



UNIVERSITY OF MACEDONIA

MASTER INFORMATION SYSTEMS

LESSON:

“NETWORKING TECHNOLOGIES”

PAPER TITLE:

SATELLITE NETWORKS

PROFESSOR:

Dr. ANASTASIOS A. ECONOMIDES

POSTGRADUATE STUDENT:

GRIGORIOS K. GOUTZELIS (ID: M6/01)

JANUARY 2002



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΑ** **ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΜΑΘΗΜΑ:

“ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ”

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (SATELLITE NETWORKS)

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Α. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ Ph.D

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ Κ. ΓΚΟΥΤΖΕΛΗΣ (Α.Μ. Μ6/01)

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2002



CONTENTS

<u>1. Abstract</u>	
<u>2. Introduction</u>	1
<u>3. Satellite Networks</u>	2
3.1 Structure of Satellite Networks	2
3.2 Principles of Operation	3
3.3 Types of Satellite Orbits	3
3.4 Bands of Satellite Telecommunications	5
3.5 Satellite Networks Architectures	5
<u>4. Communication Protocols in Satellites</u>	6
4.1 ALOHA Protocol	6
4.2 FDMA Protocol	6
4.3 TDMA Protocol	6
4.4 CDMA Protocol	6
<u>5. Satellite Systems in LEO Orbits</u>	7
5.1 General Elements of LEO Orbits	7
5.2 Categories of LEO Systems	7
5.3 LEO Systems' Features	7
5.4 Advantages and Restrictions of LEO Systems	9
<u>6. Satellite Systems in GEO Orbits</u>	10
6.1 Orbits and Characteristics of GEO Satellites	10
6.2 Communications via GEO Satellites	11
6.3 Advantages of GEO Satellites	12
6.4 Disadvantages and Restrictions of GEO Systems	12
<u>7. Globalstar Satellite System</u>	14
7.1 System Features	14
7.2 Implementation of Communications via Globalstar	15
7.3 Services Offered by Globalstar	15
7.4 System Advantages	16
<u>8. Iridium Satellite System</u>	16
8.1 System Features	17
8.2 Implementation Techniques	17
8.3 System Applications and Capabilities	18



<u>9. Argos Satellite System</u>	18
9.1 System Features	19
9.2 System Operation	20
9.3 Ground Section Structure	20
9.4 Positioning with Argos System	20
9.5 Data Allocation Services	21
9.6 System Advantages and Restrictions	21
<u>10. Safir Satellite System</u>	22
10.1 System Features	22
10.2 Offered Services by Safir	22
10.3 FHT (Frequency Hopping Telemetry)	23
<u>11. Inmarsat Satellite System</u>	24
11.1 System Features	24
11.2 System Structure	24
11.3 System Version	25
<u>12. EUTELTRACS Satellite System</u>	27
12.1 System Features	27
12.2 EUTELTRACS Mobile Terminals	27
12.3 Implementation Techniques	28
12.4 Offered Services and Capabilities	29
<u>13. OmniTRACS Satellite System</u>	29
<u>14. Conclusions-Suggestion for Future Research</u>	31
<u>Bibliography-References</u>	34
<u>Internet Addresses</u>	35



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>1. Περίληψη</u>	
<u>2. Εισαγωγή</u>	1
<u>3. Δορυφορικά Δίκτυα (Satellite Networks)</u>	2
3.1 Δομή των Δορυφορικών Δικτύων	2
3.2 Αρχές Λειτουργίας Δορυφορικών Δικτύων	3
3.3 Τύποι Δορυφορικών Τροχιών (Satellite Orbits)	3
3.4 Κανάλια Δορυφορικών Τηλεπικοινωνιών	5
3.5 Αρχιτεκτονικές Δορυφορικών Δικτύων	5
<u>4. Χρησιμοποιούμενα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας</u>	6
4.1 Πρωτόκολλο ALOHA	6
4.2 Πρωτόκολλο FDMA	6
4.3 Πρωτόκολλο TDMA	6
4.4 Πρωτόκολλο CDMA	6
<u>5. Δορυφορικά Συστήματα σε Τροχιές LEO</u>	7
5.1 Γενικά Στοιχεία των Τροχιών LEO	7
5.2 Διάκριση Δορυφορικών Συστημάτων LEO	7
5.3 Χαρακτηριστικά Συστημάτων LEO	7
5.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί Συστημάτων LEO	9
<u>6. Δορυφορικά Συστήματα σε Τροχιές GEO</u>	10
6.1 Τροχιές και Χαρακτηριστικά των GEO Δορυφόρων	10
6.2 Επικοινωνίες με GEO Δορυφόρους	11
6.3 Πλεονεκτήματα των GEO δορυφόρων	12
6.4 Μειονεκτήματα και Περιορισμοί των GEO δορυφόρων	12
<u>7. Το Δορυφορικό Σύστημα Globalstar</u>	14
7.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος	14
7.2 Υλοποίηση Επικοινωνιών με το Globalstar	15
7.3 Προσφερόμενες Υπηρεσίες από το Globalstar	15
7.4 Πλεονεκτήματα του Συστήματος	16
<u>8. Το Δορυφορικό Σύστημα Iridium</u>	16
8.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος	17
8.2 Τεχνικές Υλοποίησης του Συστήματος	17
8.3 Εφαρμογές και Δυνατότητες του Συστήματος	18



<u>9. Το Δορυφορικό Σύστημα Argos</u>	18
9.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος	19
9.2 Λειτουργία του Συστήματος	20
9.3 Δομή του Τμήματος Εδάφους	20
9.4 Εντοπισμός Θέσεων με το Argos	20
9.5 Υπηρεσίες Διανομής Δεδομένων	21
9.6 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί του Συστήματος	21
<u>10. Το Δορυφορικό Σύστημα Safir</u>	22
10.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος	22
10.2 Προσφερόμενες Υπηρεσίες του Safir	22
10.3 Το Σύστημα FHT (Frequency Hopping Telemetry)	23
<u>11. Το Δορυφορικό Σύστημα Inmarsat</u>	24
11.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος	24
11.2 Δομή του Συστήματος	24
11.3 Πρότυπα του Συστήματος	25
<u>12. Το Δορυφορικό Σύστημα EUTELTRACS</u>	27
12.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος	27
12.2 Φορητά Τερματικά του EUTELTRACS	27
12.3 Τεχνικές Υλοποίησης του Συστήματος	28
12.4 Προσφερόμενες Υπηρεσίες και Δυνατότητες	29
<u>13. Το Δορυφορικό Σύστημα OmniTRACS</u>	29
<u>14. Συμπεράσματα-Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα</u>	31
<u>Βιβλιογραφία-Αναφορές</u>	34
<u>Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις</u>	35



Abstract

Both spreading of information throughout great distances and allocation of resources, reasons which as known resulted in the development of computer networks, soon met restrictions, mainly related with the ability of using wires for the connections. Wires were difficult to be used in many cases, either because it was practically impossible to connect geographically isolated areas, or because such connections were considered to be economically unprofitable.

The use of microwaves, which are electromagnetic waves in frequencies from 1 GHz to 300 GHz, as far as the invention of satellites that can communicate through these waves, led to the construction of big satellite network systems, operating satellites in various orbits and high speeds in space. These satellites undertook the role of information relay all over the world. Satellite networks consist of satellite constellations, which offer communication coverage of a terrestrial area (the area must be inside the satellite's footprint). The satellites in some cases cover the same area all the time, and in other cases cover different areas, depending on the satellite system they belong to. In other words, satellite networks may offer global coverage even to the most isolated earth areas, with minimum or not existing communication infrastructure.

In this paper and in terms of a study for the lesson "Networking Technologies", we examine LEO (Low Earth Orbits) and GEO (Geosynchronous Equatorial Orbits) satellite systems. These systems are regarded as the most important among the satellite network systems. A general description of satellite networks is given in ch.3, including features of the orbits, of broadcast bands and of the network architectures most frequently used. General information about the most commonly used protocols such as ALOHA, FDMA, TDMA and CDMA is also given in ch.4.

A detailed analysis about LEO and GEO systems is presented in ch.5 and ch.6, revealing advantages, disadvantages and restrictions for each one. In GEO systems the orbital height of each geosynchronous or geostationary satellite shall be approximately at 35.780 km in equatorial plane, in order to achieve synchronization with the earth's rotation period, and only three satellites at most are enough to offer continuous global coverage. On the other hand LEO systems are more complex, may develop in lower heights (less than 1500 km) from earth surface, require more satellites in orbit (e.g. 48 for Globalstar), but they respectively perform better in concern of propagation loss and propagation delay.

From ch.7 to ch.13 a presentation of the most famous satellite networks takes place, showing their main features and capabilities. From LEO systems Globalstar, Iridium, Argos and Safir and from GEO systems Inmarsat, EUTELTRACS and OmniTracs are presented.

In the end (ch.14), two overview tables present the advantages, disadvantages, features and services of the satellite systems discussed above.



Περίληψη

Οι ανάγκες της διάδοσης πληροφοριών σε μακρινές αποστάσεις καθώς και του διαμοιρασμού των πόρων, που όπως είναι γνωστό αποτέλεσαν την βασική ιδέα ανάπτυξης των δικτύων υπολογιστών, γρήγορα συνάντησαν περιορισμούς που σχετίζονταν με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης ενσύρματων μέσων. Τα μέσα αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν αδύνατο να αναπτυχθούν είτε γιατί οι περιοχές για τις οποίες προοριζόνταν ήταν απόμακρες γεωγραφικά (υπερατλαντικές συνδέσεις), είτε γιατί η εγκατάστασή τους κρίνονταν οικονομικά ασύμφορη.

Η χρησιμοποίηση των μικροκυμάτων, δηλαδή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητες από 1GHz-300GHz, και κατ' επέκταση των δορυφόρων που μπορούσαν να τα εκμεταλλευθούν, οδήγησαν στη δημιουργία μεγάλων συστημάτων δορυφορικών δικτύων, των οποίων οι δορυφόροι κινούμενοι σε διάφορες τροχιές περί τη γη και με πολύ μεγάλες ταχύτητες, ανέλαβαν το ρόλο αναμετάδοσης της πληροφορίας, ακόμη και στα πιο απόμακρα σημεία της γης.

Τα δορυφορικά δίκτυα αποτελούνται από συστοιχίες δορυφόρων, ικανών να προσφέρουν κάλυψη κάποιας περιοχής της γήινης επιφάνειας (αυτής που βρίσκεται μέσα στο πέλμα τους ή footprint), είτε πάντοτε της ίδιας είτε κάθε φορά διαφορετικής, ανάλογα με το σύστημα στο οποίο ανήκουν. Έτσι τα δίκτυα αυτά μπορούν να παρέχουν παγκόσμια επικοινωνιακή κάλυψη ακόμη και σε απομακρυσμένες περιοχές του πλανήτη, με μηδαμινή ή και ανύπαρκτη τηλεπικοινωνιακή υποδομή.

Στη παρούσα εργασία επιχειρείται μια μελέτη των δορυφορικών δικτύων με δορυφόρους κινούμενους σε τροχιές LEO (Low Earth Orbits) και GEO (Geosynchronous Equatorial Orbits) που αποτελούν τις δύο σημαντικότερες κατηγορίες δορυφορικών δικτύων. Στο κεφ.3 δίνεται μια γενική περιγραφή των δορυφορικών δικτύων με χαρακτηριστικά των τροχιών, των καναλιών εκπομπής και των συνηθέστερων αρχιτεκτονικών τους. Στο κεφ.4 αναφέρονται περιληπτικά στοιχεία για τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας των δορυφορικών δικτύων (ALOHA, FDMA, TDMA, CDMA).

Στα κεφάλαια 5 και 6 αναφέρονται αναλυτικά στοιχεία των LEO και GEO συστημάτων αντίστοιχα απ' όπου προκύπτουν πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και περιορισμοί για το καθένα. Έτσι, στα GEO δορυφορικά δίκτυα η τροχιακή απόσταση των δορυφόρων (γεωσύγχρονων ή γεωστατικών) πρέπει οπωσδήποτε να φθάνει στα 35.780 km, στο επίπεδο του ισημερινού, για να μπορούν να περιστρέφονται με περίοδο ίδια με αυτή της γης. Στα συστήματα αυτά αρκούν έστω τρεις δορυφόροι για παροχή παγκόσμιας κάλυψης. Τα LEO συστήματα μπορούν να αναπτυχθούν σε μικρότερες αποστάσεις από την επιφάνεια της γης (λιγότερο από 1500 km) με πολύ περισσότερους δορυφόρους (π.χ 48 για το Globalstar) αλλά και με πολύ καλύτερη συμπεριφορά σε ότι αφορά το propagation loss και propagation delay.

Από το κεφ.7 έως και το κεφ.13 γίνεται μία όσο το δυνατό πιο σύντομη παρουσίαση δημοφιλών δορυφορικών συστημάτων LEO (Globalstar, Iridium, Argos, Safir) και GEO (Inmarsat, EUTELTRACS, OmniTracs) με τα κυριότερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες τους. Στο τέλος της εργασίας στο κεφ.14 παρουσιάζονται δύο ανακεφαλαιωτικοί συγκριτικοί πίνακες στους οποίους συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, χαρακτηριστικά και υπηρεσίες των παραπάνω συστημάτων.



2. Εισαγωγή

Η ασύρματη μορφή επικοινωνίας με την οποία μπορούν να αποσταλούν σήματα στον αέρα ή το διάστημα, χωρίς την παρεμβολή κάποιου φυσικού μέσου, αποτελεί όπως είναι γνωστό μια σοβαρή εναλλακτική λύση έναντι των ενσύρματων μέσων, όπως είναι το ομοαξονικό καλώδιο, το καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους και η οπτική ίνα. Σήμερα οι ασύρματες επικοινωνίες κατέχουν ένα από τα σημαντικότερα μερίδια της παγκόσμιας αγοράς των τηλεπικοινωνιών.

Με τη διόγκωση των επικοινωνιών ανάμεσα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές στις δεκαετίες του '50 και '60, τα μικροκύματα (δηλαδή ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητες μεταξύ 1 GHz και 300 GHz) άρχισαν να συγκεντρώνουν την προσοχή των ανθρώπων της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, που ήθελαν να μεταδίδουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων με μεγάλη ταχύτητα και με ασύρματα μέσα.

Ξεκινώντας λοιπόν από ερευνητικές προσπάθειες για αμυντικούς αρχικά σκοπούς, όπως ήταν ο εντοπισμός εχθρικών αεροσκαφών, με αποστολή ραδιοφωνικών σημάτων στον ουρανό και μέτρηση του χρόνου ανάκλασής του (ραδιοεντοπισμός) στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, περάσαμε στο επικοινωνιακό σύστημα της AT&T με μικροκύματα για την άμυνα, λίγο μετά το τέλος του πολέμου. Οι τηλεοπτικοί σταθμοί επίσης, είχαν την ανάγκη μετάδοσης προγραμμάτων ο ένας για τον άλλο, με μεγάλες απαιτήσεις σε χωρητικότητες καλωδίων.

Η λύση των ομοαξονικών καλωδίων αποδείχθηκε δαπανηρή για μεγάλες αποστάσεις και έτσι η ιδέα της χρήσης ασύρματων τρόπων μετάδοσης, όπως αυτή με τα μικροκύματα, εύρισκε όλο και περισσότερους υποστηρικτές. Μετά από πολλές νομικές διαμάχες, στις αρχές της δεκαετίας του '70 η MCI¹ κατόρθωσε να επικρατήσει στον χώρο των μικροκυματικών επικοινωνιών, συνδέοντας 40 πόλεις της αμερικανικής ηπείρου, από τη μια ακτή ως την άλλη.[5]

Εκτός από το πλεονέκτημα της μεγάλης χωρητικότητας για δεδομένα, η νέα μορφή επικοινωνίας μπορούσε να υλοποιηθεί ευκολότερα απ' ό,τι με τα ενσύρματα μέσα με την αγορά ή ενοικίαση λίγων στρεμμάτων γης (κάθε 20-30 μίλια), για την εγκατάσταση αναμεταδοτών. Η Ευρώπη εντούτοις, δεν μπορούσε ακόμη να επικοινωνήσει με την Αμερική με μικροκύματα, αφού κάτι τέτοιο θα απαιτούσε τη δημιουργία μιας αλυσίδας από 100 και πλέον τεχνητά νησάκια σε όλο το πλάτος του Ατλαντικού για τους αναμεταδότες.[13]

Ο πρώτος που σκέφτηκε μια λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν ο Βρετανός ερευνητής, μηχανικός Arthur Clark (γνωστός από το αριστούργημα επιστημονικής φαντασίας "2001:Οδύσσεια του Διαστήματος"), ο οποίος οραματίστηκε πυραύλους που θα έθεταν σε τροχιά διαστημικούς σταθμούς γύρω από τη γη. Στο διάστημα οι σταθμοί θα μπορούσαν να δέχονται σήματα μικροκυμάτων από το έδαφος και να τα αναμεταδίδουν προς κάποιες κεραίες-δέκτες.

Διαδοχικά λοιπόν (πρόγραμμα SCORE το 1958, Courier και Echo 1 το 1960, Telstar το 1962, Syncom 2 το 1963, Syncom 3 το 1964, Intelsat 1 το 1965, Marisat και Intelsat IV το 1975, Intelsat V το 1980, Inmarsat το 1986, Intelsat K το 1992) φτάσαμε στα σημερινά δορυφορικά δίκτυα επικοινωνιών.[8]

¹ Microwave Communication Inc

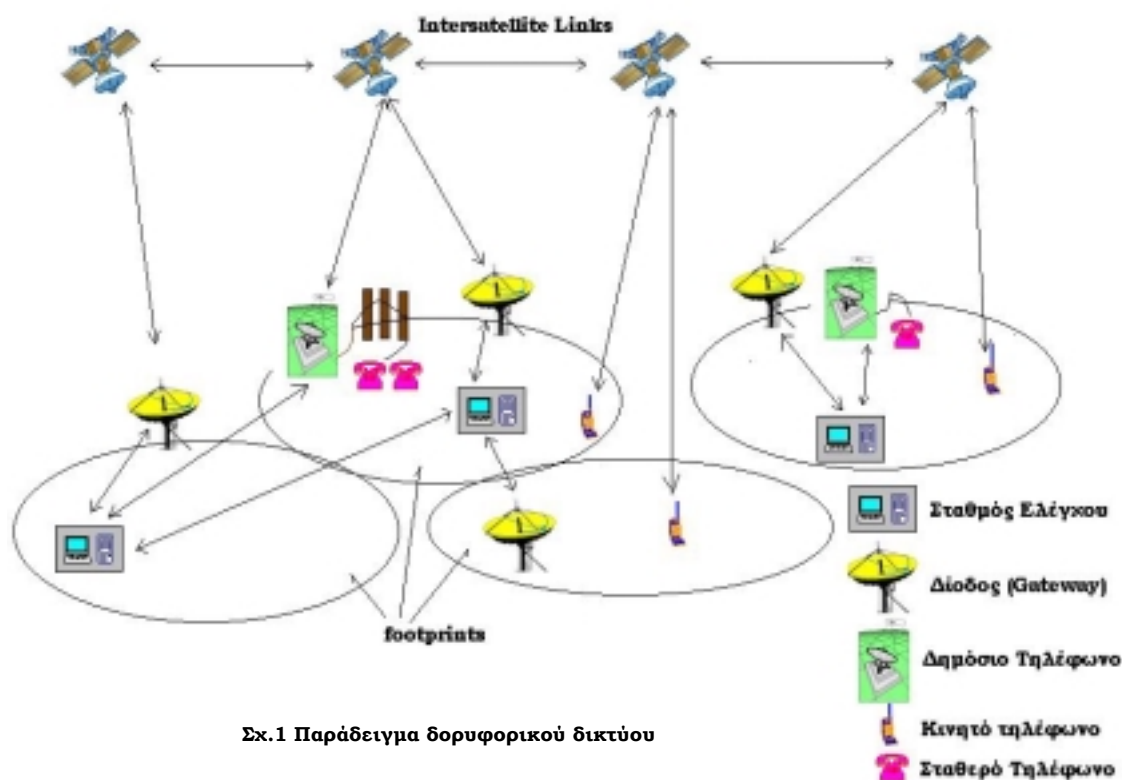
3. Δορυφορικά Δίκτυα (Satellite Networks)

3.1 Δομή των Δορυφορικών Δικτύων

Με τον όρο δορυφορικά δίκτυα, εννοούμε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούνται για την λήψη και μετάδοση πληροφοριών, από και προς τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, που βρίσκονται σε απομακρυσμένες γεωγραφικά θέσεις, με τη χρήση δορυφόρων κινουμένων σε τροχιές γύρω από τη γη. Γενικά ένα τυπικό δορυφορικό δίκτυο αποτελείται από:

- Τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους σε διάφορες τροχιές γύρω από τη γη, με “θέα” προς κάποιο τμήμα του γήινου εδάφους.
- Επίγειους δορυφορικούς σταθμούς μετάδοσης και ελέγχου σημάτων, οι οποίοι επικοινωνούν με τους δορυφόρους με μικροκύματα.
- Τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, όπως φορητά τηλέφωνα, υπολογιστές, φορητά ή σταθερά τερματικά πάνω σε πλοία, αεροσκάφη και οχήματα, σε οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη.

Αναλυτικότερα ένα δορυφορικό δίκτυο αποτελείται από το επίγειο (ground) και από το διαστημικό (space) τμήμα. Το επίγειο τμήμα ενός δορυφορικού δικτύου περιλαμβάνει τις διόδους (GSs ή Gateway Stations), το σταθμό ελέγχου δικτύου (NCC ή Network Control System) και τα επιχειρησιακά κέντρα ελέγχου (OCCs ή Operation Control Centers). Ο σταθμός ελέγχου του δικτύου και τα επιχειρησιακά κέντρα ελέγχου είναι υπεύθυνα για όλη τη διαχείριση του δικτύου, τη λειτουργία των δορυφόρων και τον τροχιακό τους έλεγχο. Επιπλέον είναι υπεύθυνα για μετατροπές πρωτοκόλλων, διευθύνσεων και μορφής (format) των μηνυμάτων. Το διαστημικό τμήμα του δικτύου αποτελείται από συστοιχίες (constellations) δορυφόρων, σε διάφορα ύψη, ταχύτητες και κατηγορίες τροχιών, ανάλογα με το τηλεπικοινωνιακό σύστημα.[6],[12]

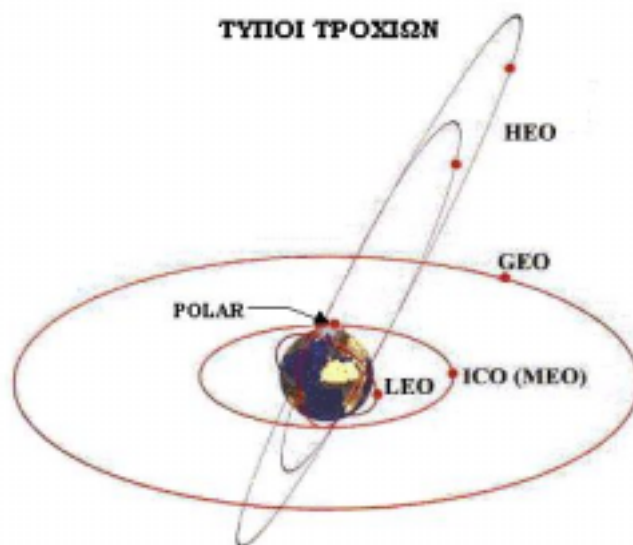


Σχ.1 Παράδειγμα δορυφορικού δικτύου

3.2 Αρχές Λειτουργίας Δορυφορικών Δικτύων

Η τεχνική των τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων μέσω δορυφόρων συνίσταται βασικά στην εκπομπή σημάτων από ένα επίγειο σταθμό προς ένα τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο, ο οποίος διαθέτει τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό για να λαμβάνει τα σήματα αυτά, να τα ενισχύει και να επανεκπέμπει προς μια περιοχή της γης, την οποία καλύπτει με το “πέλμα” του (footprint) . Κάθε επίγειος σταθμός που βρίσκεται μέσα στην περιοχή αυτή μπορεί να συλλάβει τα σήματα. Έτσι επιτυγχάνεται η τηλεπικοινωνιακή ζεύξη δύο επίγειων σταθμών.

Η τηλεπικοινωνιακή σύνδεση των δορυφόρων με τους διάφορους επίγειους σταθμούς γίνεται με τη χρησιμοποίηση μικροκυμάτων. Τα μικροκύματα εκπέμπονται και λαμβάνονται με τη χρησιμοποίηση παραβολικών κεραιών. Επειδή τα κύματα αυτά οδεύουν σε στενές ευθύγραμμες δέσμες, οι μικροκυματικοί αναμεταδότες, που χρησιμεύουν για την ενίσχυση των σημάτων, πρέπει να εγκαθίστανται σε σημεία που έχουν μεταξύ τους οπτική επαφή. Στη στεριά αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση τους σε ψηλά κτίρια ή σε φυσικές εδαφικές εξάρσεις.[8]



Σχ. 2 Τύποι τροχιών δορυφόρων γύρω από τη γη

3.3 Τύποι Δορυφορικών Τροχιών (Satellite Orbits)

Υπάρχουν διάφορα είδη τροχιών (σχ. 2) στις οποίες μπορούν να κινούνται οι επικοινωνιακοί δορυφόροι όπως:

- LEO : Low Earth Orbits. Βρίσκονται σε τροχιακό ύψος μικρότερο από 1.500 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης. Οι δορυφόροι κινούνται σε αυτούς με μεγάλες ταχύτητες και έχουν τροχιακή περίοδο από 90 λεπτά έως δύο ώρες περίπου (πιν.1).
- Polar και near-Polar Orbits. Είναι τροχιές LEO που περνούν από τους πόλους της γης ή πολύ κοντά σε αυτούς.
- MEO : Medium Earth Orbits ή αλλιώς ICO (Intermediate Circular Orbits). Βρίσκονται σε τροχιακό ύψος 6.000-12.000 μίλια από την επιφάνεια της γης. Οι τροχιακές περίοδοι σε αυτές τις τροχιές φθάνουν τις 6 ώρες.



■ GEO : Geosynchronous Equatorial Orbits ή Geostationary Earth Orbit. Βρίσκονται σε τροχιακό ύψος 35.786 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης. Οι δορυφόροι που κινούνται σε αυτές, έχουν τροχιακή περίοδο ίδια με αυτή της γης, δηλαδή 24 ώρες. Όπως θα εξηγηθεί και αναλυτικότερα στη συνέχεια, μοιάζουν να είναι εγκατεστημένοι στο ίδιο σημείο πάνω από τη γη.²

■ SSO : Sun-Synchronous Orbits. Βρίσκονται σε τροχιακό ύψος 1.100-1.300 μίλια από την επιφάνεια της γης. Οι δορυφόροι που κινούνται σε αυτούς μεταβάλλουν την τροχιά τους κατά μία μοίρα περίπου κάθε μέρα και περνούν από το ίδιο τμήμα της γης την ίδια χρονική στιγμή της ημέρας.

■ HEO : Highly Elliptical Orbits. Οι τροχιές αυτές έχουν ένα περίγειο στα 800 περίπου μίλια από την επιφάνεια της γης και ένα απόγειο στα 80.000 χιλιόμετρα. Είναι κεκλιμένες τροχιές με κλίση στις 63,4 μοίρες. Έχουν τροχιακή περίοδο από 8-24 ώρες.[24]

Στον παρακάτω πίνακα (πιν.1) αναφέρονται ενδεικτικά οι ταχύτητες των δορυφόρων ανάλογα με την απόστασή τους από τη γη, καθώς και η τροχιακή τους περίοδος.

Απόσταση σε km	Ταχύτητα σε km/sec	Τροχιακή Περίοδος		
		Ώρες	Λεπτά	Δευτερόλεπτα
0	7.906	1	24	28
100	7.844	1	26	29
200	7.778	1	28	29
300	7.725	1	30	32
500	7.612	1	34	37
700	7.503	1	38	47
1.000	7.350	1	45	8
2.000	6.987	2	7	12
3.000	6.519	2	30	39
5.000	5.918	3	21	19
10.000	4.934	5	47	40
30.000	3.310	19	10	51
35.786	3.075	23	56	4
40.000	2.932	27	36	39

Πιν. 1 Ταχύτητες και τροχιακές περίοδοι δορυφόρων ανάλογα με την απόστασή τους από τη γη

3.4 Κανάλια Δορυφορικών Τηλεπικοινωνιών

Στις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες, με τον όρο downlink εννοούμε την ζεύξη από το δορυφόρο προς έναν ή περισσότερους επίγειους σταθμούς, ενώ λέγοντας uplink εννοούμε τη ζεύξη από τον επίγειο σταθμό προς τον δορυφόρο. Οι ζεύξεις αυτές χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια μικροκυματικών συχνοτήτων όπως φαίνεται παρακάτω (πιν.2) για να αποφεύγονται οι παρεμβολές και οι συγκρούσεις των μεταδιδόμενων σημάτων.

² Οι δορυφορικές τροχιές που δεν συμπεριλαμβάνονται στις GEO είναι γνωστές και ως NGSOs (nongeostationary satellite orbits)



Το κανάλι C χρησιμοποιήθηκε από τα πρώτα δορυφορικά συστήματα (Telstar της AT&T) και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως από τις γήινες συνδέσεις. Το κανάλι Ku χρησιμοποιήθηκε από πιο σύγχρονα δορυφορικά συστήματα (Intelsat V, VA και VI), είναι επιρρεπές όμως σε εξασθένηση λόγω βροχής. Με την εκτόξευση δορυφόρων ACTS (Advanced Communication Technology Satellite), χρησιμοποιήθηκε και το υψηλής συχνότητας κανάλι Ka, με σκοπό να παρέχεται επικοινωνία με GEO δορυφόρους, όταν τα κανάλια C και Ku είναι πλήρη. Το κανάλι Ka είναι περισσότερο ευαίσθητο σε εξασθένηση λόγω βροχής ή υγρασίας από τα άλλα δύο, παρέχει όμως μεγαλύτερο εύρος συχνότητας και απαιτεί μικρότερες κεραιές.[2],[13]

ΚΑΝΑΛΙ (FREQUENCY BAND)	ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗ ΖΕΥΞΗ (DOWNLINK) σε GHz	ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗ ΖΕΥΞΗ (UPLINK) σε GHz
L	1,6 (1,610-1,6265)	2,4 (2,4835-2,5)
C	4 (3,7-4,2)	6 (5,925-6,425)
Ku	11 (11,7-12,2)	14 (14,0-14,5)
Ka	20 (17,7-21,2)	30 (27,5-31,0)

Πιν.2 Κυριότερα κανάλια συχνοτήτων δορυφορικών τηλεπικοινωνιών

3.5 Αρχιτεκτονικές Δορυφορικών Δικτύων

Στα δορυφορικά δίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις αρχιτεκτονικές:

- Bent-pipe: όπου ο δορυφόρος ενεργεί σαν αναμεταδότης από και προς τον σταθμό εδάφους. Στην αρχιτεκτονική αυτή ο δορυφόρος, η συσκευή και ο σταθμός εδάφους πρέπει να έχουν οπτική επαφή. Η ολοκλήρωση των κλήσεων υποβοηθείται αρκετά από την επίγεια τηλεπικοινωνιακή υποδομή.
- Intersatellite: όπου μοναδική απαίτηση είναι να βρίσκονται σε οπτική επαφή ο δορυφόρος και η συσκευή του χρήστη. Οι κλήσεις μπορούν να μεταδίδονται από δορυφόρο προς δορυφόρο σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι να φθάσουν στο δορυφόρο που “βλέπει” τον παραλήπτη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος PRP (Probabilistic Routing Protocol) ο οποίος μειώνει τον αριθμό των προσπαθειών επαναδρομολόγησης του μηνύματος προς τον επιθυμητό προορισμό.[15]
- Hybrid: όπου ο δορυφόρος αποθηκεύει τα μηνύματα όταν δεν μπορεί να “δει” τον παραλήπτη. Όταν κάποια στιγμή ο δορυφόρος βρεθεί σε θέση απ’ όπου “βλέπει” τον παραλήπτη, τότε προωθεί το αποθηκευμένο μήνυμα.[39]

4. Χρησιμοποιούμενα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Επειδή στη συνέχεια της εργασίας, στα πλαίσια της ανάλυσης των χαρακτηριστικών των δορυφορικών συστημάτων πρόκειται να γίνουν συχνές αναφορές στα χρησιμοποιούμενα, ανάλογα με το σύστημα, πρωτόκολλα επικοινωνίας, κρίνεται σκόπιμο στο παρόν σημείο, να γίνει μια πολύ περιληπτική αναφορά στα σημαντικότερα από αυτά:



4.1 Πρωτόκολλο ALOHA

Πρόκειται για εφαρμογή της ιδέας του Abramson (Πανεπιστήμιο Χαβάης 1985) η οποία είναι εφαρμόσιμη σε οποιοδήποτε σύστημα ανταγωνισμού (contention system), όπου συμμετέχουν ασυντόνιστοι χρήστες που ανταγωνίζονται για τη χρήση ενός κοινού καναλιού. Διακρίνεται κυρίως στο απλό ALOHA και στο S-ALOHA (slotted ή με σχισμές).

Στο πρώτο κάθε σταθμός στέλνει όποια στιγμή θέλει, είναι εύκολα υλοποιήσιμο, η αποδοτικότητα του όμως φθάνει μόλις το 18%. Στο S-ALOHA συναντάται πρόβλημα στον συγχρονισμό των σταθμών για το πότε μπορεί κάποιος να “μιλήσει”, η δε αποδοτικότητα του είναι διπλάσια από αυτήν του απλού ALOHA. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται από τον εκάστοτε δορυφόρο, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιεί ισόχρονα τμήματα για λήψεις και μεταδόσεις σημάτων.[10],[18]

4.2 Πρωτόκολλο FDMA (Frequency-Division Multiple Access)

Στο πρωτόκολλο αυτό το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού στο οποίο γίνεται η μετάδοση διαμοιράζεται σε τμήματα συχνοτήτων για τους σταθμούς βάσης, δηλαδή ένας σταθμός εκπέμπει και λαμβάνει σήματα σε κάποιο τμήμα του εύρους ζώνης των διατιθέμενων συχνοτήτων. Αναγκαστικά σε αυτή την τεχνική πρέπει να υπάρχουν ενδιάμεσα μη χρησιμοποιούμενα τμήματα συχνοτήτων για ασφάλεια στις μεταδόσεις, καθώς και έλεγχοι ώστε κάθε σταθμός να μεταδίδει στις δικές του εκχωρημένες συχνότητες. [7],[18]

4.3 Πρωτόκολλο TDMA (Time-Division Multiple Access)

Σε αυτό το πρωτόκολλο οι διαθέσιμες ραδιοσυχνότητες είναι χωρισμένες σε πολλές χρονικές θέσεις ή θυρίδες (time slots). Ο κάθε σταθμός έχει πρόσβαση στις θυρίδες αυτές ανά τακτά προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς σταθμούς την ίδια χρονική περίοδο. Περισσότερες της μιας θυρίδες μπορούν να σχετίζονται με ένα σταθμό σε συγκεκριμένες συχνότητες. Οι υπόλοιποι σταθμοί παρακολουθούν τη διαδικασία αυτή ώστε να βρουν το κατάλληλο κανάλι επικοινωνίας και αναγνωρίζουν ποια σήματα τους αφορούν. Στην πραγματικότητα το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό πολυπλεξίας συχνοτήτων και χρονομερισμού (frequency and time-division multiplexing).[7],[18]

4.4 Πρωτόκολλο CDMA (Code-Division Multiple Access)

Πρόκειται για πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί την τεχνική ραδιοσυχνοτήτων ευρέως φάσματος (spread spectrum), κατά την οποία κάθε σήμα είναι ένα πακέτο δεδομένων που του έχει δοθεί ένας δυαδικός κωδικός (binary code) για την αναγνώριση του. Με αυτόν τον τρόπο πολλαπλές μεταδόσεις σημάτων μπορούν να περάσουν από ένα κανάλι. Ο κωδικός χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει μοναδικά τα σήματα που αποστέλλονται από τον πομπό προς τον δέκτη και αντιστρόφως. Με τη λήψη του σήματος, ο δέκτης χρησιμοποιεί το μοναδικό κωδικό για να διακρίνει και να εξάγει το επιθυμητό σήμα από όλα τα υπόλοιπα ληφθέντα σήματα. Η χωρητικότητα του δικτύου CDMA είναι 20 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του TDMA.[7],[18]



5. Δορυφορικά Συστήματα σε Τροχιές LEO

5.1 Γενικά Στοιχεία των Τροχιών LEO

Οι LEO είναι είτε ελλειπτικές είτε (συνήθως) κυκλικές τροχιές σε ύψος μικρότερο από 1.500 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης. Η περίοδος της τροχιάς σε αυτά τα ύψη ποικίλλει από ενενήντα λεπτά μέχρι και δύο ώρες (χρόνος που απαιτείται ώστε ένας δορυφόρος να κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τη γη). [geo-orbits.org] Επειδή κινούνται σε μικρές αποστάσεις από την επιφάνεια της γης, οι δορυφόροι σε τροχιές LEO, πρέπει να αναπτύσσουν πολύ μεγάλες ταχύτητες έτσι ώστε να μη μπορεί η βαρύτητα να τους έλκει πίσω στην ατμόσφαιρα. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι ένας δορυφόρος LEO σε απόσταση 1.500 km από τη γη κινείται με ταχύτητα 7,1 km/sec. [24]

5.2 Διάκριση Δορυφορικών Συστημάτων LEO

Τα δορυφορικά συστήματα LEO μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα “Big LEO” και “Little LEO” συστήματα, ανάλογα με το φόρτο επικοινωνιών σε αυτά, τα κανάλια συχνοτήτων που χρησιμοποιούν και την ποικιλία υπηρεσιών που μπορούν να προσφέρουν. Γενικότερα, τα “Big” διαθέτουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και δυνατότητα φωνητικής μετάδοσης σε σχέση με τα “Little”.

Τα συστήματα “Little LEO” χρησιμοποιούν δορυφόρους μικρού μεγέθους για εφαρμογές χαμηλού ρυθμού μετάδοσης (low-bit-rate) κάτω από 1 kbps. Χρησιμοποιούν κανάλια συχνοτήτων των 137-138 MHz για downlinking και 148-149.9 MHz για uplinking. Οι περισσότεροι δορυφόροι αυτής της υποκατηγορίας ζυγίζουν από 40 έως 150 κιλά και κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η παροχή μη φωνητικών υπηρεσιών δύο δρόμων (nonvoice two-way messaging), η τεχνική της αποθήκευσης-και-προώθησης (store-and-forward), και η εγκατάστασή τους με χαμηλού κόστους αναμεταδότες. Χρησιμοποιούν, για λόγους μικρότερου κόστους, φάσμα συχνοτήτων κάτω του 1 GHz, το οποίο όμως χρησιμοποιείται ευρέως και από πολλές επίγειες ασύρματες επικοινωνίες. Παραδείγματα αυτής της υποκατηγορίας αποτελούν το VitaSat της VITA (Volunteers for Technical Assistance) που χρησιμοποιεί μόνο δύο δορυφόρους LEO, για την κάλυψη επικοινωνιακών αναγκών σε σχολεία και κινητά νοσοκομεία της Αφρικής, όπως επίσης και τα συστήματα Argos και Safir. [4]

Τα συστήματα “Big LEO” αποτελούνται από ισχυρότερους και μεγαλύτερους δορυφόρους, χρησιμοποιούν μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων και προσφέρουν ποικιλία υπηρεσιών στους συνδρομητές τους. Τέτοιες υπηρεσίες είναι φωνητικές, δεδομένων, τηλεομοιοτυπίας (φαξ), καθώς και RDSS (Radio Determination Satellite Services). Χρησιμοποιούν το κανάλι L (L-band) δηλαδή συχνότητες πάνω από 1 GHz, που συνήθως χρησιμοποιούνται από δορυφορικά συστήματα GEO και MEO.

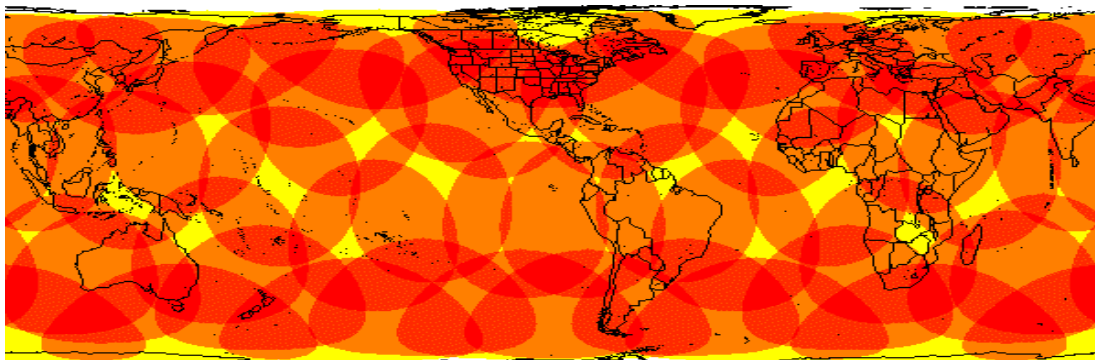
Το μέγεθός τους, τους επιτρέπει να εκτελούν περισσότερο σύνθετες διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων σε σχέση με τα “Little-LEO” συστήματα. Διαθέτουν δυνατότητες διασύνδεσης δικτύων (internetworking) με επίγεια τηλεπικοινωνιακά συστήματα (π.χ με dual-mode τερματικά). Στην υποκατηγορία αυτή ανήκουν συστήματα όπως το Iridium και το Globalstar που θα εξετασθούν λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

5.3 Χαρακτηριστικά Συστημάτων LEO

Η ακτίνα του πέλματος (footprint) ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου σε τροχιά LEO κυμαίνεται από 3.000 έως 4.000 χλμ. Ο μέγιστος χρόνος κατά τον οποίο ο δορυφόρος LEO βρίσκεται πάνω από τον τοπικό ορίζοντα για ένα παρατηρητή στη γη, φθάνει τα είκοσι λεπτά. Ωστόσο υπάρχουν μεγάλες περιόδους, κατά τις οποίες, ο δορυφόρος δεν είναι ορατός από ένα συγκεκριμένο σταθμό εδάφους. Αυτό μπορεί να είναι αποδεκτό για ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποθήκευσης-και-προώθησης (store-and-forward). Πολλά μικρά συστήματα LEO χρησιμοποιούν πολικές (polar) ή σχεδόν πολικές (near-polar) τροχιές. Η ευκολία πρόσβασης μπορεί να βελτιωθεί με την ανάπτυξη περισσότερων του ενός δορυφόρων και με τη χρήση πολλαπλών τροχιακών επιπέδων.

Ένα ολοκληρωμένο, παγκόσμιας κάλυψης σύστημα LEO, απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό δορυφόρων, σε πολλαπλά τροχιακά επίπεδα, σε ποικίλες κεκλιμένες τροχιές. Η τοπολογία ενός πλήρους συστήματος τηλεπικοινωνιακού δικτύου LEO είναι δυναμική. Το δίκτυο πρέπει να προσαρμόζεται συνεχώς σε εναλλασσόμενες συνθήκες προκειμένου να επιτευχθούν οι βέλτιστες (με την ελάχιστη καθυστέρηση) συνδέσεις μεταξύ τερματικών.[15]

Όταν ένας δορυφόρος που εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο χρήστη κινηθεί πίσω από τον τοπικό ορίζοντα, πρέπει να είναι σε θέση να αναθέσει την υπηρεσία σε έναν κοντινό ή επερχόμενο δορυφόρο που βρίσκεται στην ίδια ή σε γειτονική τροχιά. Ανάλογα με τη σχεδίαση του συστήματος, μεμονωμένοι δορυφόροι μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους για να αναμεταδώσουν ένα σήμα μέσω μιας τεχνικής ταχείας εναλλαγής πακέτων (rapid packet switching technique) όπως συμβαίνει στο σύστημα Iridium, ή μπορούν να επιστρέψουν το σήμα σε κάποιο τερματικό στη γη, για την επαναδρομολόγησή του (re-routing).



Σχ.3 Χάρτης κάλυψης (coverage map) του Globalstar

Βλέποντας έναν χάρτη κάλυψης, μπορούμε να διαπιστώσουμε το τεράστιο μέγεθος και την πολυπλοκότητα ενός παγκοσμίου συστήματος LEO. Είτε χρησιμοποιείται διάταξη δρομολόγησης δορυφόρος-προς-δορυφόρο (satellite-to-satellite), είτε δορυφόρος-επίγειο τερματικό-δορυφόρος (satellite-earth terminal-satellite), ο χειρισμός των μηνυμάτων γίνεται μέσω διπλής (duplex) κατεύθυνσης δικτύου LEO, τα οποία διαδίδονται με τη μορφή μικρών και σταθερού μήκους (fixed length) πακέτων.

Κάθε πακέτο περιέχει μια επικεφαλίδα η οποία περιλαμβάνει τη διεύθυνση προορισμού και πληροφορίες ακολουθίας, ένα τμήμα ελέγχου λαθών που χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση της ορθότητας της επικεφαλίδας και ένα τμήμα που φέρει τα ψηφιακώς κωδικοποιημένα δεδομένα του χρήστη (π.χ. φωνή, εικόνα, κείμενο κλπ) καθώς και έναν αλγόριθμο προσαρμοστικής δρομολόγησης.



Κάθε κόμβος (δορυφόρος ή επίγειο τερματικό) αυτόματα και ανεξάρτητα επιλέγει την διαδρομή με την ελάχιστη καθυστέρηση προς τον σταθμό προορισμού. Πακέτα που προέρχονται από τον ίδιο χρήστη είναι δυνατό να ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές μέσα από το δίκτυο. Το τερματικό στη θέση προορισμού συγκεντρώνει, και αν απαιτείται, θέτει στη σωστή σειρά τα ληφθέντα πακέτα ώστε να περιοριστούν χρονικές καθυστερήσεις.[19]

5.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί Συστημάτων LEO

Εξαιτίας της σχετικά γρήγορης κίνησης ενός δορυφόρου σε τροχιά LEO σε σχέση με έναν παρατηρητή στη γη, δορυφόροι που κινούνται σε τέτοιες τροχιές πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν μεγάλες εναλλαγές Doppler. (Το φαινόμενο Doppler ακούγεται συχνά από κάποιον που βρίσκεται κοντά σε σιδηροδρομική διάβαση, όταν περνάει τραίνο).

Δορυφόροι σε τροχιές LEO επηρεάζονται επίσης από την έλξη της ατμόσφαιρας, που αναγκάζει τις τροχιές να εκφυλίζονται σταδιακά. Έτσι ένας τυπικός χρόνος ζωής ενός δορυφόρου LEO στο διάστημα, είναι 5-8 έτη. Ωστόσο, οι εκτοξεύσεις δορυφόρων σε τροχιές LEO είναι αρκετά φθηνότερες από αυτές σε τροχιές GEO και εξαιτίας του μικρότερου βάρους τους, πολλοί δορυφόροι LEO μπορούν να εκτοξευθούν ταυτόχρονα, ενώ μόνο δύο GEO δορυφόροι μπορούν να εκτοξευθούν ταυτόχρονα με τις σημερινή τεχνολογία εκτόξευσης πυραύλων.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των προσωπικών επικοινωνιακών συστημάτων LEO είναι ότι παρέχουν άμεση δορυφορική σύνδεση τόσο για εισερχόμενες όσο και για εξερχόμενες επικοινωνίες, σε απομακρυσμένες περιοχές, με ελλιπή επικοινωνιακή κάλυψη και σε περιοχές εκτός επίγειων δικτύων, είτε η επικοινωνία γίνεται με κάποια φορητή συσκευή, από οποιοδήποτε δημόσιο τηλέφωνο στον κόσμο, είτε απλά μέσω ενός ομοκατευθυντικού αλφαριθμητικού βομβητή (unidirectional alpha numeric pager).

Η καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay) των LEO συστημάτων κυμαίνεται από 20 έως 25 msec, που είναι συγκρίσιμη με αυτή των επίγειων συνδέσεων και πολύ χαμηλότερη αυτής των συστημάτων GEO (240-280 msec). Δίνεται επίσης τη δυνατότητα στον χρήστη να υπερκεράσει (π.χ. roaming) πολλά ασύρματα και εθνικά τηλεφωνικά συστήματα, χρησιμοποιώντας έναν απλό τηλεφωνικό αριθμό και λαμβάνοντας μόνο ένα τηλεφωνικό λογαριασμό για κλήσεις που πραγματοποιήσει από οπουδήποτε στον κόσμο.

Ωστόσο όλα τα προσωπικά επικοινωνιακά συστήματα LEO δεν αποσκοπούν σε παγκόσμια κάλυψη. Μερικές πρόσφατες προτάσεις συστημάτων LEO στοχεύουν μόνο σε συγκεκριμένα παγκόσμια γεωγραφικά πλάτη όπου είναι εγκατεστημένα μεγάλης κίνησης εμπορικά κέντρα. Κάποιες άλλες προτάσεις αφορούν παροχή υπηρεσιών σε περιορισμένους γεωγραφικούς και εμπορικούς τομείς.

Τα όχι παγκοσμίου εύρους (not global) συστήματα LEO σχεδιάστηκαν για να προσφέρουν παρακολούθηση από απόσταση και μεταφορά πληροφοριών για εθνικές μεταφορικές εταιρείες και κινητές μονάδες. Χρησιμοποιώντας κάποιο αναμεταδότη σε όχημα ή και επιτραπέζιο, με μικρή, εύκαμπτη κεραία, το σύστημα έχει την δυνατότητα να στέλνει και να λαμβάνει αλφαριθμητικά πακέτα πληροφοριών δύο δρόμων, όπως στην περίπτωση του paging ή του e-mail.



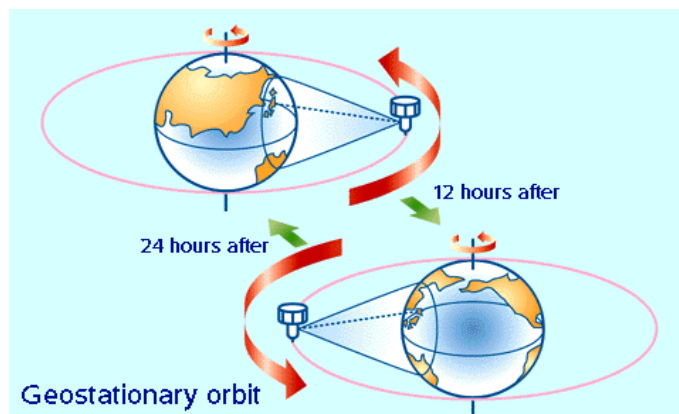
Τα συστήματα αυτά επεκτάθηκαν για να συμπεριλάβουν φορητές συσκευές για προσωπική χρήση. Το μήνυμα του αποστολέα οδηγείται στον κοντινότερο εντός θέας (in-view) δορυφόρο, όπου συνδέεται με την τοπική επίγεια επικοινωνιακή πύλη (station gateway), για επικύρωση και βέλτιστη δρομολόγηση προς τον πομποδέκτη του παραλήπτη (satellite-earth terminal-satellite transfer method). Αν είναι απαραίτητο, οι επίγειες επικοινωνιακές πύλες παραδίδουν τα μηνύματα μεταξύ δορυφόρων για γρηγορότερη μετάδοση. Τα μεταδιδόμενα πακέτα πληροφοριών μπορούν επίσης να κωδικοποιηθούν στην αντίστοιχη συχνότητα, για ασφάλεια στη μετάδοση και για να υπάρχει η δυνατότητα της αποκλειστικής αναγνώρισης του μηνύματος από τον νόμιμο παραλήπτη.[1],[19]

6. Δορυφορικά Συστήματα σε Τροχιές GEO

6.1 Τροχιές και Χαρακτηριστικά των GEO Δορυφόρων

Η τροχιά αυτή είναι γνωστή ως γεωσύγχρονη ή γεωστατική (geosynchronous ή geostationary). Ο δορυφόρος που κινείται σε μια τέτοια τροχιά εμφανίζεται ως εγκατεστημένος, δηλαδή σε μια σταθερή θέση ως προς κάποιο επίγειο παρατηρητή. Η τροχιακή περίοδος είναι ίση με αυτή της γης και επιτυγχάνεται σε τροχιακό ύψος 35.786 χιλιομέτρων (όπως αποδεικνύεται από τους νόμους του Kepler). Με την τοποθέτηση ενός δορυφόρου σε αυτό το ύψος, η τροχιακή του περίοδος συμπίπτει με αυτή της γης, ο δορυφόρος μοιάζει να αιωρείται σε κάποιο σημείο πάνω από τον Ισημερινό, και έτσι φαίνεται ακίνητος πάνω στην ίδια θέση. Ενώ ένας δορυφόρος σε τροχιά GEO εμφανίζεται ως σταθερός πάνω από την επιφάνεια της γης (π.χ. σε σταθερό γεωγραφικό μήκος και πλάτος), στην πράξη, η τροχιά έχει μικρές, μη μηδενικές, τιμές κλίσης και εκκεντρότητας, αναγκάζοντας τον δορυφόρο να διαγράφει ένα μικρό “οκτάρι” στον ουρανό. Για να έχει ένας δορυφόρος σταθερή γωνιακή ταχύτητα, ίδια με αυτή της γης, η τροχιά του θα πρέπει να είναι κυκλική (σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Kepler). Η γεωστατική λοιπόν είναι κυκλική τροχιά προσανατολισμένη στο επίπεδο του ισημερινού (με μηδενική κλίση), και έχει την ίδια τροχιακή περίοδο με αυτή της γης.

Ο δορυφόρος GEO κάνει μια πλήρη τροχιακή περιστροφή, σε κυκλική τροχιά γύρω από τη γη, σε 24 ώρες (για την ακρίβεια σε 23 ώρες, 56 λεπτά, 4.09 δευτερόλεπτα). Αν η τροχιά βρίσκεται στο επίπεδο του ισημερινού και αν η περιστροφή γίνεται προς την ίδια διεύθυνση με αυτή της γης (περιστρέφεται δηλαδή με την ίδια γωνιακή ταχύτητα με αυτή της γης) και υπερίππεται διαρκώς πάνω από το ίδιο σημείο πάνω από τη γη, τότε ο δορυφόρος χαρακτηρίζεται γεωστατικός (geostationary).

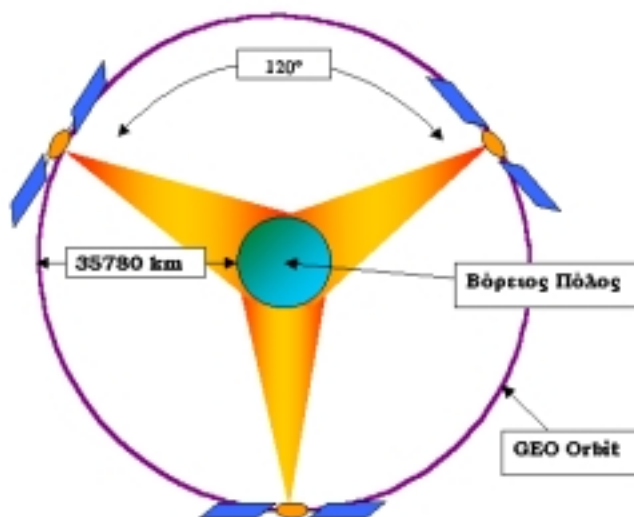


Σχ.4 Σχηματική αναπαράσταση της γεωστατικής τροχιάς

Οι γεωστατικοί δορυφόροι πάντως, δεν βλέπουν τους πόλους όπως οι γεωσύγχρονοι (geosynchronous). Γενικά, όλες οι γεωστατικές τροχιές είναι γεωσύγχρονες, ενώ όλες οι γεωσύγχρονες δεν είναι και γεωστατικές.

Γεωσύγχρονος σημαίνει ότι ο δορυφόρος κάνει μια πλήρη τροχιά κάθε 24 ώρες έτσι ώστε να “συγχρονίζεται” με την περίοδο περιστροφής της γης. Όπως αναφέρθηκε αρχικά, κάτι τέτοιο θα επιτευχθεί όταν ο δορυφόρος βρίσκεται σε κυκλική τροχιά σε απόσταση περίπου 35.800 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης, ή περίπου 42.000 χιλιομέτρων από το κέντρο της γης. Ωστόσο, για να είναι γεωστατικός, ο γεωσύγχρονος δορυφόρος πρέπει να βρίσκεται σε τροχιά στο επίπεδο του ισημερινού της γης (οι γεωστατικές τροχιές είναι ένα μικρό υποσύνολο των γεωσύγχρονων τροχιών). [19],[34]

Η τροχιακή θέση των γεωστατικών δορυφόρων ονομάζεται “ζώνη Clarke”(Clarke Belt) προς τιμή του Arthur Clarke που πρώτος δημοσίευσε τη θεωρία της τοποθέτησης γεωσύγχρονων δορυφόρων στο επίπεδο του ισημερινού της γης, για χρησιμοποίησή τους για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς. Για συντομία, συχνά οι γεωστατικοί δορυφόροι καλούνται GEO δορυφόροι. Το πέλμα(footprint), της εξυπηρετούμενης περιοχής ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου σε τροχιά GEO, καλύπτει το 1/3 σχεδόν της επιφάνειας της γης (από 75 μοίρες νότιο έως περίπου 75 μοίρες βόρειο γεωγραφικό πλάτος). Η κίνηση των δορυφόρων στο επίπεδο του ισημερινού της γης, συντελεί στο να αποφεύγεται η δύση και ανατολή τους στον ορίζοντα, όπως συμβαίνει με τη σελήνη. Αν τα πέλματα των δορυφόρων αλληλεπικαλύπτονται τότε είναι δυνατή θεωρητικά η συνεχής επικοινωνία με όλο τον κόσμο, εκτός από τις περιοχές που βρίσκονται κοντά στους δύο πόλους. Όπως φαίνεται στο σχ.5 με τη χρήση τριών δορυφόρων GEO, σε απόσταση 120° μεταξύ τους, καλύπτεται όλη η επιφάνεια της γης. [2],[5]



Σχ.5 Τέλειες τροχιές GEO για τη διατήρηση επαφής

6.2 Επικοινωνίες με GEO Δορυφόρους

Οι επίγειοι σταθμοί στέλνουν ένα σήμα στον δορυφόρο που βρίσκεται σε τροχιά (διαδικασία uplink). Οι GEO δορυφόροι λαμβάνουν το αποστελλόμενο (uplinked) σήμα, το ενισχύουν, το μετατρέπουν σε χαμηλότερης συχνότητας και στη συνέχεια συζευγνύουν το εξερχόμενο σήμα προς τη δορυφορική τους κεραία



όπου αυτό εστιάζεται σε μια στενή δέσμη, και ξαναστέλνεται πίσω στη γη (downlinking). Οι συχνότητες για το uplinking και το downlinking είναι διαφορετικές για να αποφευχθούν παρεμβολές μεταξύ των σημάτων. Οι δορυφόροι GEO χρησιμοποιούν κυρίως τις ζώνες συχνοτήτων C-band και Ku-band.

Κάθε δορυφόρος-αναμεταδότης (transponder) είναι ρυθμισμένος να αποδέχεται ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων (π.χ. 36 MHz, 54 MHz και 72 MHz). Το εύρος συχνοτήτων αντιστοιχεί σε κάποιο “κανάλι”. Τα κανάλια είναι έτσι κανονισμένα ώστε μεταξύ τους να υπάρχει μια μπάντα (band) συχνοτήτων, τυπικά 4MHz, που ονομάζεται “guardband” και που έχει σκοπό να απομονώνει το ένα κανάλι από το άλλο. Επίσης, υπάρχουν δύο σει συχνοτήτων για τους αναμεταδότες, με αντίθετες πολικότητες, για να αποφεύγεται το ενδεχόμενο παρεμβολών κατά τον χειρισμό των σημάτων. Αυτό ονομάζεται “frequency reuse” και είναι μια τεχνική για την αποφυγή των παρεμβολών μεταξύ δύο σημάτων που μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια, αλλά αντίθετης πολικότητας, συχνότητα. Εξάλλου με τη χρήση τεχνικών ψηφιακής συμπίεσης πολλών καναλιών ανά πομποδέκτη, είναι δυνατό να στοιβαχτεί περισσότερος όγκος πληροφορίας σε κάθε uplink/downlink σήμα.[14]

Οι κεραίες ενός δορυφόρου GEO μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να πετυχαίνουν downlink σε δέσμες “global” (οι οποίες μπορούν να καλύπτουν ποσοστό 40% της επιφάνειας της γης), ή να καλύπτουν κάποια χώρα ή ευρύτερη περιοχή με “hemi” (hemisphere) κάλυψη, ή τέλος να καλύπτουν μικρές περιοχές (δέσμες σημείου ή spot beams).[19]

6.3 Πλεονεκτήματα των GEO δορυφόρων

Ένας δορυφόρος σε γεωστατική τροχιά έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως:

- Ευρεία κάλυψη της γήινης επιφάνειας (περίπου 40%).
- Επικοινωνία μεγάλου εύρους ζώνης.
- Επικοινωνία υψηλής ποιότητας.
- Κάλυψη (με το πέλμα) πάντα της ίδιας περιοχής.
- Καταλληλότητα για κινητές τηλεπικοινωνίες.
- Σχετικά μικρό κόστος επικοινωνιών.
- Όχι προβλήματα που οφείλονται στο φαινόμενο Doppler.

Εξάλλου, λόγω της γεωγραφικής εγκατάστασης των GEO δορυφόρων, οι κεραίες των επίγειων σταθμών μπορούν να παραμείνουν εστιασμένες σε αυτούς αυτόματα, αφού γη και δορυφόροι περιστρέφονται με την ίδια περίοδο και γωνιακή ταχύτητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται απλή η διαδικασία του συντονισμού (tracking process) των κεραίων.

6.4 Μειονεκτήματα και Περιορισμοί των GEO δορυφόρων

Το γεγονός της ύπαρξης μιας μόνο γεωστατικής τροχιάς, οδηγεί στην ανάγκη αποτελεσματικής της εκμετάλλευσης. Δύο τυχαίοι διαδοχικοί δορυφόροι σε τέτοια τροχιά πρέπει να έχουν μεταξύ τους αρκετή απόσταση, για να αποφευχθούν συγκρούσεις (collisions) ανάμεσα τους.



Έτσι δημιουργείται κάποιος περιορισμός στον αριθμό των γεωστατικών δορυφόρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Εξάλλου το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων που έχει εκχωρηθεί στα GEO δορυφορικά συστήματα, είναι ένας πολύ σημαντικός περιορισμός για αυτά.

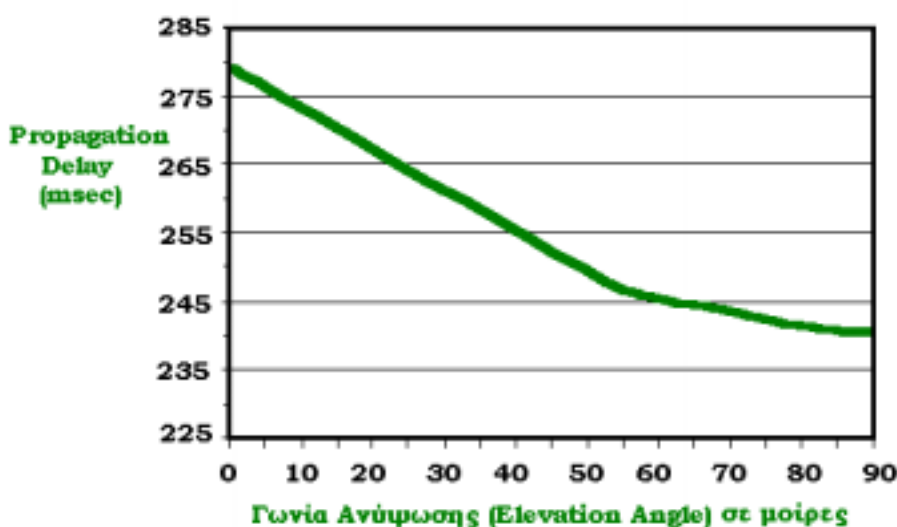
Οι δύο αυτοί περιορισμοί της χρησιμοποίησης του φάσματος συχνοτήτων και εκμετάλλευσης του διαθέσιμου χώρου στο διάστημα, μπορούν να θεωρηθούν ως πολύ σημαντικοί λόγοι για την εκτόξευση δορυφόρων σε άλλες τροχιές, πλην των γεωστατικών.[37]

Οι δορυφόροι GEO είναι επιρρεπείς σε καθυστερήσεις διάδοσης (propagation delay) λόγω της μεγάλης τους απόστασης από τη γη και εξαιτίας της πεπερασμένης ταχύτητας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Δεδομένης λοιπόν της απόστασης τους από τη γη που ανέρχεται στα 35.780 χιλιόμετρα, καθώς και της ταχύτητας του φωτός στα $3 \cdot 10^5$ km/sec, μιας διπλής κατεύθυνσης καθυστέρηση διάδοσης, ανέρχεται στα 240 με 280 msec, ανάλογα με τη γωνία ανύψωσης (elevation angle) της θέσης του χρήστη ως προς τον δορυφόρο (σχ.6). Αυτή η καθυστέρηση προκαλεί λάθη μετάδοσης δεδομένων και απαιτούνται τεχνικές διόρθωσης. Αποτελεί δε σημαντικό πρόβλημα κυρίως για τις real-time εφαρμογές.

Ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα των GEO δορυφόρων είναι η μεγάλη απώλεια διάδοσης (propagation loss). Σε ένα δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα, η ισχύς των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων εξασθενεί ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης στην οποία μεταδίδεται το σήμα.

Έτσι για παράδειγμα, αν η απόσταση διάδοσης ανάμεσα σε πομπό και δέκτη ενός σήματος διπλασιαστεί, τότε χρειαζόμαστε τέσσερις φορές το επίπεδο ισχύος στον πομπό, προκειμένου να πετύχουμε το ίδιο επίπεδο ισχύος στον δέκτη.

Μια επιπλέον ένσταση στους γεωστατικούς δορυφόρους προκαλεί το γεγονός της έλλειψης ικανοποιητικής κάλυψης σε μεγάλα βόρεια ή νότια γεωγραφικά πλάτη (κοντά στους δύο πόλους), όπου απαιτούνται χαμηλές γωνίες ανύψωσης (elevation angles). Η κάλυψη σε αυτές τις περιοχές αναγκαστικά επιτυγχάνεται μέσω άλλων δορυφορικών τροχιών όπως οι LEO ή οι polar και near-polar τροχιές.[1]



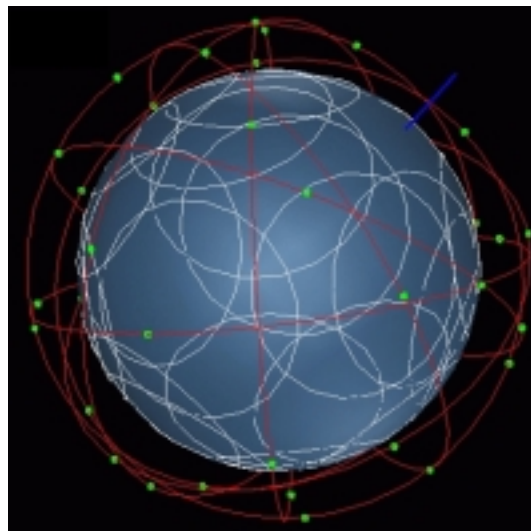
Σχ.6 Γράφημα καθυστέρησης διάδοσης ανάλογα με τη γωνία ανύψωσης, στα γεωστατικά δορυφορικά συστήματα



7. Το Δορυφορικό Σύστημα Globalstar

7.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος

Είναι μια κοινοπραξία (consortium) από κορυφαίες εταιρίες τηλεπικοινωνιών, που αρχικά ιδρύθηκε το 1991, για την παροχή δορυφορικών τηλεφωνικών υπηρεσιών μέσω δικτύου. Είναι σχεδιασμένο να παρέχει δορυφορικές τηλεφωνικές υπηρεσίες υψηλού επιπέδου σε μια ευρεία κλίμακα χρηστών όπως χρήστες κινητών τηλεφώνων που επιχειρούν περιαγωγή (roaming) εκτός περιοχής κάλυψης, ανθρώπους που εργάζονται σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχουν επίγεια συστήματα επικοινωνιών, κατοίκους υποβαθμισμένων αγορών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα σαν υπηρεσία βασικής τηλεφωνίας και διεθνείς ταξιδιώτες που χρειάζεται να βρίσκονται σε συχνή επικοινωνία. Πρόκειται για σύστημα που ανήκει στα “Big-LEO” δορυφορικά συστήματα και χρησιμοποιεί την τεχνική CDMA. Αποτελείται από 48 δορυφόρους σε οκτώ κεκλιμένες (κατά 52 μοίρες) τροχιές LEO, σε απόσταση 1.414 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης.



Σχ.7 Τροχιές και συστοιχίες του Globalstar

Το πέλμα κάθε δορυφόρου Globalstar διαιρείται σε 16 κυψέλες από 6 κεραίες σημειακής δέσμης (spot-beam) για λήψη ή αποστολή μηνυμάτων από και προς φορητές συσκευές ή επίγειους επικοινωνιακούς σταθμούς.

Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί το υπάρχον δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN). Οι κλήσεις δρομολογούνται προς τους δορυφόρους μόνο εφόσον δεν είναι δυνατή η προσπέλαση στο επίγειο δίκτυο. Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μπορεί να προσπελαστεί μέσω διόδων (gateways) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλης απόστασης συνδέσεις, συμπεριλαμβανομένων και υπερατλαντικών κλήσεων. Το Globalstar αποστέλλει κλήσεις από ασύρματο τηλέφωνο ή από σταθμό σταθερής τηλεφωνίας σε μια επίγεια δίοδο, απ’ όπου αυτές δρομολογούνται σε δίκτυα σταθερής ή κινητής τηλεφωνίας σε περισσότερες από 100 χώρες σε όλο τον κόσμο.[27]

7.2 Υλοποίηση Επικοινωνιών με το Globalstar

Η επικοινωνία στο σύστημα Globalstar υλοποιείται με την κάλυψη των γήινων περιοχών με κινούμενα πέλματα (footprints) από καθένα από τους 48 δορυφόρους. Κάθε δορυφόρος επικοινωνεί με έναν επίγειο σταθμό ή δίοδο (gateway) που βρίσκεται εντός του πέλματος. Ένας μεμονωμένος χρήστης μπορεί να αποκαταστήσει επικοινωνία με τον αντίστοιχο δορυφόρο, που “βλέπει” την περιοχή εντός του πέλματος της οποίας βρίσκεται.

Τα σήματα μεταδίδονται στην επίγεια γραμμή επικοινωνίας (terrestrial line) μέσω των επίγειων σταθμών, για να φθάσουν και πάλι σε κάποιο άλλο δορυφόρο που καλύπτει με το πέλμα του την περιοχή του αποδέκτη του μηνύματος (η αρχιτεκτονική αυτή είναι γνωστή ως bent-pipe και φαίνεται στο σχ. 8.[1]

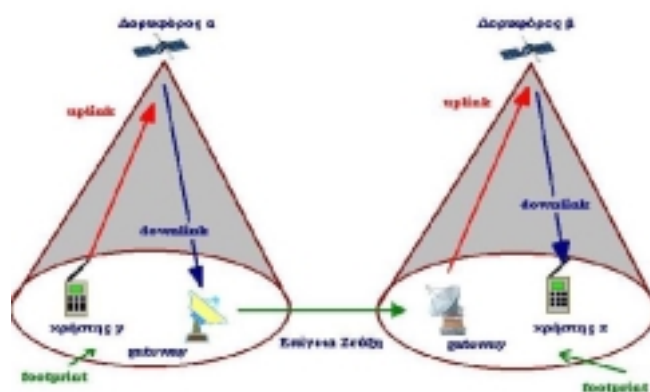


7.3 Προσφερόμενες Υπηρεσίες από το Globalstar

Το σύστημα Globalstar προσφέρει πληθώρα υπηρεσιών όπως:

- Η ίδια συσκευή τόσο για δορυφορικές όσο και για κλήσεις κινητού.
- Εντοπισμός θέσης (Position Location) με ακρίβεια 10 χλμ.
- Φωνητικές κλήσεις.
- Φωνητικό ταχυδρομείο (voicemail).
- Υπηρεσίες RDSS (Radio Determination Satellite Services).
- Υπηρεσία αποστολής μηνυμάτων (SMS).
- Υπηρεσία παγκόσμιας περιαγωγής (Global Roaming).
- Υπηρεσία Φαξ.
- Αποστολή δεδομένων.

Τα κινητά δορυφορικά τηλέφωνα Globalstar, είναι μεγαλύτερα από τα παραδοσιακά κινητά τηλέφωνα και κατασκευάζονται από τις εταιρείες Ericsson και Telit. Λειτουργούν με επίγεια AMPS, CDMA ή GSM δίκτυα, καθώς και με το δορυφορικό δίκτυο Globalstar.[27]



Σχ.8 Αρχιτεκτονική bent-pipe στο Globalstar

7.4 Πλεονεκτήματα του Συστήματος

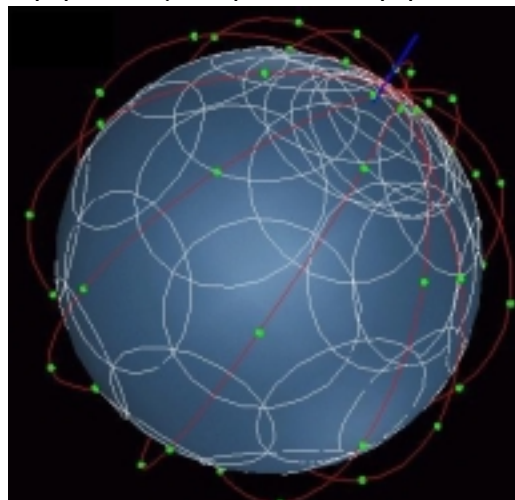
- Η τεχνολογία CDMA (Code Division Multiple Access) κάνει τις κλήσεις με το σύστημα Globalstar πολύ ασφαλείς και καθαρές, με ποιότητα φωνής παρόμοια με αυτή της κινητής τηλεφωνίας.
- Η χρήση LEO δορυφόρων, που κινούνται σε ύψος 1.414 χιλιομέτρων, συντελεί σε μη αντιληπτή καθυστέρηση φωνής, συγκριτικά με την αξιοπρόσεκτη χρονοκαθυστέρηση και την ηχώ σε κλήσεις με γεωσύγχρονους δορυφόρους των οποίων οι τροχιές είναι σε μεγαλύτερα ύψη από την επιφάνεια της γης.
- Είναι τρία τηλέφωνα σε ένα καθώς επιτρέπει εύκολη πρόσβαση σε αναλογική κυψελωτή τηλεφωνία στα 800 MHz, σε ψηφιακή κυψελωτή τηλεφωνία τεχνολογίας CDMA, καθώς και στο δορυφορικό σύστημα Globalstar.
- Με την έξυπνη σχεδίαση του συστήματος που βασίζεται στην αλληλοκάλυψη των δορυφόρων, επιτυγχάνεται η διαθεσιμότητα πολλών δορυφόρων από μια δεδομένη θέση, για αποστολή ή λήψη τηλεφωνικών κλήσεων. Αυτό συντελεί σε σταθερότερες συνδέσεις οι οποίες "πέφτουν" αρκετά δύσκολα. Ακόμη και αν ένας δορυφόρος από τους 48 του συστήματος τεθεί εκτός λειτουργίας, το σύστημα θα συνεχίσει την ομαλή του λειτουργία, σε αντίθεση με κάποιο σύστημα GEO που σε παρόμοια περίπτωση θα αποτύγχανε.
- Το σύστημα εγκαθίσταται και ελέγχεται από το έδαφος, για γρήγορη και οικονομικότερη συντήρηση και αναβάθμιση.



8. Το Δορυφορικό Σύστημα Iridium

8.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος

Το σύστημα Iridium³, είναι ένα “Big-LEO” δορυφορικό σύστημα που προσφέρει παγκόσμια κάλυψη και ποικιλία υπηρεσιών. Χρησιμοποιεί 66 δορυφόρους



Σχ.9 Συστοιχίες και τροχιές του Iridium

(συν έξι εφεδρικούς σε τροχιά) σε έξι τροχιακά επίπεδα με κλίση 86,4 μοίρες (δηλαδή near-polar), σε τροχιακό ύψος 780 χιλιομέτρων και με τροχιακή περίοδο 100 λεπτών και 28 δευτερολέπτων. Η παγκόσμια κάλυψη με αυτό το σύστημα φθάνει τα 5,9 εκατομμύρια τετραγωνικά μίλια ανά δορυφόρο. Κάθε δορυφόρος του συστήματος διαθέτει τρεις L-Band κεραίες, οι οποίες προβάλλουν 48 σημειακές δέσμες (spot beams) στην επιφάνεια της γης, σχηματίζοντας 48 κυψέλες (cells) στο πέλμα (footprint) του κάθε δορυφόρου. Έτσι σχηματίζονται συνολικά 3.168 κυψέλες από τους οποίες αρκεί να είναι ενεργές μόνο οι 2.150 για την πλήρη επικοινωνιακή κάλυψη της γή-

ινης επιφάνειας. Κάθε δορυφόρος Iridium έχει μάζα βάρους 689 κιλών και χρόνο ζωής στο διάστημα 7-9 έτη.[9]

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του Iridium είναι η σχεδόν πλήρης συνεργασία του με τους υπάρχουσες επίγειες επικοινωνίες. Έτσι ένα φορητό dual-mode τηλέφωνο Iridium θα προσπαθήσει να προσπελάσει το τοπικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, πριν επιχειρήσει να χρησιμοποιήσει το δορυφορικό σύστημα. Αν δεν καταστεί δυνατή η σύνδεση με το επίγειο σύστημα, λόγω π.χ. μεγάλης απόστασης ή υπερφόρτωσης του δικτύου, τότε η συσκευή θα αλλάξει αυτόματα τους το δορυφορικό δίκτυο.[1],[32]

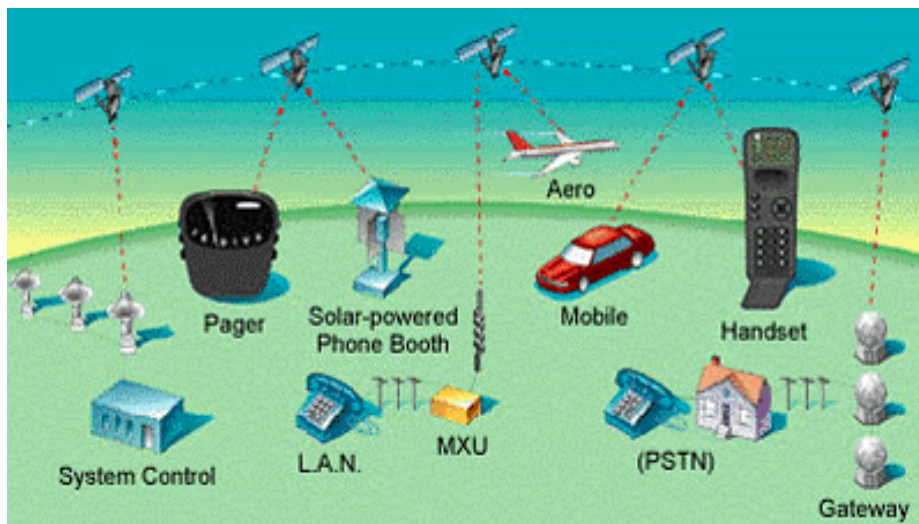
8.2 Τεχνικές Υλοποίησης του Συστήματος

Η Motorola έχει προτείνει λειτουργία διπλής κατεύθυνσης στο κανάλι L (1616-1626,5 MHz), δηλαδή χρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων τόσο για τις ανερχόμενες ζεύξεις (uplinks) όσο και για τις κατερχόμενες (downlinks), με τη χρήση της τεχνικής του χρονομερισμού (TDMA). Ένα μήνυμα λοιπόν από κάποιο τηλέφωνο-αποστολέα προς κάποιο τηλέφωνο-αποδέκτη θα μεταδοθεί αρχικά προς το δορυφόρο και έπειτα από αυτόν προς κάποιον άλλο, χρησιμοποιώντας το κανάλι Ka (23,18-23,38 GHz). Είναι δυνατό το μήνυμα να μεταδίδεται από δορυφόρο σε δορυφόρο μέχρι να φθάσει τελικά στον δορυφόρο εκείνο που “βλέπει” το τηλέφωνο-αποδέκτη. Το σύστημα μπορεί εξάλλου να χρησιμοποιήσει τις συχνότητες της ζώνης Ka στα 19,4-19,6 GHz για downlinks και στα 29,1-29,3 GHz για uplinks προκειμένου να επιτευχθούν και άλλες συνδέσεις π.χ. πυλών (gateways), τηλεμετρίας (telemetry) κλπ. Η σχηματική αναπαράσταση του Iridium φαίνεται στο σχ.10.[22]

³ Η ονομασία του οφείλεται στο ομώνυμο 77^ο χημικό στοιχείο (ιρίδιο) γιατί αρχικά για την υλοποίηση του είχαν προβλεφθεί 77 δορυφόροι, οι οποίοι αργότερα μειώθηκαν σε 66.



Οι δορυφόροι Iridium διαθέτουν δυνατότητες επεξεργασίας με τις οποίες μπορούν να αποδιαμορφώσουν (demodulate) κάποιο σήμα, να διαβάσουν διευθύνσεις και να δρομολογήσουν σήματα κατ' ευθείαν σε έναν από τους τέσσερις γειτονικούς κάθε φορά δορυφόρους (δηλ. δύο στην ίδια τροχιά βόρεια και νότια και δύο στις γειτονικές τροχιές ανατολικά και δυτικά μέσω δια-δορυφορικών συνδέσεων (inter-satellite crosslinks)).[17]



Σχ.10 Σχηματική αναπαράσταση του Iridium

8.3 Εφαρμογές και Δυνατότητες του Συστήματος

Το Iridium χρησιμοποιεί τις τεχνικές FDMA/TDMA και μπορεί να επιτύχει ταχύτητες μεταφοράς φωνής στα 2,4 Kbps. Προσφέρει υπηρεσίες αποστολής και λήψης φωνής, μηνυμάτων και δεδομένων από και προς κάθε περιοχή της γης, ανεξάρτητα από την επικρατούσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Οι εφαρμογές του συστήματος χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, δηλαδή σταθερές (fixed), φορητές (portable) και επί οχημάτων (vehicle).

Οι σταθερές περιλαμβάνουν δυνατότητες επικοινωνίας με φωνή, μηνύματα ή e-mail ή voice-mail, πρόσβασης στο διαδίκτυο, λήψης back-up, μεταφοράς αρχείων και προώθησης κλήσεων που πραγματοποιούνται από και τους συσκευές Iridium που είναι εγκατεστημένες σε γραφεία μέσα σε κτίρια ή ακόμη και στην ύπαιθρο (στρατιωτικές εγκαταστάσεις). Οι φορητές τους και οι επί οχημάτων παρέχουν τις παραπάνω δυνατότητες πλην της λήψης back-up και επιτρέπουν επικοινωνία από φορητό τους φορητό ή αντίστοιχα από όχημα σε όχημα, με σταθερές χρεώσεις, χωρίς επιπλέον επιβαρύνσεις λόγω υπεραστικών κλήσεων ή περιαγωγής (roaming).[32]



Σχ.11 Συσκευές Motorola για επικοινωνία μέσω Iridium



9. Το Δορυφορικό Σύστημα Argos

9.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος

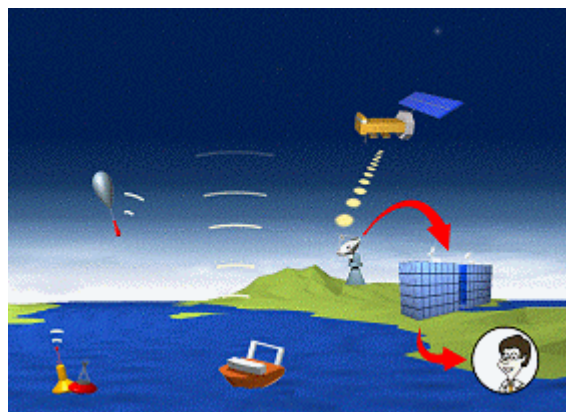
Το σύστημα Argos είναι ένα Little LEO δορυφορικό σύστημα το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση ωκεανογραφικών αναγκών για περισσότερο από δύο δεκαετίες. Πρωτοεμφανίστηκε το 1978 ως αποτέλεσμα της συμφωνίας της NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S.A), της NASA (National Aeronautics and Space Administration, U.S.A) και του Γαλλικού Διαστημικού Οργανισμού CNES.

Το σύστημα έχει ως κύριο σκοπό την συλλογή περιβαλλοντολογικών δεδομένων από αυτόνομες πλατφόρμες και την αποστολή τους σε χρήστες οπουδήποτε στον κόσμο. Με τη χρήση της τηλεμετρίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό γεωγραφικών θέσεων. Προς το παρόν υπάρχουν περισσότεροι από 6.000 αναμεταδότες που χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών σχετικών με τη μελέτη της γης ή με την προστασία του περιβάλλοντος.

Το Argos αποτελείται από τρία κύρια τμήματα:

- Τερματικά PTTs (Platform Transmitter Terminals)⁴.
- Το διαστημικό τμήμα (Space Segment).
- Το τμήμα εδάφους (Ground Segment).

Τα PTTs μεταδίδουν (uplink) το εκάστοτε μήνυμα σε προκαθορισμένα διαλείμματα χωρίς ερώτηση (interrogation) από το δορυφόρο. Κάθε μήνυμα μπορεί να περιλαμβάνει μέχρι 256 bits δεδομένων (32 bytes). Η αποστολή ενός πλήρους τέτοιου μηνύματος από το τερματικό προς τον δορυφόρο απαιτεί 96 msec. Ο χρόνος επανάληψης του μηνύματος (repetition period) κυμαίνεται από 45 έως 200 δευτερόλεπτα ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη εφαρμογή. Η συχνότητα μετάδοσης είναι τα 401,65 MHz (uplink), λόγω του φαινομένου Doppler είναι δυνατό να λαμβάνονται και διαφορετικές συχνότητες από τους δορυφόρους.



Σχ.12 Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας του Argos

Το Argos χρησιμοποιεί δορυφόρους POES (Polar Orbiting Environmental Satellites), δύο κάθε φορά σε λειτουργία, οι οποίοι “βλέπουν” το βόρειο και νότιο πόλο σε κάθε περιστροφή που ολοκληρώνουν, σε τροχιακό ύψος 850 χιλιομέτρων. Τα τροχιακά επίπεδα των δορυφόρων αυτών περιστρέφονται γύρω από τον πολικό άξονα με το ρυθμό περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο (μια πλήρης περιστροφή κάθε έτος).

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οι δορυφόροι αυτοί κινούνται σε τροχιές near-polar και SSO (Sun-Synchronous Orbits), με αποτέλεσμα καθένας από αυτούς να περνάει από το ίδιο σημείο της γης την ίδια χρονική (ηλιακή) στιγμή κάθε μέρα. Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί μια πλήρης περιστροφή του δορυφόρου σε τροχιά γύρω από τη γη είναι περίπου 102 λεπτά.[25]

⁴ Τα PTTs ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Έτσι για παράδειγμα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν πολύ μικρά, βάρους μόλις 17 gr, για παρατηρήσεις αποδημητικών πουλιών.

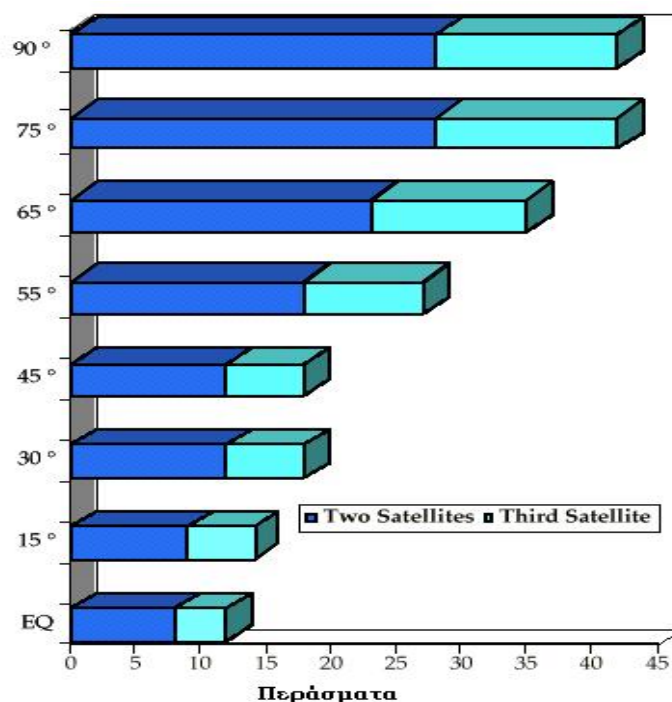


9.2 Λειτουργία του Συστήματος

Το σύστημα λειτουργεί γενικά σε τέσσερις φάσεις (σχ.12):

- Οι αναμεταδότες Argos (PTTs) στέλνουν σήματα προς το δορυφόρο.
- Ο δορυφόρος αναμεταδίδει τα σήματα προς το σταθμό εδάφους.
- Ο σταθμός στέλνει τα μηνύματα στα κέντρα επεξεργασίας.
- Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε στοιχεία μέσω του πλησιέστερου σε αυτόν κέντρου επεξεργασίας.

Το “πέλμα” του δορυφόρου έχει διάμετρο 5.000 χιλιόμετρα. Ο δορυφόρος μπορεί να επιτύχει σύνδεση με οποιοδήποτε αναμεταδότη του Argos βρίσκεται μέσα σε αυτό. Εξαιτίας της near-polar τροχιάς, ο αριθμός των ημερήσιων περασμάτων πάνω από κάποιο δεδομένο αναμεταδότη αυξάνεται με το γεωγραφικό ύψος (σχ.13). Κάθε δορυφόρος περνάει από τους πόλους περίπου 14 φορές τη μέρα (δηλαδή 28 περάσματα συνολικά και για τους δύο δορυφόρους). Από τον ισημερινό έχουμε 6-7 περάσματα συνολικά. Το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο ο αναμεταδότης είναι ορατός από το δορυφόρο κυμαίνεται από 8 έως 15 λεπτά.



Σχ.13 Περάσματα δορυφόρων του Argos σε σχέση με το γεωγραφικό ύψος της

Τα μηνύματα που αποστέλλονται από τα PTTs στους δορυφόρους, αποθηκεύονται σε ταινίες εγγραφής (tape recorders) και αναμεταδίδονται προς τους σταθμούς εδάφους. Το σύστημα διαθέτει τρεις κύριους σταθμούς εδάφους που βρίσκονται δύο στις Η.Π.Α (Virginia, Alaska) και ένας στη Γαλλία (Lannion). Οι σταθμοί αυτοί λαμβάνουν όλα ανεξαιρέτως τα αποθηκευμένα μηνύματα των δορυφόρων κατά τη διάρκεια μιας πλήρους τροχιάς, παρέχοντας έτσι παγκόσμια κάλυψη.



9.3 Δομή του Τμήματος Εδάφους

Το τμήμα εδάφους του Argos αποτελείται από:

- Τους τοπικούς σταθμούς λήψης RRSs (Regional Receiving Stations) οι οποίοι λαμβάνουν σε πραγματικό χρόνο τα αποθηκευμένα μηνύματα από τους δορυφόρους (ανάλογα με το ποιος βρίσκεται μέσα στο πέλμα κάθε φορά).
- Τα κέντρα επεξεργασίας GPCs (Global Processing Centers) τα οποία επεξεργάζονται όλα τα μηνύματα που προέρχονται από τα RRSs, αρχειοθετούν τα αποτελέσματα και τα διαθέτουν on-line στους χρήστες που τα χρειάζονται.
- Τα κέντρα τοπικής επεξεργασίας RPCs (Regional Processing Centers) που δίνουν τη δυνατότητα στους κατά τόπους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα. Ορισμένα RPCs συνδέονται με RRSs, που σημαίνει ότι έχουν τη δυνατότητα λήψης και επεξεργασίας δεδομένων πραγματικού χρόνου. Επίσης τα RPCs συνδέονται με τα GPCs για να παρέχουν στους χρήστες τους παγκόσμια κάλυψη.

9.4 Εντοπισμός Θέσεων με το Argos

Το Argos, όπως προαναφέρθηκε, έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει θέσεις αναμεταδοτών στην επιφάνεια της γης με μετρήσεις των εναλλαγών Doppler. Κάθε φορά που λαμβάνεται ένα μήνυμα, το όργανο μέτρησης του δορυφόρου μετρά την ληφθείσα συχνότητα και σηματοδοτεί έτσι την άφιξη του σήματος. Η εικονική συχνότητα της πλατφόρμας αναμετάδοσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το σύνολο των λαμβανομένων συχνοτήτων. Η εναλλαγή Doppler στη συχνότητα, μαζί με άλλες πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης του αναμεταδότη.

Κλάση	Υπολογιζόμενη ακρίβεια σε γεωγραφικό μήκος και πλάτος
3	≤ 150 m
2	$150 \text{ m} < \text{ακρίβεια} < 350$ m
1	$350 \text{ m} < \text{ακρίβεια} < 1.000$ m
0	> 1.000 m
A	Μη υπολογιζόμενη ακρίβεια θέσης
B	Μη υπολογιζόμενη ακρίβεια θέσης
Z	Άκυρη θέση

Πιν.3 Κλάσεις ακρίβειας εντοπισμού θέσης του Argos

Το σύστημα ταξινομεί τις μετρήσεις θέσεων σε κλάσεις ανάλογα με την ακρίβεια εντοπισμού σε γεωγραφικό μήκος και πλάτος (πιν.3). Για να ταξινομηθεί το μήνυμα σε κάποια κλάση απαιτούνται τέσσερα μηνύματα από κάποιον αναμεταδότη κατά τη διάρκεια ενός περάσματος. Γνωρίζοντας τη θέση και την κίνηση του δορυφόρου, την συχνότητα μετάδοσης, τη ληφθείσα συχνότητα και το χρόνο λήψης καθώς και το ύψος της πλατφόρμας αναμετάδοσης, είναι πλέον δυνατός ο υπολογισμός δύο γεωμετρικά καθορισμένων θέσεων.

Η θεωρητική καμπύλη Doppler για τις δύο αυτές θέσεις συγκρίνεται με τη μετρηθείσα καμπύλη Doppler για τον προσδιορισμό της ζητούμενης θέσης (σχ.14).

Το Argos μπορεί επίσης να επιτύχει εντοπισμό θέσεως μέσω του συστήματος GPS (Global Positioning System) με τη χρησιμοποίηση των απαραίτητων δεκτών, που όπως είναι φυσικό επιβαρύνουν το κόστος και τις απαιτήσεις σε ισχύ των αναμεταδοτών.



Σχ.14 Καμπύλη Doppler συστήματος Argos

9.5 Υπηρεσίες Διανομής Δεδομένων

Το Argos διαθέτει την υπηρεσία αυτόματης διανομής δεδομένων ADS (Automatic Distribution Service) με την οποία παρέχει αυτόματα αποτελέσματα, είτε σε προκαθορισμένα από το χρήστη χρονικά διαστήματα ή όποτε γίνουν διαθέσιμα καινούργια στοιχεία. Είναι δυνατή η διακίνηση πληροφοριών μέσω του διαδικτύου, για τη λήψη δεδομένων μέσω FTP ή μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Έξάλλου υπάρχει και το υποσύστημα GTS (Global Telecommunications System), που χρησιμοποιείται για τη διανομή μετεωρολογικών και κλιματολογικών δεδομένων που λαμβάνονται από τους αναμεταδότες.

9.6 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί του Συστήματος

Το Argos παρέχει σχετικά γρήγορη παγκόσμια διασπορά των πληροφοριών που αφορούν τους πιθανούς χρήστες, καθώς κατά μέσο όρο απαιτούνται περίπου 20 λεπτά για τη διανομή τους. Οι αναμεταδότες μπορεί να έχουν πολύ μικρό μέγεθος, γεγονός που κάνει εύκολη την παρακολούθηση και προστασία ζώων πτηνών κλπ αφού οι αναμεταδότες μπορούν να φέρονται από αυτά. Επίσης η κατανάλωση ισχύος των αναμεταδοτών είναι περιορισμένη (μερικά milliamps).

Θα μπορούσε να θεωρηθεί περιορισμός το ότι το σύστημα προσφέρει επικοινωνία μονής κατεύθυνσης, δηλαδή οι αναμεταδότες μόνο στέλνουν σήματα και δεν μπορούν προς στιγμή να λάβουν. Η Ιαπωνική εταιρεία NASDA πάντως σχεδιάζει εντός του 2002 την επέκταση του συστήματος ώστε να περιλαμβάνει κατερχόμενες ζεύξεις από τους δορυφόρους (Downlink Messaging), δηλαδή δυνατότητα λήψης σημάτων από τους αναμεταδότες, γεγονός που θα δώσει μεγαλύτερη ώθηση στην ανάπτυξη του συστήματος.[25]



10. Το Δορυφορικό Σύστημα Safir

10.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος

Το Safir⁵ είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα διπλής κατεύθυνσης για ψηφιακή μεταφορά δεδομένων που ανήκει στη Γερμανική εταιρεία FUCHS GRUPPE. Αποσκοπεί στην ανταλλαγή δεδομένων και μηνυμάτων μη-πραγματικού χρόνου από και προς αντικείμενα που είναι εφοδιασμένα με μικρού μεγέθους και κόστους σταθμούς UGS (User Ground Stations). Κάθε τέτοιος σταθμός είναι εφοδιασμένος με δέκτη GPS για τον εντοπισμό της θέσης του αντικειμένου.

Η πρώτη τροχιακή μονάδα -το Safir 1- εκτοξεύθηκε το 1994 και τέθηκε σε τροχιά SSO σε τροχιακό ύψος 700 χιλιομέτρων. Η διαχείριση των δεδομένων του χρήστη υλοποιείται μέσω του υπολογιστή Safir που είναι εφοδιασμένος με το κατάλληλο λογισμικό που περιλαμβάνει τους εκάστοτε έγκυρους χρήστες, την ταυτότητα τους (ID) και την θέση του καθενός πάνω στη γη, έτσι ώστε να είναι εφικτός ο ακριβής συντονισμός των ανεξάρτητων συνδέσεων.



Σχ.15 Δορυφόρος του Safir 2

Το Safir 2 αποτελεί επέκταση του Safir 1 και αναφέρεται σε έναν αυτόνομο ελεύθερης πτήσης δορυφόρο βάρους 55 κιλών, που εκτοξεύθηκε το 1998 και τέθηκε σε SSO τροχιά σε ύψος 850 χιλιομέτρων. Η σημαντικότερή του καινοτομία -εκτός από το βασικό σύστημα τηλεμετρίας- είναι το σύστημα FHT (Frequency Hoping Telemetry System). Το FHT επιτρέπει σε 16 σταθμούς χρηστών να μεταδίδουν μέσα στην ίδια χρονοθυρίδα (time slot) και στο ίδιο

κανάλι συχνοτήτων. Έτσι επιτυγχάνεται αύξηση της ρυθμοαπόδοσης (throughput), χωρίς απώλεια ασφάλειας δεδομένων.

10.2 Προσφερόμενες Υπηρεσίες του Safir 2

Το Safir 2 προσφέρει δύο τύπους υπηρεσιών:

- Υπηρεσία Α: Μετάδοση αρχείων δεδομένων δύο-κατευθύνσεων, μεταξύ φορητών και σταθερών σταθμών χρηστών.
- Υπηρεσία Β: Μετάδοση μονής-κατεύθυνσης μικρών μηνυμάτων αναφοράς θέσης, από κινητές μονάδες όπως π.χ. φορητά οχήματα προς σταθμούς χρηστών.

Και οι δύο υπηρεσίες προσφέρουν παγκόσμια κάλυψη και λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο με την τεχνική αποθήκευσης και προώθησης. Το Safir 2 προσφέρει επικοινωνία point-to-point χωρίς την ανάγκη περάσματος του μηνύματος μέσω HUB. Το σύστημα πάντως διαθέτει σταθμό HUB που βρίσκεται εγκατεστημένος στη Βρέμη της Γερμανίας.

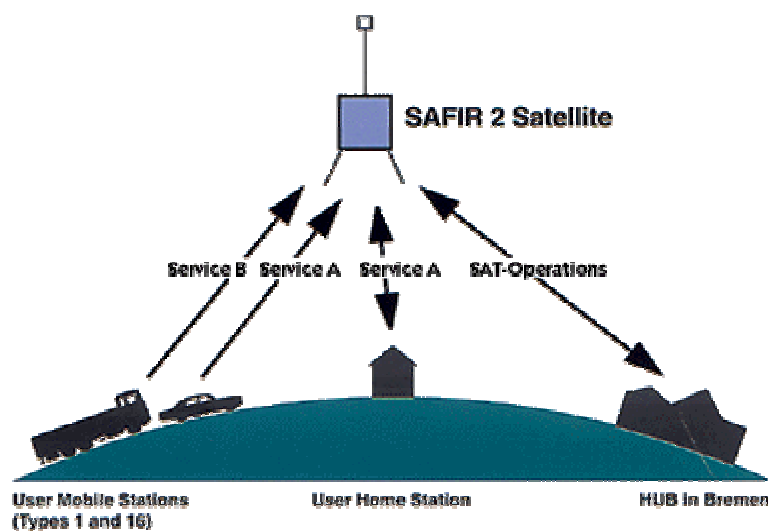
Ο τρόπος υλοποίησης της επικοινωνίας στο Safir 2 φαίνεται στο σχ.16. Το σύστημα λειτουργεί στο κανάλι συχνοτήτων 399,9-400,05 ή 401-401,1MHz για ανερχόμενες και 400,6 ή 400,9 για κατερχόμενες ζεύξεις. Οι αναμεταδότες του λειτουργούν σε ταχύτητες 300 μέχρι 4800 bps.[20]

⁵ Satellite for Information Relay.

10.3 Το Σύστημα FHT (Frequency Hopping Telemetry)

Όπως προαναφέρθηκε αποτελεί την σημαντικότερη καινοτομία του Safir 2 σε σχέση με το Safir 1 και η σχεδίασή του υιοθετήθηκε για να επιτευχθεί μεγαλύτερης αξιοπιστίας λήψη μηνυμάτων αναφοράς θέσης (telegrams), που προέρχονται από κινητούς σταθμούς χρηστών, δεδομένου και του μεγάλου θορύβου στη μπάντα των UHF.

Με το νέο λοιπόν σύστημα είναι δυνατή η πρόσβαση του μηνύματος προς τον δορυφόρο όχι μόνο μέσω της γνωστής τεχνικής TDMA, αλλά και μέσω μιας τεχνικής παρόμοιας με την CDMA, που επιτρέπει σε 16 σταθμούς χρηστών να μεταδίδουν στην ίδια χρονοθυρίδα του αυτού καναλιού συχνοτήτων. Η μετάδοση ενός telegram από τον σταθμό προς το δορυφόρο διαρκεί ένα δευτερόλεπτο και περιλαμβάνει στοιχεία της θέσης του και της ταυτότητας του, καθώς και την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα (UTC). Το Safir 2 έχει συνολική δυνατότητα αποστολής-λήψης 10.000 telegrams την ημέρα. Τα μηνύματα μπορούν να αποσταλούν στους σταθμούς των χρηστών σε εύρος συχνότητας (bandwidth) 50 kHz.



Σχ.16 Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος Safir 2

11. Το Δορυφορικό Σύστημα Inmarsat

11.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος

Το δορυφορικό σύστημα Inmarsat⁶ ιδρύθηκε το 1979 για να εξυπηρετήσει τη ναυτιλιακή βιομηχανία, με την ανάπτυξη δορυφορικών επικοινωνιών για τη καθοδήγηση των πλοίων και για εφαρμογές διάσωσης και θαλασσίων ατυχημάτων. Σήμερα αποτελεί ένα από τα καλύτερα και δημοφιλέστερα GEO δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας και αριθμεί ήδη 79 κράτη-μέλη. Οι προσφερόμενες από αυτό υπηρεσίες έχουν σταδιακά επεκταθεί σε επίγειες, κινητές και αεροναυτικές επικοινωνίες για πελάτες-συνδρομητές που βρίσκονται σε κίνηση ή σε απομακρυσμένες γεωγραφικά θέσεις, χωρίς αξιόπιστα επίγεια τηλεφωνικά δίκτυα.[3]

⁶ Τα αρχικά του INMARSAT προέρχονται από τις λέξεις International Maritime Satellite Organisation.



Η βασική δορυφορική συστοιχία του συστήματος αποτελείται από 4 δορυφόρους τύπου Inmarsat-3 σε τροχιά GEO. Τα ονόματα των δορυφόρων του Inmarsat υποδηλώνουν και την αντίστοιχη περιοχή κάλυψης:

- Atlantic Ocean Region West (AORW).
- Atlantic Ocean Region East (AORE).
- Indian Ocean Region (IOR).
- Pacific Ocean Region (POR).

Οι δορυφόροι επιτυγχάνουν εστίαση παγκόσμιας δέσμης (global beam) με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ταυτόχρονη κάλυψη σχεδόν όλης της γης (εκτός της περιοχής των πόλων). Η κάλυψη εκτείνεται από 75 μοίρες βόρειο μέχρι 75 μοίρες νότιο γεωγραφικό πλάτος. Για λόγους πιθανής βλάβης υπάρχει ένας εφεδρικός δορυφόρος σε κάθε περιοχή κάλυψης.



Σχ.17 Εξοπλισμός του Inmarsat (συσκευή εντοπισμού, flyaway, laptop)

11.2 Δομή του Συστήματος

Σε κάθε περιοχή κάλυψης δημιουργείται ένα ανεξάρτητο δορυφορικό δίκτυο που περιλαμβάνει:

- Έναν τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο σε λειτουργία.
- Ένα σταθμό συντονισμού του δικτύου NCS (Network Co-ordination Station), που αναλαμβάνει τη δρομολόγηση των σημάτων και την εκχώρηση διαθέσιμου καναλιού για την κάθε σύνδεση και βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τους επίγειους σταθμούς, μέσω μισθωμένων τηλεπικοινωνιακών γραμμών.
- Σταθμούς εδάφους παράκτιους CES (Coast Earth Stations) ή επίγειους LES (Land Earth Stations), ανάλογα με την εφαρμογή.
- Φορητά τερματικά που ανάλογα με την εφαρμογή διακρίνονται σε SES (Ship Earth Stations) και σε MES (Mobile Earth Stations).
- Όλοι οι δορυφόροι ελέγχονται από το Satellite Control Center (SCC)⁷ που βρίσκεται εγκατεστημένο στα κεντρικά γραφεία του Inmarsat στο Λονδίνο.

⁷ Το SCC συλλέγει δεδομένα από τέσσερις σταθμούς TTC (Tracking Telemetry and Control) που βρίσκονται στην Ιταλία, Κίνα, Α. Καναδά, Δ. Καναδά και από έναν εφεδρικό στη Νορβηγία



11.3 Πρότυπα του Συστήματος

Ανάλογα με τους διαφορετικούς σκοπούς χρήσης το σύστημα Inmarsat χρησιμοποιεί διάφορα πρότυπα (standards):

- **Inmarsat-A:** Αποτελεί την πρώτη μορφή αναλογικής υπηρεσίας που πρωτοεμφανίστηκε το 1982, παρέχοντας άμεση τηλεφωνία (direct-dial), φαξ, δεδομένα, τέλεξ και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Μεγάλος αριθμός πλοίων χρησιμοποιεί το πρότυπο αυτό. Με τη χρήση καλής ποιότητας modem είναι δυνατό να επιτευχθούν ταχύτητες 9,6 kbps. Η ζεύξη από τα φορητά τερματικά προς τον δορυφόρο επιτυγχάνεται στο κανάλι 1,5/1,6 GHz. Η ζεύξη από τον δορυφόρο προς τα φορητά τερματικά επιτυγχάνεται στο κανάλι 4 έως 6 GHz. Το πρότυπο χρησιμοποιεί την τεχνική FDMA.

- **Inmarsat-B:** Πρωτοεμφανίστηκε το 1993 και αποτέλεσε τον ψηφιακό διάδοχο του Inmarsat-A. Προσφέρει παρόμοιες με αυτό υπηρεσίες, με σημαντικές πάντως μειώσεις στο κόστος, λόγω αποτελεσματικότερης εκμετάλλευσης των ραδιοσυχνοτήτων. Είναι δυνατή με αυτό η αποστολή δεδομένων στα 64 kbps, σε μορφή επικοινωνίας full-duplex. Η ζεύξη από τα φορητά τερματικά προς τον δορυφόρο επιτυγχάνεται στο κανάλι 1,6265/1,6466 GHz. Η ζεύξη από τον δορυφόρο προς τα φορητά τερματικά επιτυγχάνεται στο κανάλι 1,525/1,545 GHz.

- **Inmarsat-C:** Πρόκειται για πρότυπο που παρέχει διπλής κατεύθυνσης (two-way) υπηρεσία αποστολής πακέτων δεδομένων, μέσω ελαφρών και φθηνών τερματικών που είναι αρκετά μικρά ώστε να γίνονται φορητά ή να μπορούν να εγκατασταθούν σε πλοία, οχήματα και αεροσκάφη. Είναι ιδανικό για διανομή ή συλλογή πληροφοριών από και προς στόλους εμπορικών πλοίων ή οχημάτων. Το σύστημα κάνει χρήση της τεχνικής ALOHA και καναλιών μικρού εύρους συχνοτήτων, στα 2,5 kHz.

- **Inmarsat-D+:** Προσφέρει παγκόσμια διπλής κατεύθυνσης (two-way) επικοινωνία δεδομένων, μέσω τερματικών που το μέγεθος τους δεν ξεπερνά τις διαστάσεις ενός μικρού CD-player. Συμπληρώνεται από GPS και είναι ιδανικό για εντοπισμό (tracking), υπηρεσίες SMS και εφαρμογές ελέγχου επιτήρησης και απόκτησης δεδομένων (SCADA).

- **Inmarsat-E:** Παρέχει παγκοσμίου εύρους υπηρεσίες συναγερμών και ειδοποίησης (π.χ. σε περίπτωση θαλάσσιων ατυχημάτων) που αποστέλλονται από ραδιο-φάρους και αναμεταδίδονται μέσω των παράκτιων σταθμών Inmarsat. Είναι απολύτως συμβατό με το σύστημα GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) και καλύπτει σχεδόν όλες τις θαλάσσιες περιοχές της υδρογείου.

- **Inmarsat-M:** Πρωτοεμφανίστηκε το 1993 και αποτελεί το πρώτο φορητό δορυφορικό τηλέφωνο, που επιτρέπει τηλεφωνικές κλήσεις, αποστολή φαξ και δεδομένων από τερματικό με μέγεθος όσο ένας χαρτοφύλακας περίπου. Η ναυτική του εκδοχή διαθέτει κεραία διαμέτρου 70 cm. Επιτυγχάνει ταχύτητες δεδομένων φωνής από 4,8 kbps έως 6,4 kbps.

- **Inmarsat mini-M:** Αποτελεί την πιο διαδεδομένη υπηρεσία του Inmarsat και σχεδιάστηκε για την εκμετάλλευση της ισχύος των σημειακών δεσμών (spot beams) των δορυφόρων του Inmarsat-3. Τα πιο πρόσφατα τηλέφωνα αυτού του προτύπου είναι πολύ φθηνά, μικρά και έχουν μικρό βάρος. Διατίθενται σε εκδοχές κατάλληλες για χρήση στη θάλασσα ή στο έδαφος οι οποίες διαθέτουν γυροστατική κεραία που μένει διαρκώς εστιασμένη στον δορυφόρο, άσχετα με το τι καιρός επικρατεί στη θάλασσα. Προσφέρει υπηρεσίες φωνής και φαξ στα 2,4 kbps.



- **Inmarsat-M4:** Εμφανίσθηκε στα τέλη του 1999 και παρέχει υπηρεσίες GAN (Global Area Network), που περιλαμβάνουν φωνή στα 4,8 kbps, αποστολή φαξ και δεδομένων μέχρι 64 kbps, ISDN, πρόσβαση στο Internet, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, υπηρεσία video-conferencing και IPDS (Inmarsat Packet Data Service) το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να χρεώνεται σύμφωνα με το μέγεθος των αποσπελλόμενων δεδομένων και όχι ανάλογα με το χρόνο σύνδεσης.
- **Aero-C:** Πρόκειται για φθηνή υπηρεσία μηνυμάτων και αναφοράς δεδομένων (data reporting), η οποία παρέχει δορυφορικές επικοινωνίες τύπου αποθήκευσης-και-προώθησης (store-and-forward) στα αεροσκάφη. Είναι ιδανική λύση για αεροσκάφη που πετούν σε περιοχές όπου οι ραδιο-τηλεπικοινωνίες είναι ανύπαρκτη ή δύσκολη. Μπορεί επιπλέον να χρησιμοποιηθεί για επιχειρηματικές ή και προσωπικές επικοινωνίες.
- **Aero-H:** Εμφανίσθηκε το 1990 και παρέχει τηλεφωνία, φαξ και επικοινωνία δεδομένων σε αΐθουσες επιβατών αεροσκαφών και πιλοτήρια. Χρησιμοποιείται επίσης για τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας ή για άλλες επιχειρήσεις αερογραμμών.
- **Aero-I:** Παρέχει τηλεφωνία, φαξ και επικοινωνία δεδομένων σε μικρά αεροσκάφη που βρίσκονται μέσα στις σημειακές δέσμες (spot beams) του Inmarsat-3, κάνοντας δυνατή τη χρησιμοποίηση μικρότερων, ελαφρύτερων και φθηνότερων συσκευών και κεραιών.
- **Aero-L:** Παρέχει δορυφορική επικοινωνία πραγματικού χρόνου, δύο κατευθύνσεων, από τον αέρα προς το έδαφος στα 600 bps. Είναι συμβατό με τις απαιτήσεις του ICAO (International Civil Aviation Organization) για την ασφάλεια και τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας.
- **Aero mini-M:** Είναι σχεδιασμένο για μικρά αεροσκάφη, για παροχή υπηρεσιών φωνής, φαξ και δεδομένων στα 2,4 kbps. Αποδεικνύεται αρκετά χρήσιμο σε περιοχές πέρα από την περιοχή των VHF ραδιοσυχνοτήτων.[3],[16],[21]



Σχ.18 Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του Inmarsat



12. Το Δορυφορικό Σύστημα EUTELTRACS

12.1 Χαρακτηριστικά του Συστήματος

Το EUTELTRACS είναι ένα άλλο δορυφορικό σύστημα GEO που έκανε την εμφάνιση του το 1991 ως αποτέλεσμα της συνεργασίας των εταιρειών Alcatel (Γαλλία) και Qualcomm (Η.Π.Α). Η τελευταία μάλιστα είχε ήδη από το 1988 θέσει σε λειτουργία ένα παρόμοιο σύστημα, το OmniTRACS στις Η.Π.Α. Το σύστημα EUTELTRACS κάνει χρήση των δορυφόρων του οργανισμού Eutelsat που έχει ιδρυθεί το 1977 και εξυπηρετεί πολλούς ευρωπαϊκούς τηλεοπτικούς σταθμούς. Οι προσφερόμενες από το σύστημα υπηρεσίες είναι εστιασμένες κατά κύριο λόγο στον τομέα των οδικών μεταφορών που εκτελούνται στην ηπειρωτική Ευρώπη, και υποστηρίζουν αποστολή και λήψη μηνυμάτων καθώς και σύστημα εντοπισμού θέσεως. Το σύστημα καλύπτει επικοινωνιακά ολόκληρη την Ευρώπη, την Β. Αφρική και ορισμένες χώρες της μέσης ανατολής.

Σε αντίθεση με το Inmarsat-C δεν χρησιμοποιούνται δορυφόροι που είναι αποκλειστικά διαθέσιμοι για φορητές τηλεπικοινωνίες, αλλά δορυφόροι του Eutelsat που εκτός από τηλεοπτικές μεταδόσεις παρέχουν και άλλες υπηρεσίες. Για την υλοποίηση της επικοινωνίας χρησιμοποιούνται δύο δορυφόροι, ένας τηλεπικοινωνιακός (messenger) και ένας άλλος (ranger) μέσω του οποίου είναι εφικτός ο εντοπισμός της θέσης του τερματικού μέσω μετρήσεων με διπλασιασμό της απόστασης. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε συνεχή επαφή με ένα σταθμό εδάφους, που βρίσκεται έξω από το Παρίσι. Ο σταθμός αυτός με τη σειρά του συνδέεται με ένα πλήθος κέντρων διαχείρισης δικτύου SNMC (Service Provider Network Management Centers) που παρέχουν υπηρεσίες διασύνδεσης στους τελικούς χρήστες.[16]

12.2 Φορητά Τερματικά του EUTELTRACS

Τα τερματικά του EUTELTRACS περιλαμβάνουν τη μονάδα εισόδου, τη μονάδα εξόδου, τη μονάδα τηλεπικοινωνίας και την κατευθυντική κεραία και παρέχονται αποκλειστικά από τις εταιρείες Alcatel και Qualcomm. Η μονάδα εισόδου και εξόδου αποτελείται από ένα αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο και μια οθόνη τεσσάρων γραμμών. Τα τερματικά διασυνδέονται με τις μονάδες εισόδου/εξόδου μέσω θύρας RS-232C μέσω της οποίας η πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί με χρήση ειδικού πρωτοκόλλου. Έχουν επίσης δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι 99 μηνυμάτων.[26]



Σχ.19 Τερματικό του EUTELTRACS

12.3 Τεχνικές Υλοποίησης του Συστήματος

Στο σύστημα EUTELTRACS παρατηρείται μια ασυμμετρία ανάμεσα στην ταχύτητα επικοινωνίας από το φορητό τερματικό προς το δορυφόρο και αντίστροφα. Υπάρχει επίσης η αργή και γρήγορη μορφή επικοινωνίας ανάλογα με την ποιότητα της σύνδεσης (πιν. 4).[16]

ΜΟΡΦΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟ	ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ ΠΡΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ
X1 mode (αργή)	55 bps	165 bps
X3 mode (γρήγορη)	4900 bps	14900 bps

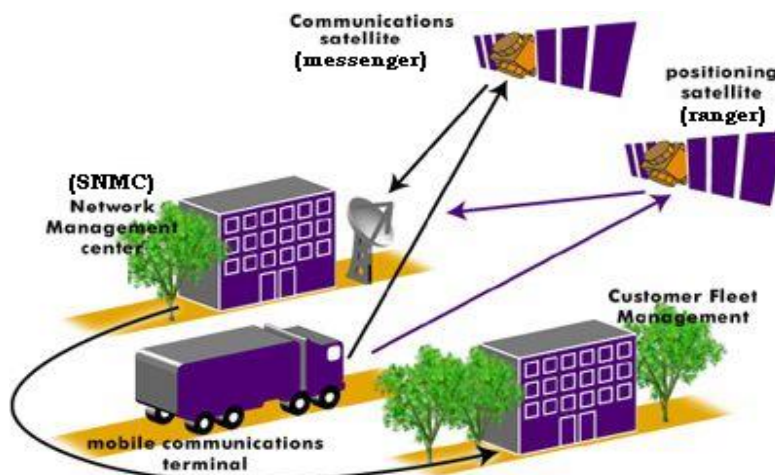
Πιν. 4 Ταχύτητες επικοινωνίας στο EUTELTRACS

Χρησιμοποιείται η τεχνική TDMA κατά την οποία 25 χρονοθυρίδες (time slots) μπορούν να υποστηρίξουν το ίδιο αριθμό ταυτόχρονων συνόδων (sessions). Και στις δύο μορφές επικοινωνίας αποστέλλονται επιβεβαιώσεις από τον επίγειο σταθμό προς το φορητό τερματικό και αντίστροφα. Επίσης διεξάγεται έλεγχος λαθών.

Στο EUTELTRACS χρησιμοποιείται κατευθυντική (directional) κεραία, η οποία μετά την ενεργοποίηση του φορητού τερματικού εξακολουθεί να στρέφει τον άξονα της μέχρι να εντοπιστεί ο επικοινωνιακός δορυφόρος. Ένας δείκτης στη μονάδα εισόδου/εξόδου του χρήστη (οδηγού) υποδεικνύει πότε η πρόσβαση προς τον δορυφόρο είναι αδύνατη.

Όπως προαναφέρθηκε με τη βοήθεια του δεύτερου δορυφόρου (ranger) είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης του τερματικού άρα και του οχήματος πάνω στο οποίο φέρεται, χωρίς την ανάγκη επιπλέον ενσωμάτωσης συστήματος GPS. Το φορητό τερματικό αρχικά στρέφει την κατευθυντική κεραία στον δορυφόρο-ranger και στη συνέχεια στον τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο. Με τη διαδικασία αυτή, η οποία είναι κάπως χρονοβόρα, επιτυγχάνεται καθορισμός της θέσης του τερματικού με ακρίβεια 300 μέτρων.

Εξάλλου, είναι δυνατή η διασύνδεση του EUTELTRACS με άλλα δίκτυα όπως το δημόσιο τηλεφωνικό, πρόσβαση σε δίκτυα X.25 και άμεσες συνδέσεις με μισθωμένες γραμμές. Επειδή δεν υπάρχουν κέντρα SNMCs σε όλες τις χώρες του κόσμου, συχνά απαιτείται σταθερή διεθνής σύνδεση με κάποια από τις χώρες που διαθέτουν τέτοιο κέντρο.[26]



Σχ. 20 Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος EUTELTRACS



12.4 Προσφερόμενες Υπηρεσίες και Δυνατότητες

Το EUTELTRACS προσφέρει τις παρακάτω υπηρεσίες και δυνατότητες:

- Αποστολής αλφαριθμητικών μηνυμάτων από κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή μεταφορών, από το σταθμό βάσης (homebase) προς το φορητό τερματικό, καθώς και αντίστροφα αποστολή αλφαριθμητικών μηνυμάτων από κάποιο φορητό τερματικό προς κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή μεταφορών στο σταθμό βάσης (homebase). Τα μηνύματα έχουν μέγιστο μήκος 1900 χαρακτήρων (υπάρχουν αποθηκευμένα πρότυπα αλλά μπορούν και να πληκτρολογηθούν) και προωθούνται από τερματικό προς τερματικό μέσω της homebase. Επίσης υπάρχει επιβεβαίωση λήψης. Η σχετική εφαρμογή μπορεί να υποδείξει όχι μόνο εάν έχει ληφθεί το μήνυμα αλλά και αν έχει διαβασθεί από τον αναγνώστη.
- Επιλογής ανάμεσα σε δύο πακέτα λογισμικού, το Geotrek και το QTRACS. Το πρώτο λειτουργεί με Windows 95 και NT, εγκαθίσταται στο κέντρο αποστολής του πελάτη, είναι συμβατό με οποιοδήποτε διαθέσιμο λογισμικό διαχείρισης στόλων οχημάτων και διαθέτει 450 ψηφιοποιημένους οδικούς χάρτες. Το δεύτερο είναι ένα παρόμοιο πακέτο λογισμικού που διαχειρίζεται και ελέγχει το σύστημα EUTELTRACS, υποστηρίζει αποστολή και λήψη μηνυμάτων από και προς το όχημα, παρέχει υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, είναι συμβατό με τα διαθέσιμα προγράμματα διαχείρισης στόλων οχημάτων καθώς και με όλα σχεδόν τα λειτουργικά συστήματα.
- Παράδοσης αναφορών θέσης στόλου οχημάτων (Fleet Position Reporting). Επιτυγχάνονται αυτόματα σε ωριαία βάση και για κάθε όχημα μέσω της εφαρμογής QTRACS, μπορούν όμως να προσφερθούν και σε οποιαδήποτε άλλη στιγμή ζητηθούν.
- Ομαδοποίησης μηνυμάτων, δηλαδή αποστολή του ίδιου μηνύματος ταυτόχρονα σε πολλά φορητά τερματικά.
- Χρήσης προτεραιοτήτων στην αποστολή μηνυμάτων. Τα μηνύματα κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις βαθμίδες προτεραιότητας, δηλαδή ύπνου, κανονικά, επείγοντα και συναγερμού. Τα μηνύματα της πρώτης βαθμίδας δεν μεταδίδονται στο φορητό τερματικό παρά μόνο όταν ο χρήστης συνδεθεί με το σύστημα, για να μην ενοχλείται ο τελευταίος κατά τη διάρκεια της ξεκούρασής του. Αν βέβαια πρόκειται για επείγον μήνυμα ανάβει κάποια ενδεικτική λυχνία στο τερματικό ή τίθεται σε λειτουργία συναγερμός, ενώ ταυτόχρονα εκτός από το σταθμό βάσης (homebase) ειδοποιούνται και τα γειτονικά κέντρα SNMCs για ενεργοποίηση των εμπλεκόμενων φορέων.[16]

13. Το Δορυφορικό Σύστημα OmniTRACS

Όπως προαναφέρθηκε το OmniTRACS αποτέλεσε τον πρόδρομο του EUTELTRACS, αναπτύχθηκε το 1988 από την Qualcomm και αποτελεί ένα GEO δορυφορικό σύστημα επικοινωνιών δύο-κατευθύνσεων (two-way) που χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές διαχείρισης οδικών μεταφορών που ειδικότερα αφορούν επικοινωνία και εντοπισμό θέσης, καλύπτοντας τις επικοινωνιακές ανάγκες περίπου 1.250 στόλων οχημάτων στις Η.Π.Α. Το σύστημα διαθέτει δύο κύρια κέντρα διαχείρισης NMCs (Network Management Centers) εγκατεστημένα στο San Diego και στο Las Vegas.

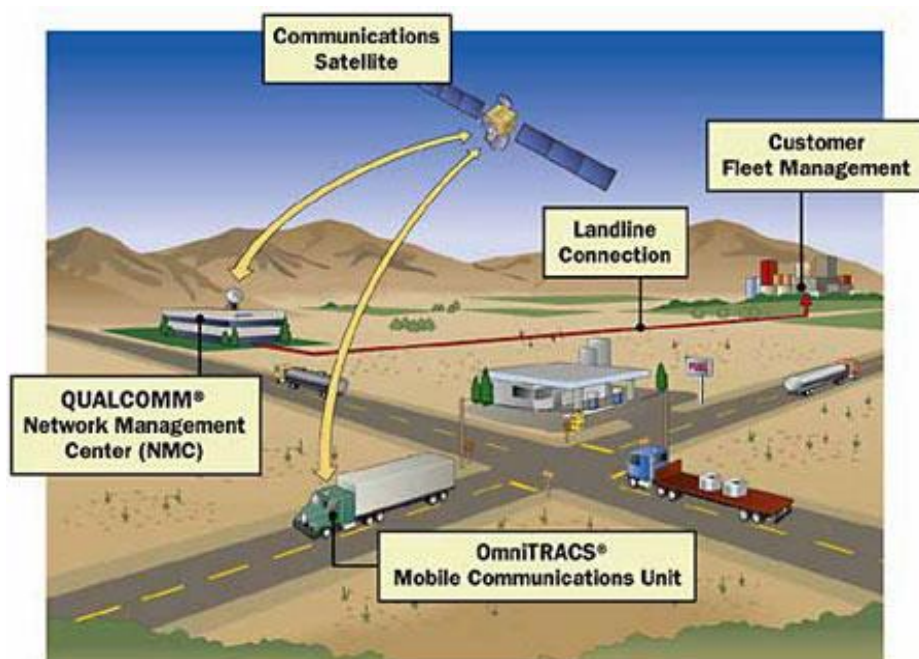


Σε γενικές γραμμές παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά του EUTELTRACS και έχει παρόμοιες με αυτό δυνατότητες.

Το σύστημα κάνει χρήση μόνο ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου GEO τόσο για την επικοινωνιακή κάλυψη των οχημάτων με τα κέντρα ή μεταξύ τους, όσο και για τον εντοπισμό θέσεως. Για τις ανερχόμενες και κατερχόμενες ζεύξεις χρησιμοποιούνται οι ίδιες συχνότητες (πιν. 4) με αυτές του EUTELTRACS.

Τα μηνύματα δεδομένων μεταφέρονται από τη διαχείριση του στόλου του πελάτη (customer fleet management) σε ένα από τα δύο NMCs της QUALCOMM μέσω επίγειας σύνδεσης, έπειτα στέλνονται στον επικοινωνιακό δορυφόρο και μέσω αυτού στο αντίστοιχο τερματικό του οχήματος (σχ. 19). Το όχημα χρησιμοποιεί επίσης το δορυφόρο για αποστολή μηνυμάτων στο κέντρο NMC, απ' όπου το μήνυμα καθώς και η θέση του οχήματος γνωστοποιούνται στη διαχείριση του στόλου του πελάτη.

Χρησιμοποιείται το πακέτο λογισμικού QTRACS το οποίο άλλωστε έχει δημιουργηθεί από την QUALCOMM.[23]



Σχ.21 Σχηματική αναπαράσταση του OmniTRACS



14. Συμπεράσματα-Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Σήμερα ίσως περισσότερο από ποτέ προβάλλει επιτακτική η ανάγκη της υλοποίησης της επικοινωνίας μεταξύ απόμακρων περιοχών σε οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη. Τα δορυφορικά δίκτυα επικοινωνιών αναλαμβάνουν τη διασύνδεση τηλεπικοινωνιακών κόμβων εκεί όπου τα ενσύρματα μέσα δεν επαρκούν, δεν μπορούν να αναπτυχθούν ή κρίνεται οικονομικά ασύμφορη η χρησιμοποίησή τους.

Έτσι αποφεύγεται ο επικοινωνιακός αποκλεισμός περιοχών με περιορισμένη ή ανύπαρκτη ενσύρματη τηλεπικοινωνιακή υποδομή, αφού όντας η αντίστοιχη περιοχή μέσα στα όρια του πέλματος ενός δορυφόρου, οποιοσδήποτε χρήστης εντός αυτής μπορεί να λάβει ή να στείλει μηνύματα, δεδομένα κλπ.

Η ραγδαία αύξηση του αριθμού των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία πέντε και πλέον χρόνια, φαίνεται να δείχνει την τάση των συστημάτων κινητής τηλεπικοινωνίας. Επιπλέον, οι απαιτήσεις των χρηστών δεν περιορίζονται μόνο σε επικοινωνία φωνής, αλλά επεκτείνονται ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη εφαρμογή σε μεταφορά δεδομένων, μηνυμάτων, φαξ και ηλεκτρονικής αλληλογραφίας. Εκτός από τις απαιτήσεις στο είδος της παρεχόμενης υπηρεσίας, η παγκόσμια αγορά προσπαθεί να ικανοποιήσει τη γενικότερη απαίτηση για φθηνές υπηρεσίες και για όσο το δυνατό μικρότερο και φθηνότερο εξοπλισμό.

Μια αρκετά αξιόπιστη και φθηνή λύση στις σημερινές επικοινωνιακές ανάγκες των χρηστών υπόσχονται να δώσουν τα δορυφορικά δίκτυα, με την επιπλέον δυνατότητα της υπέρβασης των παραδοσιακών περιορισμών του χώρου και του μέσου διασύνδεσης.

Τα δίκτυα αυτά μπορούν να υποστηρίξουν ποικίλες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές οι οποίες μπορούν να ανήκουν σε τομείς όπως η υγεία, η αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών σε στεριά ή θάλασσα, η διαχείριση στόλων οχημάτων, πλοίων ή αεροσκαφών, η εκπαίδευση, η επιστημονική έρευνα, η συλλογή μετεωρολογικών, κλιματολογικών ή βιολογικών δεδομένων κλπ. Τα δορυφορικά δίκτυα με τη χρήση μικροκυμάτων λειτουργούν σαν αναμεταδότες των πληροφοριών μεταξύ των χρηστών, οι οποίοι μπορούν να στέλνουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις.

Δυστυχώς το μεγάλο κόστος υλοποίησης και χρήσης των GEO δορυφορικών συστημάτων καθιστά περιορισμένη εάν όχι απαγορευτική τη χρήση τους από το ευρύ κοινό. Προς το παρόν λοιπόν γίνεται εκμετάλλευση των δυνατοτήτων αυτών των συστημάτων κυρίως από μεγάλες εταιρείες ή συγκεκριμένες ομάδες χρηστών (target groups) όπως μεγάλες ναυτιλιακές ή μεταφορικές εταιρείες, μέσα μαζικής ενημέρωσης, εταιρείες εξόρυξης μεταλλευμάτων ή ορυκτών σε απόμακρες περιοχές κλπ.

Αντίθετα η εμφάνιση nongeostationary συστημάτων όπως είναι για παράδειγμα τα συστήματα LEO, με το σχετικά μικρό κόστος χρήσης, καθιστούν δυνατή τη χρήση δορυφορικών επικοινωνιών από μεγάλο εύρος χρηστών, που ζητούν επικοινωνιακές δυνατότητες πέρα από αυτές που προσφέρουν τα σημερινά δίκτυα και συσκευές κινητής τηλεφωνίας.

Σοβαρότατα θέματα που ανακύπτουν και μπορούν να αποτελέσουν ζητήματα πιθανών μελλοντικών ερευνών είναι οι ανάγκες συμβατότητας και διαλειτουργικότητας των δορυφορικών δικτύων με τα υπόλοιπα δίκτυα και τεχνολογίες δικτύων, καθώς και θέματα ανταγωνισμού των εταιρειών που θα λειτουργούν δορυφορι-



κά συστήματα στο διάστημα, αφού ο διαθέσιμος χώρος για την ανάπτυξη τους είναι αρκετά περιορισμένος από τα ήδη υπάρχοντα συστήματα, (ειδικότερα στα συστήματα GEO λόγω και του πρόσθετου περιορισμού του συγκεκριμένου τροχιακού ύψους λειτουργίας στα 35.786 km).

Ένα δορυφορικό δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ως προς την ασύρματη επικοινωνία, ωστόσο αρκετές φορές απαιτείται η χρήση των ήδη υπάρχοντων ενσύρματων μέσων ή τοπικών δικτύων κινητής τηλεφωνίας και η εκμετάλλευση της υπάρχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής για τη διάδοση πληροφοριών μεταξύ επίγειων κόμβων. Εξάλλου σε αρκετές περιπτώσεις, το αποσπελλόμενο μήνυμα θα προσπαθήσει αρχικά να προσπελάσει το τοπικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, πριν επιχειρήσει να χρησιμοποιήσει το δορυφορικό σύστημα. Είναι λοιπόν αυτονόητη και επιτακτική η ανάγκη σχεδιασμού συστημάτων που να είναι απόλυτα συμβατά μεταξύ τους, για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση τους.

Υπάρχει η γενική εκτίμηση ότι η χρησιμοποίηση συστημάτων που θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις των σύγχρονων χρηστών μέσω μια φορητής συσκευής που θα χρησιμοποιείται σαν κινητό αλλά και σαν ασύρματο τηλέφωνο ικανό να συνδεθεί με την τηλεφωνική γραμμή του σπιτιού, δεν θα αργήσει να επικρατήσει ολοκληρωτικά στο σύγχρονο επικοινωνιακό χάρτη. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν τις παραπάνω υπηρεσίες χρησιμοποιώντας ένα και μόνο διεθνή αριθμό πρόσβασης (single-number systems).⁸

Τα δορυφορικά συστήματα LEO αποτελούν μια πολύ ισχυρή υποψηφιότητα για την υλοποίηση τέτοιων υπηρεσιών σε παγκόσμια κλίμακα. Τα τελευταία αποτελούν αξιόπιστη λύση γιατί όπως και τα παραδοσιακότερα GEO συστήματα, προσφέρουν ευρεία γεωγραφική κάλυψη, άμεση σύνδεση μέσω μικροκυματικών ζεύξεων και ευέλικτες αρχιτεκτονικές δικτύου. Επιπλέον τα συστήματα LEO παρέχουν υπηρεσίες με αισθητά χαμηλότερο propagation loss και propagation delay και δεν απαιτούν μεγάλη ισχύ στο χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, αφού οι τροχιές των δορυφόρων είναι σχετικά κοντά στην επιφάνεια της γης.

Η καθυστέρηση παράδοσης μηνυμάτων με τη χρήση LEO συστημάτων παγκόσμιας κάλυψης, κυμαίνεται σε χρονικά αποδεκτά όρια τέτοια, που να καθιστούν τα συστήματα αυτά καταλληλότερα από τα συστήματα αποστολής και λήψης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. **[14]**

Γενικά η χρήση των δορυφορικών δικτύων σε συνδυασμό με άλλες εναλλακτικές λύσεις ασύρματης επικοινωνίας όπως η κινητή τηλεφωνία, το ασύρματο ATM ή το ασύρματο Internet μπορούν να οδηγήσουν στην επικράτηση και τελειοποίηση των παγκοσμίας κάλυψης δικτύων προσωπικών επικοινωνιών (global PCNs).⁹

Στο τέλος αυτής της παρουσίασης για τα δορυφορικά συστήματα LEO και GEO καθώς και για ορισμένους από τους κυριότερους εκπροσώπους τους, παρατίθενται δύο συγκεντρωτικοί πίνακες, όπου επιχειρείται μια επιγραμματική σύγκριση των χαρακτηριστικών λειτουργίας τους. Από αυτούς προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για την κατανόηση του γενικότερου πλαισίου λειτουργίας των δορυφορικών συστημάτων, όσο και για την επιλογή για χρήση κάποιου από τα συστήματα που αναλύθηκαν λεπτομερώς στο κύριο μέρος της εργασίας, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη εφαρμογή.

⁸ Ένα τέτοιο σύστημα είναι το PHS (Personal Handy Phone System) ΣΤΗΝ Ιαπωνία.
⁹ φορικών⁹ Personal Communication Networks



ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LEO (ΓΕΝΙΚΑ)	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GEO (ΓΕΝΙΚΑ)
Κινούνται συνεχώς, αλλάζουν θέση και έχουν μικρότερο footprint (πέλμα). Ορατότητα δορυφόρου προς τη γη κατά διαστήματα.	Βλέπουν το ίδιο σημείο πάντα και έχουν μεγάλο footprint (1/3 της γης). Συνεχής ορατότητα δορυφόρου προς τη γη.
Πολυπλοκότητα δικτύου πολύ μεγάλη.	Πολυπλοκότητα δικτύου πολύ μικρή.
Απαιτούνται τουλάχιστον 12 δορυφόροι για ταυτόχρονη κάλυψη όλης της γης.	Ταυτόχρονη κάλυψη με 3 ή 4 δορυφόρους όλης της γης.
Απαιτείται switch μεταξύ δορυφόρων που διευκολύνεται από τις ISL (intersatellite links).	Σπάνια απαιτείται switch μεταξύ δορυφόρων λόγω μεγαλύτερης κάλυψης περιοχών.
Λόγω των συχνών εναλλαγών (switches) υπάρχει μεγαλύτερο ρίσκο για διακοπές ή τερματισμούς κλήσεων.	Δεν υπάρχει μεγάλο ρίσκο για διακοπές ή τερματισμούς κλήσεων λόγω σπανιότερων εναλλαγών (switches).
Μικρό σχετικά propagation delay (20-25 ms) λόγω μικρής σχετικά απόστασης από την επιφάνεια της γης.	Μεγαλύτερο propagation delay (240-280 ms) και ατμοσφαιρικές επιδράσεις λόγω μεγάλης απόστασης.
Χαμηλό propagation loss.	Υψηλό propagation loss.
Παρατηρούνται συγκρούσεις μεταξύ των ζωνών ραδιοσυχνότητας και παρεμβολές στις μεταδόσεις.	Μικρότερες συγκρούσεις και παρεμβολές μετάδοσης.
Τα τερματικά απαιτούν μικρότερη ισχύ για πρόσβαση στον δορυφόρο.	Τα τερματικά απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ για πρόσβαση στον δορυφόρο.
Κόστος δορυφόρου LEO πολύ μεγάλο.	Κόστος δορυφόρου GEO σχετικά μικρό.
Φθηνότερος εξοπλισμός/ χαμηλότερο κόστος εκτόξευσης.	Ακριβότερος εξοπλισμός / μεγαλύτερο κόστος εκτόξευσης
Μπορούν να εκτοξευθούν ταυτόχρονα πολλοί LEO δορυφόροι λόγω μικρού βάρους.	Το πολύ δύο δορυφόροι GEO μπορούν να εκτοξευθούν ταυτόχρονα.
Μικρότερο μέγεθος και βάρος συσκευών χρηστών (κατάλληλες ως φορητές).	Μεγάλες συσκευές για τους χρήστες, τερματικά (π.χ μεγέθους καρτοφύλακα)
Οι δορυφόροι κινούνται με μεγάλες ταχύτητες της τάξης των 7500 km/sec.	Οι δορυφόροι κινούνται με μικρότερες σχετικά ταχύτητες της τάξης των 3000 km/sec.
Επιρρεπή στο φαινόμενο Doppler.	Δεν επηρεάζονται από το φαινόμενο Doppler.
Οι τροχιές εκφυλίζονται σταδιακά λόγω της μεγάλης έλξης από τη βαρύτητα.	Λιγότερα προβλήματα εκφυλισμού της τροχιάς.
Μικρός χρόνος ζωής για τους δορυφόρους (5-8 χρόνια).	Μεγαλύτερος χρόνος ζωής για τους δορυφόρους.
Μεγαλύτερο εύρος επιλογών στις τροχιές, το οποίο όμως περιορίζεται συνεχώς με την ανάπτυξη νέων συστημάτων.	Περιορισμοί / ανταγωνισμός στις τροχιές αφού απαιτείται εγκατάσταση τους μόνο σε συγκεκριμένο ύψος (35.786 km)

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΤΡΟΧΙΑ	ΤΡΟΧΙΑΚΟ ΥΨΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ	ΚΑΛΥΨΗ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΦΩΝΗΣ	ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ
Argos	Little LEO	850 km	2	Παγκόσμια	0,3-4,8 kbps	-	Εντοπισμός, Δεδομένα
Safir	Little LEO	850 km	2	Παγκόσμια	0,3-4,8 kbps	-	Εντοπισμός, Δεδομένα
Iridium	Big LEO	780 km	66 + 6 εφεδρ.	Παγκόσμια	2,4 kbps	2,4 kbps	Τηλεφωνία, Φαξ, paging, Δεδομένα
Globalstar	Big LEO	1414 km	48 + 8 εφεδρ.	Παγκόσμια	7,2 kbps	2,4-9,6 kbps	Τηλεφωνία, Φαξ, Εντοπισμός, Δεδομένα
Odyssey	MEO	10354 km	12	Παγκόσμια	2,4 kbps	4,8 kbps	Τηλεφωνία, Φαξ, paging, Δεδομένα, Εντοπισμός
Inmarsat-A	GEO	35786 km	4	Παγκόσμια	-	9,6 kbps	Τηλεφωνία, Τέλεξ
Inmarsat-B	GEO	35786 km	4	Παγκόσμια	9,6-64 kbps	16 kbps	Τηλεφωνία, Τέλεξ, Φαξ, Δεδομένα
Inmarsat-C	GEO	35786 km	4	Παγκόσμια	0,6 kbps	-	Τέλεξ, Φαξ, Δεδομένα
Inmarsat-M	GEO	35786 km	4	Παγκόσμια	2,4 kbps	4,8 kbps	Τηλεφωνία, Φαξ, Δεδομένα
OmniTRACS	GEO	35786 km	1	Η.Π.Α	14,9 kbps	-	Εντοπισμός, Μηνύματα
EUTELTRACS	GEO	35786 km	2	Ευρώπη	14,9 kbps	-	Εντοπισμός, Μηνύματα



Βιβλιογραφία-Αναφορές

- [1] Abbas Jamalipour, "Low Earth Orbital Satellites for Personal Communication Networks", 1998 Artech House Inc.
- [2] Behrouz A. Forouzan, "Data Communication and Networking", 2nd edition, McGraw-Hill 2001, σελ 205-211.
- [3] Garry A. Garrad, "Cellular Communications: Worldwide Market Development", 1998 Artech House Inc, σελ. 461-466.
- [4] Heather E. Hudson, "Global Connections-International Telecommunications Infrastructure and Policy", Van Nostrand Reinhold 1997, σελ. 385-394.
- [5] Time-Life Books Inc, "Computer Communications/Τηλεματική-Επικοινωνίες", Εκδόσεις Αλκυών, σελ. 79-97.
- [6] Yorong Hu & Victor O.K. Li, The University of Hong Kong "Satellite-Based Internet: A tutorial", IEEE communication Magazine, March 2001.
- [7] Δ. Κωστής "Ασύρματο Internet/ Ψηφιακές Τεχνολογίες Ασύρματης Επικοινωνίας-Δορυφορικά Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας", περιοδικό RAM, τεύχος 119, Νοέμβριος 1998, σελ. 156-160.
- [8] "Πάπυρος-Larousse-Britannica" , Δορυφορική Επικοινωνία, τόμος 21, σελ. 255-260. Alberto Leon-Garcia & Indra Widjaja, "Communication Networks-Fundamental Concepts and Key Architectures", McGraw-Hill Companies Inc 2000, σελ. 246-249.
- [9] Andrew Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών" 2^η έκδοση, Παπασωτηρίου 1992, σελ. 232-241.
- [10] K. Laudon & J. Laudon, "Management Information Systems" 6th edition, Prentice Hall International Inc. 2000, σελ. 263-267.
- [11] Ramjee Prasad, "Towards a Global 3G System-Advanced Mobile Communications in Europe" , vol.1, 2001 Artech House Inc., σελ. 167-228.
- [12] John Freer, "Computer Communications and Networks", IEEE Press 1996, σελ. 48-56, 113-116.
- [13] GLOBECOM '97 IEEE "Global Telecommunications Conference", 3-8 Nov 1997, Phoenix, Arizona U.S.A, τόμος 2ος από 3.
- [14] ICC '98 "International Conference on Communications", 7-11 June 1998, Atlanta, Georgia U.S.A, τόμος 1ος από 3.
- [15] Rudi Bekkers & Jan Smits, "Mobile Telecommunications: Standards, Regulation, And Applications", 1999 Artech House Inc., σελ 263-277.
- [16] Benny Bing, "High-Speed Wireless ATM and LANs", 2000 Artech House Inc., σελ.205-214.
- [17] Michael Khader & William E. Barnes, "Telecommunications Systems and Technology", 2000 Prentice Hall Inc.



Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

[19] <http://www.geo-orbit.org/sizepgs/geodef.html> : πρόκειται για μια ιστοσελίδα που περιέχει γενικές πληροφορίες για τα δορυφορικά δίκτυα LEO, GEO, MEO, HEO, καθώς και για τους αντίστοιχους τύπους τροχιών. Υπάρχουν πολλές φωτογραφίες δορυφορικών δικτύων, τροχιών, εξοπλισμού, χαρτών κάλυψης καθώς και συγκριτικοί πίνακες για τα διάφορα συστήματα.

[20] <http://www.fuchsgruppe.com/ohbsystem/satellite/safir2/safir2.html>: είναι το επίσημο site της FUCHS-GRUPPE στην οποία ανήκει το σύστημα Safir2, και σε αυτό παρέχονται πληροφορίες σχετικές με τις δορυφορικές υπηρεσίες που η εταιρεία προσφέρει, ιστορικά στοιχεία εξέλιξης του Safir και περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του και των υπηρεσιών του.

[21] <http://www.alphatelecom.ru/inmarsat/engineindex.htm>: το site αυτό περιέχει πληροφορίες για τα δημοφιλέστερα δορυφορικά δίκτυα όπως το Iridium, το Globalstar και το Inmarsat. Ειδικότερα για το Inmarsat υπάρχει μια αρκετά λεπτομερής περιγραφή των διαφόρων προτύπων του με τις δυνατότητες και πλεονεκτήματα του καθενός.

[22] <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/iridium.html>: πρόκειται για ένα site που περιέχει λεπτομερείς αναφορές για πολλά δορυφορικά συστήματα (Iridium, Globalstar), με φωτογραφίες συστοιχιών δορυφόρων και περιγραφές του τρόπου λειτουργίας τους. Περιέχει μηχανή αναζήτησης για τους επισκέπτες που επιθυμούν να βρουν περισσότερα στοιχεία για τα δορυφορικά δίκτυα, με πρόσβαση σε άρθρα ή σε άλλα sites.

[23] <http://www.qualcomm.com/qwbs/products/omnitrac.html>: είναι το επίσημο site της Qualcomm όπου κανείς μεταξύ άλλων μπορεί να βρει αναλυτικές πληροφορίες για το σύστημα OmniTRACS το οποίο κατασκευάζεται από αυτή, τις προσφερόμενες υπηρεσίες καθώς και περιγραφές για το πακέτο λογισμικού QTRACS το οποίο χρησιμοποιούν τόσο το OmniTRACS όσο και το EUTELTRACS.

[24] <http://www.thetech.org/hyper/satellite/>: πρόκειται για ένα site παρέχει γενικές πληροφορίες για τους δορυφόρους (τι είναι δορυφόρος, τι είδη τροχιών υπάρχουν, ποια είναι τα χαρακτηριστικά των δορυφόρων και σε ποιες εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν).

[25] http://www.argosinc.com/system_overview.htm: πρόκειται για το επίσημο site της Argos Inc. το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη δομή, τον τρόπο λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά του δορυφορικού συστήματος Argos. Περιέχει φωτογραφίες του εξοπλισμού, χάρτες κάλυψης και διαγράμματα, όπου μεταξύ άλλων εξηγείται η επίδραση του φαινομένου Doppler στο σύστημα.

[26] <http://www.alcatel.com/euteltracs/system.htm>: είναι το επίσημο site της Alcatel η οποία σε συνεργασία με την Qualcomm είναι η κατασκευάστρια εταιρεία του συστήματος EUTELTRACS. Στον δικτυακό αυτό τόπο μπορεί κανείς να βρει πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα της εταιρείας και ειδικότερα για τον τρόπο λειτουργίας του EUTELTRACS και τις παρεχόμενες από αυτό υπηρεσίες.

[27] <http://www.globalstar.ca/english/about/cdma.shtml>: πρόκειται για το επίσημο site της Globalstar στον Καναδά όπου κανείς μπορεί να βρει οτιδήποτε έχει σχέση με τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος και του απαιτούμενου εξοπλισμού, καθώς και γενικότερα στοιχεία για συστήματα LEO και το πρωτόκολλο CDMA.

[28] <http://www.remotesatellite.com/index3.html>: πρόκειται για το site της Remote Satellite Systems International Inc. (RSSI) όπου μπορεί κάποιος να βρει χρήσιμες πληροφορίες για τα δορυφορικά δίκτυα όπως και ένα συγκεντρωτικό συγκριτικό πίνακα δημοφιλών δορυφορικών συστημάτων, των παρεχόμενων υπηρεσιών και του εξοπλισμού τους.



[29] **<http://www.tis.utexas.edu/video/sof/sat-tech.html>**: είναι ένα site με πληροφορίες για τις τηλεπικοινωνίες και υπηρεσίες Internet του πανεπιστημίου του Texas, όπου μεταξύ άλλων μπορεί κανείς να βρει στοιχεία για τα δορυφορικά δίκτυα και σχετική με αυτά ορολογία.

[30] **<http://dbcp.nos.noaa.gov/dbcp/1smms.html>**: η συγκεκριμένη σελίδα αναφέρεται περιληπτικά σε όλα τα γνωστά δορυφορικά δίκτυα. Στο τέλος της παρέχει μια λίστα από χρήσιμα links σε διευθύνσεις δορυφορικών συστημάτων για περισσότερες λεπτομέρειες.

[31] **http://www.isoc.org/isoc/whatis/conferences/inet/96/proceedings/g1/g1_1.htm**: περιέχει άρθρο σχετικά με τα δορυφορικά συστήματα LEO και τις υπηρεσίες αποστολής μηνυμάτων που βασίζονται στο Internet (Low Earth Orbiting Satellites and Internet-Based Messaging Services)

[32] **<http://www.iridium.com/>**: πρόκειται για τον επίσημο δικτυακό τόπο του Iridium στον οποίο αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος, η δομή του, ο τρόπος λειτουργίας του, καθώς και οι προσφερόμενες από το σύστημα υπηρεσίες.

[33] **<http://www.isr.umd.edu/%7Emichalis/satellite/>**: πρόκειται για ιστοσελίδα του πανεπιστημίου του Maryland που αναφέρεται στις δορυφορικές επικοινωνίες. Περιέχει πληροφορίες για τα δορυφορικά δίκτυα, τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα καθώς και λίστα από links προς εταιρείες δορυφορικών συστημάτων.

[34] **http://www.law.berkeley.edu/journals/btlj/articles/15_3/roberts/roberts.html**: περιέχει άρθρο σχετικά με τα GEO δορυφορικά συστήματα από τον Lawrence D. Roberts με τίτλο "A Lost Connection: Geostationary Satellite Networks and the International Telecommunication Union".

[35] **<http://www.glocall.com/networks/>** : πρόκειται για site της εταιρείας GloCall η οποία ασχολείται με την παροχή υπηρεσιών τηλεπικοινωνίας μέσω δορυφόρων. Στο δικτυακό αυτό τόπο υπάρχουν πληροφορίες για δημοφιλή δορυφορικά συστήματα που η εταιρεία παρέχει, καθώς και νέα από το χώρο των δορυφορικών επικοινωνιών.

[36] **<http://www.att.com/press/>**: είναι το site της AT&T και περιέχει πληροφορίες τεχνολογικού ενδιαφέροντος μεταξύ των οποίων είναι οι ασύρματες και δορυφορικές επικοινωνίες. Αναφέρονται νέα σχετικά με εκτοξεύσεις δορυφόρων, κινήσεις ανταγωνιστικών εταιρειών και στοιχεία γνωστών δορυφορικών συστημάτων.

[37] **<http://nersp.nerdc.ufl.edu/~waltr/Satellites/#LEO>**: περιέχει γενικές πληροφορίες για τα δορυφορικά συστήματα LEO, GEO και MEO με συγκριτικούς πίνακες για κάθε κατηγορία και χρήσιμα links σε εταιρείες που λειτουργούν τέτοια συστήματα.

[38] **<http://www.isoquantic.com/pr/ATMsatellites-1.html>**: περιέχει άρθρο σχετικά με την υποστήριξη του ATM στα δορυφορικά δίκτυα LEO. Επίσης περιέχει συγκεντρωτικούς πίνακες με συγκρίσεις των δορυφορικών συστημάτων ανάλογα με τον τύπο τροχιάς που χρησιμοποιούν.

[39] **http://spaceboy.nasda.go.jp/Note/Eisei/e/Eis07_e.html** : πρόκειται για ένα site της Ιαπωνικής NASDA (National Space Development Agency of Japan) το οποίο περιέχει υπό μορφή παρουσίασης στοιχεία για όλα τα είδη δορυφορικών επικοινωνιών με εικόνες και την αντίστοιχη ορολογία.