα πρωτόκολλα Mobile IP και IPv4/v6 προκειμένου να θεμελιώνει επικοινωνίες και προσβάσεις με το διαδίκτυο. Στη προκειμένη περίπτωση τόσο οι φορητές συσκευές όσο και τα υποσυστήματα του δικτύου TETRA υποστηρίζονται από το κατάλληλο υλικό και λογισμικό ώστε να διασφαλίζονται οι σωστές διευθύνσεις των IP πακέτων προορισμού σύμφωνα με τις υφιστάμενες διαδικασίες δρομολόγησης στο διαδίκτυο.

Ευελιξία διασύνδεσης (Connectivity)

Η δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ δικτύων διαφορετικού τύπου γίνεται όλο και περισσότερο απαραίτητη. Αυτό έχει ληφθεί υπόψη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του TETRA. Τα δίκτυα TETRA διευκολύνουν μια ευρεία κλίμακα διασυνδέσεων 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 ελέγχου και εντολών (σχήμα 69). Όλα αυτά τα δίκτυα μπορούν να προσπελαστούν από το κινητό τερματικό.

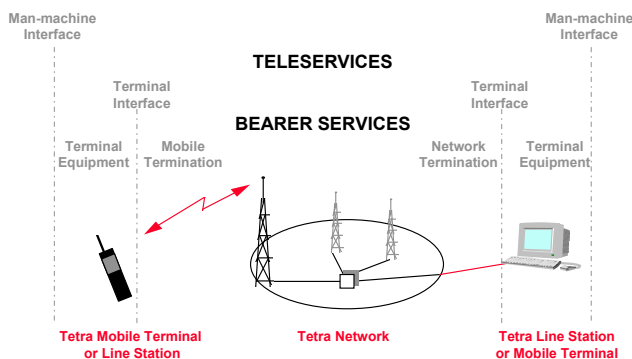


Σχήμα 69: Σχηματική αναπαράσταση διασύνδεσης οντοτήτων στο TETRA

Η ευελιξία διασύνδεσης σε συνδυασμό με δέσμευση εύρους ζώνης ανάλογα με τις απαιτήσεις κάνει το TETRA μια πολύ καλή πλατφόρμα για αξιοποίηση εφαρμογών δεδομένων.

Τηλεπικοινωνιακές Υπηρεσίες του TETRA

Το πρότυπο καθορίζει τις ακόλουθες βασικές υπηρεσίες για φωνή και δεδομένα (σχήμα 70):



Σχήμα 70: Υπηρεσίες στο TETRA

Οι Τηλεϋπηρεσίες (Teleservices) παρέχουν ικανότητα πλήρους επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών, περιλαμβάνοντας όλες τις λειτουργίες των τερματικών. Οι τηλεϋπηρεσίες του προτύπου TETRA καλύπτουν υπηρεσίες επικοινωνίας φωνής (πίνακας 15). Η κομιστική υπηρεσία (bearer service) παρέχει ικανότητα επικοινωνίας μεταξύ τερματικών διεπαφών δικτύου, αποκλείοντας τις λειτουργίες του τερματικού. Οι TETRA κομιστικές υπηρεσίες καθορίζονται για τη μεταφορά δεδομένων (πίνακας 16).

Πίνακας 15: Τηλεϋπηρεσίες

TETRA Τηλεϋπηρεσίες (Teleservices)	
Ατομική Κλήση	
Ομαδική κλήση	
Αναγνωρισμένες Κλήσεις	Ομαδικές Κλήσεις
Κλήσεις Ευρυεκπομπής	

Πίνακας 16: Κομιστικές Υπηρεσίες

TETRA Κομιστικές Υπηρεσίες (Bearer Services)
Circuit mode data 7.2/14.4/21.6/28.8 kbits/s
Circuit mode protected data 4.8/9.6/14.4/19.2 kbits/s
Circuit mode heavily protected data 2.4/4.8/7.2/9.6 kbits/s
Connection oriented packet data
Connectionless packet data

Επιπλέον το πρότυπο TETRA καθορίζει ένα σύνολο συμπληρωματικών υπηρεσιών οι οποίες μπορούν να υποστηριχθούν σε εξειδικευμένες. Οι συμπληρωματικές υπηρεσίες τροποποιούν ή συμπληρώνουν τις προαναφερθείσες υπηρεσίες.

Υπηρεσίες Φωνής

Ατομικές κλήσεις:

- ο ην ατομική φωνητική κλήση.
- ο τη δυνατότητα ημιαμφίδρομης (half-duplex) και πλήρως αμφίδρομης (full duplex) επικοινωνίας για ατομικές κλήσεις μεταξύ του Κέντρου Ελέγχου και των φορητών συσκευών.
- ο τη δυνατότητα ημιαμφίδρομης (half-duplex) και πλήρως αμφίδρομης (full duplex) επικοινωνίας για κλήσεις μεταξύ των φορητών συσκευών.

τη δυνατότητα κλήσεων full-duplex για κλήσεις απο/πρός το τηλεφωνικό δίκτυο δημόσιας πρόσβασης

Ομαδικές κλήσεις

- ο Οι ομαδικές κλήσεις θα λειτουργούν σε μορφή ενημέρωσης όλης της ομάδας χρηστών.
- ο Δυνατότητα μη γνωστοποιημένης ομαδικής κλήσης (Μη γνωστοποιημένη ομαδική κλήση είναι ο τυπικός τρόπος λειτουργίας και είναι η κλήση που γίνεται σε όλους τους χρήστες που έχουν τον αριθμό της ομάδας που έχει κληθεί, χωρίς να ελέγχεται καμία παρουσία. Η κλήση θα περιλάβει όλους τους σταθμούς βάσης που έχουν τη συγκεκριμένη στιγμή επαφή με μέλη της ομάδας. Η υποδομή θα υποστηρίζει δυναμική κατανομή ομαδικών κλήσεων σε σταθμούς βάσης καθώς μόνο αυτοί οι σταθμοί βάσης με μέλη ομάδας συμμετέχουν στην κλήση)
- ο Δυνατότητα γνωστοποιημένης ομαδικής κλήσης (Η γνωστοποιημένη ομαδική κλήση είναι παρόμοια με την τυπική ομαδική κλήση, αλλά σε αυτή την περίπτωση η υποδομή θα καταγράφει τα μέλη της ομάδας για να ελέγξει ποια από τα μέλη είναι εκείνη την στιγμή διαθέσιμα για να ανταποκριθούν στην κλήση της ομάδας. Ανάλογα με την ανταπόκριση του μέλους, η υποδομή θα αποφασίζει εάν θα προωθήσει την κλήση, με βάση διάφορα κριτήρια).
- ο Οι ομαδικές κλήσεις θα μπορούν να λειτουργούν σε ευρεία περιοχή και να περιλαμβάνουν οποιονδήποτε σταθμό βάσης εντός του συστήματος, χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς.

Επίσης, δίδεται η δυνατότητα:

- ο συγχώνευσης δύο ή περισσότερων διαφορετικών ομαδικών κλήσεων.
- ο να διαχωρίσει μία ομαδική κλήση σε δύο ή περισσότερες ομαδικές κλήσεις.
- ο της συγχώνευσης ομαδικών κλήσεων όπως και ο διαχωρισμός κλήσεων να εφαρμοστεί σε ομαδικές κλήσεις βασισμένες σε ομαδοποίηση κατά γεωγραφική περιοχή.
- ο μη περιορισμού του αριθμού των οριζόμενων ομάδων και των χρηστών ανά ομάδα.

Ευρυεκπομπή (Broadcasting):

- ο δυνατότητα ευρυεκπομπής, δηλαδή μη γνωστοποιημένης ομαδικής κλήσης μιας κατεύθυνσης, χωρίς περιορισμό για τον αριθμό ομάδων ανά φορέα, που σημαίνει ότι τα μέλη που έχουν κληθεί δεν μπορούν να απαντήσουν στο μέλος που καλεί

Κλήσεις φωνής επείγουσας ανάγκης:

- ο υποστηρίζει ατομικές και ομαδικές κλήσεις φωνής επείγουσας ανάγκης και θα έχουν το υψηλότερο επίπεδο προτεραιότητας. Εάν το σύστημα είναι κατειλημμένο, η υποδομή θα ελευθερώνει άλλες μη επείγουσες κλήσεις, ώστε να μπορεί να διαθέσει πόρους του συστήματος στις κλήσεις επείγουσας ανάγκης. Η κλήση επείγουσας ανάγκης θα ενεργοποιείται από τον χρήστη με την πίεση ενός ειδικού πλήκτρου, το οποίο θέτει σε λειτουργία μια κλήση φωνής σε μια ειδική θέση.

Υπηρεσίες Φωνής - Συμπληρωματικές Υπηρεσίες

Προτεραιότητα Πρόσβασης - Access Priority (AP):

- ο Ένας αριθμός επιπέδων Προτεραιότητας Πρόσβασης (APLs) μπορεί να τεθεί από τον διαχειριστή του δικτύου. Κατά την διάρκεια των περιόδων μεγάλων συμβάντων ή φυσικών καταστροφών, ή σε ιδιαίτερες προκαθοριζόμενες περιπτώσεις, μπορεί να καθοριστεί χαμηλότερη επίπεδο προτεραιότητας APL για την πρόσβαση στο δίκτυο

Κλήση προτεραιότητας με δικαίωμα προτίμησης - Pre-emptive Priority Call (PPC):

- Μία κλήση με δικαίωμα προτίμησης προτεραιότητας δεσμεύει πόρους του συστήματος ακόμη και αν σημαίνει ότι άλλες κλήσεις χαμηλότερης προτεραιότητας θα αποσυνδεθούν. Η επιλογή των κλήσεων που θα αποσυνδεθούν, θα βασίζεται στην Τιμή Κράτησης Κλήσης. Οι παλιότερες κλήσεις με χαμηλότερες προτεραιότητες CRVs, είναι οι πιο πιθανές υποψήφιες για αποσύνδεση

Κράτηση Κλήσης - Call Retention (CRT):

- Ένας χρήστης μπορεί να καθορίσει μία τιμή κράτησης κλήσης (CRT) για να προστατεύσει κλήσεις από προεκκένωση (pre-emption), από κλήσεις προτεραιότητας με δικαίωμα προτίμησης

Κλήση Προτεραιότητας - Priority Call (PC):

- Το δίκτυο θα μπορεί να κατανέμει τους πόρους του σε κάθε κλήση, ανάλογα με το βαθμό προτεραιότητας.

Κλήση Συμπερίληψης - Include Call (IC):

- Ένα τρίτο μέλος μπορεί να συμπεριληφθεί σε μία κλήση σε εξέλιξη μεταξύ δύο μελών

Μεταβίβαση Ελέγχου - Transfer of Control (ToC):

- Ο ιδιοκτήτης μίας κλήσης στην οποία συμμετέχουν πολλά μέλη μπορεί να μεταβιβάσει την ιδιοκτησία σε κάποιο άλλο μέλος που συμμετέχει στην κλήση. Ο αρχικός ιδιοκτήτης μπορεί μετά να αποσυνδεθεί αφήνοντας την εξέλιξη της κλήσης.

Ώσιμη Είσοδος - Late Entry (LE):

- Επιπλέον μέλη μπορούν να συμπεριληφθούν σε μία κλήση σε εξέλιξη η οποία περιλαμβάνει πολλά μέλη

Κλήση Εξουσιοδοτημένη από Αποστολέα - Call Authorised by Despatcher (CAD):

- επιτρέπει στον εκφωνητή να εξουσιοδοτήσει όλες τις εξερχόμενες αιτήσεις κλήσεων και όλες τις εισερχόμενες κλήσεις πριν από τη σύνδεση

Ανοικτή Ακρόαση - Ambience Listening (AL):

- Ο Ελεγκτής του δικτύου μπορεί να συνδέσει μία φωνητική κλήση σε έναν πομποδέκτη χωρίς τη μεσολάβηση ή την ένδειξη στο καλούμενο μέλος. Η κλήση αυτή μπορεί να εγκατασταθεί μόνο εάν το καλούμενο μέλος δεν συμμετέχει σε άλλη κλήση. Μόλις αποκατασταθεί η σύνδεση, η κλήση αυτή δεν εμποδίζει των καλούμενο από το κάνει άλλες κλήσεις ή να δεχθεί άλλες.

Διακριτική Ακρόαση - Discreet Listening (DL):

- Ένα εξουσιοδοτημένο τρίτο μέλος μπορεί να αναγνωρίσει και να ακούσει μία κλήση χωρίς την γνώση των μελών που συμμετέχουν στην κλήση. Το εξουσιοδοτημένο τρίτο μέλος μπορεί επίσης προαιρετικά να συνδέσει ή να αποσυνδέσει την κλήση

Επιλογή Περιοχής Area Selection (AS):

Κλήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο προς πομποδέκτες που βρίσκονται εντός μίας επιλεγμένης γεωγραφικής περιοχής

Διευθυνσιοδότηση Βραχέως Αριθμού - Short Number Addressing (SNA):

- Ένας δημιουργός κλήσεων μπορεί να αποφασίσει μία συντομευμένη διεύθυνση αντί για μία πλήρη για τις ενέργειες διαχείρισης κλήσεων.

Αναγνώριση Ομιλούντος - Talking Party Identification (TPI):

- Επιτρέπει σε όλα τα μέλη που συμμετέχουν σε μία κλήση να ενημερώνονται για την ταυτότητα του ομιλούντος κάθε στιγμή κατά τη διάρκεια της κλήσης

Δυναμική Εκχώρηση Αριθμού Ομάδας - Dynamic Group Number Assignment (DGNA):

- Επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν ομαδικές κλήσεις πριν ή κατά τη διάρκεια των κλήσεων.

Κλήση με Κατάλογο Αναζήτησης - List Search Call (LSC):

- Ένα σύνολο χρηστών διευθυνσιοδοτείται από μία κοινή ανίχνευση αριθμού καταλόγου (SLN). Μία κλήση θα δρομολογηθεί στο πρώτο διαθέσιμο μέλος του καταλόγου με σειρά καταλόγου

Προώθηση κλήσεων - Call Forwarding (CF):

- Η προώθηση κλήσεων μπορεί να είναι μη συνεχής. Η κλήση προωθείται ανεξάρτητα από την κατάσταση του καλούμενου μέλους ή υπό όρους

Φραγή Εισερχομένων Κλήσεων - Barring of Incoming Calls (BIC):

- Μπορεί να φράσσονται διάφορες κατηγορίες εισερχομένων κλήσεων.

Φραγή Εξερχόμενων Κλήσεων - Barring of Outgoing Calls (BOC):

- Μπορεί να φράσσονται διάφορες κατηγορίες εξερχόμενων κλήσεων.

Αναφορά κλήσης - Call Report (CR):

- Εάν μία κλήση δεν μπορεί να συνδεθεί, τότε ο καλών μπορεί να αφήσει μία ταυτότητα για επακόλουθη κλήση από τον καλούμενο (call back)

Αναμονή Κλήσης - Call Waiting (CW):

- Παρέχεται ειδοποίηση στον καλούμενο το οποίο συμμετέχει σε μία κλήση ότι υπάρχει μία δεύτερη εισερχόμενη κλήση. Μπορεί επίσης να παρέχονται πληροφορίες σχετικές με τον τύπο και την προτεραιότητα της δεύτερης κλήσης

Συγκράτηση κλήσεων – Call Holding (CH):

- Η κλήση που βρίσκεται σε εξέλιξη αναστέλλεται προσωρινά

Παρουσίαση Αναγνώρισης Καλούσας Γραμμής - Calling Line Identification Presentation (CLIP):

- Ο αριθμός του καλούντα εμφανίζεται στον καλούμενο για μία εισερχόμενη κλήση

Παρουσίαση Αναγνώρισης Συνδεδεμένης Γραμμής - Connected Line Identification Presentation (COLP):

- Ο αριθμός του καλούμενου εμφανίζεται στον καλούντα για μία εξερχόμενη κλήση

Περιορισμός Αναγνώρισης Καλούσας/Συνδεδεμένης Γραμμής - Calling/Connected Line Identification Restriction (C/COLP):

- Εμποδίζεται η εμφάνιση του αριθμού του καλούντος ή του καλούμενου

Περάτωση Κλήσης σε κατειλημμένο συνδρομητή - Call Completion to Busy Subscriber (CCBS):

- Όταν καλείται κάποιος ο οποίος είναι απασχολημένος, το καλών μέλος μπορεί να ζητήσει από το δίκτυο να τον ειδοποιήσει, όταν ο καλούμενος θα είναι διαθέσιμος. Το δίκτυο λοιπόν θα προσπαθήσει μετά να συνδέσει την κλήση

Περάτωση Κλήσης λόγω Απουσίας Απάντησης - Call Completion on No Reply (CCNR):

- Όταν καλείται κάποιος και δεν λαμβάνεται απάντηση, το καλών μέλος μπορεί να ζητήσει από το δίκτυο να τον ειδοποιήσει, όταν ο καλούμενος θα είναι διαθέσιμος. Το δίκτυο μετά θα προσπαθήσει να συνδέσει την κλήση

Υπηρεσίες Δεδομένων

Μετάδοση δεδομένων:

- Παρέχεται η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων

Κλήσεις Βραχέων Δεδομένων:

- υποστηρίζει κλήσεις βραχέων δεδομένων (μεταξύ φορητών συσκευών, μεταξύ ενός σταθερού επιχειρησιακού κέντρου και φορητών συσκευών).

Κλήσεις Κατάστασης:

- υποστηρίζει ατομικές και ομαδικές κλήσεις κατάστασης μεταξύ ενός σταθερού επιχειρησιακού κέντρου και των φορητών συσκευών και μεταξύ των φορητών συσκευών και του σταθερού επιχειρησιακού κέντρου. Οι κλήσεις κατάστασης θα πραγματοποιούνται με έναν αφιερωμένο αριθμό κατάστασης

Αμεσότροπη λειτουργία (DMO):

υποστηρίζει όλες τις δυνατότητες της αμεσότροπης λειτουργίας που περιγράφονται στο πρότυπο ETSI, όπως:

- Επικοινωνία μεταξύ φορητών συσκευών που βρίσκονται εκτός και εντός ραδιοκάλυψης υποδομής (θα υποστηρίζονται τόσο η ατομική (σημείο προς σημείο) όσο και η ομαδική κλήση, καθώς και κλήσεις κατάστασης, βραχέων δεδομένων).
- Λειτουργία επαναλήπτη εγκατεστημένου σε όχημα (ένας επαναλήπτης της αμεσότροπης λειτουργίας θα επεκτείνει την κάλυψη της βασικής λειτουργίας επικοινωνίας μεταξύ των φορητών συσκευών).
- Η υποδομή του συστήματος θα υποστηρίζει τη λειτουργία των φορητών συσκευών ως επαναληπτών για επέκταση της κάλυψης, εφόσον αυτή η υπηρεσία είναι διαθέσιμη κατά την εγκατάσταση του συστήματος ή όταν αυτή καταστεί διαθέσιμη από τα τερματικά

Προτεραιότητα Πρόσβασης Συστήματος:

- υποστηρίζει τη δυνατότητα εφαρμογής προτεραιότητας πρόσβασης και κλήσεων σε ομάδες διαφορετικών συνδρομητών. Αυτή η δυνατότητα θα χρησιμοποιηθεί για να δοθούν προτεραιότητες πρόσβασης στο σύστημα για τις διαφορετικές υπηρεσίες και χρήστες

Προτεραιότητα πρόσβασης (Access Priority):

- καθορίζεται μια κατηγορία ή επίπεδο προτεραιότητας πρόσβασης συνδρομητή και μόνο εκείνοι οι συνδρομητές με ίση ή μεγαλύτερη προτεραιότητα πρόσβασης επιτρέπεται να κάνουν προσπάθειες πρόσβασης για κλήσεις. Η στιγμιαία κατηγορία του συνδρομητή θα ενημερώνεται μεθοδικά κατά την διάρκεια της ευρυεκπομπής του συστήματος και έτσι θα

μπορεί να τροποποιηθεί δυναμικά από την υποδομή. Τα τερματικά θα προγραμματίζονται με ένα προκαθορισμένο επίπεδο πρόσβασης, το οποίο μπορεί να αγνοηθεί για μερικές λειτουργίες όπως επείγουσες κλήσεις

Κλήση προτεραιότητας:

- Ένας χρήστης με επαρκή βαθμό προτεραιότητας θα μπορεί να κάνει προσπάθειες για κλήσεις. Η δυνατότητα προτεραιότητας στην κλήση θα επιτρέπει στα μηνύματα εγκατάστασης της κλήσης να έχουν μια παρεχόμενη προτεραιότητα. Εάν το σύστημα είναι απασχολημένο, τότε αυτή θα χρησιμοποιείται από την υποδομή για να κατανείμει τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος βάση της προτεραιότητας

Προτεραιότητα κλήσης με δικαίωμα προτίμησης (Pre-emptive Priority Call):

- Η προτεραιότητα κλήσης με δικαίωμα προτίμησης θα χρησιμοποιεί την προτεραιότητα πρόσβασης και μηχανισμούς προτεραιότητας κλήσης ώστε να βεβαιώσει ότι θα αφιερωθούν πόροι, ακόμα κι αν πρέπει να αποσυνδεθούν χρήστες με χαμηλότερη προτεραιότητα. Από τα επίπεδα προτεραιότητας κάποια επίπεδα θα έχουν χαρακτηριστεί ως επίπεδα προτεραιότητας με δικαίωμα προτίμησης. Ένα επίπεδο θα είναι το υψηλότερο επίπεδο προτεραιότητας με δικαίωμα προτίμησης και διατηρείται για κλήσεις επείγουσας ανάγκης. Ωστόσο η προτεραιότητα με δικαίωμα προτίμησης θα είναι ακόμα πιθανή και σε χαμηλότερα επίπεδα για σημαντικούς χρήστες ενώ ακόμα θα διατηρείται η λειτουργία κλήσης επείγουσας ανάγκης για όλους τους επιλεγμένους χρήστες

Αυτόματη δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων:

- Ο χρήστης έχει την δυνατότητα αυτόματης αποστολής μηνυμάτων προς ένα σταθερό επιχειρησιακό κέντρο, καθώς επίσης και δυνατότητα εκπομπής φωνητικών μηνυμάτων προς το σταθερό επιχειρησιακό κέντρο (με την άδεια του σταθερού επιχειρησιακού κέντρου)

Ταυτόχρονη εκπομπή φωνής και δεδομένων:

- υποστηρίζει την ταυτόχρονη εκπομπή φωνής και δεδομένων

Περιοχή Εφαρμογών του Ραδιοδικτύου TETRA

Το ραδιοδίκτυο TETRA όπως έχει ήδη αναφερθεί ανήκει στην κατηγορία των επαγγελματικών ραδιοδικτύων. Η περιοχή εφαρμογών του TETRA ανήκει στην κατηγορία εφαρμογών ειδικού σκοπού και με την πάροδο των χρόνων έχουμε διαρκή επέκτασή της και σε νέους τομείς.

Μία βασική περιοχή εφαρμογής του ραδιοδικτύου TETRA είναι τα αστυνομικά, αντιτρομοκρατικά, πυροσβεστικά κ.λ.π. σώματα. Τα σώματα αυτά απαιτούν τηλεπικοινωνιακά συστήματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Τα υπάρχοντα δίκτυα όπως το GSM 900/1800 δεν είναι δυνατόν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των χρηστών αυτών. Το TETRA παρέχει επικοινωνίες χρησιμοποιώντας "end to end encryption" κάτι το οποίο είναι αναγκαίο στην περίπτωση αυτή. Οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης των δεδομένων είναι ιδιαίτερως ισχυροί, εξαλείφοντας πρακτικά την περίπτωση υποκλοπών. Επίσης, ο χρόνος εγκατάστασης κλήσης

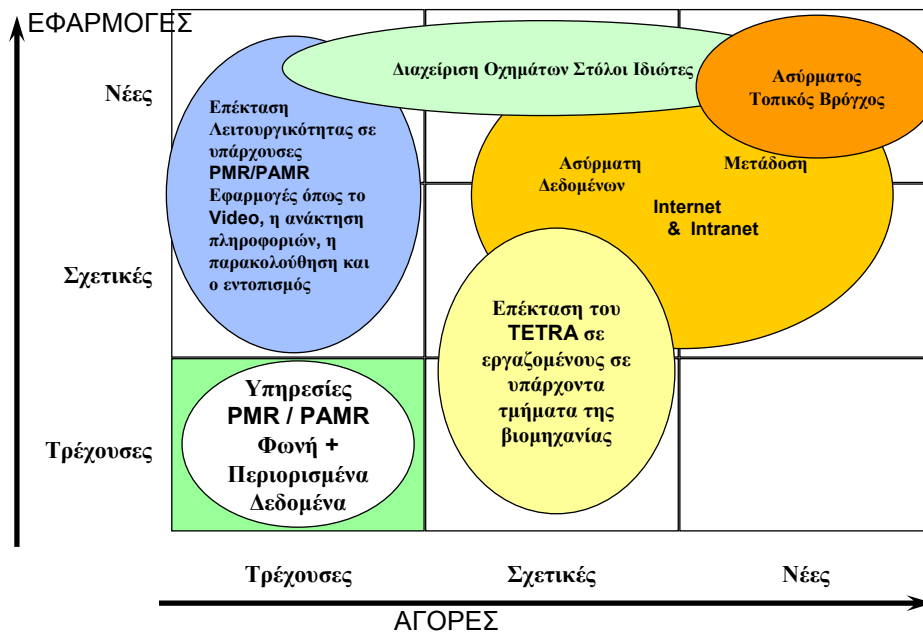
στο TETRA είναι σημαντικά μικρότερος σε σχέση με αυτόν του GSM. Το στοιχείο αυτό είναι κρίσιμο για την κατηγορία που αναφερόμαστε. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως οι ομάδες αυτές των χρηστών απαιτούν αφιερωμένα δίκτυα αποκλειστικής χρήσης που να μην επηρεάζονται από άλλες παραμέτρους όπως είναι ένα πιθανό αυξημένο επικοινωνιακό φορτίο που θα είχαμε σε περιπτώσεις χρήσης GSM.

Μία δεύτερη περιοχή εφαρμογής των ραδιοδικτύων ειδικού σκοπού και συνεπώς και του TETRA είναι η διαχείριση στόλων οχημάτων τόσο σε ιδιωτικό όσο και σε δημόσιο επίπεδο. Οι εταιρίες των μέσων μαζικής μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις εξελιγμένες υπηρεσίες του TETRA ώστε να πετύχουν την διαχείριση του στόλου τους με σκοπό αφενός μεν την βέλτιστη λειτουργία του τελευταίου, αφετέρου δε την παροχή στους επιβάτες εξελιγμένων υπηρεσιών τηλεματικής. Αντίστοιχα και στον ιδιωτικό τομέα, εταιρίες χρησιμοποιώντας ένα εταιρικό δίκτυο ή μισθώνοντας κάποιο άλλο μπορούν να διαχειρίζονται τον στόλο των οχημάτων τους με σκοπό την παραγωγικότερη και οικονομικότερη λειτουργία της επιχείρησής τους.

Σημαντική είναι η δυνατότητα χρήσεως του TETRA από μεγάλες επιχειρήσεις και οργανισμούς ειδικά στην περίπτωση που αυτοί έχουν μία κατακεκολλημένη δομή των κτιρίων τους. Οι τελευταίοι μπορούν να μισθώσουν κάποιον αριθμό συχνοτήτων προκειμένου να χρησιμοποιούν ένα δικό τους δίκτυο επικοινωνιών μεταξύ των εργαζομένων τους. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερος σπουδαίο χαρακτηριστικό μιας και παρέχει σε έναν οργανισμό την δυνατότητα εύκολης, αξιόπιστης και προπάντων οικονομικής διεκπεραίωσης των επικοινωνιών μεταξύ των υπαλλήλων του.

Τον τελευταίο καιρό γίνονται σημαντικές μελέτες για την παροχή υπηρεσιών internet δια μέσου του δικτύου TETRA. Το TETRA χάρη σε ορισμένα εξαιρετικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει, παρέχει την δυνατότητα για αρκετά γρήγορη μετάδοση δεδομένων με κύριο πλεονέκτημα την υψηλή κρυπτογράφηση της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Σημερινά δίκτυα κινητών επικοινωνιών δεν παρέχουν τόσο αποτελεσματικά μία τέτοια υπηρεσία, κάνοντάς τα παράλληλα ακατάλληλα για εφαρμογή σε περιπτώσεις ανταλλαγής κρίσιμης σημασίας πληροφοριών. Μελλοντικά, αναμένεται να υπάρξει σημαντική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης (bit rate) των δεδομένων με σκοπό την παροχή κινούμενης εικόνας ικανοποιητικής ποιότητας δια μέσου του ραδιοδικτύου TETRA αλλά και άλλων αντίστοιχων υπηρεσιών.

Στο Σχήμα 71 δείχνονται χαρακτηριστικά οι εφαρμογές του TETRA συναρτήσει των αγορών στις οποίες αυτό απευθύνεται. Οι αγορές αυτές είναι είτε υπάρχουσες, είτε σχετιζόμενες με άλλες, είτε νέες:



Σχήμα 71: Καινούργιες Αγορές & Εφαρμογές του Δικτύου TETRA

Οι παραπάνω υπηρεσίες του TETRA απαιτούν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης προκειμένου να υποστηριχθούν επιτυχώς από αυτό. Το TETRA έχει την δυνατότητα ισχυρής κρυπτογράφησης της πληροφορίας, στοιχείο αναγκαίο σε περιπτώσεις που το δίκτυο χρησιμοποιείται από σώματα ασφαλείας κ.λ.π.. Έτσι, λοιπόν, ανάλογα με το αν εφαρμόζεται κάποια μορφή κρυπτογράφησης έχουμε τους εξής παρεχόμενους ρυθμούς μετάδοσης για την υποστήριξη ποικίλων υπηρεσιών:

- Επιλογή κυκλώματος μη προστατευμένων δεδομένων: 7.2, 14.4, 21.6, 28.8 kbits/sec
- Επιλογή κυκλώματος προστατευμένων δεδομένων χαμηλού επιπέδου: 4.8, 9.6, 14.4, 19.2 kbits/sec
- Επιλογή κυκλώματος προστατευμένων δεδομένων υψηλού επιπέδου: 2.4, 4.8, 7.2, 9.6 kbits/sec
- Μεταγωγή πακέτων συνδεσμική
- Μεταγωγή πακέτων μη συνδεσμική
- Υπηρεσίες σύντομων μηνυμάτων -

- 65535 Μηνύματα κατάστασης (half reserved)
- επιλογή χρήστη:
 - τύπου 1: 16 bits δεδομένων
 - τύπου 2: 32 bits δεδομένων
 - τύπου 3: 64 bits δεδομένων
 - τύπου 4: μέχρι 2047 bits δεδομένων

Βιβλιογραφία

Η βιβλιογραφία επισυνάπτεται