

Κινητές επικοινωνίες

Σκοπός

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές των κινητών – ασυρματικών επικοινωνιών, οι τεχνολογικές πρόοδοι στα διάφορα συστήματα των επικοινωνιών αυτών, οι προοπτικές ανάπτυξής τους και οι τάσεις ολοκλήρωσής τους προς τη δημιουργία παγκόσμιων συστημάτων προσωπικών επικοινωνιών.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει το κεφάλαιο αυτό θα μπορείτε να:

- εξηγήσετε τον τρόπο λειτουργίας και τους περιορισμούς που υπάρχουν στα κλασικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας·
- προσδιορίσετε τις ιδέες και τις τεχνικές στις οποίες στηρίζεται η δημιουργία και ανάπτυξη των κυψελοειδών συστημάτων κινητών επικοινωνιών·
- προσδιορίσετε τους στόχους που τέθηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος GSM και να περιγράψετε τα προτυποποιημένα δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά που συγκροτούν το σύστημα GSM·
- προσδιορίσετε άλλα κυψελοειδή συστήματα τα οποία στηρίχθηκαν στα πρότυπα του GSM και να επισημάνετε τις σημαντικότερες διαφορές που αυτά έχουν με το σύστημα GSM·
- περιγράψετε τα σύγχρονα συστήματα ασυρματικών επικοινωνιών και τις περιοχές εφαρμογών τους·
- προσδιορίσετε τα κύρια χαρακτηριστικά των διάφορων δορυφορικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για κινητές επικοινωνίες·
- συγκρίνετε τα διάφορα δορυφορικά συστήματα κινητών επικοινωνιών μεταξύ τους και να περιγράψετε τα κύρια χαρακτηριστικά και τους τομείς εφαρμογών των υπαρχόντων συστημάτων·
- περιγράψετε τις προσπάθειες για την προτυποποίηση και ανάπτυξη μελλοντικών παγκόσμιων συστημάτων κινητών επικοινωνιών·
- προσδιορίσετε τις προοπτικές εισαγωγής και ανάπτυξης των μελλοντικών συστημάτων παγκόσμιων κινητών – προσωπικών επικοινωνιών, καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά και δυνατότητες των συστημάτων τρίτης γενιάς (3G) UMTS και IMT 2000.

Έννοιες κλειδιά

- εύρος φάσματος ζώνης συχνοτήτων
- ραδιοσυχνότητες
- διαμόρφωση
- φέρον σήμα
- διαμορφωμένο σήμα
- διαμορφωτής
- αποδιαμορφωτής
- φέρουσα συχνότητα
- κυψελοειδή δίκτυα
- επαναχρησιμοποίηση φάσματος
- κυψέλη
- συγκαταλκή παρεμβολή
- απόσταση επαναχρησιμοποίησης
- συστάδα κυψελών
- διάσπαση κυψέλης
- μεταπομπή
- κυψελοειδή συστήματα τηλεφωνίας
- σύστημα GSM
- DCS 1800
- PCS 1900 (TDMA)
- έξυπνη κάρτα SIM
- προσωπικός αριθμός ταυτότητας PIN
- υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών PCS
- δίκτυα προσωπικών επικοινωνιών PCN
- ασυρματικά τηλέφωνα
- χειροσσκευή
- telepoint
- ασυρματική σύνδεση τοπικού βρόχου
- συστήματα DECT, CT2, PWT
- δορυφορικές κινητές υπηρεσίες
- γεωστατική τροχιά
- δορυφόροι έμμεσης εκπομπής
- δορυφόροι άμεσης εκπομπής
- καθυστέρηση πλήρους διαδρομής
- μεσαία γήινη τροχιά
- δορυφόροι GEO, MEO, LEO
- ελάχιστη γωνία ανύψωσης
- ενδιάμεση κυκλική τροχιά
- διαδορυφορικές συνδέσεις
- κινητές δορυφορικές υπηρεσίες
- INMARSAT, GLOBALSTAR, ORBCOM
- μικροδορυφόρος
- παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών UMTS,
- IMT 2000
- κινητότητα
- FPLMTS
- μακροκυψέλες
- μικροκυψέλες
- πικοκυψέλες
- PABX
- ευφνή δίκτυα IN
- μοναδικός προσωπικός αριθμός σύνδεσης UPT
- προσωπικός επικοινωνητής
- κατανομή υπηρεσιών
- Πρωτόκολλο Ασύρματης Πρόσβασης WAP

- Γενικό Σύστημα Ραδιο-Πακέτων GPRS
- Βελτιωμένοι Ρυθμοί Μετάδοσης για την Εξέλιξη του GSM EDGE
- Κυκλωματομεταγωγή Δεδομένων Υψηλής Ταχύτητας HSCSD
- Εικονικό Οικιακό Περιβάλλον VHE.

Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Η ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας κατά τη δεκαετία του 1990 ξεπέρασε κάθε πρόβλεψη και φαίνεται ότι θα συνεχιστεί με τους ίδιους ρυθμούς και στην πρώτη δεκαετία του 2000. Οι λόγοι για την ανάπτυξη αυτή αναφέρονται στις αυξημένες ανάγκες κινητικότητας των ανθρώπων, αλλά και στις προόδους της σχετικής τεχνολογίας.

Οι ανάγκες για **κινητές υπηρεσίες τηλεφωνίας** είναι αρκετά παλαιές, όμως οι δυνατότητες για την κάλυψη των αναγκών αυτών ήταν περιορισμένες. Δύο κυρίως λόγοι περιόριζαν την ανάπτυξη συστημάτων κινητής τηλεφωνίας:

- Το διαθέσιμο εύρος φάσματος ζώνης συχνοτήτων που αποτελεί **περιορισμένο φυσικό πόρο**.
- Η τεχνολογία για την εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους φάσματος ζώνης.

Ο πρώτος περιορισμός αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή των κυψελοειδών συστημάτων ασυρματικών επικοινωνιών οι αρχές λειτουργίας των οποίων θα σκιαγραφηθούν στα επόμενα.

Ο δεύτερος περιορισμός αντιμετωπίστηκε με την πρόοδο των τεχνολογιών της **μικροηλεκτρονικής**, αλλά και την ανάπτυξη του **λογισμικού**. Όπως είναι γνωστό οι επιδόσεις των ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών μικροκυκλωμάτων σε σχέση με το κόστος τους διπλασιάζονται ανά 1 – 2 χρόνια, οδηγώντας σε δραματικές μειώσεις κόστους των κινητών ασυρματικών τερματικών συσκευών (π.χ. κινητά τηλέφωνα). Εξίσου ραγδαία είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή λογισμικού στον έλεγχο της θέσης και της κίνησης των κινητών τερματικών, της μεταγωγής (switching) των κλήσεων, αλλά και στη διαρκή αύξηση των ευκολιών που παρέχουν τα τερματικά.

Εξάλλου, τα νέα σταθερά δίκτυα και οι αντίστοιχες υπηρεσίες επικοινωνίας δεδομένων, όπως π.χ. το διαδίκτυο, καθώς και οι εφαρμογές των πολυμέσων στις τηλεπικοινωνίες δημιουργούν νέες απαιτήσεις διαλειτουργικότητας μεταξύ σταθερών και κινητών δικτύων και γενικότερα συστημάτων επικοινωνιών. Οι απαιτήσεις αυτές οδηγούν σε τάσεις ολοκλήρωσης των σχετικών επιμέρους δικτύων και υπηρεσιών επικοινωνιών προς τα συστήματα δικτύων προσωπικών επικοινωνιών (Personal

*Communication Networks, PCNs), υπηρεσιών προσωπικών επικοινωνιών (Personal Communication Services, PCSs), ή ακόμη προς το παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) ή τις παγκόσμιες προσωπικές τηλεπικοινωνίες (Universal Personal Telecommunications, UPT). Μέσω των ολοκληρωμένων αυτών συστημάτων θα παρέχονται **επικοινωνιακές υπηρεσίες σε οποιονδήποτε, οποτεδήποτε, οπουδήποτε, με οποιονδήποτε και σε κάθε μορφή.***

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν τα κυριότερα από τα σύγχρονα συστήματα κινητών επικοινωνιών και οι προοπτικές μελλοντικής εξέλιξής τους. Στην Ενότητα 3.1 θα παρουσιαστούν, ύστερα από μια σύντομη επεξήγηση βασικών εννοιών σχετικά με τις κινητές επικοινωνίες, οι ιδέες και τεχνικές στις οποίες στηρίζεται η ανάπτυξη των σύγχρονων κυψελοειδών δικτύων. Στην Ενότητα 3.2 θα αναπτυχθούν εν συντομία οι αρχές λειτουργίας, η δομή και οι δυνατότητες των κυριότερων σύγχρονων κυψελοειδών συστημάτων κινητών επικοινωνιών, όπως το Πανευρωπαϊκό Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών – GSM, καθώς και τα δίκτυα DCS 1800 και PCS 1900. Η Ενότητα 3.3 περιλαμβάνει τα συστήματα ασυρματικών επικοινωνιών, όπως το CT2, DECT και PWT. Η τέταρτη Ενότητα 3.4 αφορά τα συστήματα δορυφορικών κινητών επικοινωνιών. Ύστερα από μια επίσης σύντομη αναφορά στις βασικές αρχές των δορυφορικών επικοινωνιών θα γίνει παρουσίαση των κυριότερων δορυφορικών συστημάτων που αφορούν στις κινητές επικοινωνίες, όπως τα συστήματα που βασίζονται σε γεωστατικούς δορυφόρους και σε δορυφόρους μέσης και χαμηλής τροχιάς. Τέλος, στην πέμπτη Ενότητα 3.5 θα παρουσιαστούν οι μελλοντικές τάσεις ολοκλήρωσης μεταξύ κινητών και σταθερών δικτύων επικοινωνιών που οδηγούν στα λεγόμενα συστήματα τρίτης και τέταρτης γενιάς που παρέχουν παγκόσμιες υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών.

3.1 Βασικές Έννοιες Κινητών Επικοινωνιών – Κυψελοειδών Δικτύων

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτή την ενότητα θα μπορείτε να:

- προσδιορίσετε το διαθέσιμο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων, τις περιοχές από τις οποίες αποτελείται και τη χρήση κάθε μίας περιοχής·
- εξηγήσετε την αναγκαιότητα, το ρόλο και το βασικό μηχανισμό της διαμόρφωσης στις ραδιοεπικοινωνίες·
- περιγράψετε τη λειτουργία και να προσδιορίσετε τους περιορισμούς ενός κλασικού συστήματος κινητής τηλεφωνίας·
- επεξηγήσετε την αναγκαιότητα της διάσπασης μιας γεωγραφικής περιοχής σε κυψέλες και σε συστάδες κυψελών·

- προσδιορίσετε τους λόγους που οδηγούν στη διάσπαση μιας κυψέλης.
- επεξηγήσετε τους λόγους και να σκιαγραφήσετε τη διαδικασία της μεταπομπής.

3.1.1 Φάσμα Ραδιοσυχνοτήτων – Διαμόρφωση

Βασικός πόρος για την πραγματοποίηση των πάσης φύσεως ασυρματικών επικοινωνιών σε μια περιοχή είναι το διαθέσιμο **φάσμα** των **ραδιοσυχνοτήτων** στην περιοχή αυτή, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το φάσμα συχνοτήτων μέσα στις οπτικές ίνες (βλέπε υποενότητα 2.3.3, Κεφαλαίου 2). Αυτό το διαθέσιμο φάσμα των **ραδιοσυχνοτήτων** για λόγους καλύτερης διαχείρισής του χωρίζεται σε ζώνες συχνοτήτων κάθε μία από τις οποίες χαρακτηρίζεται από την περιοχή της και από την ονομασία της και προορίζεται για συγκεκριμένες χρήσεις – εφαρμογές. Ο Πίνακας 3.1 παρου-

Περιοχή συχνοτήτων σε GHz	Ονομασία	Χρήση στις τηλεπικοινωνίες
0,1 – 0,3	VHF	Επίγειες ραδιοεπικοινωνίες, TV, κυψελοειδή δίκτυα, μετεωρολογικοί δορυφόροι.
0,3 – 1.0	UHF	TV, κυψελοειδή GSM στα 0,9 GHz.
1.0 – 2.0	L	Δορυφορικές ναυτιλιακές και κινητές υπηρεσίες, GSM στα 1,8 GHz.
2.0 – 4.0	S	
4.0 – 8.0	C	Δορυφορικές επικοινωνίες για σταθερούς σταθμούς.
8.0 – 12.0	X	
12 – 18	Ku	Δορυφορικές υπηρεσίες άμεσης εκπομπής.
18 – 24	K	Ζεύξη δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO) προς το σταθμό εδάφους 19–20 GHz. Ζεύξη μεταξύ δορυφόρων LEO 23 GHz.
24 – 40	Ka	Σταθμός εδάφους προς LEO δορυφόρο 29 GHz. Για την τοπική διανομή σε ακτίνα 8 km χρησιμοποιείται η ζώνη στα 38 GHz. Το σύστημα είναι ευαίσθητο στη βροχή. Η υψηλή συχνότητα επιτρέπει λήψη με κάτοπτρα κεραιών διαμέτρου 30 – 60 cm που τοποθετούνται στα κτίρια.
40 – 100	mm	

Πίνακας 3.1
Περιοχές ραδιο-
συχνοτήτων

σιάζει ενδεικτικά τις διάφορες περιοχές (ζώνες) συχνοτήτων, την ονομασία και τη χρήση τους, όπως έχουν συμφωνηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, παρότι σε ορισμένα μέρη του κόσμου μπορεί να υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα αυτό, το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων αποτελείται από χαμηλότερες συχνότητες από τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις οπτικές ίνες και είναι της τάξεως των THz (δηλαδή 1000 φορές υψηλότερα από τις υψηλότερες ραδιοσυχνότητες). Επίσης οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται στις ασυρματικές επικοινωνίες είναι υψηλότερες από τις συχνότητες των σημάτων ομιλίας ή δεδομένων. Η κλασική τηλεφωνία π.χ. λειτουργεί με ένα φάσμα συχνοτήτων που εκτείνεται στη βασική ζώνη (baseband) από 300 – 3400 Hz, ενώ στην ψηφιακή τηλεφωνία χρησιμοποιούνται ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων 64 Kbit/s.

Η ζώνη αυτή των συχνοτήτων της ομιλίας είναι ακατάλληλη για μετάδοση μέσω κεραιών. Για να μεταδοθεί ένα σήμα ομιλίας μέσω των κεραιών πομπού – δέκτη κατά τρόπο αποτελεσματικό, θα πρέπει οι συχνότητες της βασικής ζώνης που αποτελούν το σήμα αυτό να μετατεθούν σε μια υψηλότερη στάθμη συχνότητας που περιλαμβάνεται στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων. Η μετάθεση αυτή γίνεται μέσω της λεγόμενης διαμόρφωσης.

Διαμόρφωση

Σκοπός της διαμόρφωσης είναι το σήμα ομιλίας να αποκτήσει τέτοια χαρακτηριστικά ώστε να είναι δυνατή η αποτελεσματική μετάδοσή του μέσα από κάποιες κεραιές πομπών – δεκτών. Η διαμόρφωση επιτυγχάνεται, πριν από την εκπομπή του σήματος από την κεραία του πομπού, σε μια διάταξη που ονομάζεται **διαμορφωτής**.

Κατά τη διαδικασία της διαμόρφωσης το αρχικό σήμα ομιλίας (**σήμα πληροφορίας**) υπερτίθεται σε μια φέρουσα (carrier) συχνότητα που παράγει ο διαμορφωτής. Η φέρουσα συχνότητα (ή **φέρων σήμα**) είναι ένα απλό σήμα που δε μεταφέρει πληροφορία. Από την υπέρθεση αυτή του σήματος πληροφορίας επί του φέροντος σήματος (φέρουσα συχνότητα) προκύπτει το **διαμορφωμένο σήμα**. Το διαμορφωμένο (modulated) σήμα χαρακτηρίζεται από ένα φάσμα συχνοτήτων το οποίο βρίσκεται σε υψηλότερη στάθμη από αυτή του σήματος πληροφορίας, ώστε να είναι κατάλληλο για εκπομπή και λήψη αντιστοίχως από την κεραία του πομπού και του δέκτη.

Όταν το διαμορφωμένο σήμα φθάσει στην κεραία του δέκτη οδηγείται κατ' αρχήν στον **αποδιαμορφωτή** (demodulator) όπου γίνεται η αντίστροφη λειτουργία της

αποδιαμόρφωσης. Κατ' αυτήν από το διαμορφωμένο σήμα «αφαιρείται» η φέρουσα συχνότητα και προκύπτει στο δέκτη το σήμα πληροφορίας στην αρχική του μορφή όπως ήταν στον πομπό πριν τη διαμόρφωση.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της επικοινωνίας και τον τύπο των σημάτων πληροφορίας (αναλογικά, ψηφιακά) εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι διαμόρφωσης.

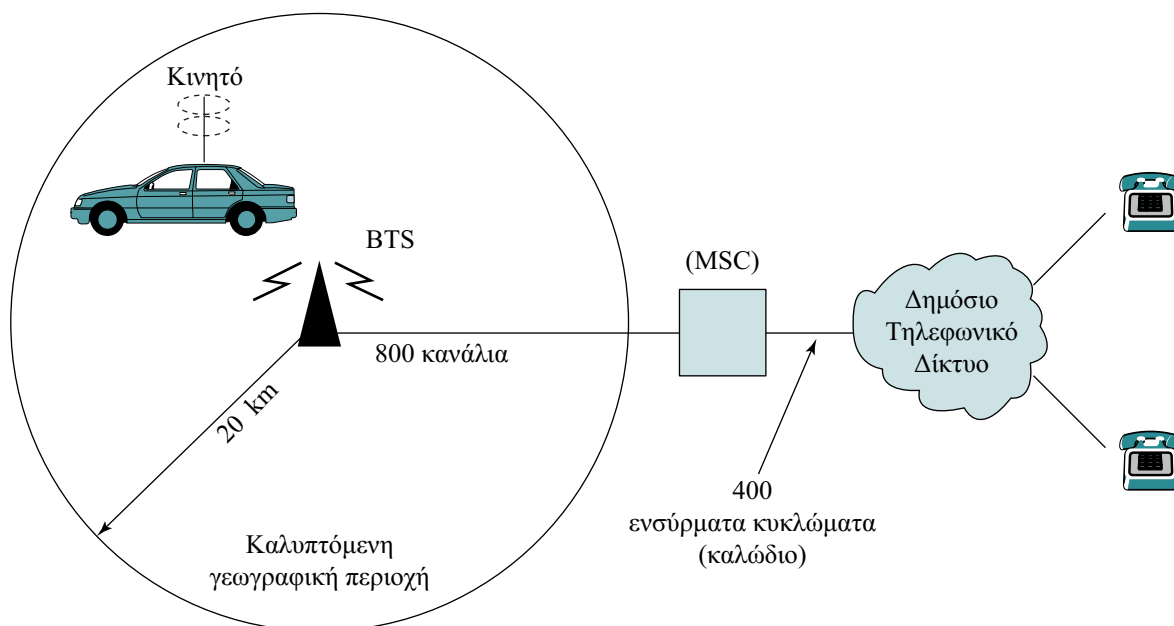
3.1.2 Κυψελοειδή δίκτυα – Βασικές αρχές

Για την κατανόηση των βασικών αρχών της κινητής τηλεφωνίας, αλλά και των αναγκών που οδήγησαν στην ανάπτυξη των κυψελοειδών δικτύων, ας θεωρήσουμε το πιο κάτω παράδειγμα του *Σχήματος 3.1*, που στηρίζεται στη βασική δομή των κινητών επικοινωνιών της δεκαετίας του 1970.

Παράδειγμα 3.1

Η τεχνολογία της εποχής επέτρεπε σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή την επικοινωνία κινητών πομποδεκτών που ήταν εγκατεστημένοι μόνο σε αυτοκίνητα (λόγω του όγκου και του βάρους τους) με την κεραία ενός κεντρικού **Σταθμού Πομποδεκτών Βάσης** (Base Transceiver Station, BTS) που ήταν εγκατεστημένος σε κεντρικό υψηλό σημείο της περιοχής (π.χ. σε λόφο), ώστε να «βλέπει» τους κινητούς σταθμούς. Η ισχύς του σταθμού είναι τόση όσο χρειάζεται για να καλύπτει μια (τη συγκεκριμένη) γεωγραφική περιοχή ακτίνας 20 km. Ολόκληρο το διαθέσιμο εύρος ζώνης των ραδιοσυχνοτήτων χωρίζεται σε έναν αριθμό καναλιών επικοινωνίας, π.χ. 800. Με τα 800 αυτά κανάλια που διαθέτει ο σταθμός μπορεί να εξυπηρετήσει συγχρόνως τις επικοινωνίες 400 χρηστών μια και ο κάθε χρήστης χρειάζεται ένα κανάλι για εκπομπή και ένα για λήψη. Ο κεντρικός σταθμός BTS είναι επίσης συνδεδεμένος με το **Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών** (Mobile Switching Centre, MSC) με ένα τηλεφωνικό καλώδιο με δυνατότητα σύγχρονης επικοινωνίας 400 χρηστών. Το MSC δίνει τη δυνατότητα διασύνδεσης και επικοινωνίας των κινητών σταθμών με τους συνδρομητές του σταθερού δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου ή ακόμη και με συνδρομητές άλλων κινητών δικτύων σε άλλες γεωγραφικές περιοχές.

Σε κάθε κινητό συνδρομητή της περιοχής που εκδηλώνει την επιθυμία να επικοινωνήσει δεσμεύεται δυναμικά και εκχωρείται από το σταθμό βάσης BTS ένα ζεύγος καναλιών μέσω των οποίων μπορεί να γίνει επικοινωνία του καλούντος τερματικού με τον καλούμενο συνδρομητή, είτε αυτός είναι σταθερός, είτε κινητός. Όταν τελειώσει η επικοινωνία, το ζεύγος καναλιών που εκχωρήθηκε απελευθερώνεται και είναι πάλι διαθέσιμο στο σταθμό βάσης για να εξυπηρετήσει άλλο κινητό συνδρομητή της περιοχής.



Σχήμα 3.1

*Κλασικό σύστημα
κινητής
τηλεφωνίας*

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι με τα 400 ζεύγη καναλιών μπορεί να εξυπηρετηθεί ένας πολύ μεγαλύτερος αριθμός χρηστών της περιοχής, υπό την προϋπόθεση ότι στην περιοχή δεν υπάρχουν έκτακτα γεγονότα (π.χ. φυσικές καταστροφές), δεδομένου ότι ο κάθε χρήστης δε μιλάει συνεχώς στο κινητό του, άρα απασχολεί το ζεύγος καναλιών που του εκχωρείται κάθε φορά μόνο για σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα. Η **επαναχρησιμοποίηση** του **φάσματος** αυτού για τη δημιουργία μιας άλλης περιοχής εξυπηρέτησης κινητών είναι δυνατή υπό την προϋπόθεση ότι η δεύτερη περιοχή όχι μόνο δε γειτνιάζει με την πρώτη, αλλά βρίσκεται και σε μεγάλη απόσταση, ώστε να αποφεύγονται **παρεμβολές** των επικοινωνιών της μιας περιοχής στις επικοινωνίες της άλλης μια και οι δύο χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων.

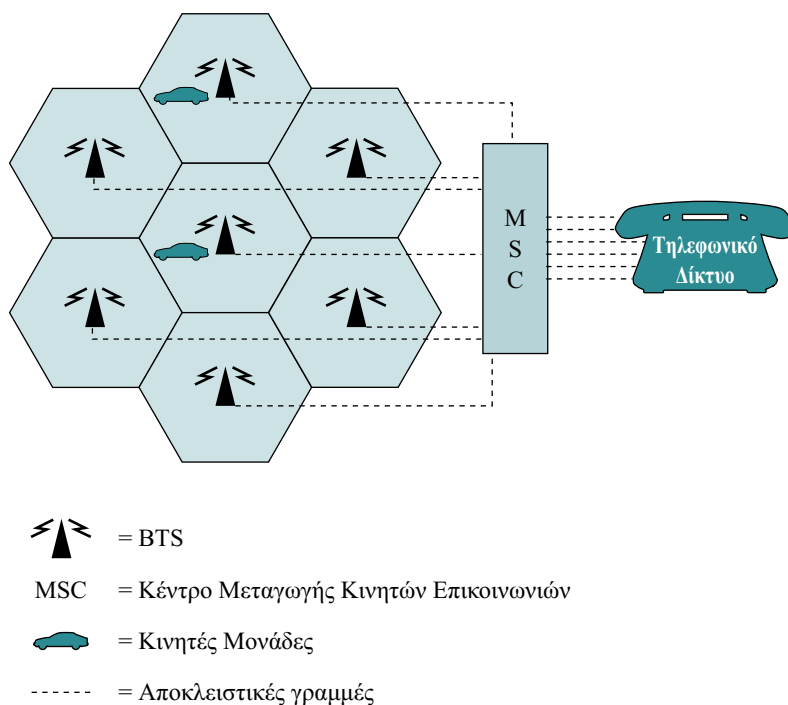
Μια από τις δυσχέρειες των παλαιότερων συστημάτων κινητών επικοινωνιών, όπως στο πιο πάνω παράδειγμα, είναι η περιορισμένη χωρητικότητα του συστήματος μια και το φάσμα συχνοτήτων που διατίθεται για τη ραδιοεπικοινωνία εξαντλείται ολόκληρο. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού εφαρμόστηκε η ιδέα του χωρισμού μιας γεωγραφικής περιοχής σε έναν αριθμό κυψελών. Στις επόμενες παραγράφους θα σκιαγραφηθούν, οι ιδέες της κυψέλης, της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων, της διάσπασης των κυψελών, καθώς και η ιδέα της μεταπομπής, οι οποίες αποτελούν προϋποθέσεις για τη δημιουργία κυψελοειδών δικτύων.

Δραστηριότητα 3.1

Προσδιορίστε τα μειονεκτήματα (περιορισμούς) των κλασικών συστημάτων κινητών επικοινωνιών.

3.1.2.1 Η έννοια της κυψέλης

Η ιδέα της κυψέλης βασίζεται στο χωρισμό ολόκληρης της γεωγραφικής περιοχής, που πρόκειται να εξυπηρετηθεί από ένα σύστημα κινητών ασύρματων επικοινωνιών, σε επιμέρους μικρότερα γεωγραφικά τμήματα που ονομάζονται κυψέλες. Κάθε *κυψέλη* (cell) παριστάνεται ως ένα εξάγωνο, παρότι το πραγματικό σχήμα της μπορεί να διαφέρει λόγω μορφολογίας του εδάφους ύπαρξης εμποδίων για τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων κ.ά. Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από ένα σταθμό πομποδεκτών βάσης BTS, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, ενώ το μέγεθος των κυψελών ανάλογα με τις απαιτήσεις και την πυκνότητα των εξυπηρετούμενων από αυτές χρηστών κυμαίνεται όπως θα εξηγηθεί πιο κάτω.



Σχήμα 3.2

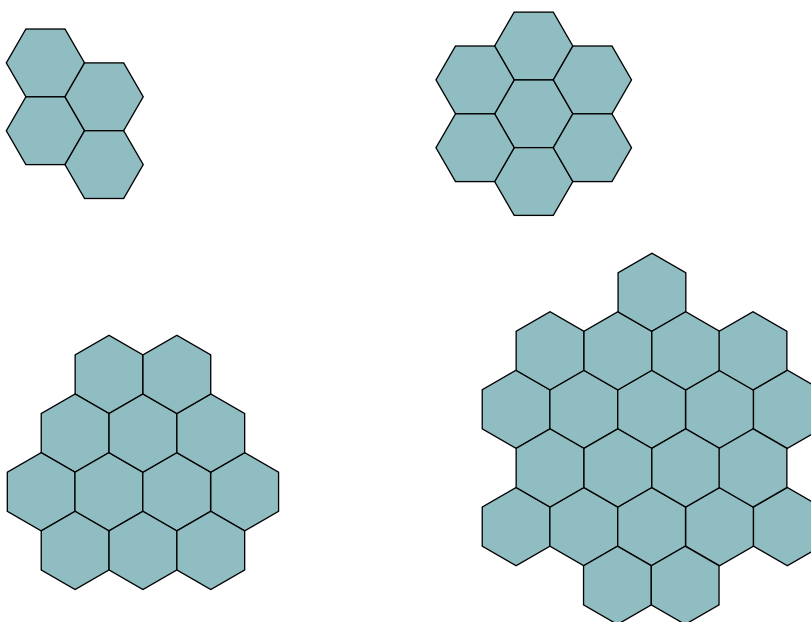
Τυπική τοπολογία
κυψελοειδούς
συστήματος

Οι πομποδέκτες κάθε κυψέλης χρησιμοποιούν ένα ορισμένο μόνο τμήμα του φάσματος συχνοτήτων που αντιστοιχεί σε μια δέσμη καναλιών επικοινωνίας, ώστε να εξυ-

πηρετηθούν οι ανάγκες των χρηστών που βρίσκονται μέσα στην κυψέλη. Τα BTS κάθε κυψέλης συνδέονται με το κέντρο μεταγωγής κινητών επικοινωνιών MSC μέσω αποκλειστικών ενσύρματων γραμμών, ενώ το MSC συνδέεται επίσης μέσω αποκλειστικών γραμμών με το σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο. Όπως είναι φυσικό τα κανάλια επικοινωνίας μιας κυψέλης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους BTS των αμέσως γειτονικών κυψελών διότι θα υπάρξει παρεμβολή μεταξύ των καναλιών που χρησιμοποιούν συνδρομητές που βρίσκονται σε άμεσα γειτονικές κυψέλες (*συγκανάλικη παρεμβολή*).

3.1.2.2 Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

Η *επαναχρησιμοποίηση* των ίδιων *συχνοτήτων* (frequency reuse) ή καναλιών θα μπορούσε να γίνει σε άλλες κυψέλες που θα πρέπει όμως να βρίσκονται σε ικανή απόσταση ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος της παρεμβολής που προαναφέρθηκε. Για το σκοπό αυτό οι κυψέλες ομαδοποιούνται συνήθως σε *ομάδες* ή *συστάδες* (clusters) των 4, 7, 12, 21 ή και παραπάνω κυψελών, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3. Ανάλογα με τον αριθμό κυψελών που αποτελούν τη συστάδα το διαθέσιμο εύρος φάσματος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων (ή ο αντίστοιχος διαθέσιμος αριθμός καναλιών) χωρίζεται σε αντίστοιχες δέσμες που κάθε μια διατίθεται σε κάθε κυψέλη της συστάδας. Έτσι, σε κάθε κυψέλη μιας συστάδας των 7 κυψελών διατίθεται το 1/7 του συνολικού αριθμού των καναλιών επικοινωνίας. Ένα κανάλι που έχει εκχωρηθεί σε μια από τις κυψέλες μιας συστάδας δεν υπάρχει σε καμία άλλη κυψέλη της συστάδας αυτής.



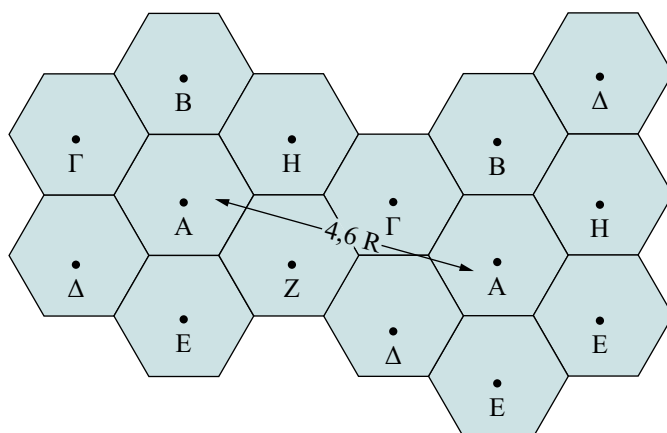
Σχήμα 3.3

Συστάδες 4, 7, 12
και 21 κυψελών

Επαναλαμβάνοντας τη συστάδα σε γειτονικές περιοχές μπορεί να καλυφθεί μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή με έναν αριθμό συστάδων ανάλογα με το σχήμα της προς κάλυψη περιοχής. Στην περίπτωση αυτή οι συχνότητες των κυψελών μιας συστάδας μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε όλες τις συστάδες, αλλά κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές μεταξύ γειτονικών σταθμών – κυψελών.

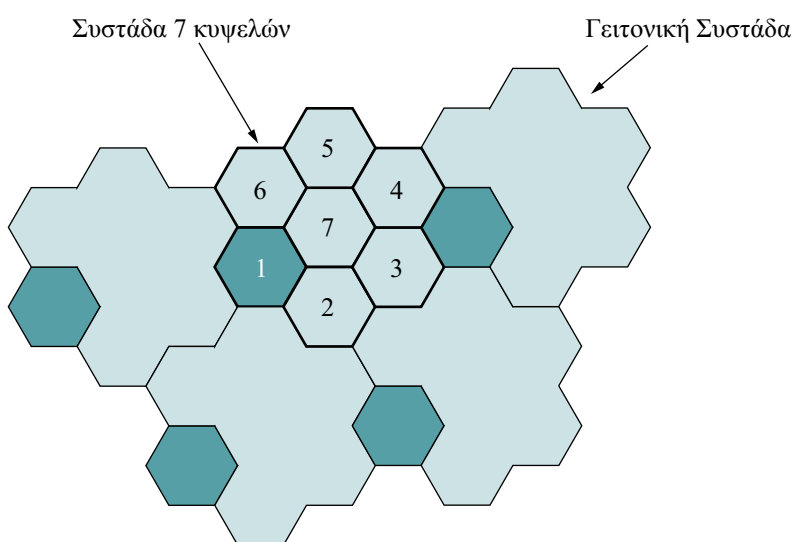
Η **απόσταση επαναχρησιμοποίησης** D καθορίζει τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των κυψελών δύο γειτονικών συστάδων στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες συχνότητες ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο παρεμβολής. Αν η ακτίνα της κυψέλης είναι R και η συστάδα αποτελείται από N κυψέλες, τότε η απόσταση επαναχρησιμοποίησης δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3 \cdot N}$$



Σχήμα 3.4

Απόσταση επαναχρησιμοποίησης σε κυψελωτές συστάδες των 7 κυψελών (Σούλης, 1992)



Σχήμα 3.5

Κυψέλες σε γειτονικές συστάδες που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες

Στο Σχήμα 3.4, το οποίο αποτελείται από συστάδες των 7 κυψελών, φαίνεται η απόσταση επαναχρησιμοποίησης της κυψέλης A , η οποία έχει ακτίνα R . Το Σχήμα 3.5 δείχνει την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων της κυψέλης 1 μιας συστάδας των 7 κυψελών στις γειτονικές συστάδες που καλύπτουν μια ευρύτερη περιοχή.

Δραστηριότητα 3.2

Σχεδιάστε τέσσερις (4) γειτονικές συστάδες των δώδεκα (12) κυψελών η κάθε μία και σημειώστε την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μιας κυψέλης στις αντίστοιχες κυψέλες των γειτονικών συστάδων. (Ενδεικτική απάντηση στο τέλος του βιβλίου).

Δραστηριότητα 3.3

Με ποιον τρόπο αποφεύγονται οι παρεμβολές των συχνοτήτων που διατίθενται για την κάλυψη των αναγκών μιας κυψέλης στις συχνοτητες των γειτονικών κυψελών.

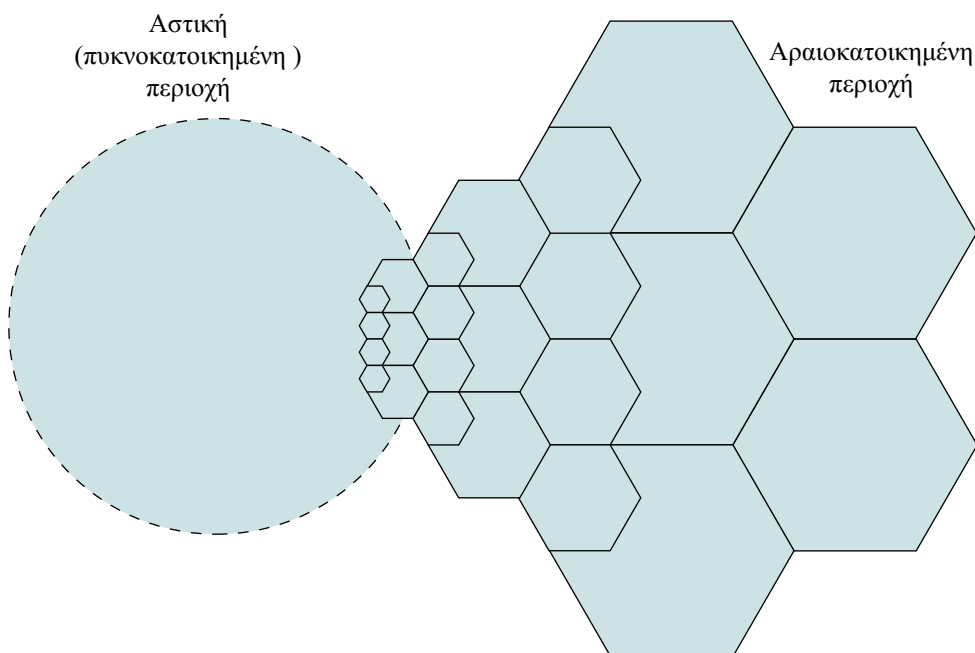
Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.1

Υπολογίστε την απόσταση επαναχρησιμοποίησης σε μια γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από συστάδες των 12 κυψελών, όταν η ακτίνα της κυψέλης είναι ίση με 5 km.

3.1.2.3 Διάσπαση κυψέλης

Σε ορισμένες περιοχές μιας συστάδας, όπως π.χ. σε αστικές περιοχές μεγάλης πυκνότητας χρηστών, είναι δυνατόν η ζήτηση καναλιών να ξεπερνάει τη χωρητικότητα σε κανάλια επικοινωνίας μιας ή περισσότερων κυψελών.

Για την αύξηση της χωρητικότητας (αριθμός διαθέσιμων καναλιών) της περιοχής που καλύπτεται από μία κυψέλη μπορεί να εφαρμοστεί η ιδέα της **διάσπασης** της **κυψέλης** (cell splitting) σε μικρότερες κυψέλες κάθε μία από τις οποίες έχει χωρητικότητα όσο και η μεγάλη κυψέλη, και διαθέτει δικό της σταθμό πομποδεκτών βάσης με μικρότερη όμως ισχύ, ώστε να καλύπτει μόνο την περιοχή της μικρότερης κυψέλης (βλ. Σχήμα 3.6). Εξυπακούεται ότι κάθε μικρή κυψέλη μπορεί να εξυπη-

**Σχήμα 3.6**

Διάσπαση κυψέλης
για την εξυπηρέτη-
ση περιοχών δια-
φορετικής πυκνό-
τητας χρηστών

ρετεί τον ίδιο αριθμό χρηστών με τη μεγάλη κυψέλη, αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιεί δέσμη συχνοτήτων (καναλιών) που δε χρησιμοποιείται σε γειτονικές κυψέλες, ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες παρεμβολές. Για την κάλυψη ακόμα μεγαλύτερων απαιτήσεων εξυπηρέτησης η διάσπαση μπορεί να προχωρήσει σε ένα επίπεδο πιο κάτω με τη διάσπαση κυψελών που έχουν ήδη υποστεί διάσπαση.

Δραστηριότητα 3.4

Τι μέτρα μπορούν να ληφθούν ώστε να αντιμετωπιστεί η αύξηση του αριθμού των συνδρομητών σε μια γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από κυψέλες, όταν ο αριθμός αυτός υπερβεί τον αριθμό με βάση τον οποίο έχει σχεδιαστεί το σύστημα. (Ενδεικτική απάντηση στο τέλος του βιβλίου).

3.1.2.4 Μεταπομπή

Η **εναλλαγή κυψέλης ή μεταπομπή** (handover) δίνει τη δυνατότητα της απρόσκοπτης συνέχισης της επικοινωνίας ενός κινητού σταθμού κατά την κίνησή του από μια κυψέλη προς μια άλλη. Όταν ο κινητός σταθμός (κινητό τηλέφωνο) είναι ενεργός και βρίσκεται στην εμβέλεια του σταθμού πομποδεκτών βάσης μιας κυψέλης αποκαθίστα-

ται η ζεύξη ενώ συγχρόνως καταμετρείται συνεχώς η στάθμη (ένταση) του σήματος. Καθώς το κινητό κινείται προς τα όρια της κυψέλης απομακρυνόμενο από το σταθμό βάσης η ένταση του σήματος μειώνεται και η μείωση αυτή γίνεται αντιληπτή από το σύστημα των σταθμών πομποδεκτών βάσης της κυψέλης. Στην περίπτωση που το σήμα αδυνατίζει σημαντικά τότε αυτόματα και με τη συνεργασία κινητού σταθμού και σταθμού βάσης γίνεται η εκχώρηση ενός άλλου ζεύγους καναλιών επικοινωνίας από μια γειτονική κυψέλη της οποίας το σήμα είναι ισχυρότερο, ενώ το ζεύγος καναλιών της αρχικής κυψέλης απελευθερώνεται. Η επικοινωνία πλέον συνεχίζεται μέσω του σταθμού πομποδεκτών βάσης της νέας κυψέλης, χωρίς να έχει γίνει αντιληπτή η εναλλαγή της σύνδεσης από το χρήστη μια και διαρκεί χιλιοστά μόνο του δευτερολέπτου. Η μεταπομπή γίνεται για έναν από τους παρακάτω λόγους:

- Διατήρηση καλού επιπέδου ποιότητας επικοινωνίας.
- Ισομερής κατανομή της κίνησης μεταξύ κυψελών.
- Ελαχιστοποίηση παρεμβολών και θορύβου.
- Λόγοι συντήρησης του σήματος.

Συναφής με την ιδέα της μεταπομπής είναι και η δυνατότητα **περιαγωγής** (roaming) της λειτουργίας ενός κινητού σταθμού στην περίπτωση που αυτός εισέρχεται σε ένα διαφορετικό κυψελοειδές δίκτυο. Βεβαίως θα πρέπει να υπάρχει για την παροχή της δυνατότητας αυτής, όχι μόνο τεχνολογική συμβατότητα μεταξύ των δύο δικτύων, αλλά και έγκριση παροχής της δυνατότητας αυτής εκ μέρους των παροχέων υπηρεσιών των δύο δικτύων.

Η ιδέα της κάλυψης μιας γεωγραφικής περιοχής με κυψέλες που παρέχουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων, αλλά και διάσπασης των κυψελών ανάλογα με την πυκνότητα των χρηστών των κινητών επικοινωνιών της περιοχής μιας ή περισσότερων κυψελών, καθώς και η δυνατότητα μεταπομπής, οδήγησαν στην πραγματοποίηση κυψελοειδών δικτύων.

Τα πρώτα **αναλογικά κυψελοειδή συστήματα τηλεφωνίας** (συστήματα 1ης γενιάς) τέθηκαν σε εφαρμογή και εμπορική εκμετάλλευση στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Έτσι, το 1978 τέθηκε σε λειτουργία το **σύστημα NMT** (Nordic Mobile Telephone service) στις σκανδιναβικές χώρες, ενώ περί το 1983 δόθηκαν τοπικές άδειες λειτουργίας για το **σύστημα AMPS** (Advanced Mobile Phone Service) στις ΗΠΑ και σε άλλες χώρες. Το 1985 τέθηκε επίσης σε λειτουργία στη Μεγάλη Βρετανία το **σύστημα TACS** (Total Access Communication System) βασισμένο στο AMPS. Ακολούθησαν σε διάφορες χώρες και άλλα παρόμοια συστήματα τα οποία όμως ήταν

μεταξύ τους ασύμβατα με συνέπεια ο συνδρομητής του συστήματος μιας χώρας να μην μπορεί να χρησιμοποιεί την κινητή συσκευή του σε άλλη χώρα. Η έλλειψη συμβατότητας δημιούργησε την ανάγκη για την υιοθέτηση προτύπων στις κινητές επικοινωνίες, ώστε να επιτυγχάνεται η χρησιμοποίηση της τερματικής συσκευής ακόμη και όταν ο συνδρομητής κινείται σε διάφορες χώρες. Η ανάγκη αυτή έγινε ιδιαίτερα πιεστική στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προκειμένου να υποστηριχθεί η επικείμενη κατά τη δεκαετία του 1990 ελεύθερη διακίνηση προσώπων μεταξύ των χωρών της Ένωσης.

Δραστηριότητα 3.5

Ποια είναι τα μειονεκτήματα των αναλογικών κυψελοειδών συστημάτων τηλεφωνίας (συστήματα πρώτης γενιάς);

3.2 Πανευρωπαϊκό Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών – GSM

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτή την ενότητα θα μπορείτε να:

- προσδιορίσετε τους στόχους που τέθηκαν για την ανάπτυξη του GSM.
- περιγράψετε τα βασικά δομικά στοιχεία που συγκροτούν το σύστημα GSM και τη λειτουργία που επιτελεί καθένα από αυτά.
- εξηγήσετε την προτυποποίηση της διεπαφής ενός κινητού σταθμού με το υπόλοιπο σύστημα GSM και τη χωρητικότητα μιας κυψέλης που προκύπτει από την προτυποποίηση αυτή.
- επισημάνετε τις κυριότερες διαφορές μεταξύ των συστημάτων GSM, DCS 1800 και PCS 1900 (TDMA).

Το **Πανευρωπαϊκό Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών** (Global System for Mobile communications, GSM) ήταν η απάντηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην ανάγκη για την τυποποίηση των κινητών επικοινωνιών. Η τυποποίηση αυτή έχει επιτευχθεί από την ειδική ομάδα για τις κινητές επικοινωνίες (Group Special Mobile, GSM) του Ευρωπαϊκού φορέα προτυποποίησης ETSI (βλ. υποενότητα 1.2.2, Κεφαλαίου 1).

3.2.1 Στόχοι του GSM

Η όλη προσπάθεια για την ανάπτυξη του GSM άρχισε επισήμως τον Ιούνιο του 1987

με μια σύσταση και οδηγία του Συμβουλίου Υπουργών της Κοινότητας που έθετε ως στόχο της τη δημιουργία μιας πανευρωπαϊκής δομής κινητών επικοινωνιών και την επιτάχυνση των προσπαθειών για την ανάπτυξη ενός ψηφιακού κυψελοειδούς συστήματος. Ειδικότερα οι στόχοι που τέθηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος αυτού συνοψίζονται ως εξής:

- Να υπάρξει στην Ευρώπη και για όλες τις χώρες της CEPT, ένα ολοκληρωμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας πλήρως ψηφιακό, μέσω του οποίου θα επιτυγχάνεται πλήρης εκμετάλλευση και επαύξηση της χωρητικότητας του διαθέσιμου φάσματος.
- Ποιότητα λόγου τουλάχιστον ίδια με τα αναλογικά συστήματα, αλλά με μεγάλη διασφάλιση του απορρήτου των συνδιαλέξεων, ώστε να μην είναι δυνατόν να υποκλέπτονται.
- Δυνατότητα για διεκπεραίωση μεγάλης πυκνότητας κινήσεως και ικανότητας μετάδοσης δεδομένων.
- Κόστος υποδομής του συστήματος μικρότερο των αναλογικών.
- Ανάπτυξη έξυπνων κινητών σταθμών με προοπτική μείωσης των διαστάσεων και του κόστους τους.
- Να είναι σε θέση να παρέχει σταδιακά ένα πλήθος συμπληρωματικών ευκολιών σε σχέση με τα υπάρχοντα αναλογικά συστήματα. Μεταξύ των ευκολιών θα ήταν η ταυτόχρονη πλέον δυνατότητα συνομιλίας των δύο συνδρομητών, η κλήση σε αναμονή, διάφορες μορφές εκτροπής κλήσεων, η αποσυσχέτιση της συσκευής από το συνδρομητή με τη χρησιμοποίηση της «έξυπνης κάρτας» («Smart Card»), ώστε να χρεώνεται ο εξυπηρετούμενος συνδρομητής και όχι ο κάτοχος της συσκευής και πολλές άλλες.

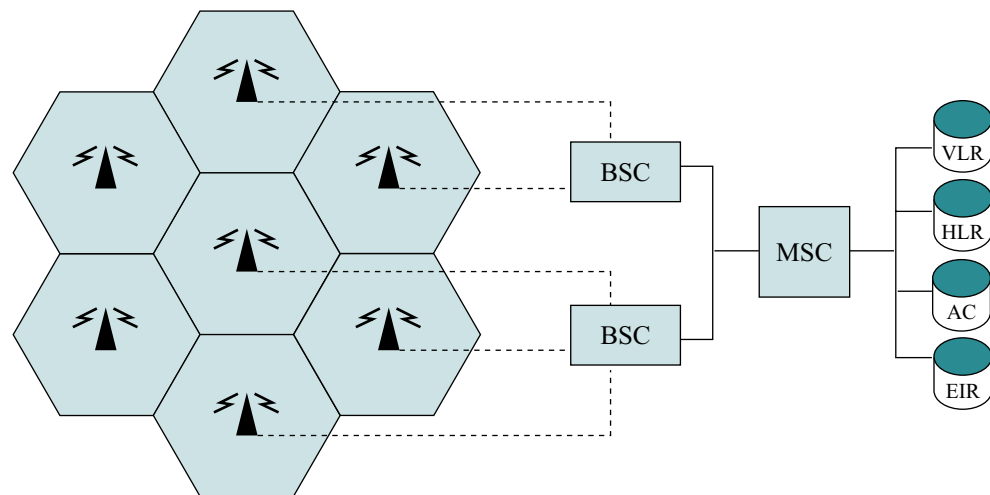
Το σύστημα GSM λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών πλεονεκτημάτων του *αναπτύσσεται* σήμερα *ταχύτατα* με ρυθμούς που φθάνουν το 100% ετησίως. Ο αριθμός των συνδρομητών του ανέρχεται σήμερα (Μάιος 2000) σε 311 εκατομμύρια συνδρομητές, οι οποίοι εξυπηρετούνται από 357 δίκτυα σε ολόκληρο τον κόσμο.

3.2.2 Δομή του συστήματος GSM


Το Σχήμα 3.7 δείχνει τα κύρια δομικά στοιχεία και μια τυπική τοπολογία του συστήματος GSM. Το μέγεθος μιας κυψέλης (ακτίνα) μπορεί σε αραιοκατοικημένες επίπεδες περιοχές να φτάσει τα 35 χιλιόμετρα, ενώ σε αστικές περιοχές με μεγάλη πυκνότητα χρηστών μπορεί να περιοριστεί στην τάξη των εκατοντάδων μέτρων. Ειδικότερα, τα δομικά στοιχεία ενός τυπικού συστήματος GSM επιτελούν τις ακόλου-


θες λειτουργίες:


- Η επικοινωνία του **Κινητού Σταθμού** (Mobile Station, MS) εξασφαλίζεται μέσω του **Σταθμού Πομποδεκτών Βάσης** (Base Transceiver Station, BTS) στην εμβέλεια του οποίου υπάγεται ο Κινητός Σταθμός ο οποίος για το σκοπό αυτό διαθέτει έναν αριθμό καναλιών επικοινωνίας.
- Ένας σταθμός BTS ελέγχεται από μια **Μονάδα Ελέγχου Σταθμών Βάσης** (Base Station Controller, BSC), η οποία είναι μια νέα μονάδα δικτύου που έχει προβλεφθεί από το GSM. Ο σταθμός αυτός διαχειρίζεται μεταξύ άλλων τη διαδικασία της μεταπομπής (handover) και ελέγχει επίσης την ισχύ των σημάτων μεταξύ του BTS και των MS.
- Το **Κέντρο (μεταγωγής) Κινητών Υπηρεσιών** (Mobile services Switching Centre, MSC) είναι η καρδιά του GSM και έχει την ευθύνη αποκατάστασης, διαχείρισης και κατάργησης των κλήσεων και της δρομολόγησής τους προς την κυψέλη προορισμού. Επίσης αποτελεί τη διεπαφή προς το δημόσιο (σταθερό) τηλεφωνικό δίκτυο και εξυπηρετεί τις υπηρεσίες χρέωσης και λογαριασμού. Για το σκοπό αυτό το MSC συνδέεται απευθείας και υποστηρίζεται από τις παρακάτω βάσεις δεδομένων.
- Η **Οικεία Βάση Πληροφοριών** (Home Location Register, HLR), η οποία περιέχει τα μόνιμα κυρίως στοιχεία του συνδρομητή και τις υπηρεσίες που επιτρέπεται ή δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιήσει, καθώς και προσωρινά στοιχεία, όπως π.χ. για την εκάστοτε θέση των συνδρομητών, που αντλούνται από τη βάση αναζήτησης επισκεπτών.
- Η **Βάση Αναζήτησης Επισκεπτών** (Visited Location Register, VLR) περιέχει στοιχεία του συνδρομητή που επισκέπτεται μια συγκεκριμένη περιοχή (περιοχή ενός MSC). Ορισμένα από τα στοιχεία αυτά εισάγονται κατά τη στιγμή της εισόδου του συνδρομητή στην επισκεπτόμενη περιοχή από την οικεία βάση πληροφοριών (HLR) ή από την αντίστοιχη VLR που βρισκόταν προηγουμένως ο συνδρομητής. Έτσι, στη βάση αυτή ενταμιεύονται στοιχεία που αφορούν τα χαρακτηριστικά των συνδρομητών, τις υπηρεσίες που επιτρέπεται να χρησιμοποιούν, καθώς και πληροφορίες που αφορούν την επισκεπτόμενη νέα περιοχή.
- Το **Κέντρο Επαλήθευσης** ταυτότητας των συνδρομητών (Authentication Centre, AuC) ελέγχει και διαχειρίζεται τις πληροφορίες που αφορούν την ασφάλεια του δικτύου του συστήματος. Ειδικότερα ελέγχονται τα χαρακτηριστικά κάθε συνδρομητή που σχετίζονται με την εξακρίβωση της ταυτότητάς του και με την ασφάλεια προσπέλασης του δικτύου. Σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία πιστοποίησης




 = Σταθμός Πομποδεκτών Βάσης (BTS)


 = Μονάδα Ελέγχου Σταθμών Βάσεις

 = Κέντρο Κινητών Υπηρεσιών

 = Βάση Αναζήτησης Επισκεπτών

 = Οικεία Βάση Πληροφοριών

 = Κέντρο Επαλήθευσης

 = Κέντρο Τεκμηρίωσης Κινητών Σταθμών

Σχήμα 3.7

Κύρια δομικά
στοιχεία του
συστήματος GSM
(Black, 1997)

σης διαδραματίζουν η **Έξυπνη Κάρτα** (Subscriber Identity Module, SIM), καθώς και ο **Προσωπικός Αριθμός Ταυτότητας** (Personal Identification Number, PIN) του συνδρομητή τα οποία προσδιορίζουν και «προσωποποιούν» κάθε σταθμό και κάθε χρήστη. Η κάρτα SIM έχει αποθηκευμένα στοιχεία μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται ο αριθμός κινητού τηλεφώνου, ο προσωπικός τηλεφωνικός κατάλογος και στοιχεία αναγνώρισης του συνδρομητή. Έτσι, ο χρήστης έχει κατά βάση τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί **οποιαδήποτε** συσκευή για να τηλεφωνεί και να δέχεται τηλεφωνήματα αρκεί να εγκαθιστά στη συσκευή του τη SIM κάρτα. Τα

εξερχόμενα τηλεφωνήματα χρεώνονται στο συνδρομητή, ενώ τα εισερχόμενα κατευθύνονται στη συσκευή που έχει τοποθετηθεί η έξυπνη κάρτα.

- Το **Κέντρο Τεκμηρίωσης Κινητών Σταθμών** (Equipment Identity Register, EIR) χρησιμοποιείται για την καταγραφή και εποπτεία των κινητών σταθμών. Μια από τις κύριες αποστολές του είναι ο εντοπισμός κλήσεων που προέρχονται από κινητά που, είτε έχουν κλαπεί, είτε δεν έχουν πάρει έγκριση από παροχέα υπηρεσίας, καθώς και η αποτροπή πραγματοποίησης των κλήσεων αυτών.

Ο χρήστης επικοινωνεί με το σύστημα μέσω του **φορητού κινητού σταθμού (χειροσυσκευής)**, ο οποίος εξασφαλίζει όχι μόνο την τηλεφωνική επικοινωνία, αλλά και πλήθος άλλων ευκολιών. Οι σταθμοί αυτοί έχουν ισχύ εκπομπής 2 Watt για το σύστημα GSM 900 και 1 Watt για το σύστημα DCS 1800, το οποίο θα αναφερθεί στα επόμενα.

Δραστηριότητα 3.6

Πώς θα επηρέαζε το σύστημα GSM η απουσία της Βάσης Αναζήτησης Επισκεπτών (VLR);

3.2.3 Διεπαφές και χωρητικότητα

Η δομή του GSM συμπληρώνεται από 4 **διεπαφές** (interfaces) οι οποίες καθορίζουν και τυποποιούν τις λειτουργίες που διεξάγονται μεταξύ των διάφορων τμημάτων που αποτελούν το σύστημα. Η κυριότερη διεπαφή που ενδιαφέρει το χρήστη είναι η διεπαφή U_m που καθορίζει τα χαρακτηριστικά διαλειτουργίας μεταξύ του κινητού χρήστη και του σταθμού BTS και ονομάζεται **διεπαφή αέρος** (air interface). Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τυποποιημένα ως εξής:

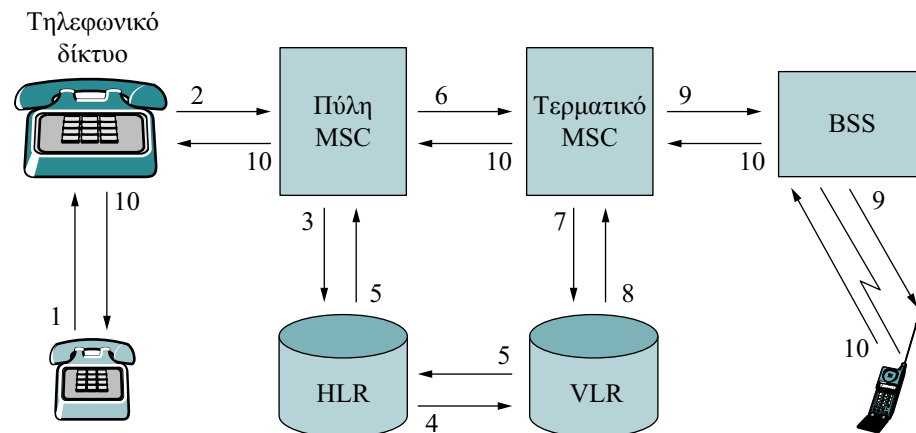
- Το φάσμα των συχνοτήτων χωρίζεται στην περιοχή των 890–915 MHz που εξυπηρετεί τη μετάδοση από το κινητό προς το BTS και στην περιοχή 935–960 MHz για τη μετάδοση από το BTS προς το κινητό.
- Κάθε μια από αυτές τις περιοχές διαθέτει 124 ραδιοκανάλια. Κάθε ραδιοκάνάλι μπορεί να εξυπηρετήσει συγχρόνως 8 συνδρομητές χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου TDMA. Έτσι, από μια κυψέλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν $8 \times 124 = 992$ αμφίδρομες επικοινωνίες.
- Επίσης το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει και επικοινωνίες δεδομένων μέχρι ρυθμό μετάδοσης 9,6 kbit/sec.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το GSM είναι το μόνο σύστημα στο οποίο η τυποποίηση

αφορά **όλα τα τμήματα του συστήματος** σε αντίθεση με άλλα συστήματα που η τυποποίηση αφορά συνήθως μόνο τη διεπαφή αέρος.

Παράδειγμα 3.2

Το πιο κάτω σχήμα δείχνει τη συνεργασία των διάφορων τμημάτων που απαιτούνται για τη δρομολόγηση μιας κλήσης από το συνδρομητή του σταθερού τηλεφωνικού δικτύου προς ένα κινητό τηλέφωνο.



Πιο συγκεκριμένα για τη δρομολόγηση της κλήσης λαμβάνουν χώρα τα εξής:

1. Εκδήλωση κλήσης από σταθερό προς κινητό τηλέφωνο.
2. Το τηλεφωνικό δίκτυο αναγνωρίζει ότι πρόκειται για αριθμό κινητού και το διαβιβάζει προς το πλησιέστερο MSC (πύλη MSC) ώστε να εισέλθει στο σύστημα GSM.
3. Το MSC δεν έχει στοιχεία δρομολόγησης, γι' αυτό τα αναζητεί από το HLR του χρήστη.
4. Το HLR ρωτάει το VLR για στοιχεία της τρέχουσας θέσης.
5. Το VLR δίνει τα στοιχεία της τρέχουσας θέσης προς το HLR το οποίο τα στέλνει στην πύλη MSC που τα έχει ζητήσει.
6. Η κλήση κατευθύνεται στο τερματικό MSC που βρίσκεται ο συνδρομητής του κινητού.
7. Το τερματικό MSC ρωτάει το VLR για να συσχετίσει την κλήση με το συνδρομητή.
8. Το VLR συμφωνεί.
9. Το κινητό ειδοποιείται για την κλήση (κουδούνισμα).

10. Το κινητό απαντάει και μέσω των δύο MSC αποκαθίσταται η επικοινωνία και διεξάγεται η κλήση.

3.2.4 Μετεξέλιξη του Συστήματος GSM

Εκτός από το σύστημα GSM άρχισαν να αναπτύσσονται και άλλα συστήματα (DCS 1800, PCS 1900) τα οποία στηρίζονται στις βασικές ιδέες του GSM.

DCS 1800

Το σύστημα DCS 1800 (Digital Communication System) βασίζεται στην τεχνολογία του GSM, του οποίου αποτελεί μετεξέλιξη προς την κατεύθυνση των *Υπηρεσιών Προσωπικών Επικοινωνιών* (Personal Communication Services, PCS), μόνο που χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz εξασφαλίζοντας τη χρήση μικρότερων κυψελών (ακτίνα κάλυψης 8 km περίπου).

Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των δύο συστημάτων GSM 900 και DCS 1800 είναι οι εξής:

- Η ζώνη συχνοτήτων του DCS είναι 1710 – 1785 MHz (κινητό προς BTS) και 1805 – 1880 MHz (BTS προς κινητό), δηλαδή συνολικά 2 ζώνες των 75 MHz έναντι δύο ζωνών των 45 MHz του GSM.
- Κάθε μια από τις περιοχές αυτές διαθέτει 377 κανάλια. Έτσι, σύμφωνα με την ίδια τεχνική του GSM μπορούν να εξυπηρετηθούν από μια κυψέλη DCS, 2.992 επικοινωνίες έναντι 992 του GSM.

Η μείωση της ακτίνας των κυψελών σε συνδυασμό με τον τριπλασιασμό περίπου της ζώνης των συχνοτήτων σε κάθε κανάλι καθιστά το σύστημα DCS καταλληλότερο για την εξυπηρέτηση περιοχών μεγάλης πυκνότητας συνδρομητών, όπως π.χ. στις αστικές περιοχές. Λόγω του μικρότερου μεγέθους των κυψελών απαιτούνται για το DCS 1800 περισσότεροι σταθμοί βάσης για την κάλυψη μιας περιοχής από ότι για το GSM. Έτσι, οι επενδύσεις για το DCS είναι γενικώς υψηλότερες από ότι για το GSM, αλλά λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας συνδρομητών οι προοπτικές απόσβεσης είναι θετικές. Κατά τα λοιπά χαρακτηριστικά όπως ποιότητα επικοινωνίας, εξασφάλιση κρυπτογραφίας, κ.λπ. ισχύουν τα ίδια όπως και στο GSM. Το σύστημα GSM μπορεί να εξυπηρετηθεί, είτε με αποκλειστικά δικά του τερματικά, είτε με *δίτροπες* χειροσυσκευές (dual mode handsets) κατάλληλες, τόσο για το σύστημα GSM όσο και για το σύστημα DCS 1800.

PCS 1900 (TDMA)

Στη Βόρεια Αμερική έχει αναπτυχθεί το αντίστοιχο των συστημάτων GSM και DCS

1800 με την ονομασία PCS 1900 (TDMA). Το σύστημα αυτό λειτουργεί στην περιοχή των 1900 MHz, είναι παρόμοιας τεχνολογίας με τα συστήματα GSM και DCS και χρησιμοποιεί το ίδιο ακριβώς πρωτόκολλο U_m με αυτά. Η διαφορά του συστήματος PCS με τα άλλα δύο ευρωπαϊκά συστήματα αναφέρεται στη χρησιμοποίηση ζώνης συχνοτήτων που αποτελείται από 2 περιοχές πλάτους 60 MHz η κάθε μία.

Δραστηριότητα 3.7

Ποιες είναι οι βασικές διαφορές μεταξύ των συστημάτων GSM 900, DCS 1800 και PCS 1900; (Ενδεικτική απάντηση στο τέλος του βιβλίου).

3.3 Ασυρματικά Συστήματα Τηλεπικοινωνιών

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτή την ενότητα θα μπορείτε να:

- ορίσετε την έννοια ενός ασυρματικού τηλεφώνου και να την αντιδιαστείλετε με τις έννοιες αφενός των σταθερών τηλεφώνων και αφετέρου των κυψελοειδών τηλεφώνων.
- προσδιορίσετε περιοχές εφαρμογών των συστημάτων ασυρματικών επικοινωνιών.
- περιγράψετε τα κυριότερα συστήματα ασυρματικών τηλεφώνων.

Ο όρος **ασυρματικά συστήματα** (cordless systems) ή **ασυρματικά τηλέφωνα** (Cordless Telephones, CTs) χρησιμοποιήθηκε για την αναφορά σε τηλέφωνα συνδεδεμένα με το σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο οι συσκευές των οποίων, αντί όπως τα κοινά τηλέφωνα να διαθέτουν καλώδιο το οποίο συνδέει τη **βάση** της **τηλεφωνικής συσκευής** με τη χειροσυσκευή (ακουστικό – μικρόφωνο), επιτυγχάνουν τη σύνδεση μεταξύ **χειροσυσκευής** και βάσης μέσω **ασυρματικής ζεύξης**. Έτσι, τόσο η βάση που συνδέεται με το τηλεφωνικό δίκτυο με μια καλωδιακή γραμμή όσο και η χειροσυσκευή περιέχουν έναν πομποδέκτη μικρής εμβέλειας και ο χρήστης μπορεί έχοντας τη χειροσυσκευή στα χέρια του να κινείται σε μια ορισμένη απόσταση (μέχρι 300 μέτρα περίπου από τη βάση) και να συνομιλεί συγχρόνως **χωρίς να περιορίζεται στην κίνησή του** από την ύπαρξη κάποιου καλωδίου.

Τα πρώτα ασυρματικά συστήματα που αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν ήταν **αναλογικά** και στηρίχθηκαν σε διάφορα πρότυπα, όπως CT0 και CT1. Υπήρχε όμως η τάση για τη δημιουργία κοινής προσέγγισης ως προς τα πρότυπα. Τα συστήματα 2ης γενιάς, όπως το CT2 και το DECT, είναι **ψηφιακά, κυψελοειδή**, χαρακτηρίζονται

από *χαμηλή ισχύ* και παρέχουν *υψηλής ποιότητας υπηρεσίες* επικοινωνίας (όχι μόνο ομιλία). Η τυποποίηση στα συστήματα αυτά δεν αφορά ολόκληρο το σύστημα, όπως στο GSM, αλλά μόνο τη διεπαφή αέρος. Χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι το *μικρό μέγεθος της κυψέλης* και η *ανάγκη για αργή κίνηση* του κινητού, αφού ο κύριος σκοπός του είναι η επικοινωνιακή κάλυψη πεζών σε *περιορισμένους* εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.

Τα συστήματα αυτά υποστηρίζουν διάφορες *κατηγορίες εφαρμογών* που απευθύνονται:

- Σε *οικιακούς συνδρομητές* που επιθυμούν να κινούνται στα όρια της κατοικίας τους, χωρίς όμως τον περιορισμό του τηλεφωνικού καλωδίου.
- Σε *επαγγελματίες* που εργάζονται στο χώρο μιας επιχείρησης και επιθυμούν επίσης ελεύθερη από καλώδια κίνηση στον ευρύτερο επιχειρησιακό χώρο. Τα επιχειρησιακά αυτά συστήματα μπορούν να καλύψουν ανάγκες μικρών αλλά και μεγάλων κτιρίων επιχειρήσεων *αντικαθιστώντας ή συμπληρώνοντας* υπάρχοντα *συστήματα δευτερευουσών εγκαταστάσεων κέντρων PABX* (Private Automatic Branch Exchange) της επιχείρησης. Ιδιαίτερα για ένα πολυώροφο εκτεταμένο κτίριο, το σύστημα μπορεί να περιλάβει πολλές μικρές κυψέλες κάθε μια από τις οποίες μπορεί να καλύπτει μια περιοχή ή έναν όροφο του κτιρίου. Οι κυψέλες αυτές μπορούν να συνεργάζονται με έναν *κεντρικό ελεγκτή*, ανάλογο με τον BSC στα συστήματα GSM, και να αποτελούν *ολοκληρωμένα μικρά ιδιωτικά δίκτυα*.
- Στο *ευρύτερο κοινό ως δημόσια ασυρματικά συστήματα*. Τέτοια συστήματα που έχουν πραγματοποιηθεί με την ονομασία *Telepoint* μπορούν να εγκατασταθούν σε αεροδρόμια, μεγάλους σιδηροδρομικούς σταθμούς, ζώνες πεζών και άλλους χώρους στους οποίους ο κάθε συνδρομητής που θέλει να επικοινωνήσει πρέπει να είναι εφοδιασμένος με το σχετικό κινητό πομποδέκτη.
- Ως *ασυρματική σύνδεση τοπικού βρόχου* (Radio in the Local Loop, RLL), όπου δηλαδή μπορεί να αντικαταστήσει τη σύνδεση που έχει ο κάθε ένας συνδρομητής ενός δικτύου με το υπόλοιπο δίκτυο, η οποία στα περισσότερα σημερινά δίκτυα πραγματοποιείται με χάλκινα καλώδια. Με τη σύνδεση αυτή μπορούν να παρασχεθούν στο συνδρομητή διάφορες υπηρεσίες, όπως, τηλεφωνία, πρόσβαση ISDN, κ.ά., παρακάμπτοντας και υποκαθιστώντας τον συμβατικό τοπικό καλωδιακό συνδρομητικό βρόχο.
- Οι χειροσυσκευές των συστημάτων αυτών μπορούν να συνδυαστούν και να παρέχουν πρόσβαση, τόσο στα συστήματα DECT όσο και στα κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα GSM, κ.λπ. και να εξυπηρετούν εντός της επιχείρησης επικοινων-

νίες και με το ασυρματικό PABX και με τα κυψελοειδή συστήματα τηλεφωνίας.

3.3.1 CT2

Το **σύστημα CT2** αποτελεί το αποτέλεσμα της σχετικής τυποποίησης που έγινε στη Μεγάλη Βρετανία στα μέσα της δεκαετίας του 1980 και η οποία μεταξύ άλλων είχε ως σκοπό να εξασφαλίσει τη διαλειτουργία του με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα αναλογικής τεχνολογίας.

Η τεχνολογία CT2 λειτουργεί με βάση τις αρχές της **πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου** (TDM), καλύπτει το φάσμα συχνοτήτων από 846,1 MHz έως 868,1 MHz και υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης ομιλίας 32 kbit/s. Η κωδικοποίηση της ομιλίας με τη μέθοδο ADPCM δίνει εξαιρετική ποιότητα ομιλίας, ανάλογη με αυτή του δικτύου ISDN. Με την παρεχόμενη κρυπτογράφηση της ομιλίας εξασφαλίζεται το σύστημα αυτό από υποκλοπές. Επίσης, το σύστημα παρέχει δυνατότητες για επικοινωνία δεδομένων. Το σύστημα έχει εφαρμοστεί σε πολλές περιπτώσεις ως δημόσιο σύστημα με την ονομασία Telepoint αλλά και σε επιχειρησιακές επικοινωνίες. Μαζί με το σύστημα DECT που θα περιγραφεί παρακάτω ισχύει ως **ευρωπαϊκό πρότυπο** και έχει διαδοθεί και σε άλλες χώρες, όπως ο Καναδάς, η Ιαπωνία και άλλες ασιατικές χώρες.

3.3.2 DECT / PWT

Το πρότυπο **Βελτιωμένες Ψηφιακές Τηλεπικοινωνίες με Ασυρματικά Τηλέφωνα** (Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT) θεωρείται, όπως και το CT2, όχι μόνο ως η μετάβαση προς τα ασυρματικά συστήματα 2ης γενιάς, αλλά και ως η καταλληλότερη τεχνολογία για την υποστήριξη συστημάτων ιδιωτικών τηλεφωνικών κέντρων PABX στις επιχειρήσεις.

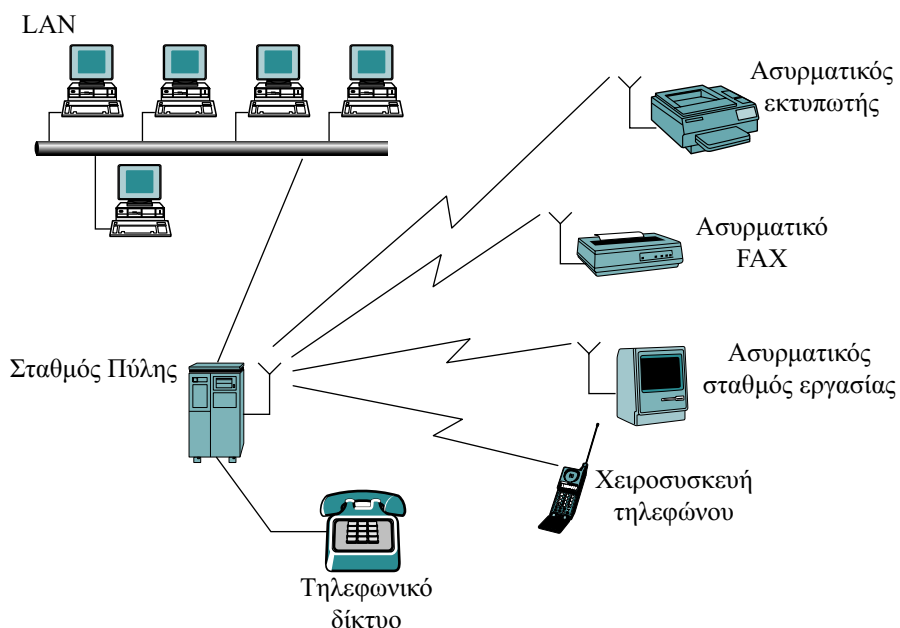
Η τυποποίηση του DECT άρχισε τα μέσα της δεκαετίας του '80 από την CEPT, μεταφέρθηκε στο ETSI κατά την ίδρυσή του το 1988 και κατέστη το 1992 επίσημο **πανευρωπαϊκό πρότυπο**. Το DECT λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων 1880–1990 MHz και όπως το CT2 κωδικοποιεί την ομιλία με τη μέθοδο ADPCM, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης της ομιλίας ανέρχεται επίσης σε 32 kbit/s επιτρέποντας τη σύγχρονη διεξαγωγή 12 αμφίδρομων τηλεφωνικών συνδιαλέξεων. Η κάθε κυψέλη του έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει περισσότερους συνδρομητές από το CT2. Το σύστημα DECT έχει επίσης αυξημένες δυνατότητες για **επικοινωνία δεδομένων** έναντι του συστήματος CT2 με τη χρησιμοποίηση ενός διαστρωματωμένου πρωτοκόλλου που βασίζεται στο OSI και στο πρότυπο IEEE 802. Το Σχήμα 3.8 δείχνει ένα σύστημα το οποίο μέσω ενός ασυρματικού σταθμού βάσης μπορεί να εξυπηρετήσει ασυρματικά τερματικά τηλεφωνίας και ψηφιακές συσκευές και να τα συνδέσει μέσω σταθμών πυλών,

τόσο με το σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο όσο και με άλλα δίκτυα (π.χ. LAN).

Σχεδόν όμοιο με το σύστημα DECT είναι και το αντίστοιχο **σύστημα PWT** (Personal Wireless Telecommunications) που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων προκύπτει από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ Ευρώπης και ΗΠΑ στην κατανομή του φάσματος συχνοτήτων στα δύο συστήματα.

Δραστηριότητα 3.8

Μπορεί ένα σύστημα DECT να υποκαταστήσει ένα σύστημα GSM και αν ναι σε ποιες περιπτώσεις; (Ενδεικτική απάντηση στο τέλος του βιβλίου).



Σχήμα 3.8

Επικοινωνίες δεδομένων μέσω συστήματος DECT (Black, 1997)

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.2

Είναι σωστό ή λάθος ότι:	ISO	ETSI
Τα συστήματα DECT και CT2 δεν μπορούν να υλοποιήσουν υπηρεσίες για το ευρύ κοινό.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Το σύστημα DECT αποτελεί μετεξέλιξη του GSM.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Το σύστημα GSM μπορεί να παρέχει υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων (Short Message Service, SMS).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.4 Δορυφορικές Κινητές Επικοινωνίες

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτή την ενότητα θα μπορείτε να:

- καθορίσετε τα γενικά χαρακτηριστικά ενός δορυφορικού συστήματος επικοινωνιών·
- προσδιορίσετε τις κύριες τροχιές των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για κινητές επικοινωνίες με τα χαρακτηριστικά της κάθε τροχιάς·
- συγκρίνετε τις διάφορες κατηγορίες των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται στις κινητές επικοινωνίες·
- περιγράψετε αντιπροσωπευτικά συστήματα δορυφόρων κινητών επικοινωνιών και να προσδιορίσετε τομείς εφαρμογών τους και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι αποτελούν μαζί με τις οπτικές ίνες και τα κυψελοειδή δίκτυα τα τρία σημαντικότερα επιτεύγματα της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας κατά τα τελευταία χρόνια. Σχετικά με τις κινητές επικοινωνίες το ενδιαφέρον εστιάζεται κατά την τελευταία δεκαετία στη σύγκλιση και ολοκλήρωση των επίγειων συστημάτων με τα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών προς την κατεύθυνση ενός **παγκόσμιου συστήματος κινητών επικοινωνιών**.

Οι **δορυφορικές κινητές υπηρεσίες** (Mobile Satellite Services, MSS) μπορούν να προσφέρουν πραγματικά παγκόσμια κάλυψη, πράγμα δυσχερές για τα κυψελοειδή επίγεια δίκτυα, ιδιαίτερα μάλιστα σε αραιοκατοικημένες περιοχές του πλανήτη ή σε τηλεπικοινωνιακά λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, όπου λείπει η επίγεια τηλεπικοινωνιακή υποδομή ή δεν μπορεί να δημιουργηθεί με γοργούς ρυθμούς.

3.4.1 Εισαγωγικές έννοιες – Βασικά χαρακτηριστικά επικοινωνιακών δορυφόρων

Ο Arthur C. Clarke, που από πολλούς θεωρείται ο πατέρας των σύγχρονων δορυφορικών επικοινωνιών, είχε προτείνει το 1945 ένα παγκόσμιο σύστημα δορυφορικής επικοινωνίας το οποίο θα μπορούσε να λειτουργεί με 3 δορυφόρους τοποθετημένους σε ειδική τροχιά. Η τροχιά αυτή που ονομάζεται **γεωστατική** (Geostationary Earth Orbit, GEO) είναι μια κυκλική τροχιά στο επίπεδο που ορίζει ο Ισημερινός και σε ύψος 36.000 km περίπου πάνω από την επιφάνεια της γης. Στην απόσταση αυτή η γωνιακή ταχύτητα του δορυφόρου συμπίπτει με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης, έτσι ώστε ο δορυφόρος να φαίνεται από ένα σταθερό σημείο της επι-

φάνειας της γης ως ακίνητος στην ίδια πάντα θέση του διαστήματος. Από το ύψος αυτό ο δορυφόρος «βλέπει» περισσότερο από το $1/3$ της επιφάνειας της γης. Έτσι, με τρεις γεωστατικούς δορυφόρους (σε γωνιακή απόσταση 120° μεταξύ τους στο επίπεδο που ορίζει ο Ισημερινός) είναι δυνατόν να επιτευχθεί παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή κάλυψη (με εξαίρεση τις περιοχές γύρω από το Νότιο και Βόρειο Πόλο).

Ο δορυφόρος αποτελεί ένα **σταθμό αναμετάδοσης** που λαμβάνει *με τις κεραίες που διαθέτει* τα εκπεμπόμενα από τις **κεραίες των σταθμών εδάφους** σήματα και αφού τα επεξεργαστεί (ενίσχυση, μετατόπιση συχνότητας, κ.λπ.) μέσω των **αναμεταβιβαστών** (transponders) που διαθέτει, τα επανεκπέμπει προς τον αντίστοιχο σταθμό εδάφους που τα λαμβάνει επίσης με τις κεραίες του. Η συχνότητα εκπομπής (από σταθμό εδάφους προς δορυφόρο) διαφέρει από τη συχνότητα λήψης (δορυφόρος προς σταθμό εδάφους). Γενικά, οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από τους δορυφόρους (βλ. *Πίνακα 3.1*) διαφέρουν ανάλογα με το είδος των προσφερόμενων υπηρεσιών, τη γεωγραφική κάλυψη, το είδος του δορυφόρου και καθορίζονται διεθνώς από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών και ειδικότερα από τις **Παγκόσμιες Συνσκέψεις για τις Ραδιοσυχνότητες** (World Radio Conferences, WRC) και άλλους οργανισμούς. Σημειώνεται ότι από το κάθε ζεύγος ζωνών συχνοτήτων η χαμηλότερη ζώνη χρησιμοποιείται για το **κατερχόμενο τμήμα** (downlink) που αφορά επικοινωνία από δορυφόρο προς σταθμό εδάφους, ενώ η υψηλότερη ζώνη χρησιμοποιείται από το **ανερχόμενο τμήμα** (uplink), δηλαδή από σταθμό εδάφους προς δορυφόρο.

Λόγω της μεγάλης απόστασης που διανύουν τα σήματα κάνοντας τη διαδρομή σταθμός εδάφους – δορυφόρος – σταθμός εδάφους, παρατηρείται η ονομαζόμενη **καθυστέρηση πλήρους διαδρομής** (round trip delay) των σημάτων (της τάξης των 0,24 sec στους γεωστατικούς δορυφόρους) που επιδρά δυσμενώς σε ορισμένους τύπους επικοινωνιών. Ο χρόνος καθυστέρησης προκύπτει αν ληφθεί υπόψη ότι η απόσταση «σταθμός εδάφους – δορυφόρος – σταθμός εδάφους» ανέρχεται σε 72.000 km ($36.000 + 36.000$) και η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι 300.000 km/sec.

Ανάλογα με τη σύνδεση του τελικού χρήστη με το δορυφόρο διακρίνονται δύο συστήματα δορυφόρων: Οι **δορυφόροι έμμεσης εκπομπής**, όπου ο τελικός χρήστης επικοινωνεί (συνήθως μέσω του ενσύρματου επίγειου δικτύου) με τον πλησιέστερο σταθμό εδάφους, οπότε ο δορυφόρος παρεμβάλλεται έμμεσα στο σύστημα επικοινωνίας και οι **δορυφόροι άμεσης εκπομπής** (Direct Broadcasting Satellites, DBS), όπου ο τελικός χρήστης επικοινωνεί με τις κεραίες του τερματικού του κατευθείαν με το δορυφόρο.

Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι συμπληρώνουν την επίγεια δικτυακή υποδομή προ-

σφέροντας σε ορισμένες περιπτώσεις σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των ενσύρματων δικτύων. Τα **πλεονεκτήματα** αυτά είναι συνοπτικά τα εξής:

- Προσφέρονται καλύτερα για υπηρεσίες εκπομπής και για υπηρεσίες τύπου «ένας προς πολλούς».
- Προσφέρουν εύκολη πρόσβαση σε μεγάλης έκτασης απομακρυσμένες περιοχές.
- Το κόστος μεταβίβασης είναι ανεξάρτητο από την απόσταση.
- Προσφέρουν γρήγορα δυνατότητες επικοινωνίας σε περιοχές όπου η ανάπτυξη ενσύρματης δικτυακής υποδομής θα απαιτούσε πολύ χρόνο.
- Προσφέρονται καλύτερα για κινητές και προσωπικές επικοινωνίες σε παγκόσμιο επίπεδο.

Τα πλεονεκτήματα αυτά καθόρισαν τη μέχρι τώρα εξέλιξη των δορυφορικών επικοινωνιών, ενώ η ανάπτυξη των συστημάτων δορυφόρων στο μέλλον φαίνεται να εξασφαλίζει και τις μελλοντικές διαφοροποιημένες ανάγκες των χρηστών.

3.4.2 Κατηγορίες και χαρακτηριστικά επικοινωνιακών δορυφόρων

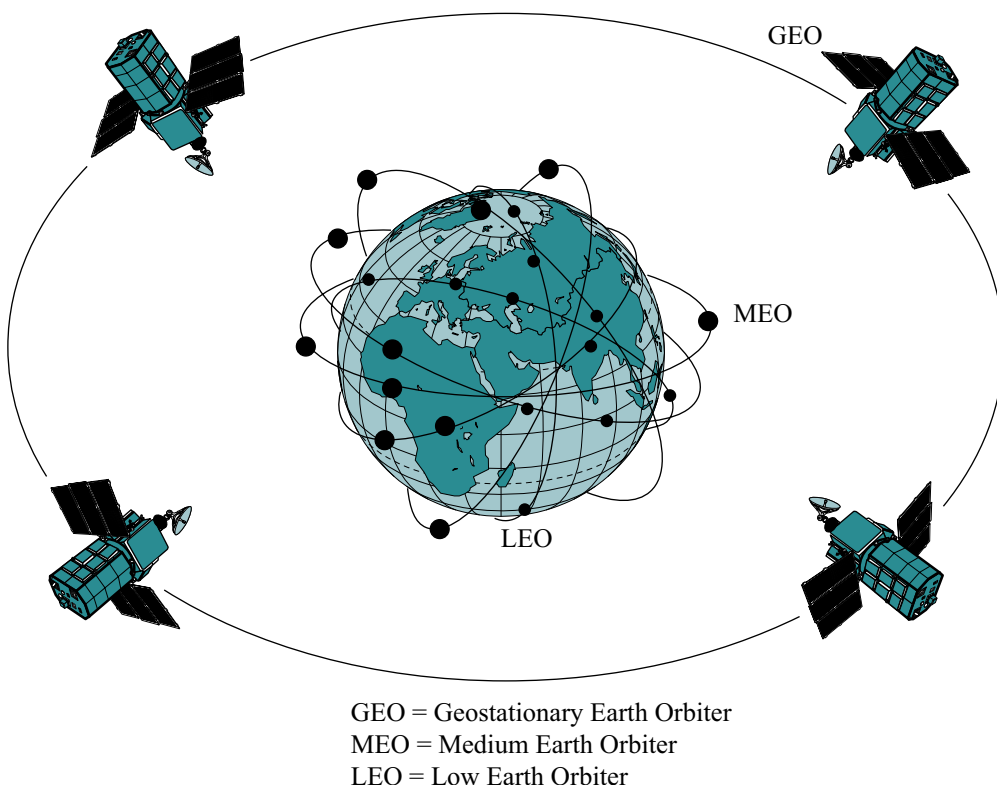
Για την ταξινόμηση των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων που προορίζονται για κινητές επικοινωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα **κριτήρια** τα κυριότερα των οποίων είναι τα εξής:

- **Τροχιά** (orbit): Η επιλογή της τροχιάς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό ολόκληρου του δορυφορικού συστήματος.
- **Ωφέλιμο φορτίο** (payload): Καθορίζει τη χωρητικότητα και τη δυναμικότητα του συστήματος.
- **Περιοχή κάλυψης** (coverage): Καθορίζει το **πλήθος των διακριτών δεσμών** (spot beams), καθώς και των αντίστοιχων περιοχών της επιφάνειας της γης (footprints: **αποτυπώματα**) που καλύπτονται από τις διακριτές δέσμες που εκπέμπονται από τις κεραίες των δορυφόρων.
- **Ζώνη συχνοτήτων**: Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, τόσο για τις επιδόσεις του συστήματος όσο και για την αδειοδότηση λειτουργίας των δορυφόρων από τις κατά περίπτωση υπερεθνικές ή εθνικές αρχές.

3.4.2.1 Τροχιές επικοινωνιακών δορυφόρων

Η τροχιά όπως αναφέρθηκε είναι καθοριστικό στοιχείο για τη διαμόρφωση ενός δορυφορικού συστήματος. Με βάση τη μορφή, το ύψος και τη γωνία της τροχιάς σε

σχέση με το επίπεδο του Ισημερινού διακρίνονται τρεις κύριες κατηγορίες δορυφορικών συστημάτων, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9

Κατηγορίες δορυφορικών συστημάτων GEO, LEO και MEO (Huber, 1998)

ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ – GEO

Οι **γεωστατικοί δορυφόροι** ή **δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς** (Geostationary Earth Orbit, GEO), όπως περιγράφηκαν στην προηγούμενη υποενότητα 3.4.1, κυριάρχησαν στη σκηνή των δορυφορικών επικοινωνιών κατά τα τελευταία 30 χρόνια. Παρά τα μεγάλα πλεονεκτήματά τους συνοδεύονται από ορισμένα μειονεκτήματα ως προς την καταλληλότητά τους για τα συστήματα των κινητών επικοινωνιών. Τα μειονεκτήματα αυτά προέρχονται από τη μεγάλη ακτίνα της τροχιάς τους και είναι:

- Η καθυστέρηση πλήρους διαδρομής που στις αμφίδρομες επικοινωνίες φθάνει το μισό δευτερόλεπτο και επιδρά στις τηλεφωνικές επικοινωνίες.
- Η απαιτούμενη υψηλή ισχύς των κινητών τερματικών (κινητά τηλέφωνα που επικοινωνούν απευθείας με το δορυφόρο) δεδομένου ότι η ισχύς αυξάνεται με το τετράγωνο της απόστασης. Η υψηλή ισχύς όμως έχει ως αποτέλεσμα τα φορητά

κινητά τερματικά του χρήστη να έχουν μεγάλο όγκο και βάρος περιορίζοντας την κινητότητά τους (mobility).

- Επίσης η τροχιά αυτή αποκλείει την επικοινωνία των περιοχών περί τους πόλους της γης.

Για το λόγο αυτό αυξάνεται το ενδιαφέρον όσον αφορά τις κινητές επικοινωνίες προς τα συστήματα των **δορυφόρων μη γεωστατικής τροχιάς** (Non GeoStationary Orbit, NGSO), όπως οι παρακάτω αναφερόμενες κατηγορίες MEO και LEO.

ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΜΕΣΑΙΑΣ ΓΗΙΝΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ (MEDIUM EARTH ORBIT, MEO)

Οι δορυφόροι αυτοί καλύπτουν κυκλικές τροχιές ύψους 10.000 – 15.000 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της γης. Οι τροχιές αυτές βρίσκονται ανάμεσα στις δύο λεγόμενες **ζώνες Van Allen**. Οι ζώνες αυτές που περιβάλλουν τη γη χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη υψηλής ιονίζουσας ακτινοβολίας που μπορεί να βλάψει τα ηλεκτρονικά μέρη ενός δορυφόρου. Οι δύο αυτές ζώνες καλύπτουν τις περιοχές ύψους από την επιφάνεια της γης, η μεν πρώτη από 1.500 έως 5.000 km και η δεύτερη από 13.000 έως 20.000 km. Στις περιοχές αυτών των υψών πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση δορυφόρων. Για παγκόσμια κάλυψη απαιτούνται 10 – 15 δορυφόροι MEO καθένας από τους οποίους είναι ορατός από ένα σημείο της γης κατά μέσο όρο 1–2 ώρες.

Η τροχιά αυτή που ονομάζεται και **ενδιάμεση κυκλική τροχιά** (Intermediate Circular Orbit, ICO) αποτελεί συμβιβαστική λύση μεταξύ των απαιτήσεων της τροχιάς GEO και της LEO που αναφέρεται στη συνέχεια.

ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΓΗΙΝΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ (LOW EARTH ORBIT, LEO)

Το ύψος της τροχιάς τους που μπορεί να είναι κυκλική ή ελλειπτική κυμαίνεται από 750 – 1.450 km και βρίσκεται κάτω από τις ζώνες Van Allen. Το μικρό ύψος της τροχιάς όμως απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό δορυφόρων, καθώς και αύξηση της **ελάχιστης γωνίας ανύψωσης**, της γωνίας δηλαδή που σχηματίζεται από τη γραμμή που ενώνει ένα σημείο της γης με το δορυφόρο και το οριζόντιο επίπεδο στο σημείο αυτό. Η χαμηλή επίσης τροχιά επιβάλλει, λόγω της μείωσης του χρόνου που είναι ορατός ένας δορυφόρος (της τάξεως των λεπτών), **συχνότερες μεταπομπές**, αφενός μεταξύ κινητών συσκευών και δορυφόρων και αφετέρου μεταξύ των δορυφόρων.

Τα μειονεκτήματα αυτά αντισταθμίζονται όσον αφορά τις κινητές επικοινωνίες από **σημαντικά πλεονεκτήματα**, τα κυριότερα από τα οποία είναι η καλή εκμετάλλευση της ισχύος, η μικρή καθυστέρηση πλήρους διαδρομής, η ευκολότερη τοποθέτηση του δορυφόρου σε τροχιά και η καλύτερη υποστήριξη κινητών τερματικών των οποίων το

Κατηγορία Τροχιάς	Ύψος Τροχιάς	Ελάχιστη Γωνία Ανύψωσης	Περίοδος Τροχιάς	Ακτίνα Εξυπηρέτησης	Μέγιστη Απόσταση Δορυφόρου–Τερματικού
GEO	35.783 km	5°	24 h	8.940 km	41.120 km
MEO	10.355 km	10°	6 h	6.556 km	14.400 km
		20°		5.455 km	13.440 km
		30°		4.531 km	12.610 km
LEO	1.390 km	10°	114 min		3.460 km
		20°			2.700 km
		30°			2.270 km
LEO	780 km	10°	100 min	2.081 km	2.330 km
		20°		1.458 km	1.730 km
		30°		1.058 km	1.360 km

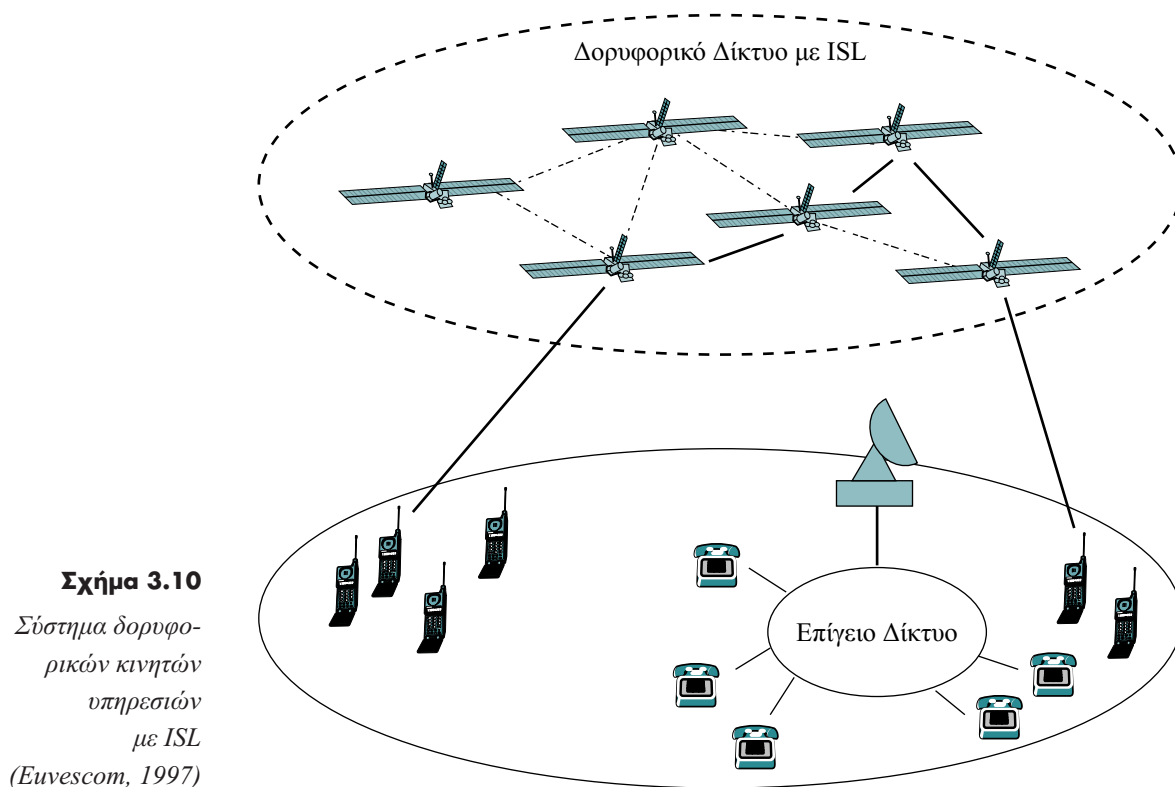
Πίνακας 3.2
Βασικές παράμετροι δορυφορικών τροχιών

μέγεθος και το βάρος μπορεί να περιοριστεί σημαντικά λόγω των μικρών απαιτήσεων σε ισχύ που προέρχεται αντιστοίχως από τις μικρές απώλειες μετάδοσης λόγω μικρής απόστασης τερματικών – δορυφόρων. Ο Πίνακας 3.2 συνοψίζει χαρακτηριστικές παραμέτρους 3 τροχιών. Σημειώνεται ότι για την κατηγορία LEO αναφέρονται τυπικές παράμετροι για δύο κατηγορίες τροχιών μιας υψηλότερης και μιας χαμηλότερης.

3.4.2.2 Χαρακτηριστικά συστημάτων χαμηλής και μεσαίας τροχιάς

Τα συστήματα δορυφόρων χαμηλής και μεσαίας τροχιάς χρησιμοποιούν την κυψελοειδή τεχνική ώστε να μπορούν να εκμεταλλεύονται αποδοτικά το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων όπως γίνεται και στα επίγεια κυψελοειδή δίκτυα. Για το σκοπό αυτό οι κεραίες του δορυφόρου έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να μπορούν να εξυπηρετούν πολλές διακριτές δέσμες συχνοτήτων συγχρόνως, σχηματίζοντας στην επιφάνεια της γης το αποτύπωμα (footprint) ενός κυψελοειδούς δικτύου.

Σε αντίθεση όμως με τα επίγεια κυψελοειδή δίκτυα, όπου οι κυψέλες καθορίζουν μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή στην επιφάνεια της γης, στην περίπτωση των δορυφόρων χαμηλής τροχιάς τα αποτυπώματα των δεσμών των κυψελών μετακινούνται και μάλιστα με μεγάλη ταχύτητα πάνω στην επιφάνειά της αν ληφθεί υπόψη ότι η

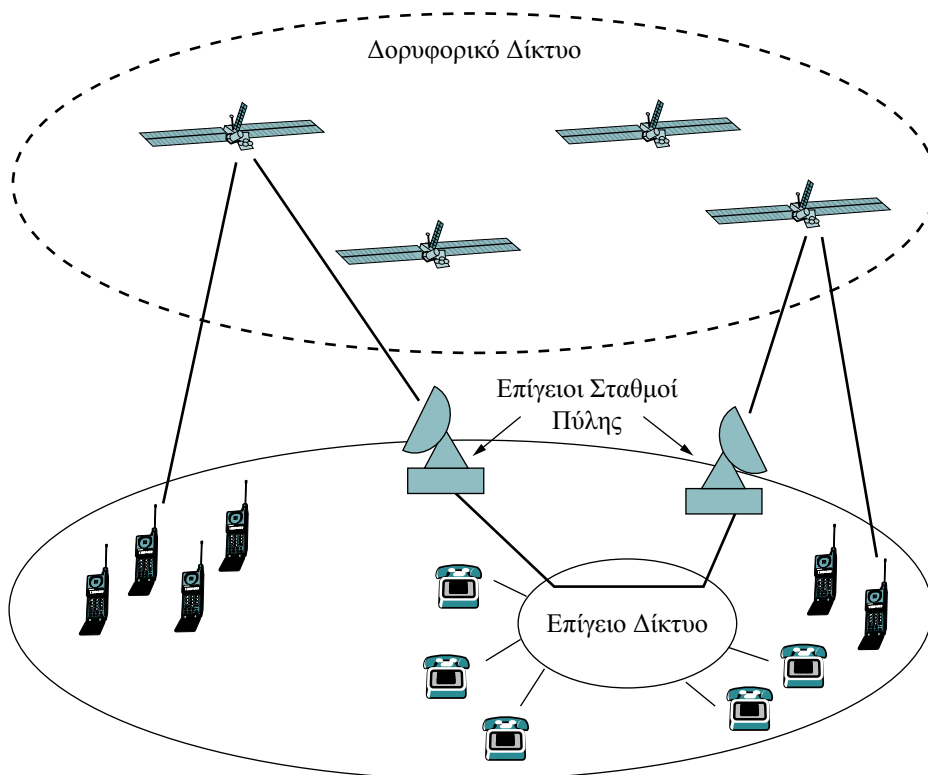


Σχήμα 3.10
Σύστημα δορυφο-
ρικών κινητών
υπηρεσιών
με ISL
(Euvescom, 1997)

περίοδος μιας πλήρους περιστροφής περί τη γη ενός δορυφόρου χαμηλής τροχιάς (μαζί με τις κυψέλες του που σχηματίζει ως αποτύπωμα στην επιφάνεια της γης) διαρκεί όπως δείχνει ο Πίνακας 3.2, 100–144 min. Για το λόγο αυτό απαιτούνται μηχανισμοί μεταπομπής, τόσο από κυψέλη σε κυψέλη όσο και από δορυφόρο σε δορυφόρο.

Στους δορυφόρους τροχιάς MEO, όπου η περίοδος περιστροφής είναι μεγαλύτερη ώστε ο δορυφόρος να είναι ορατός από το σταθμό εδάφους για 2 ώρες περίπου, ο δορυφόρος περιστρέφοντας τη συστοιχία των κεραιών του δυναμικά διαμορφώνει με τα ίχνη των δεσμών του ένα πρόσκαιρο αλλά σχετικά σταθερό κυψελοειδές δίκτυο στην επιφάνεια της γης και εκτελεί τη μεταπομπή προς έναν άλλο δορυφόρο κατά πολύ αραιότερα χρονικά διαστήματα από ότι στην περίπτωση των LEO.

Ορισμένα συστήματα μη γεωστατικών δορυφόρων χρησιμοποιούν **διαδορυφορικές συνδέσεις** (InterSatellite Links, ISL) για την απευθείας σύνδεση δορυφόρων μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10, και δημιουργούν ένα **πλήρως δορυφορικό δίκτυο** επικοινωνίας για την εξυπηρέτηση των κινητών τερματικών, χωρίς την παρεμβολή επίγειων δικτύων. Άλλα πάλι συστήματα, όπως αυτό του Σχήματος 3.11, χρησιμοποιούν την επίγεια υποδομή, μέσω **επίγειων σταθμών πύλης** (gateway stations) για τις κινητές επικοινωνίες.



Σχήμα 3.11

Σύστημα δορυφο-
ρικών κινητών
υπηρεσιών
χωρίς ISL
(Eurescom, 1997)

Ο Πίνακας 3.3 συνοψίζει συγκριτικά τα χαρακτηριστικά των τριών συστημάτων GEO, MEO και LEO.

Πίνακας 3.3

Σύγκριση συστημάτων LEO, MEO και GEO με βάση τα χαρακτηριστικά τους
(Jamalipour, 1997)

	LEO	MEO	GEO
Κόστος	Μεγάλο	Ελάχιστο	Μέσο
Χρόνος ζωής (σε έτη)	3–7	10–15	10–15
Τερματικό χειρός	Εφικτό	Εφικτό	Πολύ δύσχερηστο
Καθυστέρηση μετάδοσης	Μικρή	Μεσαία	Μεγάλη
Απώλειες μετάδοσης	Χαμηλές	Μεσαίες	Υψηλές
Πολυπλοκότητα δικτύου	Μεγάλη	Μεσαία	Μικρή
Μεταπομπή	Πολύ συχνή	Μέση	Ανύπαρκτη
Χρόνος ανάπτυξης	Μεγάλος	Μικρός	Μεσαίος
Ορατότητα δορυφόρων	Μικρή	Μέση	Διαρκής

3.4.3 Συστήματα κινητών δορυφορικών επικοινωνιών

Στα επόμενα θα αναπτυχθούν ορισμένα αντιπροσωπευτικά συστήματα κινητών επικοινωνιών μέσω δορυφόρων διάφορων τύπων τα οποία λειτουργούν ή πρόκειται να λειτουργήσουν τα επόμενα χρόνια.

3.4.3.1 Συστήματα γεωστατικής τροχιάς GEO – INMARSAT

Το πρώτο εμπορικό σύστημα για δορυφορικές κινητές επικοινωνίες ή όπως ονομάζονται **Κινητές Δορυφορικές Υπηρεσίες** (Mobile Satellite Services, MSS) άρχισε τη λειτουργία του το 1982 στα πλαίσια του **Διεθνούς Οργανισμού Ναυτικών Τηλεπικοινωνιακών Δορυφόρων INMARSAT** (INternational MARitime telecommunication SATellite organisation). Πρόκειται για έναν πολυεθνικό οργανισμό στον οποίο μετέχουν πάνω από 81 χώρες μέλη, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, ο οποίος ιδρύθηκε για να προσφέρει υπηρεσίες επικοινωνιών ασφάλειας σε πλοία (safety on the sea). Αργότερα οι υπηρεσίες του επεκτάθηκαν και σε άλλους τομείς κινητών επικοινωνιών.

Στην **πρώτη γενιά** υπηρεσιών (MSS) ο INMARSAT καθόρισε πέντε πρότυπα: το πρότυπο *A* (1982), το πρότυπο *B* (1993), το πρότυπο *C* (1991), το πρότυπο *M* (1992/1993) και το *αεροναυτικό* πρότυπο (1992). Τα πρότυπα αυτά αφορούν διάφορες υπηρεσίες στις οποίες περιλαμβάνονται φωνή, τηλομοιοτυπία (fax) και δεδομένα σε παγκόσμιο επίπεδο. Το πρότυπο *A* (αναλογικό) και *B* (ψηφιακό) αφορούν εξυπηρέτηση πλοίων. Το πρότυπο *C* προσφέρεται για μικρά πλοία, ψαράδικα και οχήματα ξηράς. Το *αεροναυτικό* πρότυπο υποστηρίζει με τις υπηρεσίες του την πολιτική αεροπορία (εμπορική και ιδιωτική). Το βάρος των τερματικών INMARSAT σε σχέση με τα πρότυπα κυμαίνεται από 25 kg στο πρότυπο *A*, μέχρι 5 kg στο πρότυπο *C*.

Κατά τη **δεύτερη γενιά** του MSS άρχισε η μείωση του βάρους των τερματικών και συγχρόνως η διαδικτύωση με επίγεια επικοινωνιακά συστήματα. Κατά τη γενιά αυτή ο INMARSAT καθόρισε το πρότυπο *mini-M* κατά το 1995 που προέβλεπε παγκόσμιες υπηρεσίες φωνής, δεδομένων, fax και telex με ταχύτητες 2,4 kbps. Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει τη λειτουργία μικρότερων τερματικών μεγέθους φορητού υπολογιστή και βάρους 2,5 kg.

Η αποκαλούμενη **τρίτη γενιά** χαρακτηρίζεται από νέου τύπου δορυφόρους όπως ο INMARSAT-3 που τοποθετήθηκε σε τροχιά το 1996 για να προσφέρει κατ' αρχήν στις ΗΠΑ **παγκόσμιες υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών PCS**.

Εκτός του συστήματος INMARSAT έχουν αναπτυχθεί και άλλα μικρότερα συστήματα κινητών επικοινωνιών MSS που καλύπτουν διάφορες περιοχές του κόσμου, όπως το σύστημα AMSC και TMI για τις ΗΠΑ, την Καραϊβική και τον Καναδά, το

EMS στην Ευρώπη και Βόρεια Αφρική, το OPTUS στην Αυστραλία, το NSTAR στην Ιαπωνία, κ.ά.

Τα μελλοντικά συστήματα PCS απαιτούν μικρά φορητά τερματικά που είναι δύσκολο να υποστηριχθούν από συστήματα γεωστατικών δορυφόρων. Έτσι, παρά την αξία των συστημάτων γεωστατικών δορυφόρων και στο μέλλον για ορισμένες εφαρμογές, το μέλλον των προσωπικών κινητών επικοινωνιών μέσω δορυφόρων φαίνεται να στηρίζεται περισσότερο στα συστήματα μη γεωστατικών δορυφόρων και ιδιαίτερα στα συστήματα LEO.

3.4.3.2 Συστήματα χαμηλής τροχιάς LEO

Τα συστήματα χαμηλής γήινης τροχιάς LEO χωρίζονται σε μεγάλα και μικρά συστήματα LEO με κριτήρια το ωφέλιμο φορτίο, τις ζώνες συχνотήτων που λειτουργούν και τις υπηρεσίες που παρέχουν.

Μεγάλα συστήματα LEO – GLOBALSTAR

Τα συστήματα αυτά, που χαρακτηρίζονται από υψηλή χωρητικότητα προσφέρουν κινητές υπηρεσίες φωνής, αλλά και άλλες υπηρεσίες δεδομένων. Το **σύστημα GLOBALSTAR** έχει ως στόχο την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών φωνής, fax, δεδομένων κ.λπ. στους ανά τον κόσμο χρήστες του, είτε αυτοί κινούνται σε περιοχές όπου υπάρχουν επίγεια δίκτυα (σταθερά, κυψελοειδή, κ.ά.), είτε όπου λείπει παντελώς η δικτυακή υποδομή. Η περιοχή κάλυψης από το σύστημα είναι παγκόσμια με εξαίρεση τις περιοχές πέραν των $\pm 70^\circ$ γεωγραφικού πλάτους.

Τα κύρια μέρη που αποτελούν το σύστημα είναι οι δορυφόροι, οι επίγειοι σταθμοί και οι χειροσυσκευές.

ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

Ο **αστερισμός** (constellation) του GLOBALSTAR αποτελείται από 48 δορυφόρους LEO. Οι δορυφόροι αυτοί είναι τοποθετημένοι ανά 6 σε οκτώ κυκλικές τροχιές ύψους 1.414 km που η κλίση τους προς τον Ισημερινό είναι 52° . Το κινούμενο αποτύπωμα επί της γης κάθε δορυφόρου χωρίζεται σε 16 κυψέλες μέσω των οποίων γίνεται η επικοινωνία του δορυφόρου με τις κινητές χειροσυσκευές και τους επίγειους σταθμούς.

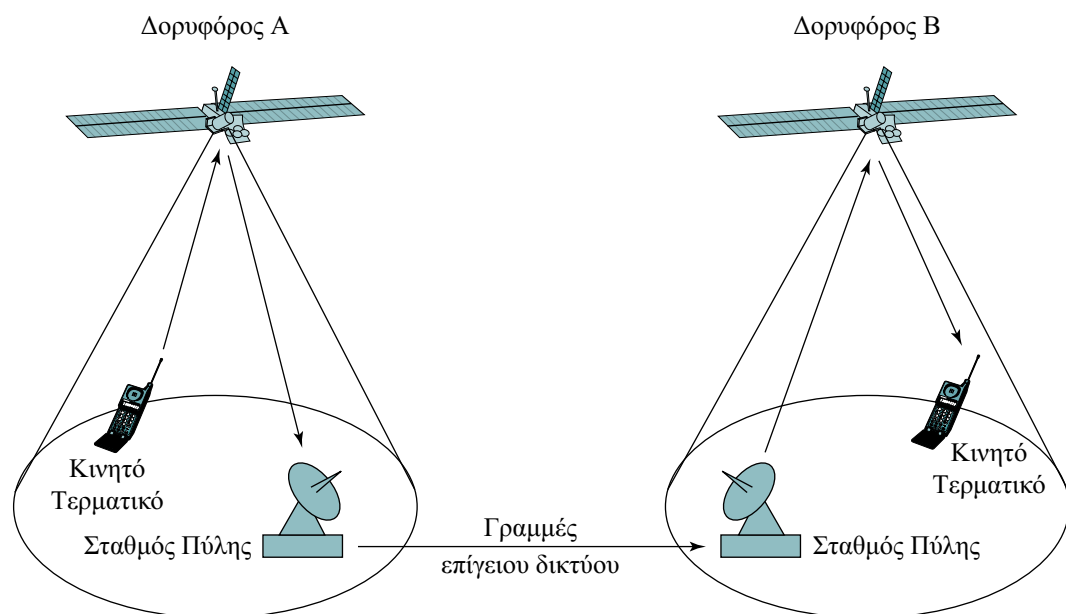
ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ – ΠΥΛΕΣ

Οι **σταθμοί – πύλες** (gateway stations) διασυνδέουν τους δορυφόρους του συστήματος GLOBALSTAR με τα πάσης φύσης επίγεια δίκτυα. Κάθε σταθμός πύλης, ο

οποίος ανήκει σε ένα παροχέα υπηρεσίας της χώρας στην οποία είναι τοποθετημένος ο σταθμός, λαμβάνει από τους δορυφόρους τα εκπεμπόμενα μηνύματα, τα επεξεργάζεται και τα διαβιβάζει προς το δίκτυο προορισμού της χώρας που εξυπηρετεί. Ο κάθε σταθμός πύλης αποτελείται από τρεις ή τέσσερις κεραίες εδάφους και από ένα σύστημα μεταγωγής και τηλεχειρισμού. Όλες οι κλήσεις που συνδέονται με το σύστημα GLOBALSTAR περνούν μέσα από τα επίγεια δίκτυα της εκάστοτε χώρας.

Η **αρχιτεκτονική** του συστήματος αυτού, που η δρομολόγηση των κλήσεων διενεργείται πάντα μέσω των σταθμών πυλών, φαίνεται στο Σχήμα 3.12. Κάθε χρήστης αποκαθιστά μια σύνδεση με το δορυφόρο μέσω μιας κυψέλης εντός του αποτυπώματος του εκάστοτε δορυφόρου που τον καλύπτει. Όλες οι συνδέσεις προς και από το δορυφόρο περνούν από σταθμούς – πύλες εδάφους. Για τους χρήστες επίγειων δικτύων που βρίσκονται στην περιοχή αποτυπώματος άλλου δορυφόρου το κύκλωμα επικοινωνίας θα συμπληρωθεί με επίγειες συνδέσεις.

Σήμερα από το σύστημα αυτό εξυπηρετούνται 71 χώρες. Κάθε πύλη μπορεί να εξυπηρετεί περισσότερες από μια χώρες. Εκτός από τους σταθμούς – πύλες το σύστημα υποστηρίζεται από 2 **κέντρα ελέγχου επίγειων λειτουργιών** (Ground Operations Control Centres, GOCCs) και από 2 **κέντρα ελέγχου δορυφορικών λειτουργιών** (Satellite Operations Control Centre, SOCCs). Οι σταθμοί πύλης και τα κέντρα ελέγχου διασυνδέονται μεταξύ τους με το GLOBALSTAR Data Network (GDN).



Σχήμα 3.12

Δρομολόγηση κλήσεων στο σύστημα GLOBALSTAR (Jamalipour, 1997)

ΧΕΙΡΟΣΥΣΚΕΥΕΣ (ΚΙΝΗΤΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ)

Πρόκειται για *δίτροπες* (dual mode) *χειροσυσκευές* παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στα κυψελοειδή επίγεια δίκτυα, οι οποίες όμως έχουν τη δυνατότητα να διασυνδέουν το χρήστη, είτε με το σύστημα GLOBALSTAR, είτε με επίγεια κυψελοειδή δίκτυα. Η επικοινωνία των χειροσυσκευών με το σύστημα εξασφαλίζεται μέσω της χρήσης *πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα* (CDMA) που χρησιμοποιείται και στα κυψελοειδή δίκτυα.

Μικρά συστήματα LEO – ORBCOM

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν *μικροδορυφόρους* (microsatellites) για την παροχή κυρίως υπηρεσιών δεδομένων χαμηλής ταχύτητας, ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, συλλογής δεδομένων, κ.ά. Το μέγεθός τους είναι μικρό (δεν ξεπερνά το 1 m³) και χρησιμοποιείται το φάσμα συχνοτήτων κάτω από 1 GHz.

ORBCOM

Το σύστημα ORBCOM, που μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό της κατηγορίας μικρών LEO χρησιμοποιεί 36 *δορυφόρους* βάρους 34 kg ο καθένας κατανεμημένους σε 6 κυκλικές τροχιές ύψους 825 km και προσφέρει παγκόσμια κάλυψη. Οι δορυφόροι υποστηρίζονται από ένα επίγειο σύστημα *σταθμών – πυλών*. Κάθε πύλη σταθμός διαθέτει 2 κινητές κεραίες οι οποίες παρακολουθούν το δορυφόρο κατά την κίνηση του και επικοινωνούν μαζί του. Το όλο σύστημα υποστηρίζεται στη λειτουργία του από *Κέντρο Ελέγχου Δικτύου* (Network Control Centre, NCC). Η *χειροσυσκευή* του συνδρομητή διαθέτει αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο και μικρή οθόνη.

Οι προσφερόμενες υπηρεσίες αφορούν την παρακολούθηση της θέσης και πορείας οχημάτων – πλοίων στην ξηρά και τη θάλασσα, παρακολούθηση και έλεγχο λειτουργίας βιομηχανικών και περιβαλλοντικών σταθμών, καθώς και υπηρεσίες ανταλλαγής μηνυμάτων. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνονται είναι κατά την κατεύθυνση τερματικό – δορυφόρος 2,4 kbps, ενώ κατά την κατεύθυνση δορυφόρος – τερματικό 4,8 kbps. Στο σύστημα έχουν σήμερα πρόσβαση μέσω εμπορικών συμμαχιών 61 χώρες που αντιπροσωπεύουν τα 2/3 του πληθυσμού της γης.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.3

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.2. να υπολογίσετε το μέγιστο χρόνο καθυστέρησης πλήρους διαδρομής για δορυφόρους των κατηγοριών τροχιάς που αναφέρονται στον πίνακα.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.4

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.2. να υπολογιστεί αντίστοιχα ο ελάχιστος χρόνος καθυστέρησης πλήρους διαδρομής.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.5

Ένας κινητός σταθμός εδάφους (π.χ. κινητό τηλέφωνο) μπορεί να επικοινωνήσει εναλλακτικά μέσω, είτε ενός δορυφόρου GEO, είτε μέσω ενός δορυφόρου MEO, ή μέσω ενός δορυφόρου LEO. Η ισχύς του σήματος που φθάνει στο δορυφόρο από το κινητό απαιτείται να είναι η ίδια και για τις τρεις εναλλακτικές περιπτώσεις.

Να υπολογιστεί το ποσοστό ισχύος που πρέπει να έχει το σήμα κατά την εκπομπή του από το κινητό τηλέφωνο για τους δορυφόρους MEO και LEO σε σχέση με την ισχύ του σήματος που εκπέμπεται από το κινητό για το δορυφόρο GEO.

Τι άμεσο συμπέρασμα προκύπτει για το σχεδιασμό των χειροσυσκευών που χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες μέσω των τριών συστημάτων δορυφόρων;

Οδηγία: Για τους υπολογισμούς μπορούν να αντληθούν στοιχεία από τον Πίνακα 3.2.

3.5 Το Μέλλον των Κινητών Επικοινωνιών

Σκοπός

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι μελλοντικές τάσεις ανάπτυξης και ολοκλήρωσης των διάφορων συστημάτων κινητών επικοινωνιών, αύξησης των επιδόσεών τους, καθώς και των δυνατοτήτων διαλειτουργίας τους με τα σταθερά δίκτυα με σκοπό τη δημιουργία παγκόσμιων συστημάτων κινητών προσωπικών επικοινωνιών.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτή την ενότητα θα μπορείτε να:

- προσδιορίσετε τα βασικά χαρακτηριστικά – απαιτήσεις που αφορούν την κινητότητα και το εύρος φάσματος ζώνης των κινητών προσωπικών επικοινωνιών του μέλλοντος·
- αποσαφηνίσετε τις έννοιες των δικτύων, των κινητών επικοινωνιών, καθώς και την εξέλιξη των σχετικών υπηρεσιών·

- *κατανοήσετε την έννοια των παγκόσμιων προσωπικών επικοινωνιών του μέλλοντος και τα κύρια χαρακτηριστικά τους·*
- *περιγράψετε τη σταδιακή πορεία των συστημάτων 2ης γενιάς προς τα συστήματα 3ης γενιάς·*
- *περιγράψετε τα αναπτυσσόμενα συστήματα 3ης γενιάς, τους στόχους τους, την αρχιτεκτονική τους, τα κύρια γνωρίσματα, τις δυνατότητες που προσφέρουν στους χρήστες τους, καθώς και την περαιτέρω προοπτική για τα συστήματα 4ης γενιάς.*

Τα σύγχρονα συστήματα κινητών επικοινωνιών που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες του Κεφαλαίου αυτού αποτελούν συστήματα 2ης γενιάς (2G) με βασικά χαρακτηριστικά την ψηφιακή τεχνολογία και την εφαρμογή της ιδέας της κυψέλης σε αντιδιαστολή με τα παλαιότερα κλασικά συστήματα κινητών επικοινωνιών που είναι αναλογικής τεχνολογίας και χαρακτηρίζονται ως συστήματα 1ης γενιάς (1G). Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 2ης γενιάς των οποίων η εξάπλωση συνεχίζεται σήμερα με ραγδαίους ρυθμούς παρουσιάζουν αδυναμίες, τόσο στη λειτουργικότητα μεταξύ τους όσο και στις επιδόσεις τους. Οι αδυναμίες που αφορούν τη διαλειτουργικότητά τους προέρχονται κυρίως από τα διαφορετικά πρότυπα πάνω στα οποία στηρίχτηκε η ανάπτυξή του καθενός συστήματος, ενώ οι αδυναμίες που αφορούν τις επιδόσεις τους (περιορισμένο εύρος ζώνης φάσματος συχνοτήτων, χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, κ.ά.) οφείλονται αφενός στην τεχνολογία και αφετέρου στην οργάνωση και τυποποίηση των συστημάτων αυτών. Οι σχετικές προσπάθειες για το ξεπέρασμα των αδυναμιών αυτών οδηγούν στην ανάπτυξη των συστημάτων 3ης γενιάς (3G).

3.5.1 Βασικά χαρακτηριστικά προσωπικών κινητών επικοινωνιών

Οι ανάγκες που χαρακτηρίζουν την περαιτέρω ανάπτυξη και ολοκλήρωση των διαφόρων συστημάτων κινητών επικοινωνιών αφενός μεταξύ τους και αφετέρου με τα σταθερά δίκτυα ώστε να αποτελέσουν ένα παγκόσμιο σύστημα προσωπικών επικοινωνιών που θα καλύψει όλες τις απαιτήσεις των χρηστών, είναι οι ακόλουθες:

Κινητότητα

Η έννοια της κινητότητας (ή κινητικότητας) ορίζεται σε διαφορετικά πρότυπα κατά διαφορετικό τρόπο. Ως **κινητότητα** (mobility) μπορεί να οριστεί η δυνατότητα ικανοποίησης επικοινωνιακών αναγκών πέραν από τους περιορισμούς που μπορεί να επιβάλει μια συγκεκριμένη σύνδεση σε ένα επικοινωνιακό δίκτυο. Η κινητότητα, τόσο για υπηρεσίες φωνής όσο και για υπηρεσίες δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διάφορους τύπους υπηρεσιών, τερματικών και δικτύων που παρέ-

χουν την «οποτεδήποτε και οπουδήποτε» κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών του χρήστη.

Ειδικότερα, η κινητότητα μπορεί να διακριθεί σε:

- **Κινητότητα τερματικών** (terminal mobility), κατά την οποία ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί διάφορες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες κατά την κίνησή του, μέσω ενός καθορισμένου κινητού τερματικού. Το τερματικό αυτό χαρακτηρίζεται, αναγνωρίζεται και εντοπίζεται με μια μοναδική ταυτότητα τερματικού ανεξάρτητα από το σημείο του δικτύου ή των δικτύων που κάθε φορά αυτό συνδέεται. Ο χρήστης στην περίπτωση αυτή ταυτίζεται με το τερματικό.
- **Κινητότητα προσώπων** (personal mobility), η οποία αφορά, αφενός μεν τη δυνατότητα του χρήστη να έχει πρόσβαση μέσω ενός κινητού ή σταθερού τερματικού σε υπηρεσίες από διάφορους τόπους κατά την κίνησή του, αφετέρου δε στο δίκτυο να παρέχει τις υπηρεσίες αυτές ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη ανεξάρτητα από το σημείο πρόσβασης στο δίκτυο και την τερματική συσκευή που χρησιμοποιεί ο χρήστης.
- **Κινητότητα υπηρεσιών** (service mobility ή service portability), η οποία αναφέρεται στη δυνατότητα του δικτύου να προσφέρει τις υπηρεσίες τις οποίες χρησιμοποιεί ο χρήστης (συνδρομητής τους) ανεξάρτητα από το τερματικό που αυτός χρησιμοποιεί, τον τόπο στον οποίο ευρίσκεται και το δίκτυο που κάθε φορά χρησιμοποιεί. Η κινητότητα υπηρεσιών προϋποθέτει, τόσο την κινητότητα τερματικών όσο και την κινητότητα προσώπων.

Η κινητότητα μπορεί να επιτευχθεί σε διαφόρων ειδών δίκτυα κατά διαφορετικό τρόπο και υπό κάποιους περιορισμούς ανάλογα με το δίκτυο. Για την επίτευξή της μπορούν να χρησιμοποιηθούν δίκτυα, τόσο των σταθερών όσο και των κινητών επικοινωνιών αλλά και τεχνικές των *ευφυών δικτύων* (Intelligent Networks, INs). Έτσι, στο σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο εξασφαλίζεται η δυνατότητα προσπέλασης του χρήστη σε άλλες συσκευές του δικτύου στις οποίες μετακινείται ο χρήστης με την εφαρμογή της υπηρεσίας *εκτροπής κλήσης* (call diversion). Κινητότητα χρήστη μπορεί επίσης να επιτευχθεί και στα κυψελοειδή συστήματα κινητής τηλεφωνίας (GSM, DCS) μέσω της κάρτας SIM και του PIN, καθώς και της προσφερόμενης δυνατότητας περιαγωγής. Η δυνατότητα εκτροπής κλήσεων μπορεί να εφαρμοστεί και σε συνδυασμό διαφορετικών δικτύων, όπως π.χ. σταθερό τηλεφωνικό και κυψελοειδή συστήματα.

Εύρος φάσματος ζώνης – Πολυμέσα

Τα υπάρχοντα συστήματα 2ης γενιάς έχουν περιορισμένες δυνατότητες, όπως εκτέ-

θηκε προηγουμένως, όσον αφορά το εύρος φάσματος ζώνης που υποστηρίζουν και αντιστοίχως τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Έτσι, εκτός των άλλων περιορισμών δεν μπορούν να υποστηρίξουν υπηρεσίες αυξημένου εύρους φάσματος ζώνης (κινούμενη εικόνα) ή άλλες υπηρεσίες που απαιτούν εφαρμογή πολυμέσων και γενικότερα υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Δεδομένου ότι οι εφαρμογές πολυμέσων μέσω δικτύων κινητών υπηρεσιών προβλέπεται ότι θα αυξηθούν σημαντικά στα επόμενα χρόνια είναι αναγκαίο τα μελλοντικά συστήματα κινητών επικοινωνιών να υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης υψηλότερους από αυτούς που παρέχονται από τα συστήματα 2ης γενιάς.

3.5.2 Δίκτυα και υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών

Οι *Προσωπικές Επικοινωνίες* (Personal Communications), είτε αναφέρονται σε δίκτυα προσωπικών επικοινωνιών, είτε σε υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών είναι μια έννοια αρκετά ασαφής και ανάλογα με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμησή τους διακρίνονται διάφορες κατηγορίες δικτύων και υπηρεσιών.

Η έννοια των *Δικτύων Προσωπικών Επικοινωνιών* (Personal Communication Networks, PCNs) πρωτοεμφανίστηκε στη Μεγάλη Βρετανία κατά τη δεκαετία του '80 με την ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας και στηρίζονταν στην ιδέα ενός φθηνού κινητού τηλεφώνου που θα επέτρεπε την απελευθέρωση του χρήστη από τη σύνδεσή του με το σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο. Ως πρώτη πραγματοποίηση της ιδέας μπορούν να αναφερθούν τα ασυρματικά συστήματα τηλεφωνίας που βρήκαν διάφορες εφαρμογές στο χώρο της κατοικίας, αλλά και ως δημόσια συστήματα (CT0, CT1, CT2, DECT, Telepoint, κ.λπ.), ενώ το σύστημα DCS 1800 αποτελεί το πρώτο πανευρωπαϊκό πρότυπο μεγάλης κλίμακας για τα συστήματα PCN. Γενικότερα η ιδέα του κυψελοειδούς δικτύου, αλλά και της έξυπνης κάρτας SIM σε συνδυασμό με τον αριθμό PIN, όπως χρησιμοποιούνται στο σύστημα PCS 1800, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των δικτύων PCN.

Η έννοια των *Υπηρεσιών Προσωπικών Επικοινωνιών* (Personal Communication Services, PCS), που έχει αναπτυχθεί κυρίως στις ΗΠΑ, επικεντρώνεται στην παροχή υπηρεσιών επικοινωνιών φωνής, δεδομένων, εικόνας και βίντεο κατά τις ανάγκες των χρηστών ανεξάρτητα από το δίκτυο, τον τόπο και το χρόνο που παρέχονται αυτές. Οι *αποκλειστικές* για κάθε χρήστη υπηρεσίες αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν σε διάφορα δίκτυα, όπως π.χ. από το δίκτυο καλωδιακής τηλεόρασης που μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες πολυμέσων για εφαρμογές τηλεαγοράς, τηλεεκπαίδευσης, εικονοτηλεφωνίας, κ.ά. ή από δίκτυα κινητών επικοινωνιών για παροχή κινητών υπηρεσιών.

Η απαιτούμενη για το σκοπό αυτό συνεργασία και ολοκλήρωση δικτύων και υπηρεσιών που είναι ήδη σε μεγάλο βαθμό τυποποιημένη εξασφαλίζεται μέσω λύσεων που παρέχονται από τη συνεπή εφαρμογή της τεχνολογίας των ευφών δικτύων.

Η έννοια των προσωπικών επικοινωνιών συνδέεται στενά με την έννοια της κινητότητας. Η κινητότητα μπορεί να αφορά το μέγεθος της καλυπτόμενης γεωγραφικής περιοχής κατά την κίνηση ή ακόμη και τη δυναμική της κίνησης.

Έτσι, όσον αφορά τη *γεωγραφική κάλυψη* τα δίκτυα και οι υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών που εξυπηρετούν το χρήστη διαχωρίζονται:

- Για το χώρο του γραφείου και του σπιτιού που μπορεί να καλύπτεται με ασυρματικά δίκτυα (π.χ. DECT).
- Για τα όρια μιας χώρας μπορεί οι ανάγκες να καλύπτονται με ένα κυψελοειδές δίκτυο GSM ή και από σταθερά τηλεφωνικά δίκτυα με ενιαίο αριθμό κλήσης (υπηρεσίες ευφούς δικτύου).
- Για τα όρια ευρύτερων περιοχών μπορούν οι ανάγκες να καλύπτονται με διεθνή δίκτυα όπως π.χ. GSM με δυνατότητες περιαγωγής.
- Για παγκόσμια κάλυψη μπορούν οι ανάγκες να καλύπτονται από δορυφορικά δίκτυα ή από διαδικτύωση σταθερών και κινητών δικτύων.

Όσον αφορά τη *δυναμική* της κίνησης, η κινητότητα μπορεί να διακριθεί με κριτήριο την ταχύτητα μετακίνησης του κινητού συνδρομητή, π.χ. ακινησία, μετακίνηση με ταχύτητα βαδίσματος, αυτοκινήτου, αεροσκάφους, κ.ά.

Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζεται η πορεία ανάπτυξης κινητών υπηρεσιών και συστημάτων που καλύπτουν την 1η και 2η γενιά κινητών επικοινωνιών, καθώς και οι προοπτικές για ολοκλήρωση των διάφορων συστημάτων κινητών επικοινωνιών που αναμένεται να επιτευχθεί με τα συστήματα 3ης γενιάς, όπως θα παρουσιαστούν στα επόμενα.

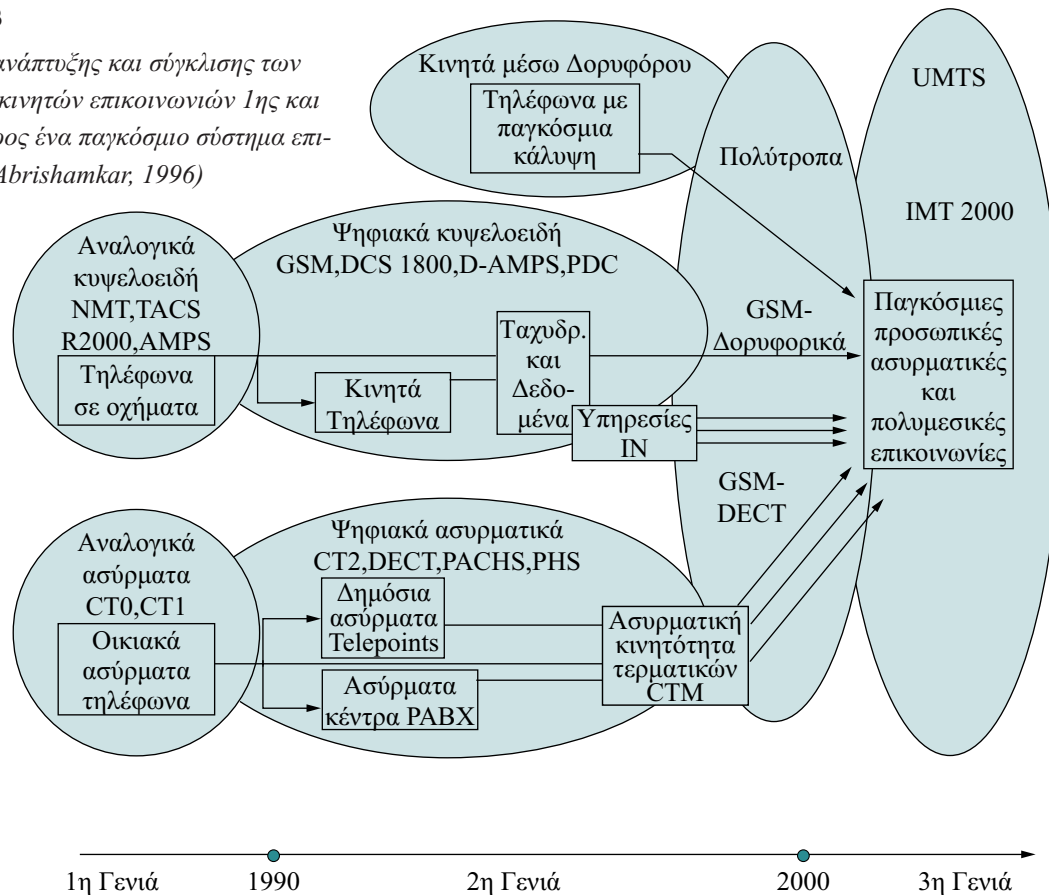
Γενικά οι προσωπικές επικοινωνίες μπορούν να χαρακτηριστούν από την ύπαρξη των παρακάτω δυνατοτήτων:

- Κάθε χρήστης ανεξάρτητα από τον τόπο στον οποίο βρίσκεται κάθε φορά να μπορεί, διαθέτοντας *ένα μοναδικό αριθμό σύνδεσης* να χρησιμοποιεί όλες τις επικοινωνιακές συνδέσεις που του χρειάζονται.
- Ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα *επίδρασης* στις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.
- Να διατίθεται μια μικρή ελαφριά χειροσυσσκευή (*προσωπικός επικοινωνητής*, personal communicator) με δυνατότητες επικοινωνίας πολυμέσων.

- Τα **επικοινωνιακά τέλη** να είναι ανταγωνιστικά ώστε να καθίσταται οικονομικά συμφέρουσα η κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών των χρηστών.

Σχήμα 3.13

Εξέλιξη της ανάπτυξης και σύγκλισης των συστημάτων κινητών επικοινωνιών 1ης και 2ης γενιάς προς ένα παγκόσμιο σύστημα επικοινωνιών (Abrishamkar, 1996)



Δραστηριότητα 3.9

Σχολιάστε την κινητότητα από την άποψη του εύρους της γεωγραφικής κάλυψης, καθώς και από την άποψη της δυναμικής της κίνησης για διάφορες κινητές υπηρεσίες.

Δραστηριότητα 3.10

Αναφέρετε τις δυνατότητες που πρέπει να χαρακτηρίζουν γενικά τις προσωπικές επικοινωνίες.

3.5.3 Παγκόσμιες προσωπικές τηλεπικοινωνίες

Οι *Παγκόσμιες Προσωπικές Τηλεπικοινωνίες* (Universal Personal Telecommunications, UPT) είναι μια ιδέα που αποσκοπεί στην υπέρβαση του διαχωρισμού των δικτύων σε ενσύρματα και ασυρματικά ώστε να εξασφαλίζει την προσωπική πρόσβαση του χρήστη προς ένα ενιαίο πλέον δίκτυο (ασυρματικό + ενσύρματο) και στις υπηρεσίες που παρέχει το δίκτυο αυτό.

Η πρόσβαση αυτή που εξασφαλίζει την κινητότητα προσώπων στηρίζεται σε ένα **μοναδικό προσωπικό UPT αριθμό** για κάθε χρήστη. Η προσωποποίηση, δηλαδή η σύνδεση του αριθμού αυτού με το πρόσωπο του χρήστη, πραγματοποιείται κατά ανάλογο τρόπο που επιτυγχάνεται στο σύστημα GSM (μέσω κάρτας SIM και προσωπικού αριθμού PIN). Ο προσωπικός αριθμός συνδέεται με προσωπικές «**κατατομές υπηρεσιών**» (service profiles) που αφορούν σε πληροφορίες που χαρακτηρίζουν το χρήστη και τις ανάγκες του (όπως π.χ. μεταβλητοί πίνακες δρομολόγησης των κλήσεων ανάλογα με τον καλούντα αριθμό, την ώρα της ημέρας, την τρέχουσα θέση του καλούμενου, τη ζητούμενη υπηρεσία, κ.ά.

Οι αρχές και οι στόχοι της UPT είναι:

- Παροχή κινητότητας προσώπου στον κάθε χρήστη σε παγκόσμιο επίπεδο από οποιοδήποτε τερματικό οποιοδήποτε δικτύου.
- Χρέωση με βάση τον αριθμό UPT και την ταυτότητα του τερματικού.
- Παροχή τυποποιημένων διαδικασιών πρόσβασης στα διάφορα δίκτυα.
- Ευελιξία του χρήστη για την επιλογή των χαρακτηριστικών μιας υπηρεσίας που χρησιμοποιεί.

Τα πρότυπα για το σύστημα UPT είναι στο στάδιο καθορισμού τους, τόσο από την ITU-T όσο και από άλλους οργανισμούς, όπως π.χ. το ETSI. Η ανάπτυξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών 3ης γενιάς αναμένεται να συμβάλει αποφασιστικά στην πραγματοποίηση των UPT.

3.5.4 Κινητές επικοινωνίες τρίτης γενιάς

Οι αδυναμίες των συστημάτων 2ης γενιάς που περιγράφηκαν στην αρχή της Ενότητας 3.5 οδήγησαν σε προσπάθειες αφενός για την αύξηση των δυνατοτήτων των υπάρχοντων συστημάτων σε ότι αφορά κυρίως τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και αφετέρου στη δημιουργία νέων συστημάτων που θα παρέχουν, λόγω του εξαρχής σχεδιασμού τους, υψηλές δυνατότητες για τη μακροχρόνια κάλυψη των αναγκών των χρηστών σε παγκόσμιο επίπεδο. Παρά τον εξαρχής σχεδιασμό των συστημάτων

3ης γενιάς, η μετάβαση από τη 2η στην 3η γενιά προβλέπεται να είναι σταδιακή ώστε να δίνεται η δυνατότητα για την ομαλή μετάβαση από τη 2η στην 3η γενιά και για τη διαλειτουργία των εξελισσόμενων συστημάτων 2ης γενιάς με τα νέα συστήματα.

3.5.4.1 Αύξηση δυνατοτήτων των συστημάτων δεύτερης γενιάς

Με την εφαρμογή του *Πρωτοκόλλου Ασύρματης Πρόσβασης* (Wireless Access Protocol, WAP) το οποίο εξασφαλίζει στα συστήματα τηλεφωνίας 2ης γενιάς και ειδικότερα στο GSM την πρόσβαση στο Internet, φάνηκε η αδυναμία του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων που παρέχουν τα κανάλια φωνής του GSM (βλ. υποενότητα 3.2.3) για την αποτελεσματική επικοινωνία στο Internet.

Για να δοθεί η δυνατότητα αύξησης του ρυθμού μετάδοσης έχουν ήδη αναπτυχθεί και άρχισαν σταδιακά να χρησιμοποιούνται ορισμένες τεχνικές μετάδοσης – πρότυπα στα συστήματα GSM που προσφέρουν μεν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, σε βάρος όμως της ολικής χωρητικότητας του συστήματος GSM σε αριθμό καναλιών φωνής, μια και για την εξυπηρέτηση μιας σύνδεσης επικοινωνιών δεδομένων σε υψηλή ταχύτητα ομαδοποιείται και διατίθεται ένας ορισμένος αριθμός καναλιών φωνής. Οι κυριότερες από τις τεχνικές αυτές είναι οι εξής:

- **Γενικό Σύστημα Ραδιο-Πακέτων** (General Packet Radio System, GPRS) που θεωρητικά προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 171,2 Kbps, ενώ πρακτικά οι επιτυγχανόμενοι σήμερα ρυθμοί, κατά τις πρώτες εφαρμογές του συστήματος, κυμαίνονται μεταξύ 10 και 30 Kbps.
- **Κυκλωματομεταγωγή Δεδομένων Υψηλής Ταχύτητας** (High Speed Circuit Switched Data, HSCSD), η οποία μπορεί να προσφέρει θεωρητικά ρυθμούς μετάδοσης 57,6 Kbps, ενώ επιτυγχάνει στην πραγματικότητα σήμερα ρυθμούς της τάξης των 30 Kbps.
- **Βελτιωμένοι Ρυθμοί Μετάδοσης για την Εξέλιξη του GSM** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE) που αποτελεί πρότυπο για την επίτευξη ρυθμού μετάδοσης μέχρι 384 Kbps. Το πρότυπο αυτό έχει σκοπό, όπως και τα προηγούμενα, να προετοιμάσει τη μετάβαση προς τα συστήματα της 3ης γενιάς.

Τα συστήματα 2ης γενιάς που χρησιμοποιούν ή θα χρησιμοποιήσουν τις παραπάνω τεχνικές – υπηρεσίες για την αύξηση των δυνατοτήτων τους ονομάζονται και συστήματα 2,5 γενιάς (2,5G) ακριβώς για να υποδηλωθεί η τάση μετάβασης από τα συστήματα 2ης γενιάς προς τα συστήματα της 3ης γενιάς που βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης και επίκειται στο επόμενο διάστημα η έναρξη εισαγωγής τους, όπως περιγράφεται παρακάτω.

3.5.4.2 Συστήματα τρίτης γενιάς UMTS / IMT2000

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών Τρίτης Γενιάς (3G) που αναπτύσσονται σήμερα και πρόκειται να αρχίσει η σταδιακή εφαρμογή τους στην πρώτη δεκαετία του 2000, έχουν σκοπό να καλύψουν τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες για προηγμένες κινητές επικοινωνίες, όπως περιγράφηκαν στην υποενότητα 3.5.1.

Οι προσπάθειες τυποποίησης των συστημάτων 3ης γενιάς, λόγω των απαιτήσεων για συμβατότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, αναλήφθηκαν από την ITU (Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών) και αποτελούν το *μεγαλύτερο έργο τυποποίησης* που έχει αναληφθεί μέχρι σήμερα από αυτήν.

Το έργο αυτό χαρακτηρίζεται από την ITU ως *Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες 2000* (International Mobile Telecommunications 2000, IMT 2000) και αποτελεί μετονομασία του έργου τυποποίησης των *Μελλοντικών Συστημάτων Δημόσιων Τηλεπικοινωνιών Ξηράς* (Future Public Land Mobile Telecommunication Systems, FPLMTS) που είχε αναληφθεί παλαιότερα από την ITU επίσης.

Στην Ευρώπη αντίστοιχες προσπάθειες τυποποίησης των παγκόσμιων επικοινωνιακών συστημάτων 3ης γενιάς αναλήφθηκαν από το ETSI με την ονομασία *Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών* (Universal Mobile Telecommunications Systems, UMTS). Η ανάγκη της προσαρμογής και εναρμόνισης μεταξύ των αναπτυσσόμενων προτύπων σε διάφορες περιοχές του κόσμου (ARIB και TTC για την Ιαπωνία, CWTS για την Κίνα, κ.λπ.) οδήγησαν στη δημιουργία διάφορων άλλων οργανισμών, όπως π.χ. της ομάδας *3GPP* (Third Generation Partnership Project), της ομάδας *OHG* (Operator Harmonisation Group), κ.ά. Το πρότυπο UMTS υιοθετήθηκε τελικά το Νοέμβριο του 1999 από την ITU ως μέλος της οικογένειας των προτύπων IMT-2000. Έτσι, η αναφορά που ακολουθεί θα αναφέρεται και στα δύο πρότυπα εκεί που υπάρχουν κοινά χαρακτηριστικά.

Τα συστήματα UMTS / IMT 2000, που η εφαρμογή τους αναμένεται να αρχίσει στο διάστημα 2001 – 2005, θα παρέχουν πρόσβαση μέσω μιας ή περισσότερων επίγειων ή και δορυφορικών ασύρματων συνδέσεων σε πληθώρα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών που υποστηρίζονται, τόσο από σταθερά δίκτυα (π.χ. δημόσιο τηλεφωνικό, ISDN, IP) όσο και σε υπηρεσίες που προορίζονται για κινητούς χρήστες.

Οι *βασικοί στόχοι* που τέθηκαν για την ανάπτυξη των συστημάτων UMTS / IMT 2000 είναι οι ακόλουθοι:

- Κοινά σχεδιαστικά γνωρίσματα σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Συμβατότητα υπηρεσιών, τόσο στο πλαίσιο των UMTS / IMT 2000 όσο και με τις υπηρεσίες των σταθερών δικτύων.

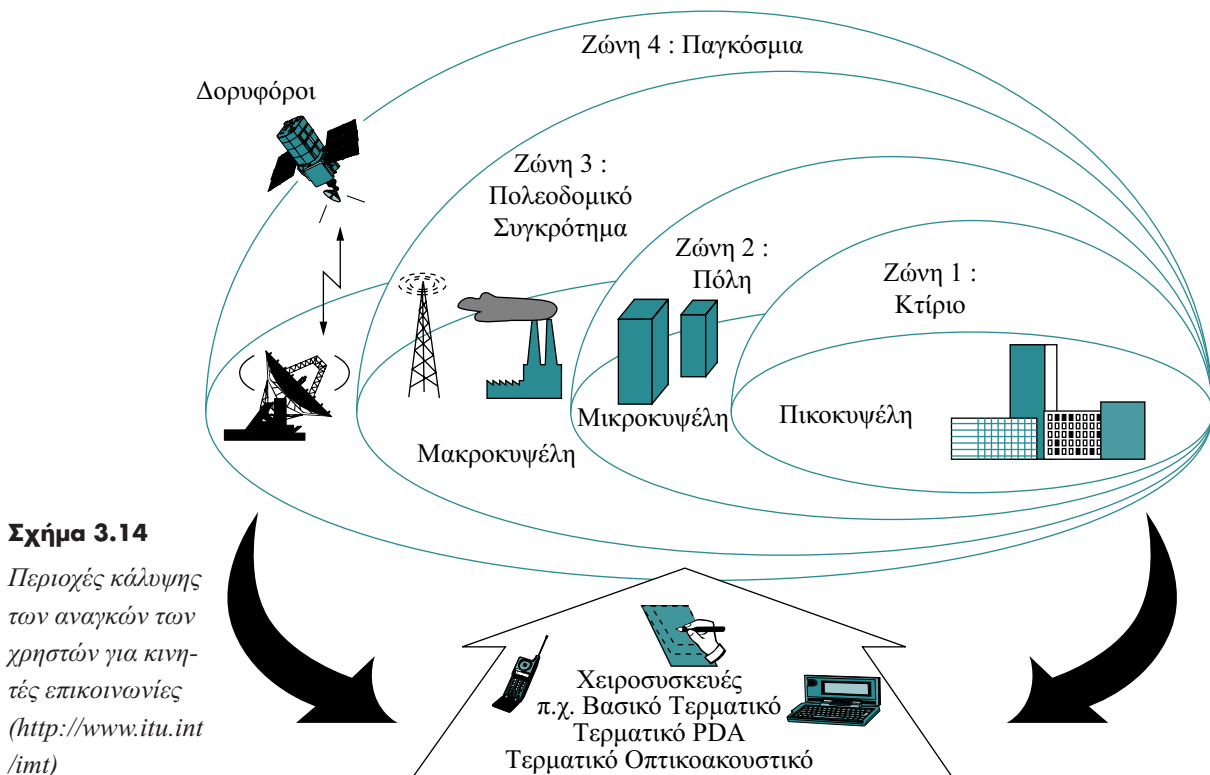
- Υψηλή ποιότητα επικοινωνίας.
- Μικρό μέγεθος τερματικών για παγκόσμια χρήση.
- Δυνατότητα παγκόσμιας περιαγωγής.
- Δυνατότητα για εφαρμογές πολυμέσων και για εκμετάλλευση πληθώρας υπηρεσιών και τερματικών.

Το *εύρος φάσματος ζώνης* συχνοτήτων που καθορίστηκε για το IMT 2000 από την Παγκόσμια Σύσκεψη για τις Ραδιοσυχνότητες του 1992 (WARC-92) καλύπτει τις ζώνες 1885–2025 και 2110–2200 MHz στις οποίες περιλαμβάνονται και οι ζώνες 1980–2010 και 2170–2200 MHz που αφορούν το δορυφορικό τμήμα του IMT 2000.

Η εκρηκτική όμως ανάπτυξη των αναγκών για κινητές επικοινωνίες επέβαλε κατά την Παγκόσμια Διάσκεψη για τις Ραδιοσυχνότητες του 2000 τον καθορισμό πρόσθετων ζωνών συχνοτήτων λειτουργίας για το IMT 2000 στις περιοχές των 806–960, 1720–1885 και 2500–2690 MHz ενώ εξετάζεται και η μελλοντική επέκταση σε άλλες ζώνες για την εξυπηρέτηση των αναγκών σε δορυφορικές ζεύξεις του IMT 2000. Οι ζώνες αυτές, που η λεπτομερής κατανομή για τα διάφορα μέρη του κόσμου αποτελεί αντικείμενο περιφερειακών και εθνικών ρυθμίσεων, θα επιτρέψουν την ανάπτυξη του συστήματος UMTS / IMT 2000 και την παροχή υπηρεσιών σε διάφορες περιοχές και σε διαφορετικά περιβάλλοντα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

Το Σχήμα 3.14 δείχνει την *αρχιτεκτονική του δικτύου* των κινητών επικοινωνιών του 21ου αιώνα σύμφωνα με το όραμα της ITU όπως εκφράζεται από τα πρότυπα UMTS / IMT 2000.

Η αρχιτεκτονική αυτή στηρίζεται στη χρησιμοποίηση μιας ιεραρχίας κυψελών διαφορετικού μεγέθους ανάλογα με το μέγεθος της καλυπτόμενης γεωγραφικής περιοχής ώστε να καλύπτονται κατά τον καλύτερο τρόπο οι ανάγκες των χρηστών που κινούνται μέσα στα όρια της εκάστοτε περιοχής. Έτσι, περιοχές μικρής γεωγραφικής έκτασης (Ζώνη 1) όπως π.χ. κτίρια γραφείων, κατοικιών, κ.λπ. καλύπτονται από μια *πικοκυψέλη* (picocell) μέσα στην οποία μπορεί να παρέχονται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, μέχρι **2 Mbit/s**, στους χρήστες. Η αμέσως μεγαλύτερη Ζώνη 2, που καλύπτεται από μια *μικροκυψέλη* (microcell) εξυπηρετεί τους χρήστες μιας ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής, π.χ. λίγα τετραγωνικά km μιας αστικής περιοχής με ταχύτητα μετάδοσης **384 Kbit/s**. Μια ευρύτερη περιοχή (Ζώνη 3), όπως π.χ. ένα πολεοδομικό συγκρότημα, μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες των κινούμενων μέσα σε αυτή χρηστών στα πλαίσια μιας *μακροκυψέλης* (macrocell) με ταχύτητες μετάδοσης **144 Kbit/s**. Τέλος, οι διάφορες περιοχές μπορούν σε *παγκόσμιο επίπεδο* να καλυφθούν από ένα δίκτυο τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων.



Τα **κύρια γνωρίσματα** σχετικά με τα δίκτυα και τις υπηρεσίες των συστημάτων 3ης γενιάς UMTS / IMT 2000 είναι τα εξής:

- **Υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας:** Οι ρυθμοί μετάδοσης φθάνουν τα 2 Mbit/s και εξαρτώνται όπως αναφέρθηκε προηγουμένως από το περιβάλλον της κλήσης. Με την ταχύτητα αυτή είναι δυνατόν να υποστηριχθούν εφαρμογές πολυμέσων.
- **Μετάδοση πακέτων:** Ενώ οι κινητές επικοινωνίες 2ης γενιάς χρησιμοποιούν την τεχνική μεταγωγής κυκλωμάτων, η οποία είναι η πλέον κατάλληλη για επικοινωνίες φωνής, τα συστήματα 3ης γενιάς χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό την τεχνική μεταγωγής πακέτων στην οποία στηρίζεται και η λειτουργία του Διαδικτύου (Internet). Η τεχνική της μεταγωγής πακέτων παρέχει μεγάλα συγκριτικά πλεονεκτήματα κόστους και ευελιξίας έναντι της τεχνικής μεταγωγής κυκλωμάτων, ιδίως σε περιβάλλον εφαρμογών πολυμέσων.
- **Φιλικό περιβάλλον παροχής υπηρεσιών:** Τα συστήματα 3ης γενιάς χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα παροχής ενός συνόλου υπηρεσιών που έχει επιλέξει ο χρήστης για την εξυπηρέτησή του και μάλιστα κατά τρόπο διαφανή και ανεξάρτητο από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται κάθε φορά ο χρήστης κατά τη μετακίνησή του. Με τη δημιουργία του λεγόμενου **Εικονικού Οικιακού Περιβάλλο-**

ντος (Virtual Home Environment, VHE) ο χρήστης εξασφαλίζει κατά την περιαγωγή του σε διαφορετικούς τόπους μέσω συνδυασμένων υπηρεσιών επίγειων και δορυφορικών δικτύων, την παροχή των υπηρεσιών εκείνων που έχει επιλέξει για την εξυπηρέτησή του με τον ίδιο τρόπο και τις ίδιες ευκολίες που του δίνει η συνήθης πρόσβαση που έχει στο σπίτι του (ή στο γραφείο του).

- **Κινητότητα και κάλυψη:** Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.14 ο χρήστης μπορεί, διαθέτοντας την κατάλληλη χειροσυσσκευή να εξασφαλίζει τη συνέχεια της σύνδεσής του καθώς μετακινείται π.χ. από ένα ιδιωτικό δίκτυο σε ένα πίκτο, μικρό ή μεγάλο κυψελοειδές δίκτυο (όπως το GSM) ή ακόμα σε ένα δίκτυο παγκόσμιας κάλυψης όπως το δορυφορικό. Οι χειροσυσσκευές που μπορούν να χρησιμοποιούνται στα δίκτυα 3ης γενιάς μπορεί να είναι **κινητά απλά ή πολύτροπα**, τερματικά τύπου **Προσωπικού Ψηφιακού Βοηθού** (Personal Digital Assistant, PDA), ή ακόμη και **Επιπαλάμιοι** (palmtop) H/Y με δυνατότητες πολυμέσων, που χαρακτηρίζονται από μικρές διαστάσεις και βάρος και διαθέτουν δυνατότητα πρόσβασης σε διάφορα ασυρματικά ή και σταθερά δίκτυα, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κινητά ή και σταθερά τερματικά.

Η **εισαγωγή και εφαρμογή** των συστημάτων 3ης γενιάς αναμένεται να αρχίσει στο άμεσο μέλλον όπως έχει προβλεφθεί από την ITU μια και έχουν ήδη παραχωρηθεί οι πρώτες σχετικές άδειες. Η εφαρμογή θα είναι σταδιακή και θα υπάρχει δυνατότητα διαλειτουργίας με τα παλαιότερα συστήματα 2ης γενιάς. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του οργανισμού UMTS Forum, που ασχολείται με την ανάπτυξη και εφαρμογή του συστήματος UMTS, οι χρήστες συστημάτων ασυρματικών επικοινωνιών υψηλής ποιότητας τα οποία θα υποστηρίζουν εφαρμογές πολυμέσων θα ανέλθουν παγκοσμίως κατά το 2010 στα 2 δισεκατομμύρια.

Η **περαιτέρω μελλοντική** ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών θα κατευθυνθεί πιθανότατα προς τα λεγόμενα **συστήματα 4ης γενιάς** που θα έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν **κινητές υπηρεσίες ευρείας ζώνης** σε κάθε περιβάλλον, δεδομένου ότι τα συστήματα 3ης γενιάς περιορίζονται ως προς τους ρυθμούς μετάδοσης σε ορισμένα περιβάλλοντα όπως αναπτύχθηκε στα προηγούμενα.

Δραστηριότητα 3.11

Εξηγήστε τους λόγους για τους οποίους η τυποποίηση των συσκευών τρίτης γενιάς ανελήφθη από την ITU.

Δραστηριότητα 3.12

Αναφέρετε τα κύρια γνωρίσματα των δικτύων και υπηρεσιών των συστημάτων τρίτης γενιάς UMTS / IMT 2000.

Σύνοψη

- Το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων αποτελεί σπάνιο πόρο ο οποίος περιορίζει την ανάπτυξη των ραδιοεπικοινωνιών και ως εκ τούτου επιβάλλεται η διαχείρισή του σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο.
- Τα κλασικά συστήματα κινητών επικοινωνιών δεν επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση του διατιθέμενου φάσματος συχνοτήτων σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές.
- Τα κυψελοειδή δίκτυα χρησιμοποιούν τις ιδέες της κυψέλης, της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων, της διάσπασης των κυψελών, καθώς και την ιδέα της μεταπομπής προκειμένου να διαχειριστούν αποτελεσματικά το φάσμα των συχνοτήτων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των χρηστών.
- Το πρότυπο GSM αναπτύχθηκε για να ξεπεραστούν τα προβλήματα συμβατότητας μεταξύ των διαφορετικών κυψελοειδών δικτύων και να καλυφθούν οι ανάγκες των χρηστών.
- Το σύστημα GSM είναι ψηφιακό, καθολοκληρίαν τυποποιημένο, παρέχει υψηλή ποιότητα φωνής, διασφάλιση του απορρήτου, ενώ το κόστος του είναι μικρότερο των αναλογικών συστημάτων.
- Το GSM προσφέρει πλήθος υπηρεσιών και ευκολιών στους χρήστες του και εξασφαλίζει με την έξυπνη κάρτα SIM και τον προσωπικό αριθμό ταυτότητας του χρήστη την κινητότητα του χρήστη.
- Τα συστήματα DCS 1800 και PCS 1900 αποτελούν μετεξέλιξη του συστήματος GSM προς την κατεύθυνση των προσωπικών επικοινωνιών.
- Τα ασυρματικά συστήματα επικοινωνιών και αντίστοιχα τα ασυρματικά τηλέφωνα διαθέτουν τη δυνατότητα ελεύθερης κίνησης του πεζού συνδρομητή, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με μια κατάλληλη ασύρματη χειροσυσκευή, σε περιορισμένη όμως απόσταση (της τάξεως των 300 μέτρων) από ένα σταθμό βάσης με τον οποίο συνδέεται ασυρματικά η χειροσυσκευή.
- Οι εφαρμογές των ασυρματικών συστημάτων απευθύνονται σε οικιακούς συνδρο-

μητές, σε επαγγελματίες όπου αντικαθιστούν ή συμπληρώνουν τα συστήματα PABX της επιχείρησης, καθώς και στο ευρύτερο κοινό ως δημόσια ασυρματικά συστήματα με την ονομασία Telepoint.

- Τα κυριότερα πρότυπα των ασυρματικών συστημάτων, τα οποία είναι ψηφιακά και κυψελοειδή είναι το CT2, καθώς και το DECT και το σύστημα PWT που είναι όμοιο με το DECT και εφαρμόζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες.
- Τα συστήματα τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων μπορούν να προσφέρουν κινητές υπηρεσίες σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Τα κυριότερα κριτήρια για την προσφορά κινητών υπηρεσιών ενός συστήματος επικοινωνιακών δορυφόρων είναι η τροχιά, το ωφέλιμο φορτίο, η περιοχή κάλυψης και η ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας.
- Τα κυριότερα συστήματα δορυφόρων για την παροχή υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών είναι τα συστήματα γεωστατικής, μεσαίας και χαμηλής τροχιάς.
- Τα συστήματα χαμηλής και μεσαίας τροχιάς υπερτερούν όσον αφορά τις κινητές επικοινωνίες έναντι του γεωστατικού συστήματος λόγω της μικρότερης καθυστέρησης πλήρους διαδρομής και των χαμηλότερων απαιτήσεων ισχύος λειτουργίας για τις χειροσσκευές.
- Βασικές απαιτήσεις – χαρακτηριστικά των μελλοντικών κινητών – προσωπικών επικοινωνιών είναι αφενός η κάλυψη της κινητότητας με την έννοια της κινητότητας τερματικών – προσώπων – υπηρεσιών και αφετέρου η αύξηση του εύρους φάσματος ζώνης (ρυθμίου μετάδοσης) για την εξυπηρέτηση εφαρμογών πολυμέσων.
- Τα δίκτυα και οι υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών έχουν ως σκοπό την απελευθέρωση του χρήστη από τη μοναδική πρόσβαση του χρήστη σε ένα σταθερό δίκτυο και την παροχή σε αυτόν ευελιξίας κατά την κίνησή του ώστε να μπορεί με απλό τρόπο να έχει πρόσβαση από οποιοδήποτε σημείο κάθε δικτύου στις υπηρεσίες που επιθυμεί.
- Τα διάφορα δίκτυα και υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών συγκλίνουν στην ολοκλήρωσή τους προς ένα σύστημα παγκόσμιων προσωπικών τηλεπικοινωνιών (UPT) στο οποίο θα παρέχεται η ευελιξία στον κινούμενο χρήστη με ένα μοναδικό προσωπικό αριθμό UPT να έχει πρόσβαση στο εξατομικευμένο σύνολο υπηρεσιών (κατατομή υπηρεσιών) τις οποίες επιθυμεί από οποιοδήποτε τερματικό και οποιοδήποτε δίκτυο σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Η πορεία προς τις κινητές επικοινωνίες τρίτης γενιάς θα πραγματοποιηθεί σταδιακά εφαρμόζοντας διάφορες μεταβατικές τεχνικές όπως WAP, GPRS, HSCSD,

EDGE για την αύξηση των δυνατοτήτων των συστημάτων 2ης γενιάς.

- Τα μελλοντικά συστήματα 3ης γενιάς UMTS / IMT 2000 θα χαρακτηρίζονται από τη διεθνή τυποποίηση που επιτρέπει διεθνή διαλειτουργικότητα, από μεγαλύτερο εύρος φάσματος ζώνης συχνοτήτων άρα και μεγαλύτερες δυνατότητες παροχής υπηρεσιών, σε σχέση με τα συστήματα 2ης γενιάς, από χρησιμοποίηση της τεχνικής μεταγωγής πακέτων κατά τη μετάδοση, από φιλικό περιβάλλον παροχής υπηρεσιών, όπως π.χ. το εικονικό οικιακό περιβάλλον, και από αυξημένες δυνατότητες παγκόσμιας κινητότητας και κάλυψης.
- Η έναρξη εφαρμογής των συστημάτων 3ης γενιάς αναμένεται να αρχίσει κατά το διάστημα 2001–2002, ενώ τα μελλοντικά συστήματα 4ης γενιάς που θα ακολουθήσουν τα συστήματα 3ης γενιάς στο μέλλον αναμένεται να υποστηρίζουν σε όλες τις γεωγραφικές ζώνες υπηρεσίες και εφαρμογές ευρείας ζώνης.

Βιβλιογραφία

Για τα θέματα κυψελοειδούς τηλεφωνίας και το σύστημα GSM ειδικότερα εκτενείς παρουσιάσεις υπάρχουν στα βιβλία (*Κωτσόπουλος, 1997*) και (*Σούλης, 1992*), καθώς και στο Κεφάλαιο 9 του βιβλίου (*Black, 1997*). Μια συνοπτική αλλά πλήρης παρουσίαση του GSM υπάρχει επίσης και στο άρθρο (*Scourias, 1997*), ενώ πληροφορίες για το GSM υπάρχουν στο δικτυακό τόπο του GSM World (<http://www.gsmworld.com>).

Για τα ασυρματικά συστήματα και ειδικότερα το DECT γίνεται εκτενής αναφορά στο βιβλίο (*Phillips, 1998*), καθώς και στο άρθρο (*Huber, 1998*), όπου γίνεται μια εκτεταμένη παρουσίαση των συστημάτων κινητών – προσωπικών επικοινωνιών.

Για τις δορυφορικές επικοινωνίες υπάρχει εκτενής αναφορά, με κύρια έμφαση στους δορυφόρους χαμηλής τροχιάς, στο βιβλίο (*Jamalipour, 1997*), ενώ για τις προσωπικές υπηρεσίες που προσφέρουν οι διάφοροι τύποι δορυφορικών συστημάτων, καθώς και για τα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών υπάρχει συνοπτική και περιεκτική αναφορά στο άρθρο (*Abrishamkar, 1996*). Τέλος, για τις μελλοντικές προοπτικές και επιπτώσεις των δορυφορικών επικοινωνιών εκτενής αναφορά γίνεται στο (*Eurescom, 1997*). Χρήσιμες και ενημερωμένες αναφορές για συγκεκριμένα συστήματα δορυφόρων υπάρχουν επίσης σε διάφορες διευθύνσεις του Internet, όπως π.χ. στο <http://www.globalstar.com> για το σύστημα GLOBALSTAR, στο <http://www.orbcomm.com>, κ.ά.

Για τις κινητές επικοινωνίες 3ης γενιάς και ιδιαίτερα για τις προσωπικές υπηρεσίες επικοινωνιών, εκτός από το (*Huber, 1998*) που αναφέρθηκε παραπάνω, ενδιαφέρον παρουσιάζει το άρθρο (*Nadège, 1998*), όπου παρουσιάζονται οι υπηρεσίες αυτές σε σχέση με τα ευφυή δίκτυα καθώς και οι προοπτικές ανάπτυξής τους, καθώς και το άρθρο (*Adamopoulos, 1999*) σχετικά με τη μετεξέλιξη προς τα παγκόσμια δίκτυα ευρείας ζώνης. Το σύστημα UMTS παρουσιάζεται στο πολύ περιεκτικό και πρόσφατο άρθρο (*Richardson, 1999*), ενώ σε μια σειρά από διευθύνσεις του Internet παρουσιάζονται εξαιρετικού ενδιαφέροντος ενημερωμένες πληροφορίες, όπως στον τόπο <http://www.umts-forum.org> που ανήκει στο UMTS forum και παρουσιάζει όλες τις σχετικές προσπάθειες για την ανάπτυξη και εφαρμογή του UMTS ή στη διεύθυνση <http://www.itu.int/imt>, όπου παρουσιάζονται οι αντίστοιχες προσπάθειες για το IMT 2000, αλλά και γενικότερα οι προσπάθειες τυποποίησης σε παγκόσμιο επίπεδο. Σχετικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης οι διευθύνσεις <http://www.cellular.co.za>, όπου παρουσιάζονται στοιχεία για την αύξηση της χωρητικότητας των συστημάτων 2ης γενιάς και η πορεία προς τα συστήματα 3ης γενιάς, καθώς και η διεύθυνση <http://www.mobile.3g.com>, όπου υπάρχουν περιγραφές των συστημάτων 3ης γενιάς και αναφορές σε σχετικές μελέτες.

- Βασιλόπουλος, Χρ., Ντόκος, Ι., Σκουλάτος, Β., «*Σύγχρονα Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα*», Τόμος Γ', Έκδοση ΟΤΕ, Αθήνα 2000.
- Κωτσόπουλος, Σ., Καραγιαννίδης, Γ., «*Κινητή Τηλεφωνία*», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1997.
- Σούλης, Δ., «*Το Πανευρωπαϊκό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας GSM και η Εφαρμογή του στην Ελλάδα*», Αθήνα, Μάρτιος 1992.
- Abrishamkar, F., Siveski, Z., «*PCS Global Mobile Satellites*», IEEE Communications Magazine, September 1996.
- Adamopoulos, D.X., Papandreou, C.A., Apostolas, C., Pavlou, G., Danopoulos, C., Makris, N., «*Future Trends and Perspectives in Information Networking: Towards Global Broadband Networks and Services*», British Telecommunications Engineering, Vol. 18, Part 2, August 1999, pp. 66–73.
- Black, U., «*Emerging Communications Technologies*», Prentice Hall, Second Edition, 1997.
- Eurescom, «*Impact of Satellite Communications*», Deliverable of Eurescom Project P611, 1997.
- Huber, J.F., «*Personenbezogene Kommunikation (PCN)*», in: Arnold, F. (editor), «*Handbuch der Telekommunikation*», Deutscher Wirtschaftsdienst, Vol. I, Part 5.1.2.2., 1998.
- International Telecommunication Union (ITU), «*IMT–2000: The Next Generation of Mobile Communications*» [<http://www.itu.int/imt>].
- Jamalipour, A., «*Low Earth Orbital Satellites for Personal Communication Networks*», Artech House, 1997.
- Nadège, F., Faggion, F., Hua, T., «*Personal Communication Services Through the Evolution of Fixed and Mobile Communications and the Intelligent Network Concept*», IEEE Network, July / August 1998, pp. 11–18.
- Phillips, J., Mac Namee, G., «*Personal Wireless Communication with DECT and PWT*», Artech House, 1998.
- Richardson, K.W., «*UMTS Overview*», Electronics & Communications Engineering Journal, 1999, pp. 93–10.
- Scourias, J., «*Overview of the Global System for Mobile Communications*», 1997 [<http://ccnga.uwaterloo.ca/~jscouria/GSM/gsmreport.html>].
- Whyte, W.S., «*Network Futures: Trends for Communication Systems Development*», John Wiley & Sons, 1999.