



ΤΕΙ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών (έδρα:
Σπάρτη)
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

**Χαρακτηριστικά και έλεγχος ποιότητας
στις δορυφορικές επικοινωνίες-ζεύξεις**

ΜΟΥΡΕΛΑΤΟΥ ΘΕΟΔΩΡΑ

A.M. 2009026

Επιβλέπων Καθηγητής: Τσαρούχας Ανδρέας

Σπάρτη, 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τις δορυφορικές επικοινωνίες-ζεύξεις. Οι δορυφόροι κινούνται σε τροχιά HEO (High Earth Orbit) ή γεωσύγχρονη, MEO (Medium Earth Orbit) και LEO (Low Earth Orbit) ή ηλιοσύγχρονη ή πολική. Η γεωστατική τροχιά επιλέγεται για τους δορυφόρους που μετρούν την ηλιακή δραστηριότητα, για τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους για μετεωρολογικούς δορυφόρους κ.α. Οι MEO τροχιές επιλέγονται από τους δορυφόρους προσδιορισμού θέσης (GPS) και από τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους για τις επικοινωνίες στο μακρινό βορά ή νότο. Οι κατηγορίες δορυφορικών ραδιοεπικοινωνιών περιλαμβάνουν τις FSS, BSS, MBS, AmSS, SDSS, SFSS, EESS, SRS, ISS και SpO. Το φάσμα συχνοτήτων στο οποίο λειτουργούν συνήθως οι δορυφόροι είναι 1-80 GHz. Οι δορυφορικοί τύποι εφαρμογών περιλαμβάνουν την τηλεόραση, τη σταθερή τηλεφωνία, την υπηρεσία κινητών επικοινωνιών και τα δίκτυα υπολογιστών και δεδομένων. Στα πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων περιλαμβάνονται το γεγονός ότι παρέχουν κάλυψη μιας ευρείας περιοχής ενώ παράλληλα παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε ανθρώπους που κατοικούν σε απομακρυσμένες ή τεχνολογικά υποανάπτυκτες περιοχές κ.α. Στα μειονεκτήματα τους περιλαμβάνονται η καθυστέρηση μετάδοσης, η εξάρτηση από μια απομακρυσμένη εγκατάσταση, η σημαντική εξασθένηση του σήματος λόγω ατμοσφαιρικών σωματιδίων και βροχής στις υψηλές συχνότητες κ.α. Οι μέθοδοι πρόσβασης σε ένα δορυφόρο που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι η πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA), η πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) και πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA). Οι κύριες αιτίες για τα προβλήματα διάδοσης είναι η επίδραση των βροχοπτώσεων, η εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, η απόσβεση από αέρια της ατμόσφαιρας, η εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου, η αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου, οι τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί, οι παρεμβολές λόγω διάδοσης, ο σπινθηρισμός και το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών λόγω της επίδρασης του εδάφους.

ABSTRACT

This thesis deals with the satellite-communications links. The satellites move in orbit HEO (High Earth Orbit) or geosynchronous, MEO (Medium Earth Orbit) and LEO (Low Earth Orbit) or sun-synchronous or polar. The geostationary orbit is selected for the satellites that measure the solar activity, for telecommunications satellites, for meteorological satellites etc. The MEO orbits are selected by positioning satellites (GPS) and telecommunications satellites for communications in the far north or south. The categories of satellite radio include the FSS, BSS, MBS, AmSS, SDSS, SFSS, EESS, SRS, ISS and SpO. The frequency spectrum in which satellites typically operate is 1-80 GHz. These types of applications include satellite television, fixed telephony, mobile communications service and computer and data networks. The advantages of satellite systems include the fact that they cover a wide area while providing easy access to people living in remote or technologically underdeveloped regions etc. The disadvantages include the transmission delay, the reliance on a remote installation, the significant signal attenuation due to rain and atmospheric particles at high frequencies etc. The most used methods of access to a satellite is the Frequency Division Multiple Access (FDMA), Time Division Multiple Access (TDMA) and Code Division Multiple Access (CDMA). The main causes of diffusion problems is the effect of rainfall, the attenuation due to atmospheric precipitations, the damping of the atmosphere gas, the attenuation of the melting of the ice layer, increased noise temperature, the tropospheric scintillations, the interference due to diffusion, the spark and the multipath phenomenon due to the effect of the soil.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Σύγχρονες Δορυφορικές Επικοινωνίες

1.1 Εισαγωγή	σελ. 6
1.2 Ιστορική αναδρομή	σελ. 6
1.3 Περιγραφή δορυφόρου	
1.3.1 Ανατομία δορυφόρου	σελ. 9
1.3.2 Τροχιές γύρω από τη Γη	σελ. 14
1.3.3 Επιλογή τροχιάς	σελ. 23
1.4 Δορυφορικά πρότυπα και οργανισμοί	
1.4.1. Κατηγορίες δορυφορικών ραδιοεπικοινωνιών	σελ 25
1.4.2. Διεθνείς δορυφορικοί οργανισμοί	σελ 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η επανάσταση της τεχνολογίας των δορυφόρων και οι εφαρμογές τους

2.1 Εισαγωγή	σελ 28
2.2 Οι βασικές αρχές των δορυφορικών δικτύων	σελ 28
2.3 Δορυφορικοί τύποι εφαρμογών	
2.3.1 Τηλεόραση	σελ 31
2.3.2 Σταθερή τηλεφωνία	σελ 32
2.3.3 Υπηρεσία κινητών επικοινωνιών	σελ 33
2.3.4 Δίκτυα υπολογιστών και δεδομένων	σελ 34
2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα δορυφορικών συστημάτων	σελ 34
2.4.1 Πλεονεκτήματα	σελ 35
2.4.2 Μειονεκτήματα	σελ 35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Τεχνική παραμετροποίηση επίγειου δορυφορικού σταθμού εκπομπής-λήψης

3.1 Βασική δορυφορική ζεύξη	σελ 36
3.2 Μέθοδοι πρόσβασης στο δορυφόρο	σελ 38
3.2.1. Πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA)	σελ 41
3.2.2. Πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA)	σελ 43

3.2.3. Πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA)	σελ 46
---	--------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Προβλήματα διάδοσης

4.1 Γενικά για τα προβλήματα διάδοσης	σελ. 50
4.2. Επίδραση βροχοπτώσεων	σελ. 51
4.3. Εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων	σελ. 52
4.4. Απόσβεση από αέρια της ατμόσφαιρας	σελ. 52
4.5. Εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου	σελ. 53
4.6. Αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου	σελ. 53
4.7. Τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί	σελ. 53
4.8. Παρεμβολές λόγω διάδοσης	σελ. 53
4.9. Εξασθένηση από αμμοθύελλες	σελ. 54
4.10. Σπινθηρισμός	σελ. 54
4.11. Επίδραση του εδάφους – φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών	σελ. 55
ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ. 56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Σύγχρονες Δορυφορικές Επικοινωνίες

1.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό ξεκινάει με μια μικρή ιστορική αναδρομή των επικοινωνιών, ενός κεφαλαίου τόσο σημαντικού για το ανθρώπινο είδος και την εξέλιξη που παρουσιάζει με βάση τις δυνατότητες του ανθρώπινου μυαλού. Στη συνέχεια, γίνεται η περιγραφή ενός δορυφορικού συστήματος και του τρόπου λειτουργίας του καθώς επίσης και η αναφορά στις διάφορες τροχιές που υπάρχουν και στον τρόπο επιλογής τους. Κλείνοντας, γίνεται αναφορά στα διάφορα δορυφορικά πρότυπα και τους βασικούς δορυφορικούς οργανισμούς που έχουν αφήσει ιστορία στον τομέα των δορυφορικών επικοινωνιών.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Σε μια εποχή σαν τη σημερινή, κατά την οποία οι τηλεπικοινωνίες είναι κάτι το αυτονόητο, το καθημερινό στη ζωή μας, το ξεκίνημα των τηλεπικοινωνιών στα παλαιότερα χρόνια είναι κάτι στο οποίο αξίζει να αναφερθεί κανείς.

Ξεκινάμε από την αρχή όταν ο κύριος τρόπος επικοινωνίας ήταν τα οπτικά σήματα με φωτιά τα οποία ξεκίνησαν από τους αρχαίους Έλληνες (περίπου 1195-1184 π.Χ.), συνεχίζουμε με τα ταχυδρομικά περιστερία (5ο π.Χ), τον ακουστικό τηλεγράφο και καταλήγουμε με τους αγγελιαφόρους, πεζούς ή έφιππους, σύστημα το οποίο διατήρησαν και το ανέπτυξαν ο Μ. Αλέξανδρος, οι Ρωμαίοι και οι Βυζαντινοί. Από τις παραπάνω μεθόδους μπορεί κανείς να καταλάβει πόσο σημαντική ήταν η ανάγκη επικοινωνίας των ανθρώπων, από την αρχαία ακόμα εποχή. Το μέσο το οποίο έφερε την επανάσταση είναι ο πρώτος τηλεγράφος. Τρεις παράγοντες συντέλεσαν στην ανάπτυξη του: Η ανακάλυψη των ιδιοτήτων του ηλεκτρισμού, η τεχνολογική δυνατότητα παραγωγής χάλκινων αγωγών μεγάλου μήκους και οι ανάγκες των σιδηροδρόμων που διέθεταν οικονομική δυνατότητα να χρηματοδοτήσουν εφευρέτες. Έπειτα από αυτόν ακολούθησαν διάφορα άλλα επιτεύγματα όπως ο τηλεγράφος Morse τον οποίο επινόησε ο Samuel Morse (1791-1872) και, αργότερα, εφηύρε τον ομώνυμο κώδικα.

Η δεύτερη μεγάλη επανάσταση ήρθε το 1876 από τον Αμερικανό Γκράχαμ Μπελ (1847-1922): το τηλέφωνο, μια από τις σημαντικότερες εφευρέσεις στην ιστορία της ανθρωπότητας. Εκμηδένισε τις αποστάσεις και επέδρασε στην οικονομική και κοινωνική ζωή των ανθρώπων. Ο Μπελ κατάφερε να μεταδώσει την ομιλία χάρη σε ηλεκτρικά σήματα. Από το 1877 ήδη το τηλέφωνο τελειοποιήθηκε χάρη στον Αμερικανό Τόμας Έντισον (1847-1931). Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν και τα τηλεπικοινωνιακά κέντρα τα οποία για πολλά χρόνια λειτουργούσαν χειροκίνητα μέχρι το 1931 που έγιναν αυτόματα. Το 1894 ο Μαρκόνι άρχισε να πειραματίζεται με τον ηλεκτρομαγνητισμό και ήταν αυτός που πέτυχε την πρώτη μετάδοση μηνύματος χωρίς την χρήση συρμάτων. Παράλληλα, πρωτοπόροι ακόμα εκείνη την εποχή υπήρξαν ο Ν. Tesla ο οποίος κατασκεύασε το πρώτο ασύρματο σύστημα επικοινωνίας το 1893 ο Alexander Popov ο οποίος κατασκεύασε δέκτη Η/Μ κυμάτων το 1894 και πέτυχε μετάδοση ραδιοκυμάτων μεταξύ δύο σημείων και τέλος ο Reginald Fessenden ο οποίος πέτυχε αμφίδρομη υπερατλαντική ασύρματη επικοινωνία το 1906. Είχε αρχίσει να μπαίνει σοβαρά στη ζωή των ανθρώπων η ασύρματη μετάδοση. Το 1947 γεννιέται η ιδέα του κινητού τηλεφώνου, όταν οι επιστήμονες της AT&T (American Telephone & Telegraph) συνειδητοποιούν ότι ένας πομπός μικρής εμβέλειας μπορεί να μεταμορφωθεί σε πομπό μεγάλης εμβέλειας συνδέοντας πολλές "κυψέλες" ενός τοπικού δικτύου. Το 1967 το κινητό τηλέφωνο ήταν διαθέσιμο στην αγορά. Από την εποχή αυτή και έπειτα ακολούθησε η ραγδαία ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Σειρά στην περιέργεια του ανθρώπου είχε το διάστημα και το πώς αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί για την διευκόλυνση της επικοινωνίας. Οι σύγχρονες δορυφορικές επικοινωνίες έχουν την αφετηρία τους στην ιδέα του Βρετανού Α. J. Clarke, ο οποίος το φθινόπωρο του 1945 δημοσίευσε ένα μικρό άρθρο με τον τίτλο Wireless World, στο οποίο πρότεινε την εγκατάσταση γεωστατικών δορυφόρων γύρω από τη Γη. Οι δορυφόροι αυτοί θα είχαν τη δυνατότητα να μεταδίδουν μικροκυματικά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις επιτυγχάνοντας τηλεπικοινωνιακή σύνδεση μεταξύ απομακρυσμένων σημείων.

Παρά την καινοτομική αυτή δημοσίευση, χρειάστηκε να περάσουν αρκετά χρόνια για να υλοποιηθούν οι προφητικές ιδέες του Clarke.

Το 1957 τέθηκε σε τροχιά ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος (Sputnik I). Το Νοέμβριο του ίδιου έτους η ΕΣΣΔ αποστέλλει και δεύτερο δορυφόρο, τον Sputnik II, που μεταφέρει το πρώτο ζωντανό πλάσμα στο διάστημα (ένα σκύλο ονομαζόμενο

Λάικα). Τον Φεβρουάριο του 1958 οι ΗΠΑ μπαίνουν στην κούρσα εξερεύνησης και κατάκτησης του διαστήματος με το δορυφόρο Explorer I. Τα δεδομένα τηλεμετρίας που συνέλεξε και απέστειλε στη γη οδήγησαν στην ανακάλυψη των ζωνών Van Allen. Το Δεκέμβριο του ίδιου έτους εκτοξεύεται ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος, ο S.C.O.R.E. (Signal Communication by Orbiting Relay Experiment).

Τον Απρίλιο του 1961 πραγματοποιείται η πρώτη πτήση ανθρώπου στο διάστημα. Ο σοβιετικός Yuri Gagarin κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τη Γη σε 108 λεπτά πάνω στο διαστημόπλοιο Vostok 1. Το 1962 γίνεται η αποστολή του πρώτου ενεργού δορυφόρου αναμετάδοσης TELSTAR 1 της AT&T (δορυφόρος σε τροχιά μέσου ύψους 7.200Km). Λάμβανε στα 6GHz, μετέτρεπε σε χαμηλότερη συχνότητα, ενίσχυε, μετέτρεπε σε συχνότητα 4GHz και εξέπεμπε. Ο δορυφόρος αυτός επιτρέπει στα αμερικανικά και στα ευρωπαϊκά δίκτυα τηλεόρασης να ανταλλάσσουν τα προγράμματά τους. Το 1963 εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος σε σχεδόν γεωστατική τροχιά (SYNCOM II) και στη συνέχεια, το 1964, πραγματοποιείται η εκτόξευση του πρώτου γεωστατικού δορυφόρου (SYNCOM III). Ο όρος «γεωστατικός» θα επεξηγηθεί στη συνέχεια. Το 1965 αποτελεί ένα πολύ σημαντικό σταθμό στην ιστορία των δορυφορικών επικοινωνιών καθώς τότε τίθεται σε τροχιά ο πρώτος γεωστατικός εμπορικός δορυφόρος, Intelsat I (Early Bird), εγκαινιάζοντας τη μεγάλη ακολουθία των δορυφόρων Intelsat.

Την ίδια χρονιά ο πρώτος ρωσικός τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος της σειράς MOLNIYA στέλνεται στο διάστημα. Ακολουθεί ο Intelsat II με δυνατότητα ταυτόχρονης εξυπηρέτησης 240 τηλεφωνικών συνδιαλέξεων ή ενός τηλεοπτικού καναλιού. Οι παραπάνω οικογένειες των δορυφόρων εξακολουθούν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους μέχρι και σήμερα.

Το έτος 1967 εκτοξεύεται ο πρώτος γεωστατικός μετεωρολογικός δορυφόρος, ο ATS 3. Είναι ο πρώτος δορυφόρος που στέλνει έγχρωμες φωτογραφίες της γης από το διάστημα. Το 1977 ιδρύεται ο EUTELSAT και το 1983 γίνεται η εκτόξευση του πρώτου Ευρωπαϊκού Δορυφόρου ECS (EUTELSAT 1).

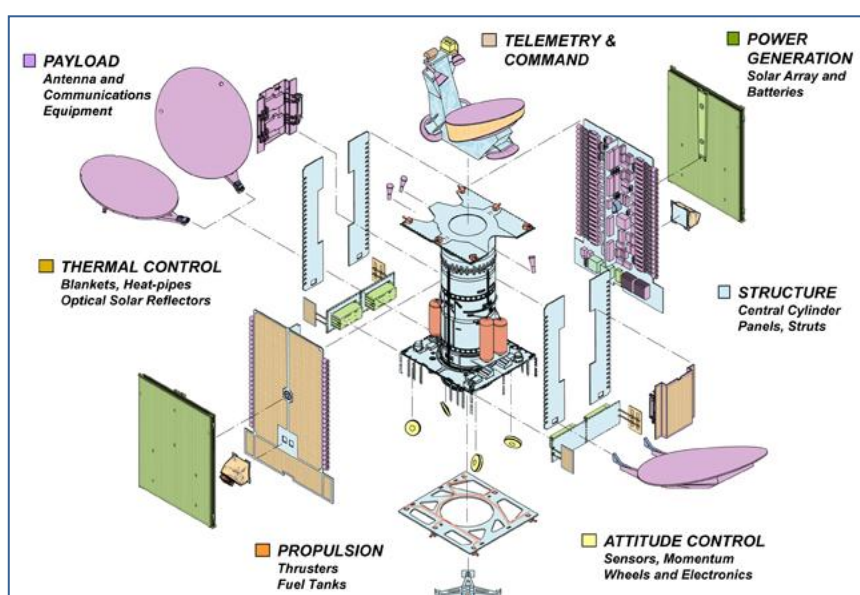
Το 2001 η Ελλάδα γίνεται μέλος της ESA, το 2002 μισθώνει τον πρώτο της δορυφόρο (Kopernikus), ενώ ο πρώτος Ελληνικός Δορυφόρος (HELLAS-SAT) τίθεται σε τροχιά το 2003.

1.3 Περιγραφή δορυφόρου

1.3.1 Ανατομία ενός δορυφόρου

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός δορυφόρου αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία στην οποία εμπλέκονται άτομα διαφόρων ειδικοτήτων. Πρόκειται για διαδικασία που απαιτεί την εφαρμογή ποικίλων τεχνικών αλλά και προγραμματισμού που πρέπει να εφαρμοστεί σε πολλά και διαφορετικά επίπεδα. Η γνώση της ανατομίας ενός δορυφόρου είναι αυτή που δείχνει ξεκάθαρα την προσπάθεια που πρέπει να καταβληθεί προκειμένου αφενός να κατασκευαστεί και αφετέρου να εκτοξευτεί και να τεθεί σε λειτουργία ένας δορυφόρος (Πανταζάτου, 2009).

Πιο συγκεκριμένα τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας επικοινωνιακός δορυφόρος είναι το ωφέλιμο φορτίο και η πλατφόρμα (εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1.: Ανατομία ενός δορυφόρου¹

Το ωφέλιμο φορτίο συνίσταται από τις κεραίες λήψης και μετάδοσης σημάτων και τον σχετικό εξοπλισμό. Οι κεραίες αποτελούν τον εξοπλισμό επικοινωνίας ο οποίος επιτρέπει στον δορυφόρο να επικοινωνήσει με τη γη ώστε να μεταβιβάσει τις πληροφορίες που λαμβάνει, να λάβει οδηγίες ή/και να αναμεταδώσει τις πληροφορίες από τη γη σε άλλον επίγειο σταθμό ή δορυφόρο (Takashi, 2000). Ο εξοπλισμός αυτού του είδους συνίσταται από κάποιο είδος κεραίας, η οποία

¹ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο: <http://sslmda.com/html/products/1300.html> (ανακτήθηκε: 28/11/14)

επιτρέπει την υποδοχή αλλά και τη μετάδοση σημάτων που μεταδίδονται ως ραδιοκύματα. Χρησιμοποιείται η μέθοδος της κεραίας που λαμβάνει και εκπέμπει ραδιοκύματα για να περιορίζεται στο ελάχιστο ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή και τη λήψη του σήματος, αφού τα ραδιοκύματα κινούνται με την ταχύτητα του φωτός (Πανταζάτου, 2009).

Η πλατφόρμα περιλαμβάνει περισσότερα συστήματα τα οποία είναι τα εξής:

1. Δομικό σύστημα

Πρόκειται για τον εξοπλισμό που παρέχει στον δορυφόρο σταθερότητα και ευστάθεια κατά τις δονήσεις και την επιτάχυνση που υφίσταται στην εκτόξευση. Επιπλέον, διασφαλίζει τη σωστή ευθυγράμμιση των κεραιών και άλλων παρόμοιων συστημάτων. Το σώμα του δορυφόρου, το οποίο ονομάζεται και «λεωφορείο» του δορυφόρου είναι αυτό που περιέχει και μεταφέρει όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό του (Takashi, 2000). Στο δομικό σύστημα του δορυφόρου συμπεριλαμβάνονται:

- Το εξωτερικό στρώμα, το οποίο είναι το στρώμα που τον προστατεύει από τις συγκρούσεις με μετεωρίτες πολύ μικρής διαμέτρου ή άλλα μόρια και υλικά που «επιπλέουν» στο διάστημα.
- Η αντιραδιενεργός ασπίδα που προστατεύει όλον τον εξοπλισμό και τα επιστημονικά όργανα από τη ραδιενεργό ακτινοβολία του ηλίου.
- Η θερμική ασπίδα που αντανακλά τη θερμότητα του ηλίου στο διάστημα ώστε να μείνει το εσωτερικό του σε θερμοκρασία ανεκτή και λειτουργική για τον επιστημονικό του εξοπλισμό.

Κρίνεται, επίσης, σκόπιμο να προστεθεί ότι όλα αυτά τα συστήματα είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά, για την επιλογή των οποίων πρέπει να συνυπολογιστεί το κόστος, το βάρος τους, η διάρκεια ζωής τους καθώς και η πιθανή αποδεδειγμένη λειτουργικότητά του (Πανταζάτου, 2009).

2. Υποσύστημα παροχής ενέργειας, ισχύος και ρύθμισης τάσης

Παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο δορυφόρο. Οι πηγές της ενέργειας αυτής είναι το ηλιακό φως που συλλέγεται με ηλιακές κυψέλες όσο ο δορυφόρος βρίσκεται σε ηλιόφωτο και από μπαταρίες όταν οι κυψέλες του βρίσκονται στη σκιά (Takashi, 2000). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μία πρωτογενή ενεργειακή πηγή, μια δευτερεύουσα ενεργειακή πηγή και κυκλώματα ρύθμισης και διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται (Ρόππας, 2005).

3. Υποσύστημα ρύθμισης θερμοκρασίας

Ελέγχει και ρυθμίζει την εσωτερική θερμοκρασία του δορυφόρου και του επιστημονικού του εξοπλισμού. Πρόκειται για εξαιρετικά σημαντικό σύστημα καθώς ο δορυφόρος τοποθετείται και λειτουργεί σε ένα επιβαρυσμένο θερμοκρασιακά περιβάλλον. Άλλωστε, η θερμότητα είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που μπορούν εύκολα να προκαλέσουν κατάρρευση και αποτυχία των μηχανημάτων (Takashi, 2000). Επιπλέον, οι μεγάλες συστολές – διαστολές που υφίσταται ο σκελετός του δορυφόρου, μπορούν να επηρεάσουν τη θέση του αλλά και τον προσανατολισμό των κεραιών του (Ρόππας, 2005).

4. Υποσύστημα ελέγχου θέσης

Όπως δηλώνει και το όνομά του ελέγχει συνεχώς τη θέση του δορυφόρου φροντίζοντας τον σωστό προσανατολισμό του ξεπερνώντας τις διαταραχές θέσης που προκύπτουν από την πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας και τις κλίσεις της βαρύτητας (Takashi, 2000).

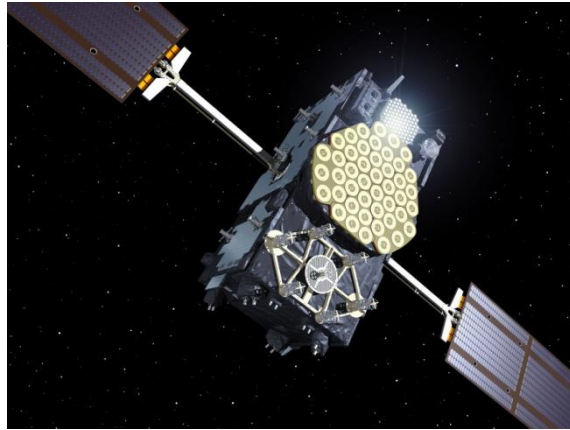
5. Υποσύστημα προώθησης

Τοποθετεί τον δορυφόρο στην επιλεγμένη τροχιά του και ελέγχει τη διατήρηση της θέσης του σε αυτήν εκτελώντας κατάλληλες αυξήσεις ή/και μειώσεις ταχύτητας και μεταβολής της ροπής του, χρησιμοποιώντας τα καύσιμά του και συγκεκριμένες ωθήσεις, προκειμένου να διορθώνεται συνεχώς τη θέση του (Ρόππας, 2005). Η συνεχής διόρθωση της τροχιάς είναι απαραίτητη για να εξισορροπηθούν οι διαταράξεις της που προκαλούνται από τον ήλιο, τη σελήνη και το γήινο ανάγλυφο (Takashi, 2000).

6. Υποσύστημα παρακολούθησης τηλεμετρίας και ελέγχου

Πρόκειται για τον «εγκέφαλο» του δορυφόρου και ου λειτουργικού συστήματος αυτού, ο οποίος προβαίνει σε ανταλλαγή δεδομένων με το σταθμό ελέγχου βρίσκοντας τα διαθέσιμα και ασφαλή κανάλια επικοινωνιών (Takashi, 2000). Επιπλέον καταγράφει συνεχώς όλες τις δραστηριότητες του δορυφόρου και φροντίζει να γίνουν οι απαραίτητες συντηρήσεις (Ρόππας, 2005).

Ένας τυπικός δορυφόρος τύπου Galileo (εικόνα 1.2) που κατασκευάζεται από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (European Space Agency – ESA) και είναι γνωστός κυρίως γιατί χρησιμεύει ως παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) λαμβάνει την ενέργειά του από τον ήλιο και έχει τα συστήματά του προστατευμένα πολύ προσεκτικά από την ακτινοβολία που επικρατεί στη μεσο-γήινη τροχιά στην οποία βρίσκεται (ESA, 2013).



Εικόνα 1.2.: Ένας δορυφόρος τύπου Galileo²

Κάθε δορυφόρος τέτοιου είδους αποτελείται από τα εξής συστήματα και εξοπλισμό (ESA, 2013) :

- ✚ Μία κεραία L-Band η οποία μεταδίδει τα σήματα πλοήγησης στην L-Band κεραία Έρευνας και Διάσωσης. Επιπλέον, λαμβάνει τα σήματα κινδύνου από τη γη και τα αναμεταδίδει σε έναν επίγειο σταθμό για προώθηση στις τοπικές υπηρεσίες διάσωσης.
- ✚ Μία κεραία C-Band η οποία λαμβάνει σήματα που περιέχουν δεδομένα για την αποστολή από σταθμούς ανερχόμενης ζεύξης. Σε αυτά περιλαμβάνονται στοιχεία για τον συγχρονισμό των ρολογιών πάνω στον δορυφόρο με ένα επίγειο ρολόι αναφοράς και στοιχεία για την ακεραιότητα των δεδομένων που περιέχουν πληροφορίες σχετικές με το πόσο καλά λειτουργεί κάθε δορυφόρος. Αυτή η πληροφορία ακεραιότητας ενσωματώνεται στο σύστημα πλοήγησης για μετάδοση στους χρήστες.
- ✚ Δύο κεραίες S-Band οι οποίες αποτελούν μέρος του υποσυστήματος παρακολούθησης τηλεμετρίας και εντολών. Οι κεραίες αυτές μεταδίδουν δεδομένα διαχείρισης για τη δορυφορική πλατφόρμα και το ωφέλιμο φορτίο στο Επίγειο Τμήμα Ελέγχου του Galileo. Επιπλέον, λαμβάνουν, κατεργάζονται και μεταδίδουν σήματα τηλεμετρίας που μετρούν το ύψος του δορυφόρου με ακρίβεια λίγων μέτρων. Τέλος, μπορούν να

² Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο: <http://www.europeanastrotech.com/galileo> (ανακτήθηκε: 28/11/14)

χρησιμοποιηθούν για να «ανεβάσουν» τα δεδομένα αποστολής για το σήμα πλοήγησης αν η C-Band κεραία είναι εκτός λειτουργίας.

- ✚ Υπέρυθρους αισθητήρες για τη Γη και αισθητήρες του ορατού φωτός του Ηλίου. Οι αισθητήρες αυτοί κρατούν τον δορυφόρο στραμμένο προς τη Γη. Οι υπέρυθροι αισθητήρες ανιχνεύουν την αντίθεση ανάμεσα στο κρύο του Διαστήματος και στη θερμότητα της γήινης ατμόσφαιρας. Οι Ηλιακοί αισθητήρες είναι ανιχνευτές ορατού φωτός που μετρούν τη γωνία του δορυφόρου ως προς τον ήλιο.
- ✚ Ένας λέιζερ οπισθοανακλαστήρας που επιτρέπει τη μέτρηση του υψομέτρου του δορυφόρου με ακρίβεια λίγων εκατοστών μέσω της αντανάκλασης μιας ακτίνας λέιζερ που εκπέμπεται από έναν επίγειο σταθμό. Ο ανακλαστήρας χρησιμοποιείται μόνο μια φορά το χρόνο καθώς οι μετρήσεις υψομέτρου που κάνει η κεραία S-Band είναι έτσι κι αλλιώς αρκετά ακριβείς.
- ✚ Διαστημικοί θερμοπομποί, που αποβάλλουν τη θερμότητα των αποβλήτων στο βαθύ διάστημα προκειμένου να διατηρηθούν τα ηλεκτρονικά όργανα του δορυφόρου μέσα στο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας τους.
- ✚ Ένα παθητικό ρολόι μείζερ υδρογόνου, που αποτελεί το κύριο ρολόι του δορυφόρου. Πρόκειται για ατομικό ρολόι που χρησιμοποιεί τις υπερ-σταθερές ταλαντώσεις ενός ατόμου υδρογόνου για τη μέτρηση του χρόνου με ακρίβεια 0,45 νανοδευτερολέπτων.
- ✚ Ρολόι ρουβιδίου. Πρόκειται για ένα μικρότερο ατομικό ρολόι που βασίζεται σε διαφορετική τεχνολογία και μετρά το χρόνο με ακρίβεια 1,8 νανοδευτερολέπτων.
- ✚ Μονάδα ελέγχου και παρακολούθησης ρολογιών. Πρόκειται για μονάδα που παρέχει τη διασύνδεση ανάμεσα στα προαναφερόμενα ρολόγια και στη μονάδα γεννήτριας του σήματος πλοήγησης. Εξασφαλίζει ακόμα ότι οι συχνότητες που παράγονται από το κυρίως ρολόι του δορυφόρου και από τα ρολόγια που την αντικαθιστούν είναι συγχρονισμένες, ώστε αν το κυρίως ρολόι αποτύχει να μπορεί να αναλάβει κάποιο από αυτά που το αντικαθιστούν.
- ✚ Μονάδα γεννήτρια του σήματος πλοήγησης. Η μονάδα αυτή παράγει τα σήματα πλοήγησης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τη μονάδα παρακολούθησης και ελέγχου του ρολογιού και τα δεδομένα της

ανερχόμενης ζεύξης σχετικά με την πλοήγηση και την ασφάλεια, που προέρχονται από την κεραία C-Band. Τα δεδομένα πλοήγησης μετατρέπονται σε δεδομένα L-Band για να μεταδοθούν στους χρήστες.

- ✚ Γυροσκόπια που μετρούν την περιστροφή του δορυφόρου.
- ✚ Τροχούς αντίδρασης που ελέγχουν την περιστροφή του δορυφόρου. Όταν οι τροχοί γυρίζουν, το ίδιο κάνει και ο δορυφόρος αλλά από την αντίθετη πλευρά. Ο δορυφόρος περιστρέφεται δύο φορές ανά τροχιά για να μπορέσουν οι ηλιακές πτέρυγες να αντικρύσουν τις ηλιακές ακτίνες.
- ✚ Μαγνητογεννήτριες που τροποποιούν την ταχύτητα περιστροφής του των τροχών αντίδρασης εισάγοντας μια βασισμένη στο μαγνητισμό ροπή στρέψης (δύναμη περιστροφής) στην αντίθετη κατεύθυνση.
- ✚ Μονάδα ρύθμισης της ισχύος και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μονάδα αυτή ρυθμίζει και ελέγχει την ενέργεια από την ηλιακή συστοιχία και από τις μπαταρίες για να τη διανείμει σε όλα τα υποσυστήματα του δορυφόρου και στο ωφέλιμο φορτίο.
- ✚ Υπολογιστής που ελέγχει την πλατφόρμα και το ωφέλιμο φορτίο (ESA, 2013).

1.3.2. Τροχιές γύρω από τη γη

Η τροχιά είναι ένα τακτικό, επαναλαμβανόμενο μονοπάτι που διανύει στο διάστημα ένα αντικείμενο γύρω από κάποιο άλλο. Ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε τροχιά ονομάζεται δορυφόρος και μπορεί να είναι είτε φυσικός είτε τεχνητός. Οι πλανήτες, οι κομήτες, οι αστεροειδείς και άλλα αντικείμενα που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τον ήλιο κινούνται, τα περισσότερα από αυτά τουλάχιστον, κατά μήκος ή κοντά σε μία φανταστική επίπεδη επιφάνεια που ονομάζεται «επίπεδο της εκλειπτικής» (NASA, 2010).

Οι τροχιές έχουν διαφορετικά σχήματα αλλά όλες είναι ελλειπτικές. Οι πλανήτες έχουν σχεδόν κυκλικές τροχιές ενώ οι κομήτες πολύ εκκεντρικές. Οι δορυφόροι ου βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη δεν διατηρούν πάντα την ίδια απόσταση από αυτήν. Κάποιες φορές είναι πιο κοντά σε αυτήν και άλλες πιο μακριά. Το κοντινότερο σημείο ονομάζεται «περίγειο» ενώ τα μακρινότερο «απόγειο». Αντίθετα, για τους πλανήτες το κοντινότερο σημείο τους στον ήλιο ονομάζεται «περιήλιο» και το μακρινότερο «αφήλιο». Ο χρόνος που χρειάζεται ένας δορυφόρος για να

ολοκληρώσει μία πλήρη τροχιά ονομάζεται «περίοδος περιστροφής». Σε απόσταση 36.000Km η περίοδος περιστροφής ενός δορυφόρου είναι 24 ώρες, όσος δηλαδή είναι και ο χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη περιστροφή της γης. Ένας δορυφόρος πάνω από τον ισημερινό σε αυτήν την απόσταση θα είναι στάσιμος (στατικός) σε σχέση με τη γη. Η γωνία που κάνει το τροχιακό του επίπεδο με τον ισημερινό της γης ονομάζεται «κλίση» (ESA-eduspace, 2000 ; NASA, 2010).

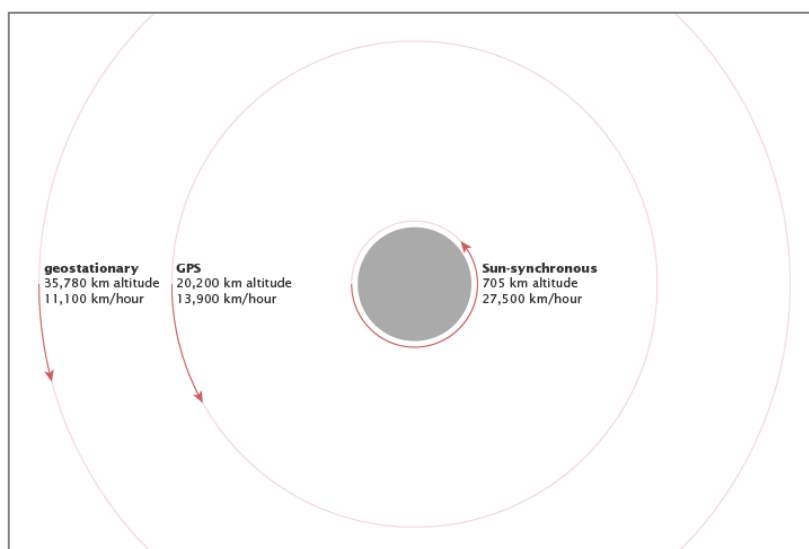
Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Newton, ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε κίνηση θα παραμείνει σε κίνηση εκτός κι αν κάτι το σπρώξει ή το τραβήξει προς το μέρος του. Οι δορυφόροι παραμένουν στην ίδια τροχιά για πολύ καιρό καθώς η φυγόκεντρος δύναμη που αναπτύσσουν εξισορροπείται από την έλξη της βαρύτητας της γης. Η ορμή της κίνησης του δορυφόρου τον σπρώχνει να κινηθεί προς μία ευθεία ενώ η βαρύτητα της γης τον τραβά πίσω. Μία συνεχής διελευστίδα που διεξάγεται ανάμεσα στην ορμή του δορυφόρου και στην έλξη της βαρύτητας της γης είναι αυτή που κρατά το δορυφόρο στη θέση του (NASA, 2010).

Η ορμή του δορυφόρου λοιπόν πρέπει να εξισορροπηθεί με την έλξη της βαρύτητας προκειμένου ο δορυφόρος να μπορέσει να τεθεί σε τροχιά. Αν η ορμή του είναι μεγαλύτερη θα διαφύγει στο διάστημα, ενώ αν είναι μικρότερη θα πέσει ξανά στη γη. Όταν οι δυνάμεις αυτές εξισορροπούνται ο δορυφόρος πέφτει πάντα προς τη γη αλλά επειδή κινείται πλαγίως με αρκετή ταχύτητα δεν χτυπάει ποτέ στον πλανήτη. Η ταχύτητα που απαιτείται για να παραμείνει ο δορυφόρος σε τροχιά ονομάζεται «τροχιακή ταχύτητα». Για να παραμείνει ένας δορυφόρος σε ύψος 242Km πάνω από τη γη απαιτείται τροχιακή ταχύτητα 17.000 μιλίων την ώρα περίπου. Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε πιο υψηλές τροχιές έχουν χαμηλότερη τροχιακή ταχύτητα (NASA, 2010).

Το ύψος της τροχιάς ή με άλλα λόγια η απόσταση ανάμεσα στο δορυφόρο και την επιφάνεια της γης καθορίζει το πόσο γρήγορα θα κινηθεί ο δορυφόρος. Η κίνηση των δορυφόρων ρυθμίζεται κυρίως από τη βαρύτητα της γης. Όσο πιο κοντά βρίσκονται στη γη τόσο πιο έντονη είναι η έλξη και τόσο πιο γρήγορα κινείται ο δορυφόρος (Riebeek, 2009).

Η τροχιακή ταχύτητα του δορυφόρου αλλάζει όταν αλλάζει το ύψος του. Αυτό συνθέτει ένα παράδοξο που συνίσταται στο ότι όταν ένας δορυφόρος πρέπει να αυξήσει την ταχύτητά του δεν μπορεί απλά να πυροδοτήσει τους κινητήρες του και

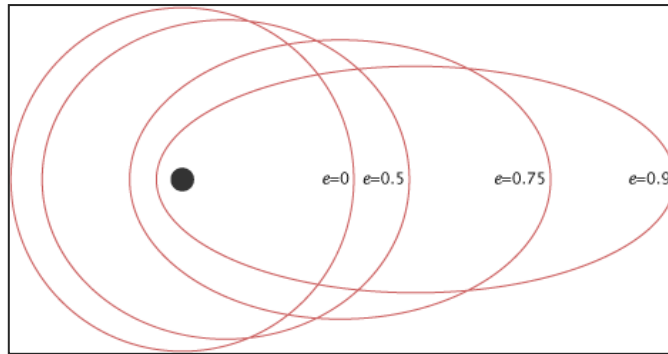
να επιταχύνει γιατί τότε θα αυξήσει το ύψος του και η ταχύτητά του θα μειωθεί λόγω της μείωσης της βαρύτητας. Αντίθετα, πρέπει να μειώσει ταχύτητα ώστε να βρεθεί σε χαμηλότερο ύψος οπότε η βαρύτητα μεγαλώνει και η κίνηση του δορυφόρου επιταχύνεται. Η ταχύτητα των δορυφόρων ανάλογα με το σε ποια τροχιά βρίσκονται φαίνεται στην επόμενη εικόνα (εικόνα 1.3) (Riebeek, 2009) .



Εικόνα 1.3.: Η ταχύτητα των δορυφόρων ανάλογα με την τροχιά τους. Το μήκος κάθε κόκκινου βέλους αντιπροσωπεύει την απόσταση που διανύει ένας δορυφόρος μέσα σε μια ώρα³

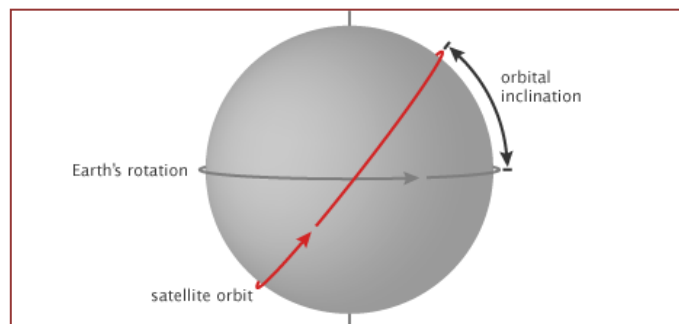
Εκτός από το ύψος η τροχιά του δορυφόρου καθορίζεται και από την εκκεντρικότητα και την κλίση του. Ο όρος «εκκεντρικότητα» αναφέρεται στο σχήμα της τροχιάς. Ένας δορυφόρος που έχει χαμηλή εκκεντρικότητα κινείται σε έναν κοντινό κύκλο γύρω από τη γη. Η εκκεντρική τροχιά είναι ελλειπτική και η απόσταση του δορυφόρου από τη γη αλλάζει ανάλογα με το σημείο της τροχιάς του στο οποίο βρίσκεται. Η εκκεντρικότητα της τροχιάς δηλώνει την παρέκκλιση της τροχιάς από έναν τέλειο κύκλο. Μια τροχιά που είναι κυκλική έχει εκκεντρικότητα ίση με το 0 ενώ μια υψηλά εκκεντρική τροχιά είναι πάντα πιο κοντά (αλλά πάντα λιγότερη από) στο 1 (εικόνα 1.4). Ένας δορυφόρος ο οποίος κινείται σε εκκεντρική τροχιά δεν κινείται στο κέντρο της έλλειψης αλλά γύρω από ένα από τα εστιακά της σημεία (Riebeek, 2009) .

³ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο της NASA:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14)



Εικόνα 1.4.: Οι τιμές της τροχιάς ανάλογα με την εκκεντρικότητά της⁴

Ο όρος «κλίση», όπως προαναφέρθηκε, αναφέρεται στη γωνία της τροχιάς σε σχέση με τον ισημερινό της γης (εικόνα 1.5). Ένας δορυφόρος που βρίσκεται σε τροχιά ακριβώς πάνω από τον ισημερινό έχει μηδενική κλίση ενώ αν βρίσκεται σε τροχιά από το (γεωγραφικό και όχι μαγνητικό) βόρειο πόλο στο νότιο πόλο έχει κλίση 90 μοιρών. Τέλος, ένας δορυφόρος που βρίσκεται σε τροχιά πάνω από τον ισημερινό αλλά κινείται σε κατεύθυνση αντίθετη από αυτήν της γης η τροχιά του έχει κλίση 180 μοιρών (Riebeek, 2009) .



Εικόνα 1.5.: Η τροχιακή κλίση⁵

Ο ύψος, η εκκεντρικότητα και η κλίση του δορυφόρου είναι αυτά που καθορίζουν το μονοπάτι του (δηλαδή την τροχιά του) και τη θέα της γης που θα έχει (Riebeek, 2009) .

Οι τροχιές στις οποίες κινούνται οι δορυφόροι είναι τριών ειδών: η HEO (High Earth Orbit) ή γεωσύγχρονη, η MEO (Medium Earth Orbit) εκ της οποίας είναι

⁴ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο της NASA:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14)

⁵ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο της NASA:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14)

σημαντικές η ημι-σύγχρονη τροχιά και η τροχιά Molniya και η LEO (Low Earth Orbit) ή ηλιοσύγχρονη ή πολική (NASA – Earth Observatory).

HEO ή γεωσύγχρονη τροχιά

Όταν ένας δορυφόρος φτάσει σε απόσταση ακριβώς 42.164km πάνω από το κέντρο της γης ή περίπου 36.000km από την επιφάνειά της εισέρχεται σε μια ιδανική θέση (ένα «γλυκό σημείο») στο οποίο η τροχιά του ταιριάζει με την περιστροφή της γης. Τότε, λόγω του ότι η τροχιακή ταχύτητά του είναι ίδια με την ταχύτητα περιστροφής της γης, ο δορυφόρος μοιάζει να στέκεται στο ίδιο σημείο σε ένα συγκριμένο γεωγραφικό μήκος, αν και μπορεί να παρασύρεται από βορρά προς νότο. Αυτή η ειδική HEO ονομάζεται γεωσύγχρονη τροχιά (NASA – Earth Observatory).

Ένας δορυφόρος που βρίσκεται σε κυκλική γεωσύγχρονη τροχιά κατευθείαν πάνω από τον ισημερινό (οπότε η εκκεντρικότητα και η κλίση είναι ίσες με το 0) θα έχει μια γεωστατική τροχιά η οποία δεν κινείται καθόλου σε σχέση με το έδαφος και μένει πάντα κατευθείαν πάνω από το ίδιο σημείο της γήινης επιφάνειας (NASA – Earth Observatory). Πρόκειται για μια τροχιά που είναι εξαιρετικά πολύτιμη για την παρατήρηση του καιρού καθώς οι δορυφόροι που βρίσκονται σε αυτήν παρέχουν μια συνεχή θέα της ίδιας τοποθεσίας της γήινης επιφάνειας (εικόνα 1.6). Κάθε λίγα λεπτά οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι όπως ο GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) στέλνουν πληροφορίες για τα σύννεφα, τους υδρατμούς και τον άνεμο και αυτή η, σχεδόν σταθερή ροή πληροφοριών χρησιμεύει σαν βάση για τις περισσότερες παρατηρήσεις και προγνώσεις του καιρού (NASA – Earth Observatory).

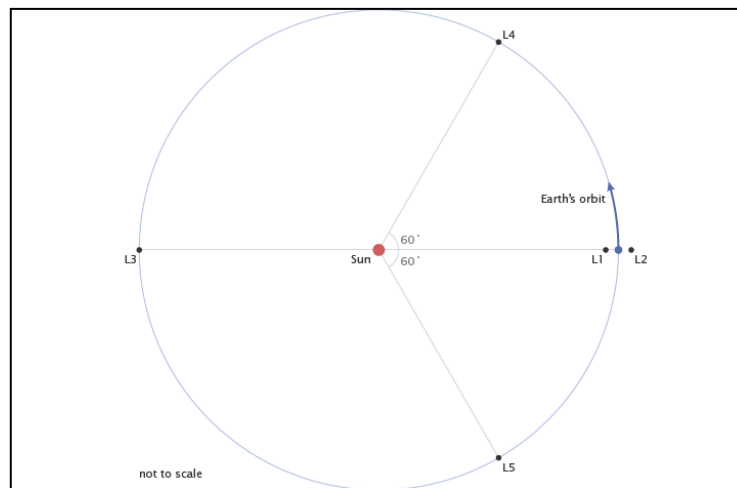


Εικόνα 1.6.: Ένας γεωσύγχρονος δορυφόρος παρέχει μια συνεχή θέα της ίδια περιοχής της γήινης επιφάνειας⁶

⁶ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο της NASA:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14)

Επειδή οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι βρίσκονται πάντα πάνω από το ίδιο σημείο είναι χρήσιμοι και για τις τηλεπικοινωνίες (τηλέφωνα, τηλεόραση, ραδιόφωνο). Στην ίδια τροχιά βρίσκονται και οι δορυφόροι GOES που κατασκευάστηκαν και εκτοξεύτηκαν από τη NASA και τους λειτουργεί η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA). Οι δορυφόροι αυτοί παρέχουν ορόσημα χρήσιμα για τον εντοπισμό πλοίων και αεροπλάνων που βρίσκονται σε κίνδυνο (NASA – Earth Observatory).

Κάποια άλλα ιδανικά («γλυκά») σημεία υπεράνω της ΗΕΟ είναι τα σημεία Lagrange. Στα σημεία αυτά εξισώνεται η έλξη της βαρύτητας που ασκεί η γη με την αντίστοιχη που ασκεί ο ήλιος. Έτσι, οτιδήποτε τοποθετηθεί στο σημείο αυτό θα πιέζεται εξίσου προς τη γη και προς τον ήλιο και θα γυρίζει γύρω από τον ήλιο μαζί με τη γη. Το σύστημα ήλιου – γης έχει πέντε σημεία Lagrange (εικόνα 1.7) , εκ των οποίων μόνο δύο (που αποκαλούνται L4 και L5) είναι σταθερά. Οι δορυφόροι που βρίσκονται στα άλλα τρία σημεία χρειάζονται συνεχείς ρυθμίσεις προκειμένου να μείνουν σταθεροί και σε ισορροπία καθώς η παραμικρή διατάραξη μπορεί να τους βγάλει εκτός τροχιάς.



Εικόνα 1.7.: Τα σημεία Lagrange⁷

Το πρώτο σημείο Lagrange βρίσκεται ανάμεσα στη γη και τον ήλιο προσφέροντας έτσι στους δορυφόρους μια συνεχή θέαση του ηλίου. Το δεύτερο σημείο βρίσκεται

⁷ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο της NASA:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14)

στην ίδια περίπου απόσταση αλλά τοποθετείται πίσω από τη γη, έτσι η γη βρίσκεται πάντα ανάμεσα σε αυτό και τον ήλιο οπότε ένας δορυφόρος στο σημείο αυτό θα χρειαζόταν μόνο μία θερμική ασπίδα για να αποφύγει τη θερμότητα τόσο της γης όσο και του ηλίου. Εδώ τοποθετούνται τα διαστημικά τηλεσκόπια, όπως το WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) που μελέτησε τη φύση του σύμπαντος χαρτογραφώντας την μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου (NASA – Earth Observatory).

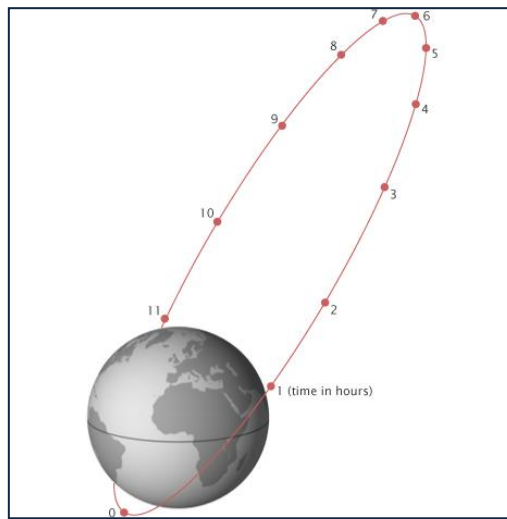
Το τρίτο σημείο είναι ένα σημείο στο οποίο αν τοποθετούνταν δορυφόρος δεν θα μπορούσε να επικοινωνήσει με τη γη καθώς βρίσκεται απέναντι από τη γη στην άλλη πλευρά του ηλίου. Τέλος, τα εξαιρετικά σταθερό τρίτο και τέταρτο σημείο βρίσκονται στο τροχιακό μονοπάτι της γης γύρω από τον ήλιο, 60 μοίρες μπροστά και πίσω από τη γη αντίστοιχα (NASA – Earth Observatory).

Τροχιά MEO (Medium Earth Orbit)

Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε αυτήν την τροχιά κινούνται πιο γρήγορα καθώς βρίσκονται πιο κοντά στη γη. Δύο MEO είναι σημαντικές: η ημι-σύγχρονη τροχιά και η τροχιά Molniya. Η πρώτη είναι μια σχεδόν κυκλική τροχιά με χαμηλή εκκεντρικότητα και βρίσκεται σε απόσταση 26.560km από το κέντρο της γης ή περίπου 20.200km πάνω από την επιφάνειά της. Οι δορυφόροι που βρίσκονται στην τροχιά αυτή ολοκληρώνουν μια τροχιά περιφοράς σε 12 ώρες και καθώς κινούνται η γη περιστρέφεται από κάτω τους. Με τον τρόπο αυτό ο δορυφόρος διασχίζει μέσα σε 24 ώρες τα δύο ίδια σημεία στον ισημερινό. Πρόκειται για μία τροχιά που είναι σταθερή και έχει υψηλή προβλεψιμότητα (NASA – Earth Observatory).

Η δεύτερη, δηλαδή η τροχιά Molniya, εφευρέθηκε από τους Ρώσους και πρόκειται για τροχιά που λειτουργεί καλά για την παρατήρηση σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Αποτελεί μια καλή και χρήσιμη, εναλλακτική επιλογή καθώς οι δορυφόροι που βρίσκονται σε γεωσύγχρονη τροχιά είναι μόνιμα στον ισημερινό οπότε δεν δουλεύουν καλά στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη αφού αυτά βρίσκονται πάντα στην άκρη της εμβέλειάς τους. Η τροχιά αυτή έχει πολύ υψηλή εκκεντρικότητα (εικόνα 1.8) και ο δορυφόρος κινείται σε μία μεγάλη έλλειψη, με τη γη να βρίσκεται στη μια άκρη της. Η κίνηση του δορυφόρου επιταχύνεται από τη βαρύτητα της γης γι' αυτό και όταν βρίσκεται κοντά στη γη κινείται εξαιρετικά γρήγορα. Όσο απομακρύνεται επιβραδύνει και έτσι ξοδεύει πολύ χρόνο στην άκρη της τροχιάς του, πολύ μακριά

από τη γη. Από τις 12 ώρες που χρειάζεται για να κάνει το γύρο της γης τα 2/3 τα περνά πάνω από ένα ημισφαίριο.



Εικόνα 1.8.: Η τροχιά Molniya⁸

Συνδυάζει υψηλή κλίση (63,4 μοίρες) με υψηλή εκκεντρικότητα (0,722 μοίρες) και περνά πάνω από το ίδιο μονοπάτι κάθε 24 ώρες (NASA – Earth Observatory).

LEO (Low Earth Orbit) ή ηλιοσύγχρονη ή πολική τροχιά

Πρόκειται για μια εξαιρετικά κεκλιμένη τροχιά στην οποία οι δορυφόροι κινούνται γύρω από τη γη από πόλο σε πόλο. Ο χρόνος που χρειάζονται για να ολοκληρώσουν μια τροχιακή περιστροφή είναι περίπου 99min. στη διάρκεια του πρώτου μισού της τροχιάς του ο δορυφόρος βλέπει το τμήμα της γης που έχει μέρα ενώ περνώντας πάνω από τον πόλο περνά στο τμήμα που έχει νύχτα. Η γη γυρίζει κάτω από το δορυφόρο όσο αυτός κινείται στην τροχιά του και ώσπου να επιστρέψει πίσω στο φωτισμένο τμήμα της βρίσκεται πάνω από την περιοχή δίπλα από την αυτήν που είχε παρατηρήσει στην προηγούμενη τροχιακή του περιφορά. Έτσι οι δορυφόροι που έχουν πολική τροχιά θα παρατηρήσουν μέσα σε ένα 24ωρο το μεγαλύτερο μέρος της γης δύο φορές: τη μια φορά μέρα και την άλλη νύχτα (NASA – Earth Observatory).

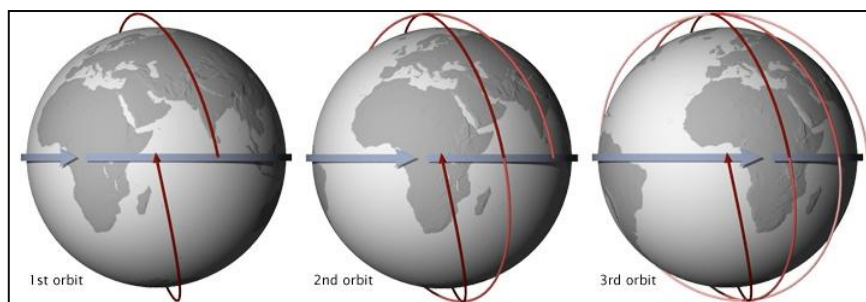
Η κλίση των δορυφόρων που κινούνται σε αυτήν την τροχιά εξαρτάται από τι πρέπει να παρατηρήσουν. Για παράδειγμα, ο δορυφόρος TRMM (Tropical Rainfall

⁸ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο της NASA:

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14)

Measuring Mission) εκτοξεύτηκε για να παρατηρήσει τις βροχοπτώσεις στους τροπικούς, οπότε έχει σχετικά χαμηλή κλίση (35 μοιρών) μένοντας κοντά στον ισημερινό.

Οι δορυφόροι πολικής τροχιάς έχουν ένα «γλυκό» σημείο που τους επιτρέπει να μένουν στην ίδια ώρα, όπως οι γεωσύγχρονοι μένουν στο ίδιο σημείο. Η πολική τροχιά, όμως, είναι ήλιο-σύγχρονη, δηλαδή οποτεδήποτε και οπουδήποτε ο δορυφόρος περάσει πάνω από τον ισημερινό, η τοπική ηλιακή ώρα στο έδαφος θα είναι πάντα η ίδια (εικόνα 1.9). Για παράδειγμα, ο δορυφόρος Terra περνά τον ισημερινό πάνω από τη Βραζιλία στις 10:30 το πρωί. Όταν μετά από 99 λεπτά ολοκληρώσει την τροχιακή του περιστροφή και περάσει ξανά πάνω από τον ισημερινό, από το Εκουαδόρ ή την Κολομβία ατή τη φορά, η ώρα εκεί είναι 10:30 επίσης (NASA – Earth Observatory).



Εικόνα 1.9.: Τρεις συνεχόμενες τροχιακές διελεύσεις ενός ήλιο-σύγχρονου δορυφόρου με ισημερινό χρόνο διέλευσης 1:30pm. Η πιο πρόσφατη διέλευση δηλώνεται με τη σκούρα κόκκινη γραμμή ενώ οι προηγούμενες με πιο ανοιχτό κόκκινο⁹

Η ήλιο-σύγχρονη τροχιά είναι πολύ χρήσιμη για τις επιστημονικές παρατηρήσεις καθώς κρατά όσο πιο σταθερή γίνεται τη γωνία του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της γης αν και η γωνία αυτή αλλάζει από εποχή σε εποχή. Αυτό σημαίνει ότι οι επιστήμονες μπορούν να συγκρίνουν φωτογραφίες από την ίδια εποχή αλλά από διαφορετικές χρονιές χωρίς να τους ανησυχούν για την ύπαρξη σημαντικών διαφορών στις σκιές και ο φως, οι οποίες θα μπορούσαν να δημιουργήσουν τη λανθασμένη εντύπωση αλλαγών. Χωρίς την τροχιά αυτή θα ήταν πολύ δύσκολο να παρατηρηθούν οι αλλαγές μέσα στο χρόνο και δεν θα ήταν εφικτή η συλλογή των σταθερών στοιχείων που απαιτούνται για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής (NASA – Earth Observatory).

⁹ Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο της NASA:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14)

Ένας δορυφόρος που κινείται σε ήλιο-σύγχρονη τροχιά χρειάζεται τακτικές ρυθμίσεις για να τη διατηρήσει γιατί υπόκειται στην τριβή της ατμόσφαιρας και στην ισχυρή έλξη του ηλίου και της σελήνης και η τροχιά του τροποποιείται. Κάθε παρέκκλιση, όμως, στο ύψος ή στην κλίση θα τον βγάλει από την ήλιο-σύγχρονη τροχιά καθώς το μονοπάτι στο οποίο πρέπει να ταξιδεύει για να τη διατηρήσει είναι πολύ στενό. Για παράδειγμα αν βρίσκεται σε ύψος 100 χιλιομέτρων, η κλίση του πρέπει να είναι ακριβώς 96 μοίρες για να διατηρήσει την ήλιο-σύγχρονη τροχιά του (NASA – Earth Observatory).

1.3.3. Επιλογή τροχιάς

Διαφορετικές τροχιές δίνουν τη δυνατότητα στους δορυφόρους να παρατηρήσουν διαφορετικά πράγματα καθώς τους δίνουν άλλη προοπτική. Το ύψος της τροχιάς του δορυφόρου, λοιπόν, εξαρτάται από το είδος του, από τα δεδομένα δηλαδή τα οποία πρέπει να συλλέξει ή να παρατηρήσει. Έτσι, κάποιοι φαίνεται να αιωρούνται πάνω από ένα και μοναδικό σημείο παρέχοντας συνεχόμενη θέαση ενός συγκεκριμένου σημείου τα γης ενώ άλλοι κάνουν κύκλο γύρω από τον πλανήτη εστιάζοντας σε πολλά διαφορετικά μέρη κάθε μέρα. Πολλοί μετεωρολογικοί δορυφόροι και κάποιοι τηλεπικοινωνιακοί τείνουν να έχουν υψηλή τροχιά μακρύτερα από την επιφάνεια της γης. Στη μέση τροχιά κινούνται συνήθως οι δορυφόροι πλοήγησης και οι εξειδικευμένοι δορυφόροι που είναι σχεδιασμένοι να καταγράφουν μία συγκεκριμένη περιοχή. Οι περισσότεροι επιστημονικοί δορυφόροι καθώς και ο στόλος της NASA του Συστήματος Παρακολούθησης της Γης (NASA's Earth Observing System) βρίσκονται σε χαμηλή τροχιά (Riebeek, 2009).

Η γεωστατική τροχιά επιλέγεται και για τους δορυφόρους που μετρούν την ηλιακή δραστηριότητα. Οι δορυφόροι τύπου GOES μεταφέρουν ένα μεγάλο όγκο οργάνων «διαστημικού καιρού» με τα οποία φωτογραφίζουν τον ήλιο και ανιχνεύουν τα μαγνητικά και ραδιενεργά επίπεδα γύρω τους (NASA – Earth Observatory).

Οι γεωστατικές τροχιές έχουν πολλούς τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους αλλά και αυτούς που στέλνουν τα τηλεοπτικά σήματα. Οι δορυφόροι αυτοί πρέπει να στέλνουν το σήμα τους σε κάθε άκρη της γης οπότε πρέπει να «φαίνονται» κάθε στιγμή. Επομένως πρέπει να είναι στατικοί, στην ίδια θέση σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Στην ίδια τροχιά βρίσκονται και αρκετοί μετεωρολογικοί δορυφόροι καθώς προσφέρει το πλεονέκτημα της καταγραφής της ίδιας εικόνας ανά τακτά χρονικά

διαστήματα. Το πλεονέκτημα αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό για την παρατήρηση των καιρικών φαινομένων. Ο μεγάλος αριθμός των μετεωρολογικών δορυφόρων που βρίσκεται στην τροχιά αυτή προσφέρει σφαιρική εικόνα των καιρικών φαινομένων σε ολόκληρο τον πλανήτη. Η τροχιά αυτή δεν είναι κατάλληλη για δορυφόρους υψηλής ανάλυσης καθώς η μεγάλη απόσταση από τη γη μειώνει τη μέγιστη δυνατή χωρική ανάλυση (ESA-eduspace, 2000).

Οι δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με συστήματα παθητικών αισθητηρίων κινούνται σε πολική τροχιά. Αυτό συμβαίνει γιατί οι αισθητήρες τους μετρούν την αντανάκλαση του φωτός του ηλίου από τη γη οπότε οι τροχιές τους πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στην εναλλαγή ημέρας – νύχτας. Οι εικόνες που καταγράφουν οι δορυφόροι αυτοί σε μια συγκεκριμένη περίοδο πρέπει να μπορούν να συγκριθούν αλλά για να είναι συγκρίσιμες πρέπει να έχουν ληφθεί υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού. Αυτό με τη σειρά του επιτυγχάνεται όταν οι καταγραφές πραγματοποιούνται την ίδια τοπική ώρα της ημέρας, έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται στο ίδιο σημείο πάνω από τον ορίζοντα και το επίπεδο της δορυφορικής τροχιάς να διατηρεί σταθερή γωνία ως προς το φως του (ESA-eduspace, 2000).

Τα σημεία Lagrange επιλέγονται από διαφορετικού είδους δορυφόρους. Το πρώτο σημείο επιλέγεται για δορυφόρους που μελετούν τον ήλιο, όπως ο SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), που είναι ένας δορυφόρος ο οποίος βρίσκεται σε τροχιά σε αυτό το σημείο, 1.5 εκατομμύριο χιλιόμετρα περίπου από τη γη. Στο δεύτερο σημείο τοποθετούνται τα διαστημικά τηλεσκόπια ενώ στο τρίτο δεν τοποθετείται κανένας δορυφόρος καθώς δεν θα μπορούσε, όπως προαναφέρθηκε, να επικοινωνήσει με τη γη. Στο τέταρτο και πέμπτο σημείο θα τοποθετηθούν οι δίδυμοι STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory) προκειμένου να δώσουν μια τρισδιάστατη θέα του ήλιου (NASA – Earth Observatory).

Οι MEO τροχιές και συγκεκριμένα η ημι-σύγχρονη επιλέγεται από τους δορυφόρους προσδιορισμού θέσης (GPS) ενώ η τροχιά Molniya επιλέγεται από τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους για τις επικοινωνίες στο μακρινό βορά ή νότο. Σε αυτήν την τροχιά βρίσκονται οι ρώσικοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι και οι Συριακοί ραδιοφωνικοί δορυφόροι (NASA – Earth Observatory).

1.4. Δορυφορικά πρότυπα και οργανισμοί

1.4.1. Κατηγορίες δορυφορικών ραδιοεπικοινωνιών

Fixed satellite service (FSS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνιών, που συντελούνται ανάμεσα σε επίγειους σταθμούς, που βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις και για την οποία χρησιμοποιείται ένας ή περισσότεροι δορυφόροι. Οι θέσεις των σταθμών μπορεί να είναι είτε καθορισμένα σταθερά σημεία είτε οποιαδήποτε σταθερά σημεία σε καθορισμένη περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι περιλαμβάνονται και μεταφερόμενοι σταθμοί που λειτουργούν σε σταθερά σημεία.

Broadcasting satellite service (BSS): στη συγκεκριμένη υπηρεσία ραδιοεπικοινωνιών τα σήματα εκπέμπονται από ένα δορυφορικό σταθμό και προορίζονται για απευθείας λήψη από το κοινό. Πρόκειται για σήματα που είναι είτε ανεξάρτητης ή ομαδικής (και πολλές φορές συνδρομητικής) λήψης είτε κοινής ή ομαδικής λήψης.

Mobile satellite service (MBS): πρόκειται για υπηρεσία που υποστηρίζει την κινητικότητα των χρηστών και αφορά την επικοινωνία σταθερών σταθμών με επίγειες σταθμούς ή με άλλες κινητούς σταθμούς. Χωρίζεται σε κατηγορίες ανάλογα με την τοποθεσία (ξηρά, θάλασσα, αέρα) των κινητών σταθμών.

Amateur satellite service (AmSS): πρόκειται για υπηρεσία που χρησιμοποιεί δορυφορικούς σταθμούς σε δορυφόρους και έχει σκοπό την αυτό-εκπαίδευση, την ενδοεπικοινωνία και τις τεχνικές έρευνες ραδιοερασιτεχνών. Οι ραδιοερασιτέχνες είναι άτομα που είναι εξουσιοδοτημένα και ενδιαφέρονται για ραδιοτεχνικές για καθαρά προσωπικούς και όχι οικονομικούς λόγους.

Radio determination service (SDSS): πρόκειται για τον καθορισμό θέσης, ταχύτητας και άλλων χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου ή για τον τρόπο απόκτησης των πληροφοριών για αυτές τις παραμέτρους, με τη βοήθεια των ιδιοτήτων διάδοσης των κυμάτων. Περιέχει τις Radio Navigation Satellite Services (RNSS) σε θάλασσα (MRNSS) ή σε αέρα (AeRNSS).

Standard frequency & time signal satellite service (SFSS): πρόκειται για υπηρεσία που παρέχει τους τρόπους για την παραγωγή και μετάδοση ακριβούς συγχρονισμού και συχνοτήτων. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η ακριβής σύγκριση εθνικών

προτύπων για τις πηγές χρόνου και συχνοτήτων καθώς και η αναμετάδοση ακριβέστατων υπολογισμών του χρόνου.

Earth exploration satellite service (EESS): πρόκειται για υπηρεσία ραδιοεπικοινωνιών που συντελείται ανάμεσα σε επίγειους σταθμούς και σε έναν ή περισσότερους δορυφορικούς σταθμούς (στους οποίους περιλαμβάνονται και οι δορυφορικές ζεύξεις). Με την υπηρεσία αυτή συλλέγονται από ενεργούς ή παθητικούς αισθητήρες που βρίσκονται σε δορυφόρους πληροφορίες που αφορούν τα χαρακτηριστικά και τα φυσικά φαινόμενα της γης και στη συνέχεια διανέμονται σε επίγειους σταθμούς. Περιλαμβάνει επίσης τις ερωτήσεις σε διάφορες πλατφόρμες.

Space research service (SRS): πρόκειται για υπηρεσία που αφορά την επικοινωνία και τον έλεγχο επανδρωμένων διαστημοπλοίων και διαπλανητικών οχημάτων.

Inter satellite service (ISS): είναι υπηρεσία που καλύπτει την απευθείας επικοινωνία ανάμεσα σε δορυφορικούς σταθμούς, καλύπτει δηλαδή τις δορυφορικές ζεύξεις.

Space operation service (SpO): αφορά τις υπηρεσίες οι οποίες παρέχονται κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης του δορυφόρου στη σωστή του θέση αλλά και στις περιπτώσεις επαναφοράς του δορυφόρου στη σωστή του θέση όταν αυτή για κάποιο λόγο διαταραχτεί. Κατά τη φάση της εκτόξευσης συνήθως αποδίδονται άλλες συχνότητες οι οποίες αφορούν στο σταθμό ελέγχου (Πανταζάτου, 2009).

1.4.2. Διεθνείς δορυφορικοί οργανισμοί

Οι διεθνείς δορυφορικοί οργανισμοί είναι οι εξής:

Intelsat: Πρόκειται για τη μεγαλύτερη εμπορική εταιρεία παροχής τηλεπικοινωνιών μέσω δορυφόρων που ιδρύθηκε το 1964 και δραστηριοποιείται σε διεθνές επίπεδο. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000 μετατράπηκε σε ιδιωτική εταιρεία κάτι που αποτέλεσε σημαντική καμπή στην ιστορία της. Αποτελεί τον κορυφαίο πάροχο δορυφορικών επικοινωνιών που παρέχει υπηρεσίες επικοινωνίας σε κορυφαίες παγκοσμίως εταιρίες μέσω μαζικής ενημέρωσης, σε φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών, σε κυβερνητικούς και στρατιωτικούς οργανισμούς,

σε παρόχους υπηρεσιών δικτύωσης δεδομένων, σε πολυεθνικές εταιρείες και σε παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου (INTELSAT).

Ο στόλος της αριθμεί 50 δορυφόρους οι οποίοι καλύπτουν το 99% των κατοικημένων περιοχών της γης. Επιπλέον διαθέτει επίγειο δίκτυο ιών και μια συλλογή τηλεμεταφορών που σχηματίζουν μία απaráμιλλη παγκόσμια υποδομή. Κορυφαίες στιγμές στην ιστορία της εταιρείας υπήρξαν η κάλυψη της προσσελήνωσης το 1969 (αποτέλεσε την πρώτη ζωντανή παγκόσμια τηλεοπτική μετάδοση), η πρώτη διεθνής ψηφιακή HD τηλεοπτική μετάδοση ανάμεσα στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία και η παροχή υπηρεσιών διαδικτύου το 1978 (INTELSAT, 2015).

Inmarsat: Πρόκειται για διεθνή οργανισμό που ιδρύθηκε το 1979 από τον IMO (International Maritime Organization) με σκοπό το να μπορούν τα πλοία να μένουν σε επαφή με την ξηρά αλλά και να καλούν σε βοήθεια όταν απαιτείται αλλά σήμερα έχει πελάτες σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται κυβερνήσεις, αεροπορικές εταιρίες, μέσα μαζικής ενημέρωσης, βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου, ορυχείων, κατασκευαστικές εταιρείες, οργανισμοί παροχής ανθρωπιστικών υπηρεσιών κ.α. (INMARSAT, 2015).

Ο στόλος της εταιρείας αποτελείται από 11 δορυφόρους και διαθέτει πέντε θυγατρικές εταιρείες: Inmarsat Maritime, Inmarsat U.S. Government, Inmarsat Global Government, Inmarsat Enterprise, Inmarsat Aviation. Τέλος, η εταιρεία διαθέτει εγκαταστάσεις σε περισσότερες από 60 τοποθεσίες σε όλες τις ηπείρους (INMARSAT, 2015).

Eutelsat: πρόκειται για μια εταιρεία που δημιουργήθηκε το 1977 ως διακυβερνητικός οργανισμός, αντανακλώντας την ευρωπαϊκή φιλοδοξία για ανάπτυξη μίας βιομηχανίας που θα μπορεί να κατασκευάζει, να εκτοξεύει και να λειτουργεί δορυφόρους. Το 2001 όμως ιδιωτικοποιήθηκε και έκτοτε αποτελεί ιδιωτική εταιρεία. Σήμερα διαθέτει ένα στόλο από 35 δορυφόρους σε γεωστατική τροχιά καλύπτοντας την Ευρώπη, μεγάλο μέρος της Ασίας και ένα τμήμα της Αμερικής. Παρέχει δορυφορική χωρητικότητα και υπηρεσίες για βίντεο, δεδομένα και ευρυζωνικές εφαρμογές (Eutelsat, 2014 ; Eutelsat Reference Document 2013-2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η επανάσταση της τεχνολογίας των δορυφόρων και οι εφαρμογές τους

2.1 Εισαγωγή

Οι επικοινωνιακοί δορυφόροι ανεξάρτητα από την τροχιά τους παρέχουν μια εξαιρετικά αποτελεσματική πλατφόρμα μετάδοσης ραδιοφωνικών σημάτων ανάμεσα σε διαφορετικά σημεία του εδάφους. Οι χρήστες που μισθώνουν αυτά τα σήματα έχουν το πλεονέκτημα να απολαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τηλεπικοινωνιών στην ξηρά, τη θάλασσα και τον αέρα. Τις τελευταίες δεκαετίες αυτά τα συστήματα έγιναν πλέον πολύ πρακτικά καθώς δίνουν τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε να έχει ένα δορυφορικό «πιάτο» στο σπίτι του, που του παρέχει ένα ευρύ φάσμα τηλεοπτικών προγραμμάτων αλλά και σύνδεση στο διαδίκτυο. Σε γενικές γραμμές η τεχνολογία των δορυφόρων μπορεί να εξυπηρετήσει μία ποικιλία ανθρώπινων αναγκών κάτι που αποτελεί και το μέτρο της αποτελεσματικότητάς της (Elbert, 2004).

2.2 Οι βασικές αρχές των δορυφορικών δικτύων

Οι δορυφορικές εφαρμογές αποκτούν την αποδοτικότητά τους «χτίζοντας» στη δύναμη της δορυφορικής σύνδεσης. Ένας δορυφόρος μπορεί να λειτουργήσει ως αναμεταδότης μικροκυμάτων για τους επίγειους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην ακτίνα κάλυψής του, η οποία με τη σειρά της καθορίζεται από το υψόμετρο του δορυφόρου και το σχεδιασμό της κεραίας του (Elbert, 2004).

Ένας GEOδορυφόρος μπορεί να καλύψει το 1/3 περίπου της γήινης επιφάνειας, δηλαδή περισσότερο από το 99% του παγκόσμιου πληθυσμού και της παγκόσμιας οικονομικής δραστηριότητας, ενώ για τις LEO και MEO τροχιές απαιτούνται περισσότεροι δορυφόροι για να καταστεί δυνατό αυτό το ποσοστό κάλυψης. Για τους μη-GEO δορυφόρους απαιτείται επίσης ένα πλήρες συμπλήρωμα δορυφόρων (που αποκαλείται *αστερισμός*) για να καταστεί δυνατή η παροχή συνεχούς και μη διακοπτόμενης υπηρεσίας καθώς κινούνται σε σχέση με την επιφάνεια της γης (Elbert, 2004).

Από την άλλη οι GEO δορυφόροι, επειδή είναι πιο απομακρυσμένοι επιβαρύνονται με μακρύτερο μονοπάτι προς τους επίγειους σταθμούς, ενώ τα συστήματα LEO

υπόσχονται συντομότερο μονοπάτι από τα επίγεια συστήματα. Το μήκος του μονοπατιού είναι σημαντικό γιατί προκαλεί επιβράδυνση της μετάδοσης του σήματος καθώς τα ραδιοφωνικά σήματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός. Αυτή η αυξημένη καθυστέρηση των GEO και MEO τροχιών, ανάλογα και με το είδος της υπηρεσίας που παρέχεται, μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της υπηρεσίας ή του όγκου των δεδομένων που μεταδίδονται. Το πόσο αυτό επηρεάζει την αποδοχή της υπηρεσίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, το βαθμό της διαδραστικότητας και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για να συντονιστούν οι πληροφορίες που μεταδίδονται αλλά και για να επιδιορθωθούν τα λάθη (Elbert, 2004).

Οι δορυφόροι λειτουργούν συνήθως στο φάσμα συχνοτήτων μεταξύ 1-80 GHz. Η κατανομή του φάσματος, όπως έχει χρησιμοποιηθεί από τη δορυφορική βιομηχανία είναι η εξής:

- L-Band: 1,6 – 1,65 GHz
- S-Band: 2.4 – 2.8 GHz
- C-Band: 3.4 – 7.0 GHz
- X-Band: 7.9 – 9.0 GHz
- Ku-Band: 10.7 – 15.0 GHz
- Ka-Band: 18.0 – 31.0 GHz
- Q-Band: 40 – 50 GHz
- V-Band: 60 – 80 GHz (Elbert, 2004).

Οι εφαρμογές που διατίθενται από ένα δίκτυο ανήκουν σε μία από τις εξής κατηγορίες: σημείο-προς-σημείο (point-to-point, mesh type), σημείο-προς-πολλά σημεία (point-to-multipoint, broadcast) και διαδραστικότητα πολλαπλών σημείων (multipoint interactive, VSAT). Τα δίκτυα τύπου πλέγματος επιτρέπουν στους επίγειους σταθμούς να επικοινωνούν άμεσα ο ένας με τον άλλον σε μια βάση ενός-προς-ένα (one-to-one), οπότε κάθε σταθμός πρέπει να έχει επαρκή απόδοση λήψης και εκπομπής για να ανταλλάσσει πληροφορίες με τον λιγότερο αποτελεσματικό συνεργάτη του. Βέβαια, σε γενικές γραμμές, όλοι οι τέτοιου είδους σταθμοί έχουν παρόμοιες κεραίες και αναμεταδότες, οπότε υπάρχει ισορροπία στο δίκτυό τους. Οι συνδέσεις ανάμεσα σε δύο σταθμούς μπορούν να λειτουργούν συνεχώς (όπως στην

περίπτωση της τηλεόρασης) ή να εγκαθίστανται μόνο όταν απαιτείται η μεταφορά δεδομένων (Elbert, 2004).

Η μετάδοση δεδομένων από δορυφόρους είναι πιο αποτελεσματική από το επίγειο δίκτυο που χρησιμοποιεί καλώδια χαλκού, οπτικών ινών ή πολλούς ασύρματους σταθμούς. Με το πλεονέκτημα της δυνατότητας εκπομπής που παρέχει ένας GEO δορυφόρος τα δίκτυα σημείου-προς-πολλά σημεία υποστηρίζουν τη διανομή της πληροφορίας από μία πηγή προς ένα πιθανά πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών αυτής της πληροφορίας. Ένας δορυφόρος GEO είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος διάδοσης τέτοιων πληροφοριών σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο (Elbert, 2004).

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές που χρησιμοποιούν τις αμφίδρομες συνδέσεις οι οποίες μπορεί και να μη χρησιμοποιούν το χαρακτηριστικό της εκπομπής. Η εφαρμογή που έχει αποδειχτεί αποτελεσματική στην εφαρμογή διαδραστικής επικοινωνίας δεδομένων στον επιχειρηματικό αλλά και στον ιδιωτικό τομέα είναι η εφαρμογή VSAT. Ένα δίκτυο πυρήνα – ακτινών (hub and spoke network) που χρησιμοποιεί VSAT μπορεί να συγκριθεί με οποιαδήποτε σχεδόν τοπολογία επίγειου δικτύου ευρείας ζώνης που έχει σχεδιαστεί για τον ίδιο σκοπό (Elbert, 2004).

Ο βαθμός στον οποίο οι δορυφορικές τηλεπικοινωνίες υπερέχουν από τις εναλλακτικές επίγειες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Τα χαρακτηριστικά που τείνουν να δίνουν το πλεονέκτημα στις δορυφορικές επικοινωνίες, στις κατάλληλες βέβαια εφαρμογές, είναι τα εξής:

- Ευρεία κάλυψη σε μια χώρα, περιοχή ή ήπειρο.
- Μεγάλο εύρος ζώνης εκπομπής και λήψης δεδομένων.
- Ανεξαρτησία από επίγειες δομές.
- Ταχεία εγκατάσταση δικτύου στο έδαφος.
- Χαμηλό κόστος για κάθε προστιθέμενη τοποθεσία.
- Παροχή υπηρεσιών με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά.
- Παροχή της συνολικής υπηρεσίας από έναν πάροχο.
- Κινητή/ασύρματη επικοινωνία ανεξάρτητη από την τοποθεσία (Elbert, 2004).

2.3 Δορυφορικοί τύποι εφαρμογών

2.3.1 Τηλεόραση

Μία από τις πιο γνωστές εφαρμογές της δορυφορικής τεχνολογίας είναι η δορυφορική εκπομπή τηλεοπτικών καναλιών, δηλαδή η δορυφορική τηλεόραση, η οποία μεταδίδει τηλεοπτικά σήματα στον καταναλωτή με τέσσερις βασικούς τρόπους:

- Διανομή από σημείο-προς-πολλά σημεία του δικτυακού προγράμματος από το στούντιο στον τοπικό σταθμό αναμετάδοσης.
- Μετάδοση σημείου-προς σημείο συγκεκριμένου προγράμματος από την τοποθεσία μιας εκδήλωσης στο στούντιο ή εναλλακτικά από ένα στούντιο σε άλλο στούντιο.
- Διανομή από σημείο-προς-πολλά σημεία του προγράμματος της καλωδιακής τηλεόρασης από το στούντιο στο τοπικό σύστημα καλωδιακής τηλεόρασης.
- Διανομή από σημείο-προς-πολλά σημεία του δικτυακού προγράμματος και/ή του προγράμματος της καλωδιακής τηλεόρασης από το στούντιο κατευθείαν στον καταναλωτή (Elbert, 2004).

Ο πρώτος από αυτούς τους βασικούς τρόπους είναι πλέον ο τυπικός τρόπος τηλεοπτικής εκπομπής στις συχνότητες VHF και UHF, που χρησιμοποιούν τοπικούς τηλεοπτικούς αναμεταδότες για να καλύψουν μια πόλη ή μια αγορά. Ο δορυφόρος χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το δικτυακό σήμα από ένα κεντρικό στούντιο σε πολλούς επίγειους σταθμούς λήψης, καθένας από τους οποίους είναι συνδεδεμένος σε έναν τοπικό αναμεταδότη. Τα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης προσφέρουν το πρόγραμμα σαν μια συνδρομητική υπηρεσία και ήταν τα πρώτα που προσέφεραν μια ευρεία ποικιλία επιλογών προγράμματος που ελεγχόταν κατευθείαν από τον καταναλωτή (Elbert, 2004).

Το μεγαλύτερο βήμα στην εξέλιξη του δικτύου δορυφορικής τηλεόρασης είναι το DTH. Ένας GEO δορυφόρος χρησιμοποιώντας την ικανότητα εκπομπής του σε ευρεία περιοχή βρίσκεται στη μοναδική θέση να μεταδίδει το ίδιο σήμα σε μια χώρα ή σε μια περιοχή με ελκυστικό κόστος ανά χρήστη. Το κόστος αυτό εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες (Elbert, 2004):

- Το μέγεθος των κεραιών λήψης.

- Το σχεδιασμό του εξοπλισμού.
- Τον αριθμό των χρηστών που μπορούν να μοιράζονται την ίδια κεραία.
- Τον αριθμό των αναμεταδοτών που μπορούν να έχουν πρόσβαση σε κάθε κεραία (συνήθως είναι 32).
- Τον αριθμό των τηλεοπτικών καναλιών που μπορούν να μεταδοθούν από κάθε αναμεταδότη (συνήθως είναι 10).

Στη Νότιο Αμερική η τηλεόραση και το ραδιόφωνο χρησιμοποιούν δύο είδη υπηρεσίας δορυφορικής τηλεόρασης: την απευθείας δορυφορική μετάδοση (Direct Broadcast Satellite, DBS) και την σταθερή δορυφορική υπηρεσία (Fixed Service Satellite, FSS). Ένας δορυφόρος απευθείας δορυφορικής μετάδοσης είναι ένας επικοινωνιακός δορυφόρος που μεταδίδει σε μικρές DBS δορυφορικές κεραίες (δορυφορικά πιάτα μεγέθους συνήθως μισού έως ενός μέτρου). Οι δορυφόροι σταθερής υπηρεσίας παρέχουν κανονικά τροφοδοσία αναμετάδοσης από και προς τηλεοπτικά δίκτυα και τοπικούς συγγενικούς σταθμούς, ζωντανά πλάνα και εξ αποστάσεως εκπαίδευση για σχολεία και πανεπιστήμια. Οι FSS δορυφόροι διανέμουν συνήθως δορυφορικά τηλεοπτικά κανάλια χωρίς συνδρομή και απαιτούν μεγαλύτερο δέκτη (δορυφορικό πιάτο μεγέθους 1-3,5 μέτρων ή και μεγαλύτερο) από τα αντίστοιχα του DBS (Welti,2012).

2.3.2 Σταθερή τηλεφωνία

Το μεγαλύτερο μέρος της τηλεφωνικής επικοινωνίας παγκοσμίως διενεργείται μέσω των γραμμών στη γη και στη θάλασσα αλλά υπάρχουν και συγκεκριμένα σημεία που χρησιμοποιούν σταθερή δορυφορική τηλεφωνία. Τα σημεία αυτά περιλαμβάνουν κάποιες περιοχές ηπείρων και χωρών όπου το τηλεφωνικό δίκτυο είναι σπάνιο ή ανύπαρκτο, όπως για παράδειγμα μεγάλες περιοχές της Νοτίου Αμερικής, της Αφρικής κ.α. Το σταθερό δορυφορικό τηλέφωνο χρησιμοποιείται επίσης σε απομονωμένα νησιά, όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα υποθαλάσσια καλώδια σταθερής τηλεφωνίας (Welti,2012).

Το σταθερό τηλεφωνικό δορυφορικό δίκτυο (PSTN) βασίζει τις τηλεφωνικές κλήσεις από τηλέφωνα με επίγειες γραμμές σε έναν επίγειο σταθμό απ' όπου μεταδίδονται σε έναν γεωστατικό δορυφόρο. Το downlink ακολουθεί ένα αναλογικό μονοπάτι. Τα δορυφορικά σταθερά τηλέφωνα συνδέονται κατευθείαν σε έναν αστερισμό είτε GEO

είτε LEO δορυφόρων και οι κλήσεις προωθούνται σε ένα δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό λιμένα (teleport) που είναι συνδεδεμένος στο PSTN (Welti,2012).

2.3.3 Υπηρεσία κινητών επικοινωνιών

Το δορυφορικό τηλέφωνο είναι ένα τηλέφωνο που επικοινωνεί κατευθείαν με κάποιο δορυφόρο. Η αρχιτεκτονική κατασκευής του είναι αυτή που καθορίζει το εύρος της κάλυψής του, η οποία μπορεί να είναι παγκόσμια ή συγκεκριμένων μόνο περιοχών. Η συσκευή έχει μέγεθος και βάρος παρόμοια με αυτά των κινητών τηλεφώνων που κυκλοφορούσαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 αλλά φέρουν μεγαλύτερη κεραία. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των τελευταίων χρόνων, όμως, πλησιάζουν σαν μέγεθος όλο και περισσότερο τα συνηθισμένα κινητά τηλέφωνα ενώ κάποια από τα «πρότυπα» που κυκλοφορούν είναι σχεδόν όμοια με τα smartphones (Πανταζάτου, 2009).

Όπως και το σταθερό δορυφορικό τηλέφωνο έτσι και το κινητό χρησιμοποιείται κυρίως στις περιοχές όπου το δίκτυο της επίγειας τηλεφωνίας (κινητής ή σταθερής) είναι σπάνιο ή δεν υπάρχει καθόλου. Το σήμα τους όμως μειώνεται όταν ο χρήστης βρίσκεται μέσα σε δωμάτιο οπότε κρίνεται σκόπιμο όταν βρίσκεται σε κτίριο να το χρησιμοποιεί στην ταράτσα ή κοντά στο παράθυρο (Πανταζάτου, 2009).

Τα κινητά δορυφορικά τηλέφωνα που επικοινωνούν με GEO δορυφόρους έχουν σχεδόν συνεχόμενη παγκόσμια κάλυψη η οποία επιτυγχάνεται μόνο με 3-4 δορυφόρους. Οι δορυφόροι αυτοί, όμως, έχουν αρκετά υψηλό κόστος κατασκευής και εκτόξευσης ενώ επιπλέον η επικοινωνία των χρηστών δεν είναι ικανοποιητική όταν ανάμεσα στο δορυφόρο και το τηλέφωνο παρεμβληθεί κάποιο αντικείμενο. Γι' αυτό το λόγο ο χρήστης πρέπει να βρίσκεται σε σημεία ελεύθερα από φυσικές ή τεχνητές παρεμβολές (Πανταζάτου, 2009).

Όταν τα τηλέφωνα αυτά συνδέονται με LEO δορυφόρους διαθέτουν παγκόσμια επικοινωνιακή κάλυψη χωρίς κενά στην επικοινωνία, καθώς κάθε στιγμή παρέχεται από έναν τουλάχιστον δορυφόρο τηλεφωνικό σήμα (Πανταζάτου, 2009).

2.3.4 Δίκτυα υπολογιστών και δεδομένων

Τα δορυφορικά δίκτυα μπορούν να ανταποκριθούν σε μια ευρεία ποικιλία αναγκών επικοινωνίας δεδομένων τόσο στις επιχειρήσεις, όσο και σε κυβερνητικές υπηρεσίες, και μη κυβερνητικές οργανώσεις. Αυτό που τα κάνει ελκυστικά είναι το χαρακτηριστικό της ευρείας κάλυψης μαζί με την ικανότητα του σχετικά μεγάλου εύρους ζώνης και το σταθερό επίπεδο παρεχόμενων υπηρεσιών (Elbert, 2004).

Τα δεδομένα που περιέχονται στην δορυφορική εκπομπή μπορούν να πάρουν πολλές μορφές σε μια ευρεία ακτίνα ψηφιακών χωρητικοτήτων. Ο τυπικός αναμεταδότης 36-MHz που είναι γνωστός παγκοσμίως στους χρήστες των συχνοτήτων C- και Ku- μπορεί να μεταφέρει περισσότερα από 80MBps, ποσότητα ιδανική για εφαρμογές ευρείας ζώνης και multimedia (Elbert, 2004).

Τα δίκτυα δεδομένων καλύπτουν μια σχεδόν απεριόριστη ακτίνα αναγκών, απαιτήσεων και λειτουργιών. Στις επιχειρήσεις συχνά η τεχνολογία της πληροφορίας (IT) είναι ένα στοιχείο της ανταγωνιστικής στρατηγικής. Με άλλα λόγια η εταιρεία που μπορεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες και την επικοινωνία πιο αποτελεσματικά από τους ανταγωνιστές της θα έχει καλύτερη και ισχυρότερη θέση στην αγορά (Elbert, 2004).

Το δορυφορικό internet χρησιμοποιείται κυρίως από επιχειρήσεις αλλά και από ιδιώτες που βρίσκονται σε περιοχές όπου δεν είναι διαθέσιμες άλλου είδους υποδομές. Έχει, όμως, ένα σημαντικό μειονέκτημα ειδικά για κάποιες δραστηριότητες αναψυχής όπως τα διαδραστικά βιντεοπαιχνίδια που παίζονται σε πραγματικό χρόνο και αυτό το μειονέκτημα είναι η καθυστέρηση της διάδοσης του σήματος καθώς πρέπει να ταξιδέψει περισσότερο από 22.236 μίλια σε έναν δορυφόρο GEO και από εκεί ξανά στη γη (Welti,2012).

2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα δορυφορικών συστημάτων

Όπως όλες οι εφαρμογές και τα συστήματα έτσι και τα δορυφορικά συστήματα έχουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και κάποια εξίσου σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία είναι τα παρακάτω

2.4.1 Πλεονεκτήματα

Στα πλεονεκτήματα κατατάσσεται το γεγονός ότι τα δορυφορικά συστήματα παρέχουν κάλυψη μιας ευρείας περιοχής ενώ παράλληλα παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε ανθρώπους που κατοικούν σε απομακρυσμένες ή τεχνολογικά υποανάπτυκτες περιοχές. Το κόστος τους επίσης είναι ανεξάρτητο από την απόσταση κάτι που το θέτει σε πλεονεκτική θέση έναντι των επίγειων συστημάτων. Η αναλογία λάθους είναι επίσης χαμηλή ενώ τα συστήματα αυτά προσαρμόζονται εύκολα στις αλλαγές και την εξέλιξη της τεχνολογίας (Akujuobi & Sadiku, 2007).

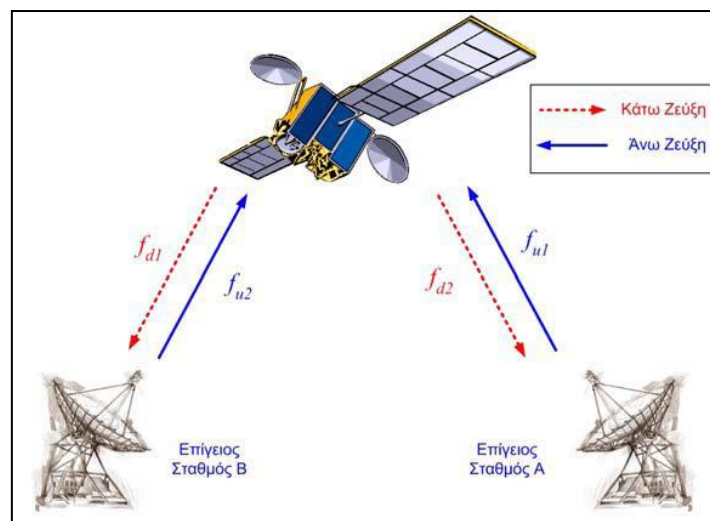
2.4.2 Μειονεκτήματα

Στα μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων συμπεριλαμβάνονται οι καθυστέρηση μετάδοσης, λόγω της απόστασης, η εξάρτηση από μια απομακρυσμένη εγκατάσταση και ο μικρότερος έλεγχος στην εκπομπή. Επιπλέον, στις υψηλές συχνότητες μπορεί να υπάρξει σημαντική εξασθένηση του σήματος λόγω ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Ακόμα και η βροχή μπορεί να επηρεάσει τη μετάδοση του σήματος και όχι μόνο στις υψηλές συχνότητες. Τέλος, η χρέωση είναι συνεχής και εξαρτάται από το χρόνο χρήσης ενώ η μετάδοση είναι μειωμένη κατά την ηλιακή ισημερία (Akujuobi & Sadiku, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Τεχνική παραμετροποίηση επίγειου δορυφορικού σταθμού εκπομπής-λήψης

3.1 Βασική δορυφορική ζεύξη

Η δορυφορική ζεύξη διαιρείται στην άνω δορυφορική ζεύξη (uplink), που είναι η ζεύξη μεταξύ ενός σταθμού βάσης και ενός δορυφόρου και στην κατερχόμενη (downlink), η οποία είναι μεταξύ ενός δορυφόρου και ενός σταθμού βάσης (εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Η βασική δορυφορική ζεύξη¹⁰

Ένα σύστημα άνω ζεύξης αποτελείται από το σταθμό βάσης που εκπέμπει το σήμα, από το δορυφόρο που λαμβάνει το σήμα και από το φυσικό περιβάλλον που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους. Ένα σύστημα κατερχόμενης ζεύξης αποτελείται από το δορυφόρο που εκπέμπει το σήμα, από το σταθμό που το λαμβάνει και από το φυσικό περιβάλλον που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους (The International Telecommunication Union – ITU, 2002).

Μια δορυφορική ζεύξη στην πιο απλή της μορφή (όπως αυτή που απεικονίζεται στην εικόνα 3.1) φέρει διπλό επικοινωνιακό κύκλωμα. Ο επίγειος σταθμός A μεταδίδει στο δορυφόρο ένα φέρων κύμα ανοδικής ζεύξης (U/L) διαμορφωμένο από το σήμα βασικής ζώνης, δηλαδή το σήμα από την πηγή του μηνύματος που μεταδίδεται από

¹⁰ Ανύσιος Θ (2010). Το χρονικό των δορυφορικών επικοινωνιών – Εφαρμογή: Υλοποίηση συστήματος σε περιβάλλον πολυμέσων. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών.

το τερματικό του χρήστη σε μια ραδιοσυχνότητα F_{u1} . Το σήμα αυτό λαμβάνεται από τη δορυφορική κεραία και τον αναμεταδότη και αφού μετατρέψει τη συχνότητα από F_{u1} σε F_{d1} το απλοποιεί και το ακτινοβολεί εκ νέου σαν ένα κύμα καθοδικής ζεύξης (D/L) που το λαμβάνει η κεραία του επίγειου σταθμού B. Προκειμένου να δημιουργηθεί η σύνδεση επιστροφής ο επίγειος σταθμός B μεταδίδει ένα φέρων κύμα ανοδικής ζεύξης σε μία άλλη ραδιοσυχνότητα F_{u2} το οποίο λαμβάνεται από τον επίγειο σταθμό A στην τροποποιημένη συχνότητα καθοδικής ζεύξης F_{d2} (ITU, 2002).

Βέβαια, σε γενικές γραμμές, στην περίπτωση αυτή ένας δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με αρκετούς αναμεταδότες και στους πιο προηγμένους τύπους δορυφόρων το σήμα δεν υπόκειται απλά σε μία μετατροπή συχνότητας σε έναν αναμεταδότη. Αντίθετα, υπόκειται σε πιο περίπλοκο χειρισμό που περιλαμβάνει, μεταξύ των άλλων αποδιαμόρφωση/αναδιατύπωση, επεξεργασία βασικής συχνότητας κ.α. (ITU, 2002).

Το σήμα που μεταδίδεται πρέπει να έχει σχεδιαστεί με τρόπο που να παρέχει αξιόπιστη και καλής ποιότητας επικοινωνία. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα που μεταδίδεται από τον επίγειο σταθμό πρέπει να φτάσει στον επίγειο σταθμό λήψης σε ένα φέρων επίπεδο που θα είναι ικανοποιητικά πάνω από τα ανεπιθύμητα σήματα, τα οποία γεννώνται από διάφορες, αναπόφευκτες πηγές θορύβου και παρεμβολών. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα της επικοινωνίας του μηνύματος που μεταδίδεται με το σήμα βασικής συχνότητας και λαμβάνει το τερματικό του χρήστη προέρχεται από το λαμβανόμενο λόγο ισχύος/θορύβου και αντιπροσωπεύει τη διαμόρφωση/αποδιαμόρφωση και τις πιθανές διαδικασίες κωδικοποίησης / αποκωδικοποίησης (ITU, 2002).

Στην περίπτωση των αναλογικών επικοινωνιών χρησιμοποιείται γενικά η διαμόρφωση της συχνότητας και η ποιότητα της επικοινωνίας μετριέται με τον λόγο σήματος/θορύβου (S/N), που προέρχεται από το λόγο φορέα/θορύβου (C/N) στην είσοδο του δέκτη και από τις παραμέτρους διαμόρφωσης συχνότητας. Στην περίπτωση των ψηφιακών επικοινωνιών η ποιότητα της επικοινωνία μετριέται από το λόγο λαθών πληροφορίας/δυναδικού ψηφίου (information bit error - BER). Ο BER με τη σειρά του προέρχεται από το λόγο φέροντος/θορύβου πυκνότητας (C/N_0 ή από το (E_b/N_0)) στην είσοδο του δέκτη και από τις παραμέτρους κωδικοποίησης και

διαμόρφωσης. Στην περίπτωση αυτή το E_b είναι η ενέργεια ανά bit πληροφορίας και το N_0 είναι η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου (η ισχύς του θορύβου μετριέται σε Hz, δηλαδή $N_0 = N/B$, όπου το B είναι το εύρος ζώνης του θορύβου RF) (ITU, 2002).

Ένας βασικός παράγοντας στο σχεδιασμό της δορυφορικής σύνδεσης είναι ο υπολογισμός του προϋπολογισμού του συνδέσμου. Ο υπολογισμός δηλαδή της (C/N) , (C/N_0) ή (E_b/N_0) , σαν συνάρτηση των χαρακτηριστικών του δορυφόρου, των επίγειων σταθμών και των τοπικών συνθηκών του περιβάλλοντος και των παρεμβολών (ITU, 2002).

Με πιο απλά λόγια, η είσοδος του επίγειου σταθμού που αποτελεί το δέκτη λαμβάνει τα σήματα πληροφορίας των χρηστών, σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή και μέσω ενσύρματων ή ασύρματων συμβατικών ζεύξεων. Τα σήματα αυτά πολυπλέκονται και διαμορφώνονται στην ενδιάμεση συχνότητα του σήματος και το σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί αλλάζει συχνότητα, μεταβαίνοντας σε ραδιοσυχνότητα. Ακολούθως, εκπέμπεται προς το δορυφόρο από την κεραία του σταθμού, αφού, όμως, πρώτα ενισχυθεί.

Αφού το σήμα υποστεί διάφορες αποσβέσεις λόγω της διάδοσής του στην ατμόσφαιρα φτάνει στον δορυφόρο όπου υφίσταται αφενός μετατροπή συχνότητας και αφετέρου ενίσχυση. Στη συνέχεια επανεκπέμπεται από τον αναμεταδότη του δορυφόρου και φτάνει στην είσοδο του επίγειου σταθμού-δέκτη. Εκεί οδηγείται στην RF βαθμίδα ενίσχυσης χαμηλού θορύβου, υφίσταται μετατροπή της φέρουσας συχνότητας σε ενδιάμεση συχνότητα και από-πολύπλεξη και τέλος οδηγείται στους χρήστες.

3.2 Μέθοδοι πρόσβασης στο δορυφόρο

Οι επικοινωνιακοί δορυφόροι προσφέρουν το πλεονέκτημα της σύνδεσης όλων μαζί των σταθμών βάσης προσφέροντας με τον τρόπο αυτό επικοινωνία σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint). Επειδή σε ένα δορυφόρο έχουν πρόσβαση πολλοί σταθμοί βάσης πρέπει να χρησιμοποιούνται τεχνικές που κατανέμουν τη χωρητικότητα των εκπομπών. Αυτό με τη σειρά του έχει οδηγήσει στην καθιέρωση διαφόρων τρόπων με τους οποίους δομείται ένα δορυφορικό δίκτυο. Οι μέθοδοι που

χρησιμοποιούνται συχνότερα για να υπάρξει πρόσβαση σε έναν τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο είναι η πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA), πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) και πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA) (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).

Η πολλαπλή πρόσβαση αναφέρεται στη δυνατότητα πολλών επίγειων σταθμών να μεταδίδουν τους αντίστοιχους φορείς τους ταυτόχρονα μέσω του ίδιου δορυφορικού αναμεταδότη. Αυτό επιτρέπει σε κάθε επίγειο σταθμό που βρίσκεται μέσα στην περιοχή κάλυψης να λαμβάνει φορείς που προέρχονται από διάφορους επίγειους σταθμούς. Αντίστροφα, ένας φορέας που μεταδίδεται από έναν επίγειο σταθμό μέσω ενός συγκεκριμένου αναμεταδότη μπορεί να ληφθεί από οποιονδήποτε επίγειο σταθμό που βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης. Αυτό επιτρέπει σε έναν επίγειο σταθμό μετάδοσης σήματος να ομαδοποιήσει αρκετά σήματα σε έναν ενιαίο φορέα πολλαπλών προορισμών (a single multi-destination carrier).

Ένας τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος λειτουργεί με δύο τρόπους: (α) ως σταθμός αναμετάδοσης και (β) ως κομβικό σημείο στα κυκλώματα που συνδέουν τους επίγειους σταθμούς που εμπλέκονται. Περιέχει μία ή περισσότερες αλυσίδες αναμετάδοσης κάθε μία από τις οποίες να μεταφράσει συχνότητες, να ενισχύσει και να αναμεταδώσει τα σήματα που λαμβάνονται από τους επίγειους σταθμούς στο σύστημα. Ανάμεσα από μερικές από τις αλυσίδες μεταφοράς μπορεί να υπάρχει κάποια δυνατότητα μεταγωγής με τηλεχειρισμό (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).

Επιπλέον σε κάποια προηγμένα συστήματα παρέχεται η on-board δυνατότητα μεταγωγής και επεξεργασίας για να καταστεί δυνατή μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες λειτουργίες: μεταγωγή (συχνότητας, χρόνου ή χώρου), αναγέννηση και επεξεργασία σήματος (ιδίως επεξεργασίας βασικής ζώνης συχνοτήτων).

Σε γενικές γραμμές πάντως, στην πραγματικότητα η διαθέσιμη ικανότητα μετάδοσης πληροφοριών (χωρητικότητα κυκλοφορίας) μιας αλυσίδας αναμεταδότη είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται από έναν συγκεκριμένο επίγειο σταθμό μετάδοσης.

Για να βελτιστοποιηθεί, επομένως, η χρησιμοποίηση της ικανότητας του αναμεταδότη, επιτρέπεται να έχουν πρόσβαση σε μία αλυσίδα αναμεταδότη (με μεταδόσεις μονού ή πολλαπλού προορισμού) περισσότεροι του ενός επίγειοι σταθμοί. Αυτό ακριβώς είναι η λειτουργία της πολλαπλής πρόσβασης (ITU, 2002).

Στην πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA) κάθε ενδιαφερόμενος επίγειος σταθμός προσδιορίζει τη δική του συχνότητα φορές, εντός του εύρους ζώνης του αναμεταδότη. Στην πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) όλοι οι ενδιαφερόμενοι επίγειοι σταθμοί χρησιμοποιούν τον ίδιο φορέα συχνότητας και το εύρος ζώνης με επιμερισμό (ή διαίρεση) του χρόνου, δηλαδή δεν εκπέμπουν ταυτόχρονα τα σήματά τους. Τέλος, στην πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο της διαίρεσης κώδικα Code Division Multiple Access – CDMA) όλοι οι επίγειοι ενδιαφερόμενοι σταθμοί μοιράζονται ταυτόχρονα το ίδιο εύρος ζώνης και αναγνωρίζουν τα σήματα με ποικίλες διαδικασίες, όπως με την αναγνώριση κώδικα (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).

Σημαντικά χαρακτηριστικά και διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις τρεις αυτές μορφές πολλαπλής πρόσβασης είναι οι εξής (ITU, 2002):

- Η FDMA μπορεί να συνδεθεί είτε με ψηφιακή είτε με αναλογική διαμόρφωση αλλά η TDMA και η CDMA πρέπει πρακτικά να συνδέονται με ψηφιακή διαμόρφωση.
- Σε αντίθεση με την FDMA και την CDMA στις οποίες τα σήματα μεταδίδονται συνεχώς, στην TDMA τα σήματα μοιράζονται στο χρόνο, δηλαδή μεταφέρονται με τη μορφή μη-συνεχόμενων «εκρήξεων».
- Οι τρεις αυτές μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης μπορούν να λειτουργήσουν και συνδυαστικά. Για παράδειγμα φορείς χαμηλών ή μεσαίων bit TDMA μπορούν να μοιραστούν τον ίδιο αναμεταδότη τόσο στην FDMA όσο και στην CDMA.

Οι τρόποι ανάθεσης των διαύλων επικοινωνίας στους μεταδιδόμενους φορείς είναι οι εξής (ITU, 2002):

- Προ-εκχώρηση πολλαπλής πρόσβασης (Pre-assignment Multiple Access – PAMA) στην οποία τα κανάλια που απαιτούνται μεταξύ δύο επίγειων σταθμών αποδίδονται μόνιμα για αποκλειστική χρήση τους.

- Εντολή ζήτησης-πολλαπλής πρόσβασης (Demand-assignment Multiple Access – DAMA) στην οποία η κατανομή των καναλιών αλλάζει σύμφωνα με την αρχική κλήση. Το κανάλι επιλέγεται αυτόματα και συνδέεται για εκπομπή μόνο όσο συνεχίζεται η κλήση. Πρόκειται για προσέγγιση η οποία, σε σύγκριση με την PAMA, ουσιαστικά αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης δορυφορικών αναμεταδοτών και γενικότερα ολόκληρου του συστήματος επικοινωνίας. Η DAMA μπορεί να συνδεθεί και με FDMA και με TDMA και είτε με ψηφιακή είτε με αναλογική διαμόρφωση.

3.2.1. Πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA)

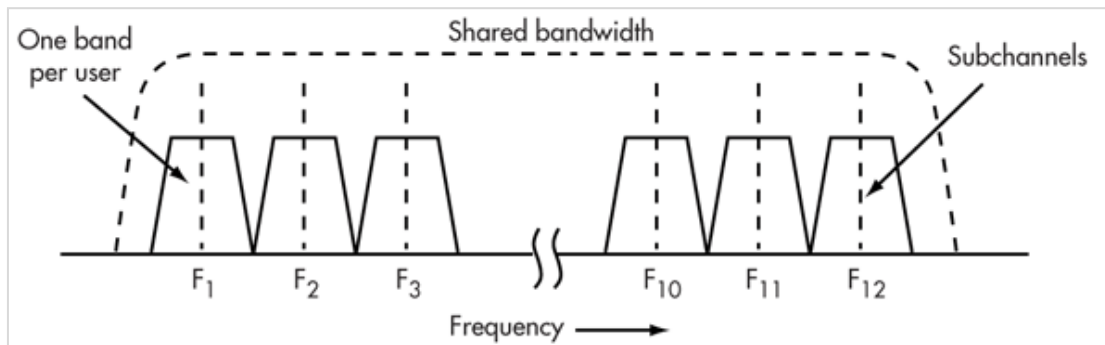
Η πρώτη μορφή πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιήθηκε στις δορυφορικές επικοινωνίες ήταν η FDMA, η οποία εξακολουθεί να χρησιμοποιείται πολύ συχνά καθώς παρέχει απλότητα και ευελιξία. Στην FDMA σε έναν αναμεταδότη κατανέμεται μια διαφορετική συχνότητα για κάθε φορέα (πιθανώς πολλαπλών προορισμών) που πρέπει να διαβιβαστεί από ένα σταθμό εδάφους. Στη συνέχεια κατανέμεται ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης, ανάλογα με τη χωρητικότητα του φορέα. Επομένως ο δορυφορικός πόρος χρησιμοποιείται από κοινού (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).

Με πιο απλά λόγια η FDMA αποτελεί τη διαδικασία επιμερισμού (ή διαίρεσης) ενός καναλιού ή εύρους ζώνης σε πολλαπλές ατομικές ζώνες καθεμία από τις οποίες χρησιμοποιείται από έναν και μόνο χρήστη (εικόνα 3.2). Ο αναμεταδότης, αφού λάβει όλο το φάσμα το μετατρέπει στη συχνότητα της κατερχόμενης ζεύξης και το εκπέμπει προς όλους τους επίγειους σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή εκπομπής-λήψης του. με τη σειρά του κάθε σταθμός λαμβάνει όλους τους φορείς και κάνοντας αποδιαμόρφωση διαχωρίζει το φορέα και τα κανάλια που τον αφορούν (Ανύσιος, 2010).

Η FDMA έχει δύο είδη λειτουργίας (Ανύσιος, 2010):

- Εκ των προτέρων μόνιμη διάθεση των φορέων στους σταθμούς (Fixed Frequency Assignment – FFA), στις περιπτώσεις που υπάρχει επαρκής και συνεχή κίνηση που πρέπει να εξυπηρετηθεί.

- Προσωρινή διάθεση καναλιών μετά από ζήτηση (DAMA).



Εικόνα 3.2.: Η FDMA επιμερίζει ένα κανάλι ή εύρος ζώνης σε πολλαπλές ατομικές ζώνες που χρησιμοποιούνται από ένα μόνο χρήστη η κάθε μία.¹¹

Για να εξυπηρετείται η μικρή κίνηση έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα η τεχνική του ενός καναλιού ανά φορέα (Single-Channel Per Carrier – SCPC). Αυτή είναι η τεχνική μάλιστα στην οποία στηρίζεται το σύστημα SPADE, το οποίο διαθέτει 800 κανάλια SCPC-FDM ύστερα από ζήτηση (DAMA) σε έναν αναμεταδότη που έχει εύρος ζώνης 40MHz (Ανύσιος, 2010).

Το σύστημα FDMA χρησιμοποιείται για:

- Μετάδοση αναλογικών τηλεφωνικών συνδιαλέξεων (είτε μέσω εθνικών είτε μέσω διεθνών δορυφόρων).
- Μετάδοση μιας ασθενούς τηλεφωνικής κίνησης και δεδομένων μέσω του συστήματος SCPC και DAMA – SCPC.
- Μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων.
- Μετάδοση ψηφιακών τηλεφωνικών συνδιαλέξεων.

Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζει αυτός ο τύπος πολλαπλής πρόσβασης είναι η πρόκληση ενδοδιαμόρφωσης μεταξύ των φορέων με συνέπεια ανεπιθύμητες εκπομπές (προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης). Αυτό προκαλείται από την ταυτόχρονη μετάδοση αρκετών φορέων από τον ίδιο αναμεταδότη επειδή δεν υπάρχει

¹¹ Frenzel L, (2013). Fundamentals of Communications Access Technologies: FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, and SDMA.

γραμμικότητα στην αλυσίδα του αναμεταδότη και κυρίως στον ενισχυτή ισχύος (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).

Για να μπορέσει να μειωθεί η συγκεκριμένη παρεμβολή αναγκαστικά η ισχύς που μεταδίδεται πρέπει να διατηρηθεί σημαντικά μικρότερη από τη μέγιστη διαθέσιμη ισχύ εξόδου (κορεσμός). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «back-off». Επιπλέον πρέπει να ελέγχεται και η ισχύς που μεταδίδεται από κάθε επίγειο σταθμό (ITU, 2002).

Η υλοποίηση της FDMA γίνεται με διάφορες μεθόδους διαμόρφωσης – πολυπλεξίας. Οι πιο κοινές από αυτές είναι οι εξής (ITU, 2002):

- FDM-FM (αναλογική): οι φορείς είναι διαμορφωμένης-συχνότητας (frequency-modulated) από ένα σήμα βασικής ζώνης πολυπλεξίας για διαίρεση συχνότητας (frequency division multiplexed baseband signal).
- TDM-PSK (ψηφιακή): οι μεταφορείς PSK διαμορφώνονται από ένα σήμα βασικής ζώνης πολυπλεξίας για επιμερισμό χρόνου (time division multiplexed baseband signal).
- SCPC (για μικρούς επίγειους σταθμούς με μικρή κίνηση): κάθε ένα τηλεφωνικό κανάλι (ή κανάλι δεδομένων) διαμορφώνει το φορέα είτε αναλογικά (FM) είτε ψηφιακά (PSK).

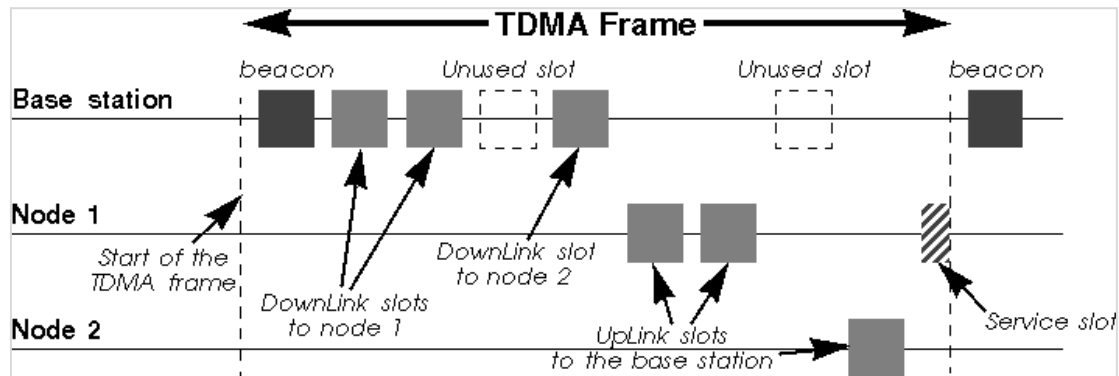
3.2.2. Πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA)

Η TDMA είναι μια ψηφιακή τεχνική πολλαπλής πρόσβασης, η οποία επιτρέπει σε μεμονωμένες μεταδόσεις επίγειων σταθμών να λαμβάνονται από τον δορυφόρο σε ξεχωριστές και μη επικαλυπτόμενες χρονικές στιγμές (Time Slots – TS), οι οποίες ονομάζονται εκρήξεις ή ριπές (bursts). Κάθε πληροφορία είναι ρυθμισμένη να αποστέλλεται σε αυτές τις χρονικές σχισμές (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).

Οι επίγειοι σταθμοί πρέπει να καθορίσουν το χρόνο του δορυφορικού συστήματος και το εύρος, ώστε οι εκπεμπόμενες ριπές, οι οποίες είναι συνήθως διαμορφωμένες τετραφασικά (QPSK), να φτάσουν χρονομετρημένα στο δορυφόρο στις κατάλληλες χρονικές στιγμές. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι ο ρυθμός bit των ριπών που μεταδίδονται είναι σε γενικές γραμμές υψηλότερος από τον ρυθμό bit του

συνεχούς ρεύματος αυτών στην είσοδο του τερματικού του επίγειου σταθμού (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).

Οι TS όλων των σταθμών σχηματίζουν ένα πλαίσιο χρόνου (TDMA-frame) (εικόνα 3.3), το οποίο επαναλαμβάνεται περιοδικά.



Εικόνα 3.3.: TDMA frame¹²

Η περίοδος του διαστήματος αυτού μπορεί να βρίσκεται σε διάστημα μεταξύ 125μsec – 30μsec. Στο διάστημα αυτό, οι ψηφιακές πληροφορίες που βρίσκονται εντός του σταθμού και προορίζονται για άλλους σταθμούς συγκεντρώνονται και αποταμιεύονται με τη μορφή πακέτων. Τα πακέτα αυτά είναι ένα για κάθε σταθμό προορισμού. Από την μνήμη στην οποία αποθηκεύονται μπορούν να εκταμιευτούν πολύ γρήγορα σε μία ριπή εντός ενός TS (Ανύσιος, 2010).

Η προαναφερόμενη μνήμη αποκαλείται «μνήμη συμπίεσης» επειδή συμπιέζει το χρόνο μέσα στον οποίο περιέχονται οι πληροφορίες. Για παράδειγμα, τα σήματα που θα φτάσουν με ρυθμό 64 Kbit/sec αποστέλλονται σε αναμεταδότη με εύρος ζώνης 40 MHz με ρυθμό 60 Kbit/sec, ενώ αν ο αναμεταδότης έχει εύρος ζώνης 80 MHz ο ρυθμός μετάδοσης είναι 120 Mbits/sec (Ανύσιος, 2010).

Όταν ξεκινά κάθε ριπή αρχικά αποστέλλονται κάποια bits προκειμένου να πραγματοποιηθεί αναγνώριση του φορέα, συγχρονισμός των σταθμών κ.α. Κατά τη

¹² The MAC level (link layer). Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο: http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Linux.Wireless.mac.html (ανάκτηση: 10/04/15)

διάρκεια της λήψης, ο σταθμός που επιθυμεί σύνδεση με κάποιον σταθμό εκπομπής πρέπει να έχει ανοικτό το δέκτη του στο χρονικό διάστημα που φτάνει η ριπή του σταθμού εκπομπής. Όπως είναι φανερό, για να μπορέσει να γίνει η ανταλλαγή των πληροφοριών πρέπει να συγχρονιστούν ο σταθμός λήψης με τον σταθμό εκπομπής. Όταν φθάσει η ριπή, αποταμιεύεται σε μνήμη με τον υψηλό ρυθμό αυτής, ενώ διαβάζεται με τον κανονικό, χαμηλό ρυθμό με τον οποίο αποθηκεύτηκε στη μνήμη συμπίεσης. Η μνήμη του δέκτη ονομάζεται «μνήμη αποσυμπίεσης». (Ανύσιος, 2010).

Αν συγκριθεί με την FDMA η TDMA προσφέρει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (ITU, 2002):

- Ο δορυφορικός αναμεταδότης μεταφέρει μόνο έναν φορέα ραδιοσυχνοτήτων (που περιλαμβάνει την κίνηση από αρκετούς επίγειους σταθμούς). Επομένως, δεν υφίσταται η ενδοδιαμόρφωση που προκαλείται από τη μη γραμμικότητα στην FDMA και ο δορυφορικός αναμεταδότης μπορεί να κινείται σχεδόν σε κορεσμό προσφέροντας αποτελεσματικότερη χρήση της δορυφορικής ισχύος.
- Στην TDMA όταν αυξάνονται οι σταθμοί πρόσβασης δεν μειώνεται αυτόματα η χωρητικότητα. Συνήθως ένας αναμεταδότης που λειτουργεί στα 80 MHz και καθοδηγείται από έναν ενιαίο φορέα TDMA μπορεί να υποστηρίξει περίπου 1600 τηλεφωνικά κανάλια με ρυθμό bit καναλιού 64kbit/sec. Η εφαρμογή των τεχνικών DSI και DCME επιτρέπουν την αύξηση της χωρητικότητας του αναμεταδότη κατά ένα παράγοντα από 2 έως 5, αν και αυτό δεν ισχύει αποκλειστικά για την TDMA καθώς μπορεί να υλοποιηθεί με οποιουδήποτε φορείς TDM.
- Η εισαγωγή των νέων απαιτήσεων της κυκλοφορίας στεγάζονται εύκολα μεταβάλλοντας το μήκος και τη θέση της ριπής

Η TDMA μπορεί να συνδυαστεί με την FDMA μοιραζόμενες έναν αναμεταδότη ανάμεσα σε έναν φορέα TDMA και σε άλλους, π.χ. πολυπλεγμένους φορείς ή φορέα. Όμως, η πλήρη αποτελεσματικότητα της μεθόδου είναι εφικτή μόνο όταν χρησιμοποιείται μόνη της σε έναν δορυφορικό αναμεταδότη («αναμεταδότης πλήρους TDMA»).

Η λειτουργία του συστήματος TDMA εμφανίζει αρκετά προβλήματα συγχρονισμού. Καταρχήν για να μπορέσει να γίνει αποδιαμόρφωση των εισερχόμενων ριπών φορέων λειτουργίας PSK είναι απαραίτητο να γίνει ανάκτηση του φορέα και του

χρονισμού της ριπής εντός της ακολουθίας ανάκτησης της ριπής κατά την έναρξη κάθε ριπής. Έτσι, συνήθως, ο αποδιαμορφωτής TDMA έχει κυκλώματα υψηλής ταχύτητας για την ανάκτηση των φορέων και του χρονισμού (ITU, 2002).

Άλλο πρόβλημα συγχρονισμού που προκύπτει αφορά το χρόνο μετάδοσης της ριπής σε κάθε σταθμό που έχει πρόσβαση προκειμένου να αποφευχθούν οι επικαλύψεις των εκρήξεων στο δορυφορικό αναμεταδότη. Ο έλεγχος αυτός αποκαλείται «συγχρονισμός ριπών» και εκτελείται έτσι ώστε η ριπή να διατηρεί μία προκαθορισμένη χρονική διαφορά. Η διαφορά αυτή αναφέρεται στη θέση της ριπής αναφοράς, η οποία λαμβάνεται από το σταθμό αναφοράς, στο δορυφορικό αναμεταδότη.

Οι μέθοδοι που έχουν ακολουθηθεί για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός ριπής είναι οι ακόλουθοι (ITU, 2002):

- Συγχρονισμός παγκόσμιας ακτίνας («global beam» synchronization): το σφάλμα συγχρονισμού της εκπομπής διαπιστώνεται σε κάθε σταθμό εκπομπής εξετάζοντας τη ληφθείσα ακολουθία σήματος που περιλαμβάνει τις δικές του μεταδόσεις καθώς και αυτές από ένα σταθμό αναφοράς.
- Συγχρονισμός ανάδρασης (feedback synchronization): η ανίχνευση του σφάλματος συγχρονισμού εκτελείται στο σταθμό λήψης ή στο σταθμό αναφοράς και η πληροφορίες για το σφάλμα θέσης της ριπής αποστέλλονται ξανά πίσω στο σταθμό μετάδοσης μέσω του καναλιού ελέγχου.
- Συγχρονισμός ανοικτού βρόχου (open loop synchronization): ο χρονισμός της μετάδοσης καθορίζεται από τη γνώση του εύρους κάθε σταθμού στο δορυφόρο, το οποίο είτε μετράται είτε υπολογίζεται.

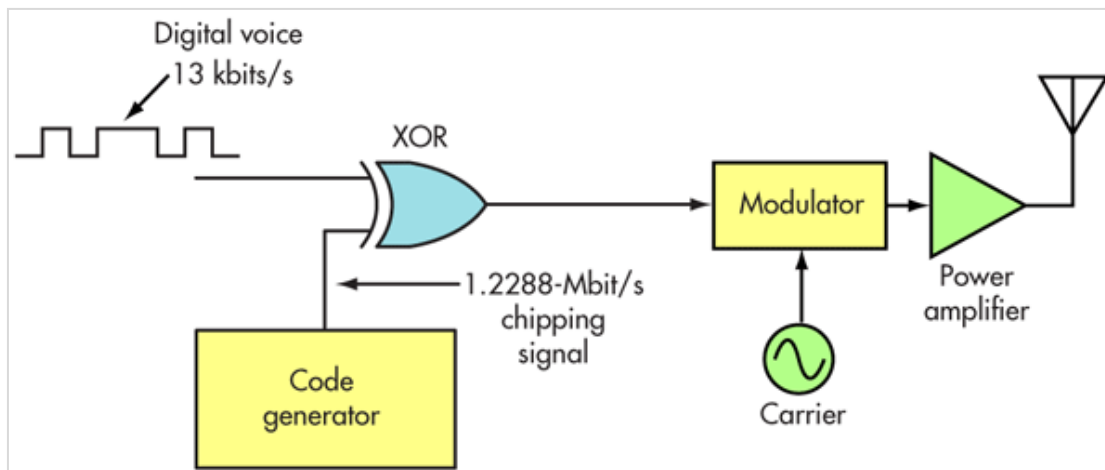
3.2.3. Πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA)

Τα συστήματα CDMA αρχικά κατασκευάστηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς. Σήμερα, όμως, χρησιμοποιούνται και για εμπορικούς σκοπούς.

Όπως έχει προαναφερθεί με τα συστήματα FDMA τα σήματα από τους διάφορους χρήστες ενισχύονται από το δορυφορικό αναμεταδότη σε ένα δεδομένο εύρος ζώνης

την ίδια στιγμή αλλά σε διαφορετικές συχνότητες. Με τα συστήματα TDMA ενισχύονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές αλλά στην ίδια ονομαστική συχνότητα (που διαδίδεται από τη διαμόρφωση σε ένα ορισμένο εύρος ζώνης). Στην Τρίτη κατηγορία πολλαπλής πρόσβασης που γίνεται με τη μέθοδο επιμερισμού κώδικα (CDMA) τα σήματα λειτουργούν ταυτόχρονα με την ίδια ονομαστική συχνότητα αλλά απλώνονται σε ένα δεδομένο (που έχει διατεθεί) εύρος ζώνης με μια ειδική διαδικασία κωδικοποίησης. Το εύρος ζώνης μπορεί να εκτείνεται σε ολόκληρο το εύρος ζώνης του αναμεταδότη αλλά συχνά περιορίζεται σε ένα τμήμα του (στην πραγματικότητα η CDMA μπορεί αν χρειαστεί να συνδυαστεί με FDMA και/ή TDMA (ITU, 2002 · Frenzel, 2007)).

Στη συγκεκριμένη διαδικασία κωδικοποίησης κάθε χρήστης αποδίδει στην πραγματικότητα μία «ακολουθία υπογραφή», δηλαδή με το δικό του χαρακτηριστικό κώδικα που επιλέγεται σε ένα σύνολο κωδικών που έχουν εκχωρηθεί μεμονωμένα στους διάφορους χρήστες του συστήματος. Ο κωδικός αυτός αναμειγνύεται ως συμπληρωματική διαμόρφωση με το σήμα χρήσιμων πληροφοριών (εικόνα 3.4) (ITU, 2002 · Frenzel, 2007).



Εικόνα 3.4.:Σύστημα CDMA¹³

Κατά τη λήψη, ένας δεδομένος χρήστης επίγειου σταθμού είναι ικανός να επιλέξει και να αναγνωρίσει (από το δικό του κώδικα) από όλα τα σήματα που λαμβάνονται

¹³ The MAC level (link layer). Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο: http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Linux.Wireless.mac.html (ανάκτηση: 10/04/15)

το σήμα που προορίζεται γι' αυτόν και στη συνέχεια να εξάγει τις χρήσιμες πληροφορίες. Τα υπόλοιπα σήματα που λαμβάνονται μπορεί να είναι εκείνα που προορίζονται για άλλους χρήστες αλλά μπορεί επίσης να προέρχονται από ανεπιθύμητες εκπομπές (ITU, 2002).

Αυτό δίνει στην CDMA μια συγκεκριμένη ικανότητα αντι-παρεμβολών. Για τη λειτουργία αυτή, χρησιμοποιούνται γενικά τεχνικές συσχέτισης όπου είναι αναγκαίο για να εντοπιστεί ένα σήμα μεταξύ πολλών άλλων που μοιράζονται την ίδια ζώνη κατά την ίδια χρονική στιγμή. Οι δύο πιο κοινές τεχνικές βασίζονται:

- Στην άμεση ακολουθία (Direct Sequence – DS) η οποία ονομάζεται επίσης και διαμόρφωση ψευδο-θορύβου (Pseudo-noise – PN) και είναι η κυρίαρχη τεχνική.
- Στη διαμόρφωση αναπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping – FH)

Το αποτέλεσμα αυτών των τεχνικών είναι το μεταδιδόμενο εύρος ζώνης να είναι πολύ μεγαλύτερο από το εύρος της βασικής ζώνης του πληροφοριακού σήματος. για το λόγο αυτό, αυτές οι διαδικασίες ονομάζονται επίσης τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης ευρέως φάσματος ή εκτεταμένου φάσματος (SSMA).

Περιληπτικά μερικά από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων FDMA είναι τα εξής (ITU, 2002):

- Σε αντίθεση με την FDMA και την TDMA απαιτείται μόνο ελάχιστος δυναμικός συντονισμός (συχνότητας ή χρόνου) μεταξύ των διαφόρων πομπών.
- Το σύστημα μπορεί να φιλοξενήσει εγγενώς πολλαπλούς χρήστες (τον καθένα με το δικό του κώδικα στο σύνολο) και οι νέοι χρήστες μπορούν να εισαχθούν εύκολα. Βάσει αρχής δεν απαιτείται κανένας έλεγχος εκχώρησης καναλιού. Μόνο η ποιότητα μετάδοσης (σήμα-προς-θόρυβο) υπόκειται σε βαθμιαία υποβάθμιση όταν αυξάνεται το φορτίο του δορυφορικού αναμεταδότη. Αυτό συμβαίνει γιατί σε ένα δεδομένο επίγειο σταθμό υποδοχής το σήμα κάθε άλλου χρήστη (που δεν προορίζεται γι' αυτό το σταθμό) λαμβάνεται ως συμπληρωματικό, ανεπιθύμητο σήμα σας θόρυβος. Δηλαδή οι άλλοι χρήστες μεταδίδουν το σήμα τους στο ίδιο εκτεταμένο εύρος ζώνης.

Στην πραγματικότητα η ικανότητα του συστήματος περιορίζεται από την ποιότητα της μετάδοσης η οποία είναι αποδεκτή υπό την παρουσία αυτού του «αυτό-θορύβου» ή αυτής της «αυτό-παρεμβολής» (που ονομάζεται και παρεμβολή πολλαπλών χρηστών) που προκαλείται από τους άλλους χρήστες του συστήματος:

- Η δύναμη της ροής πυκνότητας των σημάτων CDMA, όπως λαμβάνονται στον τομέα των υπηρεσιών περιορίζεται αυτόματα χωρίς την ανάγκη για οποιαδήποτε άλλη διαδικασία διασποράς ενέργειας.
- Η CDMA αναδεικνύει σημαντικά την ικανότητα αντι-παρεμβολών, όπως έχει ήδη προαναφερθεί.
- Παρέχει μία μικρή πιθανότητα τομής από άλλους χρήστες και κάποιου είδους προστασία της ιδιωτικότητας λόγω των εξατομικευμένων κωδικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Προβλήματα διάδοσης

4.1. Γενικά για τα προβλήματα διάδοσης

Οι δορυφορικές επικοινωνίες για να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις αυξημένες απαιτήσεις φάσματος συχνοτήτων των τελευταίων χρόνων μεταπήδησαν σταδιακά σε ζώνες συχνοτήτων οι οποίες είναι υψηλότερες από αυτή των 10GHz. Μεταπήδησαν δηλαδή σε συχνότητες όπως η ζώνη Ku (12/14 GHz) και η ζώνη Ka (20/30 GHz) ενώ μελετάται να γίνει επέκταση και στη ζώνη V (40/50 GHz) (Αράπογλου και συν, 2002).

Αυτή η περιοχή του φάσματος προσφέρει το πλεονέκτημα της σημαντικής αύξησης του διαθέσιμου εύρους συχνοτήτων, του αυξημένου κέρδους των κεραιών και την αποφυγή των παρεμβολών με επίγεια ασύρματα δίκτυα, τα οποία συνήθως λειτουργούν σε συχνότητες φέροντος κάτω των 10 GHz. Όμως, στις συχνότητες άνω των 10 GHz οι συνθήκες διάδοσης των ραδιοκυμάτων είναι δυσμενείς καθώς μια σειρά φυσικών φαινομένων που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν στην υποβάθμιση της δορυφορικής ζεύξης (Αράπογλου και συν, 2002).

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι δορυφορικές συνδέσεις που λειτουργούν σε συχνότητες άνω των 10 GHz να υποφέρουν από (Αράπογλου και συν, 2002) :

- διαλείψεις (fading) ή αποσβέσεις (attenuation) εξαιτίας ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (όπως η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι, οι παγοκρύσταλλοι),
- απορρόφηση από αέρια όπως το οξυγόνο και οι υδρατμοί (gaseous absorption),
- σπινθηρισμούς (scintillations) που συντελούνται στο σώμα της τροπόσφαιρας αλλά και στο σώμα της ιονόσφαιρας,
- αποπόλωση (depolarization).

Σε γενικές γραμμές μπορεί να ειπωθεί ότι σε συχνότητες κάτω των 10 GHz η εξασθένιση L_A είναι γενικά μικρή. Στην περίπτωση αυτή η κύρια αιτία της υποβάθμισης της ραδιοζεύξης εντοπίζεται στην ασυμφωνία πόλωσης. Η ασυμφωνία αυτή προκαλείται από την ιονόσφαιρα αλλά και από την παρουσία κρυστάλλων σε μεγάλο ύψος στην τροπόσφαιρα.

Σε μεγαλύτερες συχνότητες παρατηρούνται δύο φαινόμενα: αυτό της εξασθένησης και αυτό της ασυμφωνίας πόλωσης. Οι κύριες αιτίες πρόκλησης αυτών των φαινομένων είναι κατά κύριο λόγο τα ατμοσφαιρικά αέρια, οι βροχοπτώσεις και άλλα υδρομετέωρα. Όταν εξετάζεται ένα μικρό ποσοστό χρόνου στατιστικά τα φαινόμενα αυτά γίνονται πιο έντονα. Όταν μπορεί να γίνει αντιστάθμιση των φαινομένων αυτών, τότε η διαθεσιμότητα της ραδιοζεύξης αυξάνεται (Μενεγάκης, 2012).

4.2. Επίδραση βροχοπτώσεων

Σημαντικότερη απ' όλα αυτές τις δυσμενείς επιπτώσεις του φάσματος συχνοτήτων άνω των 10 MHz είναι η επίπτωση των διαλείψεων λόγω βροχής. Εξαιτίας αυτών κατά τη μετάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από το δορυφόρο στους επίγειους σταθμούς χάνεται ένα σημαντικό ποσοστό της εκπεμπόμενης ισχύος (Αράπογλου και συν, 2002).

Αν το δορυφορικό σύστημα είναι ψηφιακό, οι διαλείψεις λόγω βροχής(Αράπογλου και συν, 2002) :

- Επιβαρύνουν τη λειτουργία του δέκτη.
- Δυσχεραίνουν την ορθή αναγνώριση του μεταδοθέντος δυαδικού ψηφίου (bit)
- Αυξάνουν το ρυθμό λανθασμένων ψηφίων (Bit Error Rate- BER) στην έξοδο του δέκτη.

Όταν υπάρχει έντονη βροχόπτωση, η σημαντική εισαγόμενη απόσβεση μειώνει τον απαραίτητο για τη λειτουργία του δέκτη σηματοθορυβικό λόγο σε τέτοιο βαθμό που το δορυφορικό σύστημα τίθεται εκτός λειτουργίας (outage). Αυτό με τη σειρά του μειώνει τη συμπληρωματική, ως προς τη διακοπή της λειτουργίας του συστήματος, διαθεσιμότητα, δηλαδή το χρονικό ποσοστό στη διάρκεια ενός έτους κατά το οποίο το σύστημα μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες στους χρήστες του (Αράπογλου και συν, 2002).

Στα ψηφιακά δορυφορικά συστήματα η διαθεσιμότητα ορίζεται ως η πιθανότητα του ενδεχομένου ο ρυθμός BER να είναι χαμηλότερος κάποιου κατωφλίου. Όταν ο ρυθμός αυτός είναι μεγαλύτερος του κατωφλίου αυτού, τότε ο δέκτης δεν μπορεί να

αναπαραγάγει το σήμα πληροφορίας έχοντας χάσει το συγχρονισμό του (Αράπογλου και συν, 2002).

Όταν οι βροχοπτώσεις δεν είναι έντονες, οι αποσβέσεις/διαλείψεις εξαιτίας αυτών πλήττουν μόνο την ποιότητα υπηρεσιών του δορυφορικού συστήματος και όχι τη διαθεσιμότητά του. μέτρο ποιότητας θεωρείται η επίδοση που αντιστοιχεί στην πιθανότητα του ενδεχομένου ο ρυθμός BER να είναι μικρότερος από μία δεδομένη στάθμη (Αράπογλου και συν, 2002).

4.3. Εξασθένιση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων

Όταν τα ραδιοκύματα μεταδίδονται εν μέσω βροχής ή χιονόπτωσης υφίστανται εξασθένιση λόγω υδρομετεωρικής σκέδασης και απορρόφησης. Η υδρομετεωρική σκέδαση επηρεάζει κατά κύριο λόγο τις συχνότητες που βρίσκονται στη ζώνη συχνοτήτων EHF (>30 GHz) (Μενεγάκης, 2012).

Αντίθετα, η υδρομετεωρική απορρόφηση είναι ο κύριος παράγοντας που προκαλεί εξασθένιση στη ζώνη συχνοτήτων από 10 GHz έως 30 GHz. Ο συνδυασμός αυτών (δηλαδή της υδρομετεωρικής σκέδασης και απορρόφησης προκαλεί μια απόσβεση του δορυφορικού σήματος, που σε db είναι ανάλογη με το τετράγωνο της συχνότητας (Μενεγάκης, 2012).

4.4. Απόσβεση από αέρια της ατμόσφαιρας

Η συνολική απόσβεση των ραδιοκυμάτων ενισχύεται περισσότερο από την απορρόφηση αυτών από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας ειδικά όταν ο δορυφόρος έχει μικρή γωνία ανύψωσης. Βέβαια η απορρόφηση από αέρια της ατμόσφαιρας έχει μικρή συμβολή στη συνολική απόσβεση του δορυφορικού σήματος συγκριτικά με αυτήν που προκαλείται λόγω της βροχής (Μενεγάκης, 2012).

Η εξασθένιση λόγω απορρόφησης από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας εξαρτάται αφενός από τη θερμοκρασία και αφετέρου από την απόλυτη υγρασία μίας γεωγραφικής περιοχής. Αντίθετα, η εξασθένιση από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου από τις κλιματολογικές συνθήκες (Μενεγάκης, 2012).

4.5. Εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου

Το χιόνι και οι παγοκρύσταλλοι μετατρέπονται σε σταγόνες βροχής σε συγκεκριμένο ύψος από την επιφάνεια της γης, το οποίο ονομάζεται «ενεργό ύψος βροχής». Η περιοχή γύρω από το ενεργό ύψος βροχής, που συντελείται η μετατροπή αυτή, αποκαλείται «στρώμα τήξης». Όταν οι δορυφορικές ζεύξεις έχουν μικρή γωνία ανύψωσης και είναι περίοδος ελαφρών βροχοπτώσεων, το δορυφορικό σήμα που περνάει μέσα από το στρώμα τήξης υφίσταται σημαντικό βαθμού απόσβεση (Μενεγάκης, 2012).

4.6. Αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου

Η ακτινοβολία θορύβου αυξάνεται από τους ίδιους λόγους από τους οποίους αυξάνεται η εξασθένηση του δορυφορικού σήματος. με τον τρόπο αυτό αυξάνεται και ο ουράνιος θόρυβος. Πρόκειται για σημαντική αύξηση ειδικά στην περίπτωση επίγειων σταθμών με χαμηλή ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου (Μενεγάκης, 2012).

4.7. Τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί

Όταν ο δείκτης διάθλασης της τροπόσφαιρας μεταβάλλεται, δημιουργούνται διακυμάνσεις στη στάθμη των δορυφορικών σημάτων που είναι γνωστοί ως «σπινθηρισμοί» (scintillations). Οι διακυμάνσεις αυτές αυξάνονται με την αύξηση της συχνότητας και εξαρτώνται από το μήκος της διαδρομής του δορυφορικού σήματος μέσω της τροπόσφαιρας. Οι διακυμάνσεις της στάθμης συνοδεύονται και από διακυμάνσεις της φάσης του δορυφορικού σήματος (Μενεγάκης, 2012).

4.8. Παρεμβολές λόγω διάδοσης

Ένα δορυφορικό σύστημα και ένα επίγειο σύστημα επικοινωνιών καθώς και δύο δορυφορικά συστήματα που χρησιμοποιούν δορυφόρους σε γεωστατική τροχιά τοποθετημένους σε γειτονικές θέσεις δημιουργούν παρεμβολές μεταξύ τους. Όταν ο ουρανός είναι καθαρός οι παρεμβολές που υφίστανται μεταξύ δύο συστημάτων

εκφράζεται μέσω του λόγου της ισχύος του φέροντος σήματος προς την ισχύ του περιβάλλοντος CIRs (Carrier to Interference Ratio).

Αν υπάρχουν συνθήκες βροχόπτωσης η δορυφορική ζεύξη επιβαρύνεται από ενδεχόμενη απόσβεση λόγω βροχής όταν το επιθυμητό σήμα υφίσταται μεγαλύτερη απόσβεση από αυτήν που υφίσταται το ανεπιθύμητο σήμα από έναν γειτονικό δορυφόρο (Μενεγάκης, 2012).

4.9. Εξασθένιση από αμμοθύελλες

Η ειδική εξασθένιση (db/km) που υφίσταται στις περιπτώσεις αυτές είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ορατότητα. Εξαρτάται μάλιστα έντονα από την υγρασία που έχουν τα σωματίδια της άμμου. Πιο συγκεκριμένα στα 14 GHz είναι της τάξεως των 0,03 db/km για ξηρά σωματίδια, ενώ για σωματίδια που έχουν περίπου 20% υγρασία φτάνει τα 0,65 db/km. Η εξασθένιση εξαρτάται επίσης και από το μήκος της διαδρομής εντός της αμμοθύελλας. Αν το μήκος αυτό είναι 3km υπάρχει πιθανότητα η εξασθένιση να φτάσει μέχρι και 1db – 2db (Μενεγάκης, 2012).

4.10. Σπινθηρισμός

Πρόκειται για διακυμάνσεις του πλάτους του λαμβανόμενου φέροντος οι οποίες προκαλούνται από διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης της τροπόσφαιρας και της ιονόσφαιρας. Το πλάτος αυτών των διακυμάνσεων από κορυφή, σε συχνότητα 11 GHz και μέτριο γεωγραφικό πλάτος μπορεί να υπερβεί το 1db για ποσοστό 0,01% του χρόνου.

Η τροπόσφαιρα και η ιονόσφαιρα δεν έχουν τους ίδιους δείκτες διάθλασης. Ο δείκτης της τροπόσφαιρας ελαττώνεται όταν αυξάνεται το ύψος και είναι συνάρτηση των μετεωρολογικών συνθηκών. Είναι όμως ανεξάρτητος από τη συχνότητα. Αντίθετα, ο δείκτης διάθλασης της ιονόσφαιρας εξαρτάται από τη συχνότητα και τη συγκέντρωση ηλεκτρονίων σε αυτή.

Πάντως και οι δύο δείκτες υπόκεινται σε γρήγορες τοπικές μεταβολές. Η διάθλαση προκαλεί καμπυλότητα στην πορεία του κύματος και διακυμάνσεις της ταχύτητάς

του. κατ' επέκταση προκαλεί και διακυμάνσεις του χρόνου μετάδοσής του. ο ενοχλητικότερος σπινθηρισμός όλβων είναι ο ατμοσφαιρικός. Αυτός είναι εντονότερος όταν είναι μικρή η συχνότητα και ο επίγειος σταθμός βρίσκεται κοντά στον ισημερινό (Μενεγάκης, 2012).

4.11. Επίδραση του εδάφους – φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών

Όταν ο επίγειος σταθμός έχει μικρή κεραία, η οποία σε αυτήν την περίπτωση έχει μία δέσμη με μεγάλο εύρος, το λαμβανόμενο φέρων κύμα μπορεί να είναι το άθροισμα ενός κύματος το οποίο λαμβάνεται απευθείας και ενός κύματος που έχει ισοδύναμο πλάτος το οποίο λαμβάνεται μετά από αντανάκλαση στο έδαφος ή σε αντικείμενα του περιβάλλοντος χώρου.

Μεγάλη εξασθένηση παρατηρείται σε περίπτωση αθροίσματος αντίθετης φάσης. Όταν, όμως, ο επίγειος σταθμός είναι εξοπλισμένος με κεραία που διαθέτει αρκετή κατευθυντικότητα ώστε να αποκλείεται το κύμα από αντανάκλαση δεν παρατηρείται αυτό το φαινόμενο (Μενεγάκης, 2012).

ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι δορυφόροι κινούνται σε τριών ειδών τροχιές: HEO (High Earth Orbit) ή γεωσύγχρονη, MEO (Medium Earth Orbit) και LEO (Low Earth Orbit) ή ηλιοσύγχρονη ή πολική.
2. Η γεωστατική τροχιά επιλέγεται για τους δορυφόρους που μετρούν την ηλιακή δραστηριότητα, για τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους αλλά και για αυτούς που στέλνουν τα τηλεοπτικά σήματα. Στην ίδια τροχιά βρίσκονται και αρκετοί μετεωρολογικοί δορυφόροι.
3. Οι MEO τροχιές και συγκεκριμένα η ημι-σύγχρονη επιλέγεται από τους δορυφόρους προσδιορισμού θέσης (GPS) ενώ η τροχιά Molniya επιλέγεται από τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους για τις επικοινωνίες στο μακρινό βορά ή νότο.
4. Οι κατηγορίες δορυφορικών ραδιοεπικοινωνιών είναι οι: Fixed satellite service (FSS), Broadcasting satellite service (BSS), Mobile satellite service (MBS), Amateur satellite service (AmSS), Radio determination service (SDSS), Standard frequency & time signal satellite service (SFSS), Earth exploration satellite service (EESS), Space research service (SRS), Inter satellite service (ISS), Space operation service (SpO).
5. Οι διεθνείς δορυφορικοί οργανισμοί είναι η Intelsat, Inmarsat και Eutelsat.
6. Οι δορυφόροι λειτουργούν συνήθως στο φάσμα συχνοτήτων μεταξύ 1-80 GHz.
7. Οι δορυφορικοί τύποι εφαρμογών περιλαμβάνουν την τηλεόραση, τη σταθερή τηλεφωνία, την υπηρεσία κινητών επικοινωνιών και τα δίκτυα υπολογιστών και δεδομένων.
8. Τα δορυφορικά συστήματα έχουν πολλά πλεονεκτήματα στα οποία περιλαμβάνονται το γεγονός ότι παρέχουν κάλυψη μιας ευρείας περιοχής ενώ παράλληλα παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε ανθρώπους που κατοικούν σε απομακρυσμένες ή τεχνολογικά υποανάπτυκτες περιοχές, έχουν κόστος ανεξάρτητο από την απόσταση, μικρή αναλογία λάθους και προσαρμόζονται εύκολα στις αλλαγές και την εξέλιξη της τεχνολογίας.
9. Στα μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων συμπεριλαμβάνονται οι καθυστερήσεις μετάδοσης, λόγω της απόστασης, η εξάρτηση από μια απομακρυσμένη

εγκατάσταση, ο μικρότερος έλεγχος στην εκπομπή η σημαντική εξασθένηση του σήματος λόγω ατμοσφαιρικών σωματιδίων και βροχής στις υψηλές συχνότητες, η συνεχής χρέωση που εξαρτάται από το χρόνο χρήσης και η μειωμένη μετάδοση κατά την ηλιακή ισημερία.

10. Οι μέθοδοι πρόσβασης σε ένα δορυφόρο που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι η πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA), η πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) και πολλαπλή πρόσβαση με τη μέθοδο επιμερισμού κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA).

11. Τα προβλήματα διάδοσης των δορυφορικών σημάτων περιλαμβάνουν τις διαλείψεις ή αποσβέσεις, την απορρόφηση, το σπινθηρισμό και την αποπόλωση.

12. Οι κύριες αιτίες για τα προβλήματα διάδοσης είναι η επίδραση των βροχοπτώσεων, η εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, η απόσβεση από αέρια της ατμόσφαιρας, η εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου, η αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου, οι τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί, οι παρεμβολές λόγω διάδοσης, ο σπινθηρισμός και το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών λόγω της επίδρασης του εδάφους.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akujuobi CM, Sadiku MNO (2007). *Introduction to Broadband Communication Systems*. SciTech Publishing

Elbert BR (2004). *Satellite Communication Applications Handbook*. 2nd edition. ARTECH HOUSE, INC

Eutelsat. *Taking you above and beyond*. Corporate brochure. August, 2014

Eutelsat Communications. *Reference Document 2013-2014*

Frenzel L (2007). *Principles of Electronic Communication Systems*. Mc Graw-Hill, Inc, New York, USA.

The International Telecommunication Union (2002). *Handbook on Satellite Communications*, 3rd edition. Wiley

Takashi L (ed.), (2000). *Satellite Communications: System and its Design Technology*. Ohmsha, Ltd, Japan

Welti Rc (2012). *Satellite Basics for Everyone*. iUniverse

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανύσιος Θ (2010). *Το χρονικό των δορυφορικών επικοινωνιών – Εφαρμογή: Υλοποίηση συστήματος σε περιβάλλον πολυμέσων*. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών.

Αράπογλου ΠΜ, Παναγόπουλος ΑΔ, Κώττης ΠΓ, (2002). Διαφορική Λήψη σε Συστήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών. *Tech Chron Sci J TCG*, III(1-2):35-46

Μενεγάκης ΑΕ (2012). Ηλεκτρονικές διατάξεις δορυφορικών συστημάτων και δορυφορικές επικοινωνίες . Διπλωματική Εργασία. Χανιά

Πανταζάτου Κ, (2009). *Ηλεκτρομαγνητική Μελέτη και Υλοποίηση διαύλου επικοινωνίας Δορυφορικού Καναλιού*. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ρόππας Μ, (2005). Περιγραφή των λειτουργιών και των υποσυστημάτων ενός σύγχρονου γεωστατικού δορυφόρου. *Communication Solutions*, Μάρτιος – Απρίλιος 2005, σελ. 4-14

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

European Space Agency – ESA (2013). Satellite Anatomy. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/Satellite_anatomy (ανακτήθηκε: 28/11/14).

ESA – eduspace (2000). Δορυφορικές τροχιές. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMAPY4PVFG_0.html (ανακτήθηκε: 30/11/14).

INTELSAT. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.intelsat.com/about-us> (ανακτήθηκε: 15/01/15).

INMARSAT. *About us*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.inmarsat.com/about-us> (ανακτήθηκε, 15/01/15).v

NASA. *What Is Orbit?* July 7, 2010. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/what-is-orbit-58.html#.VJcgfl4gLw> (ανακτήθηκε: 30/11/14).

NASA – Earth Observatory. Catalog of Earth Satellite Orbits. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/page2.php> (ανακτήθηκε: 30/11/14).

Riebeek H (2009). Catalog of Earth Satellite Orbits. NASA – Earth Observatory. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog> (ανακτήθηκε: 30/11/14).

ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

SSL. 1300 Series Satellite Platform. Διαθέσιμη στον ιστότοπο:
<http://sslmda.com/html/products/1300.html> (ανακτήθηκε: 28/11/14)

European Astrotech. Galileo. Διαθέσιμη στον ιστότοπο:
<http://www.europeanastrotech.com/galileo> (ανακτήθηκε: 28/11/14)

Riebeek H (2009). Catalog of Earth Satellite Orbits. NASA – Earth Observatory.
Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog>
(ανακτήθηκε: 30/11/14).

NASA – Earth Observatory. Catalog of Earth Satellite Orbits. Διαθέσιμο στον
ιστότοπο: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/page2.php>
(ανακτήθηκε: 30/11/14).

Ανύσιος Θ (2010). *Το χρονικό των δορυφορικών επικοινωνιών – Εφαρμογή:
Υλοποίηση συστήματος σε περιβάλλον πολυμέσων*. Διπλωματική Εργασία.
Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών.

Frenzel L, (2013). *Fundamentals of Communications Access Technologies: FDMA,
TDMA, CDMA, OFDMA, and SDMA*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:
[http://electronicdesign.com/communications/fundamentals-communications-access-
technologies-fdma-tdma-cdma-ofdma-and-sdma#FCMA](http://electronicdesign.com/communications/fundamentals-communications-access-technologies-fdma-tdma-cdma-ofdma-and-sdma#FCMA) (ανακτήθηκε: 15/03/14)

The MAC level (link layer). Εικόνα διαθέσιμη στον ιστότοπο:
http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Linux.Wireless.mac.html
(ανάκτηση: 10/04/15)