

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Πλεονεκτήματα δορυφορικών συστημάτων

- Κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών
- Κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών
- Λειτουργία ανεξάρτητη από επίγεια δίκτυα
- Κάλυψη σταθερών και κινητών δεκτών
- Μικρό κόστος εγκατάστασης επίγειου δέκτη
- Μεγάλο εύρος ζώνης (ζώνες L, S, C, Ku, K, Ka, V, Q)
- Υψηλή ποιότητα υπηρεσιών
- Ευκολία αναδιάταξης



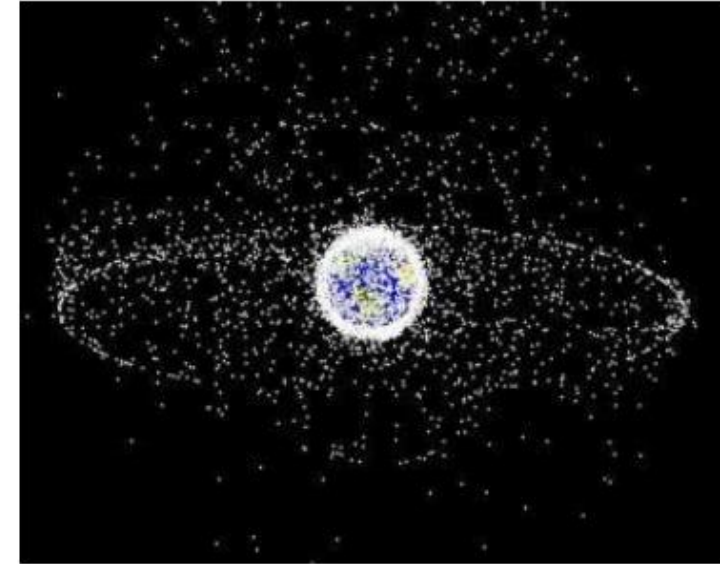
MEASAT 2A: Malaysia Ku band beam



Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Προβλήματα δορυφορικών συστημάτων (με GEO)

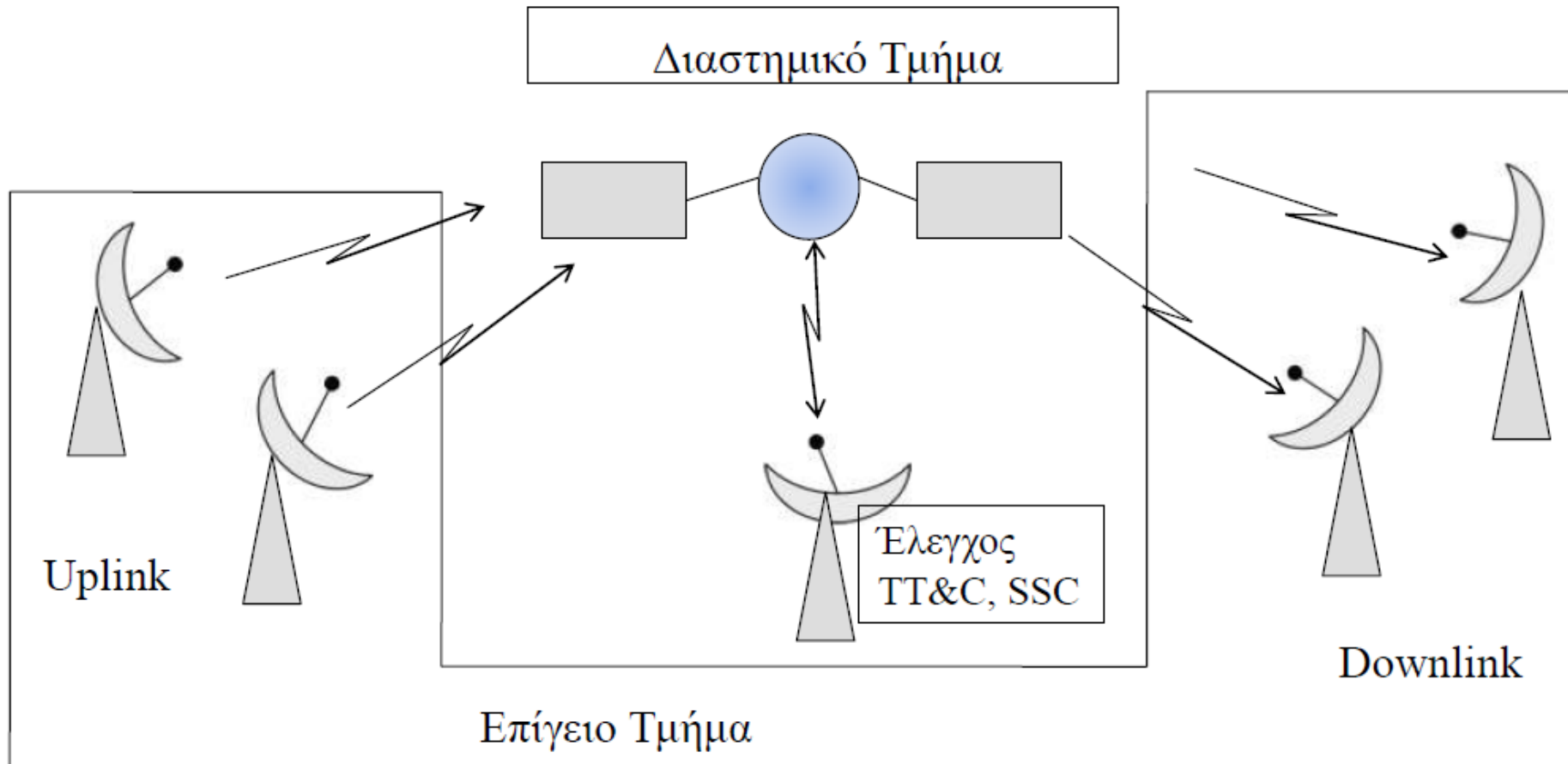
- Μεγάλη καθυστέρησης διάδοσης ~ 0.25 sec
- Μεγάλες απώλειες διάδοσης ~ 200 dB!
- Περιορισμένη διαθέσιμη ισχύς στο δορυφόρο
- Συμφόρηση στη γεωστατική τροχιά
- Υψηλό κόστος εκτόξευσης ~ 20000 euro/kg
- Ασφάλεια δεδομένων λόγω ευρυεκπομπής



Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Ένα δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελείται από:

- Το επίγειο τμήμα (*terrestrial segment*)
- Το διαστημικό τμήμα (*space segment*)



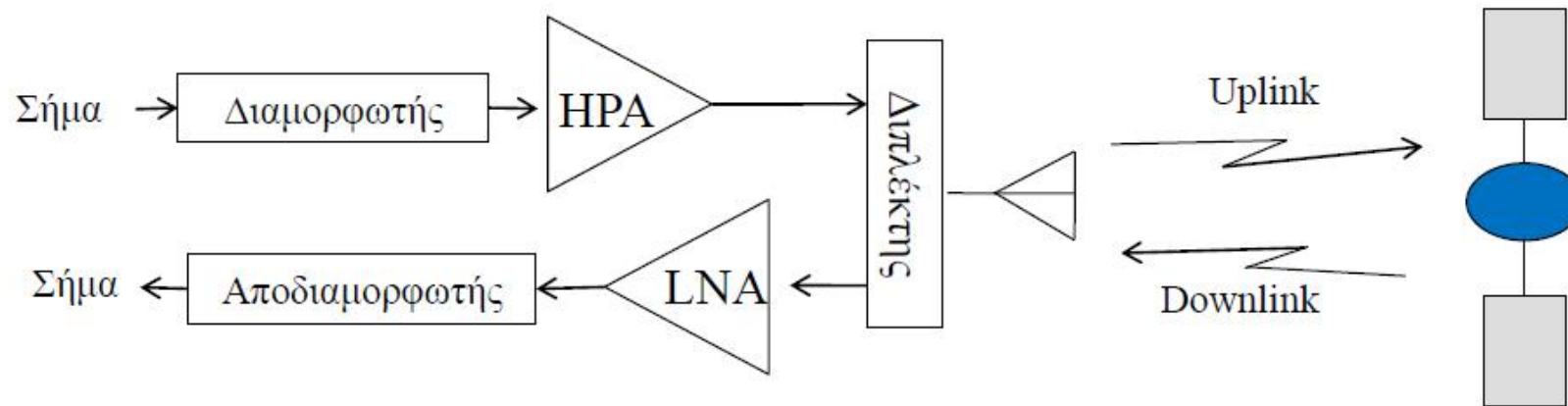
Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Επίγειο τμήμα (terrestrial segment)

- Δορυφορικός σταθμός
- VSAT
- Τερματικά χειρός
- Πλοία
- Αεροπλάνα



Δορυφορικός Σταθμός Θεσσαλονίκης



Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

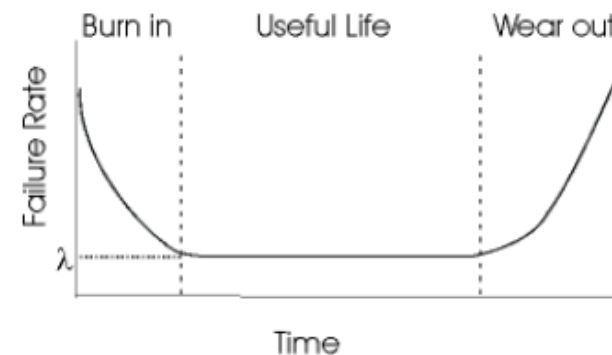
Το διαστημικό τμήμα έχει ως ρόλο

- Εκτόξευση του δορυφόρου
- Μεταφορά στη θέση τροχιάς
- Προετοιμασία και λειτουργία
 - Σταθμός παρακολούθησης, τηλεμετρίας & εντολών (*Tracking, Telemetry & Command Station (TT&C)*)
 - Έλεγχος θέσης μέσω τηλεμετρίας
 - Μετάδοση εντολών διόρθωσης θέσης
 - Κέντρο ελέγχου δορυφόρου (*Satellite Control Center (SCC)*)
 - Μετρήσεις πίεσης χώρου καυσίμων
 - Μετρήσεις τάσεων/ρευμάτων
 - Μετρήσεις θερμοκρασίας
- Παροπλισμός και καταστροφή

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Ο δορυφόρος αποτελείται από

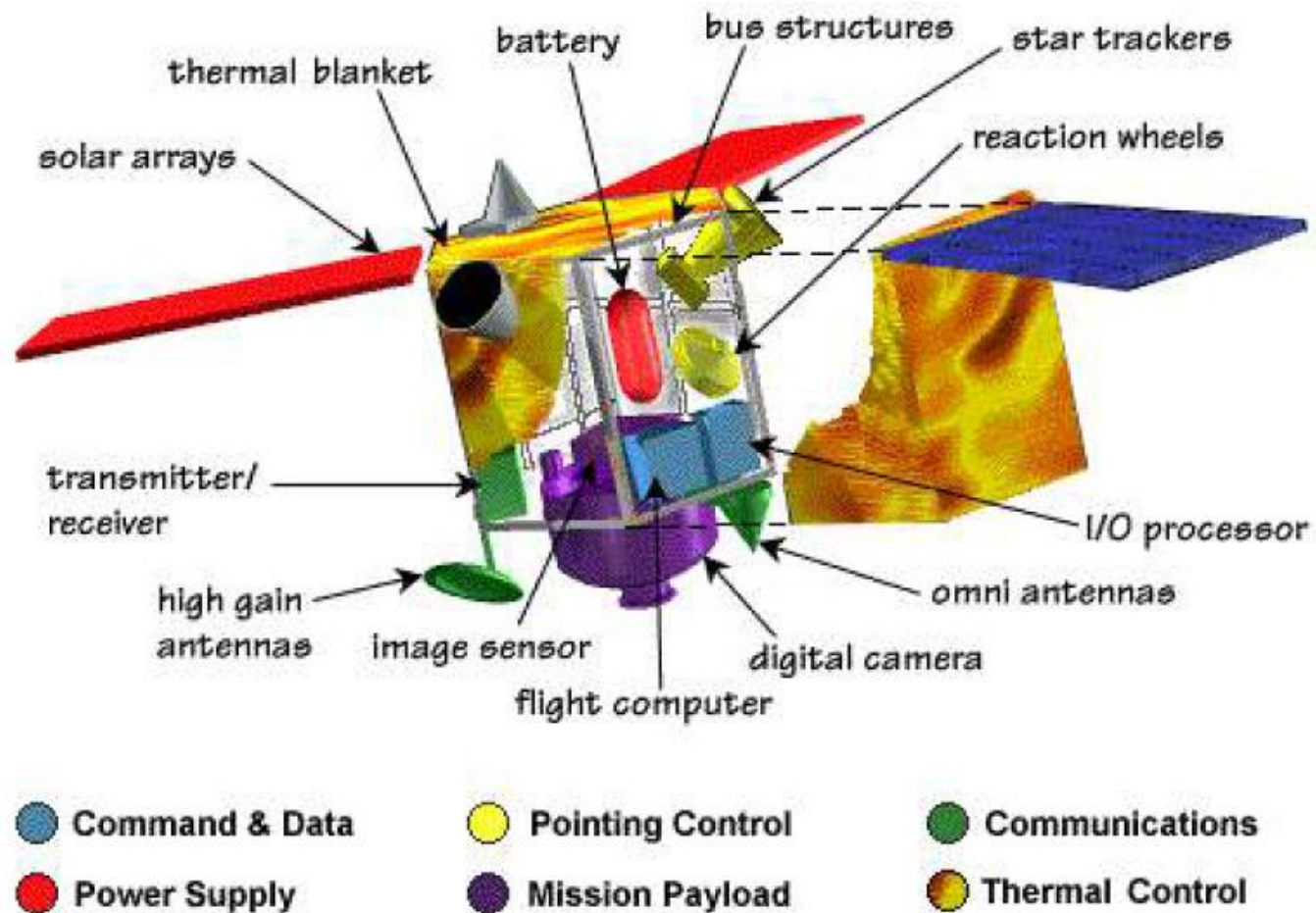
- Το ωφέλιμο φορτίο (*payload*)
 - Κεραίες
 - Αναμεταδότες (*transponders*)
 - Ηλεκτρονικός τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός
- Την πλατφόρμα (*platform*)
 - Μηχανική μέρη
 - Καύσιμα
 - Ενέργεια (μπαταρίες και ηλιακές κυψέλες)
 - Έλεγχο θερμοκρασίας, θέσης, τροχιάς, ελέγχου,...
 - Εξοπλισμό πρόωσης



Ο δορυφόρος πρέπει να χαρακτηρίζεται από

- Μεγάλη διάρκεια ζωής (*lifetime*)
- Υψηλή αξιοπιστία (*reliability*)
 - Εντατικά τεστ πριν την εκτόξευση
 - Πλεονασμός σε κρίσιμα σημεία

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών



Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Μερικά από τα βασικά θέματα, που συναντώνται στις δορυφορικές επικοινωνίες και πρέπει να ληφθούν υπόψη, προκειμένου να αντιμετωπιστούν, απεικονίζονται παρακάτω:

- Υπάρχει απαίτηση οι δορυφόροι να είναι μικροί, ελαφριοί και να καταναλώνουν την ελάχιστη δυνατή ενέργεια.
- Οποιαδήποτε αύξηση βάρους συνεπάγεται αύξηση κόστους εκτόξευσης λόγω των μεγαλύτερων πυραύλων εκτόξευσης.
- Με τη βασική πηγή ενέργειας να είναι ο ήλιος, η πηγή τροφοδοσίας τους πρέπει να είναι οι ηλιακές κυψέλες. Αύξηση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας σημαίνει αύξηση βάρους και επιφάνειας.

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

- Με τις επικοινωνίες να είναι η μοναδική πηγή εσόδων, απαιτείται μεγιστοποίηση των διαθέσιμων διαύλων.
- Λόγω του μεγάλου κόστους των δορυφόρων και της εκτόξευσης, απαιτείται μακροχρόνια λειτουργία, χωρίς συντήρηση.
- Με τις αντίξοες συνθήκες λειτουργίας εξαιτίας της εναλλαγής θερμοκρασίας, του συνεχούς βομβαρδισμού από υψηλή ακτινοβολία, υποατομικά σωματίδια, μικρομετεωρίτες, οι δορυφόροι θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί.
- Η απόσταση δορυφόρου-Γης είναι τεράστια (π.χ. 35.786km) και τα Η/Μ σήματα πρέπει να την ταξιδεύουν δύο φορές, για μια απλή ζεύξη. Με απλή εφαρμογή απωλειών διάδοσης ελεύθερου χώρου (αντίστροφα ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης) προκύπτουν τεράστιες απώλειες στην ισχύ του σήματος. Σε συχνότητες μεγαλύτερες των 10GHz πρέπει να προστεθούν και οι απώλειες εξαιτίας βροχής.

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

- Στην άνω-ζεύξη απαιτούνται ισχυροί πομποί και μεγάλες κεραίες, άρα αυξημένο κόστος.
- Στην κάτω-ζεύξη το μέγεθος της κεραίας και η ισχύς του πομπού είναι περιορισμένη από το μέγεθος του δορυφόρου και την ενέργεια, που μπορεί να παράγει. Τα λαμβανόμενα στη Γη σήματα είναι εξαιρετικά ασθενή, ασθενέστερα από οποιοδήποτε άλλο σύστημα επικοινωνιών. Άρα, απαιτούνται τεχνικές για την αντιμετώπιση της εξασθένησης και του θορύβου. Λόγω της απόστασης ακόμη και τα διάφορα υπάρχοντα πρωτόκολλα απαιτούν κάποια τροποποίηση για τη σωστή λειτουργία.

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

- Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης πρέπει να μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο, αλλά μεταβαλλόμενο αριθμό χρηστών, ταυτόχρονα και αποδοτικά.
- Οι επίγειοι σταθμοί πρέπει να είναι φθηνοί, αλλά και ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην επικοινωνία με τους δορυφόρους (π.χ. να τους εντοπίζουν γρήγορα, να μπορούν να αντεπεξέρχονται σε μεταβολές της τροχιάς τους κ.λπ.).

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Η χρήση τεχνητών (artificial) δορυφόρων σε διάφορες εφαρμογές παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι τα εξής (Maral & Bousquet, 2012):

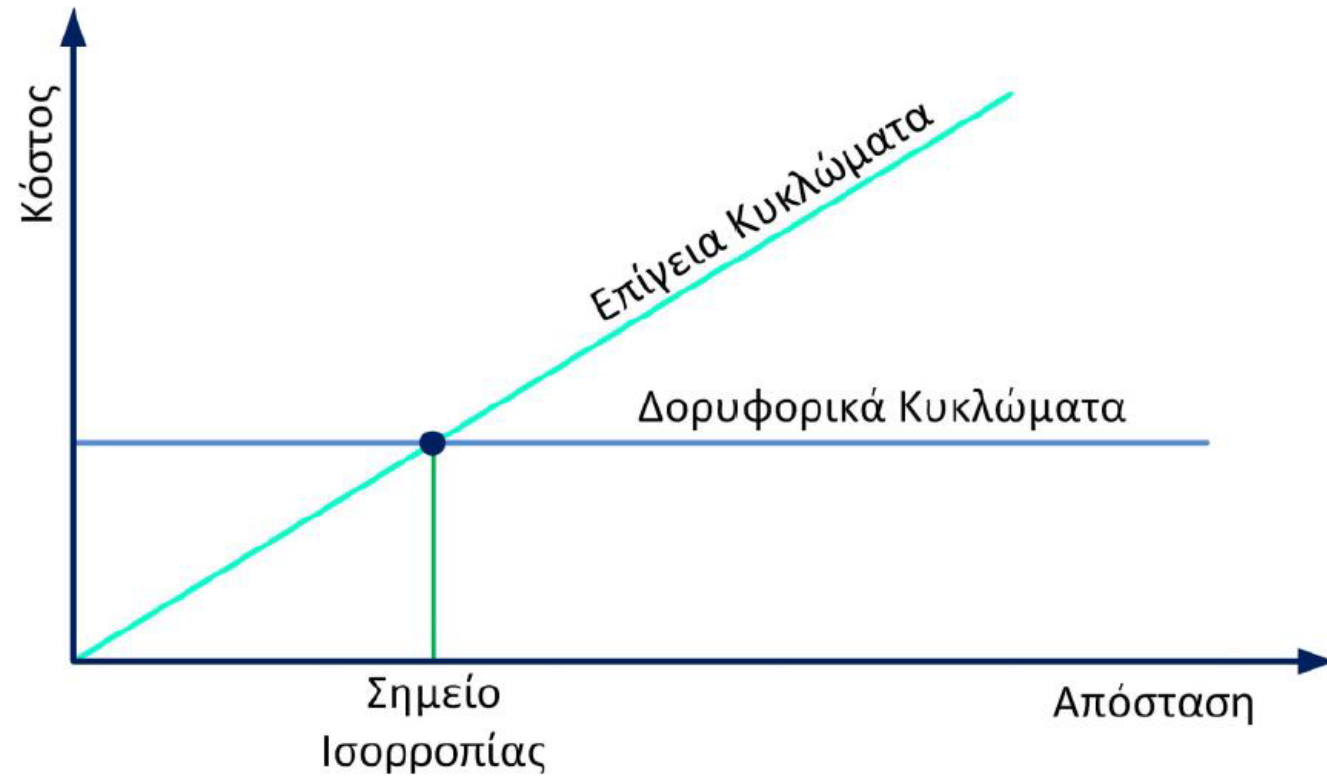
- Χρήση ανεξαρτήτως απόστασης.
- Μοναδική λύση για δυσπρόσιτες περιοχές και περιοχές, όπου τα επίγεια δίκτυα αδυνατούν να παρέχουν επικοινωνία (π.χ. πλοία, αεροπλάνα).
- Παγκόσμια κάλυψη εκπομπής σημάτων ευρείας ζώνης συχνοτήτων.
- Παράκαμψη των επίγειων δικτύων.
- Παροχή κινητών υπηρεσιών συμπληρωματικά ως προς τα επίγεια.
- Ευκολία εγκατάστασης και αναδιάταξης.
- Διασύνδεση επίγειων δικτύων ανεξάρτητα από την τεχνολογία και τον τύπο του δικτύου.
- Λειτουργία ακόμη και σε περιόδους φυσικών καταστροφών.

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Αλλά και μειονεκτήματα:

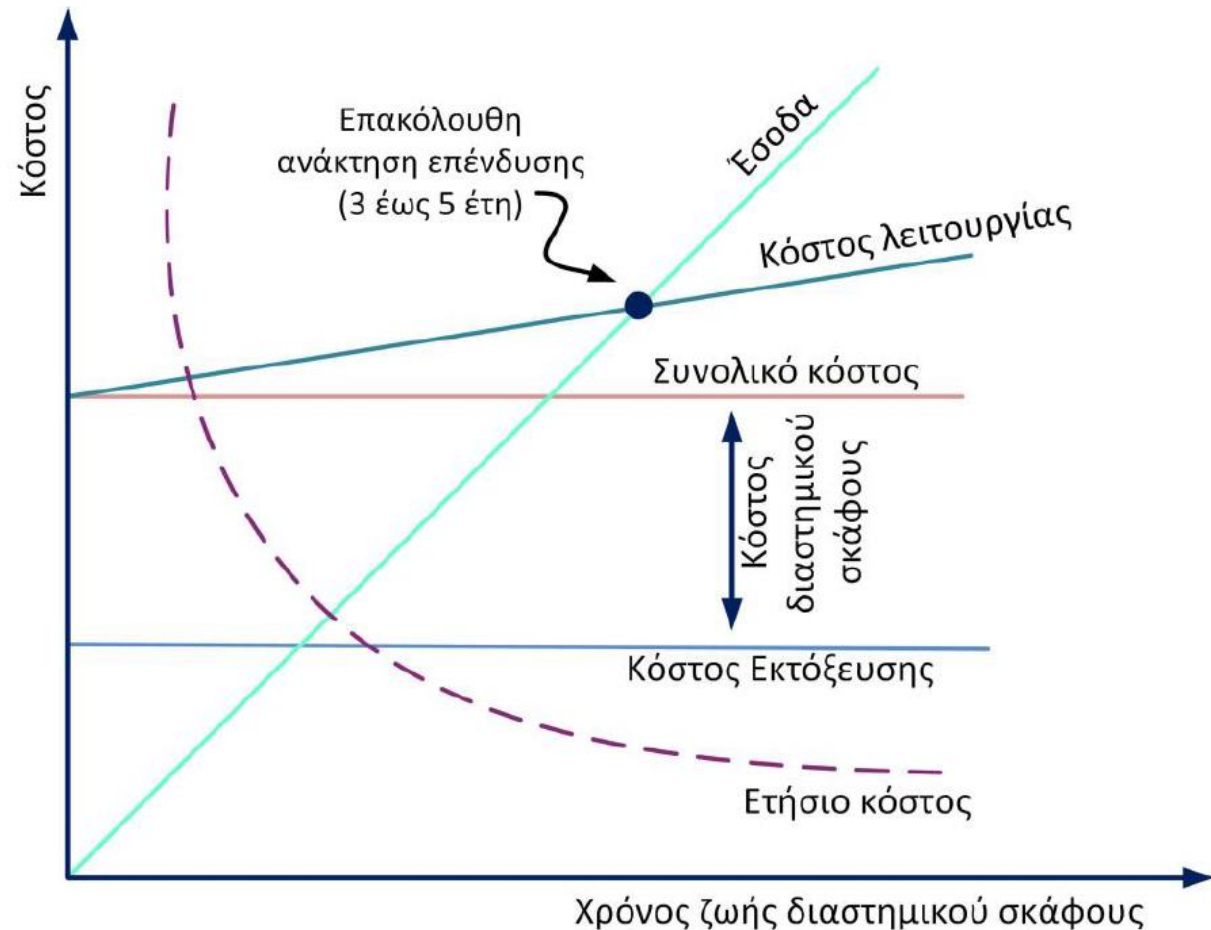
- Καθυστέρηση μετάδοσης της τάξης των 240ms (για γεωστατικούς δορυφόρους).
- Εξασθένηση των σημάτων εξαιτίας της μεγάλης απόστασης και του μέσου διάδοσης.
- Αύξηση της τρωτότητας (vulnerability) στις δορυφορικές επικοινωνίες εξαιτίας της εκπομπής στον αέρα, με αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγαλύτερες απαιτήσεις στην κρυπτογράφηση.
- Υψηλό κόστος τοποθέτησης και περιορισμένη διάρκεια ζωής σε αντιστοιχία με πιθανότητα αποτυχίας εκτόξευσης και επιτυχούς λειτουργίας.
- Συμφόρηση, η οποία συχνά παρατηρείται στη γεωστατική τροχιά και στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες.

Το κόστος μετάδοσης μέσω δορυφόρου για ένα δορυφορικό κανάλι είναι το ίδιο, ανεξάρτητα της απόστασης μεταξύ του πομπού και του δέκτη και ανεξάρτητα από τον αριθμό των επίγειων σταθμών που λαμβάνουν το σήμα. Χαρακτηριστικά, η προηγούμενη περιγραφή αποτυπώνεται στο Σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5 Ισορροπία κόστους-απόστασης

Γενικότερα, η ανάπτυξη ενός δορυφορικού συστήματος επιφέρει τεράστια έξοδα υλοποίησης και χρειάζεται ένα μεγάλο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης. Ειδικότερα, το κόστος κατασκευής και εκτόξευσης ενός γεωστατικού δορυφόρου υπολογίζεται περίπου στα 200-400 εκατομμύρια δολάρια. Εκτιμώντας ως διάρκεια ζωής του δορυφόρου τα 15 χρόνια από την εκτόξευση, προκειμένου να είναι επικερδής η επένδυση, υπολογίζεται ότι τα έσοδα από τον δορυφόρο θα πρέπει να ανέρχονται στα 20-30 εκατομμύρια δολάρια ετησίως. Κατά συνέπεια, χρειάζεται αρκετός χρόνος αναμονής μεταξύ της αρχικής επένδυσης και της επακόλουθης ανάκτησης της επένδυσης (break event point) σε σχέση με τις επίγειες επικοινωνίες, όπως απεικονίζεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 1.6.



Υπηρεσίες και εφαρμογές δορυφορικών επικοινωνιών

- **Σταθερή Δορυφορική Υπηρεσία** (Fixed Satellite Service, FSS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας μεταξύ επίγειων σταθμών σε δεδομένες θέσεις, όταν χρησιμοποιούνται ένας ή περισσότεροι δορυφόροι. Η δεδομένη θέση μπορεί να είναι ένα καθορισμένο σταθερό σημείο ή οποιοδήποτε σταθερό σημείο εντός των συγκεκριμένων περιοχών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η υπηρεσία αυτή περιλαμβάνει ζεύξεις δορυφόρου με δορυφόρο, οι οποίες μπορούν, επίσης, να λειτουργούν με δια-δορυφορική υπηρεσία. Η σταθερή δορυφορική υπηρεσία μπορεί ακόμη να περιλαμβάνει ζεύξεις τροφοδοσίας για άλλες υπηρεσίες δορυφορικών ραδιοεπικοινωνιών.
- **Δορυφορική Υπηρεσία Ευρυεκπομπής** (Broadcasting Satellite Service, BSS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας, στην οποία τα σήματα, που μεταδίδονται ή αναμεταδίδονται από διαστημικούς σταθμούς, προορίζονται για άμεση λήψη από το ευρύ κοινό. Στις δορυφορικές υπηρεσίες ευρυεκπομπών ο όρος «άμεση λήψη» περιλαμβάνει τόσο την ατομική λήψη όσο και τη λήψη ευρείας κοινότητας.

Υπηρεσίες και εφαρμογές δορυφορικών επικοινωνιών

- **Κινητή Δορυφορική Υπηρεσία (Mobile Satellite Service, MSS):** Υπηρεσία μεταξύ κινητών επίγειων σταθμών και ενός ή περισσότερων διαστημικών σταθμών ή μεταξύ διαστημικών σταθμών και μεταξύ κινητών επίγειων σταθμών μέσω ενός ή περισσότερων διαστημικών σταθμών. Η υπηρεσία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει για τη λειτουργία της και ζεύξεις τροφοδοσίας.
 - **Αεροναυτική Κινητή Δορυφορική Υπηρεσία (Aeronautical Mobile Satellite Service, AMSS):** κινητή υπηρεσία μεταξύ αεροναυτικών σταθμών και σταθμών αεροσκάφους ή μεταξύ σταθμών αεροσκάφους, στην οποία μπορεί να συμμετάσχουν και σταθμοί σωστικών σκαφών. Μπορούν, επίσης, να συμμετέχουν σε αυτή την υπηρεσία σταθμοί ένδειξης θέσης ραδιοφάρων (radiobeacon) για περιστατικά έκτακτης ανάγκης σε καθορισμένες συχνότητες κινδύνου και επείγουσας ανάγκης.
 - **Ναυτική Κινητή Δορυφορική Υπηρεσία (Maritime Mobile Satellite Service, MMSS):** κινητή δορυφορική υπηρεσία, στην οποία οι κινητοί επίγειοι σταθμοί βρίσκονται επί των πλοίων. Μπορούν, επίσης, να συμμετέχουν σε αυτή την υπηρεσία σταθμοί σωστικών σκαφών και σταθμοί ένδειξης θέσης ραδιοφάρων για περιστατικά έκτακτης ανάγκης.
 - **Κινητή Υπηρεσία Ξηράς (Land Mobile Satellite Service, LMSS):** κινητή δορυφορική υπηρεσία, στην οποία οι επίγειοι σταθμοί βρίσκονται στην ξηρά.

Υπηρεσίες και εφαρμογές δορυφορικών επικοινωνιών

- **Δορυφορική Υπηρεσία για Ερασιτέχνες** (Amateur Satellite Service, AmSS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας, που χρησιμοποιεί τους διαστημικούς σταθμούς σε δορυφόρους της Γης για τους ίδιους μη κερδοσκοπικούς λόγους, όπως η υπηρεσία ραδιοερασιτεχνών (εκπαίδευση, επικοινωνία, έρευνα).
- **Δορυφορική Υπηρεσία Ραδιοεντοπισμού** (Radio Determination Satellite Service, RDSS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας για τον σκοπό του ραδιοεντοπισμού της θέσης, της ταχύτητας και άλλων χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου, μέσω των ιδιοτήτων του μέσου διάδοσης. Περιλαμβάνει τη χρήση ενός ή περισσότερων δορυφορικών σταθμών και μπορεί, επίσης, να περιλαμβάνει ζεύξεις τροφοδοσίας, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη λειτουργία της.
- **Δορυφορική Υπηρεσία Πρότυπων Σημάτων Χρόνου και Συχνότητας** (Standard Frequency & Time signal Satellite Service, SFSS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας, που χρησιμοποιεί τους διαστημικούς σταθμούς σε δορυφόρους της Γης για τους ίδιους σκοπούς, όπως η βασική υπηρεσία σημάτων συχνότητας και χρόνου. Αυτή η υπηρεσία μπορεί, επίσης, να περιλαμβάνει και ζεύξεις τροφοδοσίας, που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία της.
- **Δια-Δορυφορική Υπηρεσία** (Inter-Satellite Service, ISS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας, που παρέχει ζεύξεις μεταξύ των τεχνητών δορυφόρων.

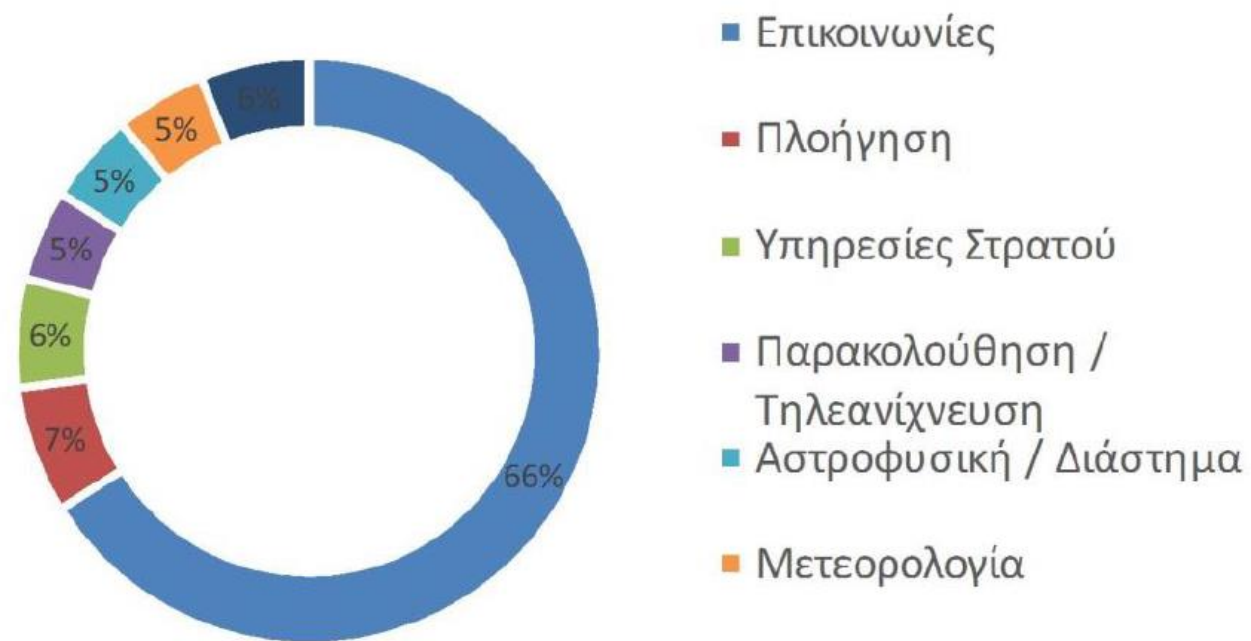
Υπηρεσίες και εφαρμογές δορυφορικών επικοινωνιών

- **Δορυφορική Υπηρεσία Εξερεύνησης της Γης (Earth Exploration Satellite Service, EESS):** υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας μεταξύ επίγειων σταθμών και ενός ή περισσότερων διαστημικών σταθμών, η οποία μπορεί να συμπεριλάβει ζεύξεις μεταξύ διαστημικών σταθμών κατά την οποία: α) συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της Γης και τα φυσικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος, από ενεργούς ή παθητικούς αισθητήρες σε δορυφόρους της Γης, β) συλλέγονται παρόμοιες πληροφορίες από αερομεταφερόμενες πλατφόρμες ή πλατφόρμες εδάφους, γ) οι πληροφορίες αυτές μπορούν να διανεμηθούν στους επίγειους σταθμούς εντός του συγκεκριμένου συστήματος, και δ) μπορεί να συμπεριληφθεί πλατφόρμα εξακρίβωσης των στοιχείων. Αυτή η υπηρεσία μπορεί, επίσης, να περιλαμβάνει και ζεύξεις τροφοδοσίας, που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία της.
 - **Μετεωρολογική Δορυφορική Υπηρεσία (Meteorological Satellite Service, MetS):** δορυφορική υπηρεσία επίγειας εξερεύνησης για μετεωρολογικούς σκοπούς.

Υπηρεσίες και εφαρμογές δορυφορικών επικοινωνιών

- **Υπηρεσία Έρευνας Διαστήματος** (Space Research Service, SRS): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας, στην οποία χρησιμοποιούνται για σκοπούς επιστημονικής ή τεχνολογικής έρευνας διαστημικά σκάφη ή άλλα αντικείμενα στο διάστημα.
- **Υπηρεσία Λειτουργίας Διαστήματος** (Space Operation Service, SpO): υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας, που αφορά αποκλειστικά τη λειτουργία των διαστημικών σκαφών και συγκεκριμένα την ιχνηλάτηση, την τηλεμετρία και τον τηλεχειρισμό στο διάστημα. Αυτές οι λειτουργίες θα πρέπει κανονικά να παρέχονται εντός της υπηρεσίας, στην οποία λειτουργεί ο διαστημικός σταθμός.

Υπηρεσίες και εφαρμογές δορυφορικών επικοινωνιών



Σχήμα 1.9 Κατανομή των δορυφορικών υπηρεσιών

Τμήματα Δορυφόρου

- Ένας δορυφόρος αποτελείται από:
 - Το κυρίως σώμα
 - Όργανα - Συσκευές για την σταθεροποίηση της τροχιάς
 - Πηγές ενέργειας
 - Επικοινωνιακό σύστημα
 - Υπολογιστικό σύστημα

Κυρίως Σώμα Δορυφόρου (1/2)

- Το εξωτερικό περίβλημα προστατεύει το δορυφόρο από τις συγκρούσεις με μικρομετεωρίτες και άλλα σώματα που βρίσκονται στο διάστημα
- Τα ηλεκτρονικά συστήματα του δορυφόρου είναι υψηλής ακρίβειας και συνεπώς αρκετά ευαίσθητα σε παρεμβολές από ακτινοβολίες

Κυρίως Σώμα Δορυφόρου (2/2)

- Το κύριο υλικό με το οποίο καλύπτονται τα διάφορα εξαρτήματα ώστε να απορροφάται η ακτινοβολία είναι ο μόλυβδος, που είναι φθηνός και έχει μεγάλη αντοχή
- Ένα συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό στην κατασκευή του σκελετού είναι το Kevlar, που είναι το όνομα προϊόντος ινών με μεγάλη αντοχή, χαμηλό βάρος και ανθεκτικότητα σε μεγάλες θερμοκρασίες

Έλεγχος Θέσης στην Τροχιά

- Οι τροχιές αλλοιώνονται λόγω τριβών και απαιτούνται ενέργειες για τη σταθεροποίηση του δορυφόρου
- Τεχνικές για τη σταθεροποίηση:
 - Χρήση πηνίων από τα οποία περνάει ηλεκτρικό ρεύμα (Απαιτούνται ηλιακοί συλλέκτες)
 - Χρήση προωθητήρων

Πηγές Ενέργειας

- Ηλιακοί Συλλέκτες
- Χρήση Μπαταριών
- Πυρηνική ενέργεια μέσω θερμοηλεκτρικών γεννητριών ραδιοϊσοτόπων
- Παραβολικό πιάτο που αντανακλά τη θερμότητα του ήλιου σε ένα boiler που κάνει τη μετατροπή της θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια

Επικοινωνιακό Σύστημα

- Κάθε δορυφόρος χρειάζεται κάποιον τρόπο ώστε να επικοινωνεί με επίγειους σταθμούς
- Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιας κεραίας
- Τύποι κεραιών:
 - Κλασική κεραία - Ένας συρμάτινος αγωγός
 - Κεραία Παραβολικού δίσκου
 - Δικτυωτές κεραίες
 - Inflatable κεραίες- Μοιάζουν με επίπεδο αλεξίπτωτο

Υπολογιστικό Σύστημα

- Το υπολογιστικό σύστημα ενός δορυφόρου πραγματοποιεί τις μετρήσεις, καταγράφει τις ενέργειες του δορυφόρου, ελέγχει τη θέση του κλπ.
- Το σύστημα που αποθηκεύει και αναλύει τα δεδομένα που έχει συλλέξει ο δορυφόρος λέγεται σύστημα τηλεμετρίας, ανίχνευσης και ελέγχου (telemetry tracking & control)

Είδη Τροχιάς (1/2)

- Κυκλική
 - Γεωστατική (GEO)
 - Μέση (MEO)
 - Χαμηλή (LEO)
 - Πολική
 - Συγχρονισμένη με τον ήλιο
- Ελλειπτική
- Βάσει της γωνίας ανύψωσης του δορυφόρου

- **Ελλειπτικές τροχιές** (High Elliptical Orbit, HEO) με γωνία κλίσης $63,44^\circ$ ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ο συγκεκριμένος τύπος τροχιάς είναι πολύ σταθερός ως προς τις διακυμάνσεις του γήινου βαρυτικού δυναμικού και λόγω της κλίσης επιτρέπει στον δορυφόρο να καλύψει περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος για μεγάλο κλάσμα της περιόδου της τροχιάς, καθώς αυτός κινείται στο απόγειο. Ο δορυφόρος παραμένει πάνω από τις περιοχές, που βρίσκονται κάτω από το απόγειο για μία περίοδο της τάξης των 8 με 12 ωρών. Επίσης, οι κεκλιμένες ελλειπτικές τροχιές μπορούν να εξασφαλίσουν ζεύξεις σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη, όταν ο δορυφόρος βρίσκεται κοντά στο απόγειο με γωνίες ανύψωσης κοντά στις 90° .

- **Κυκλικές τροχιές μικρού ύψους (Low Earth Orbit, LEO).** Το ύψος του δορυφόρου είναι σταθερό και ίσο με μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα (700-1000km). Η περίοδος είναι της τάξης της 1,5 ώρας. Με σχεδόν 90° κλίση ο συγκεκριμένος τύπος τροχιάς εγγυάται ότι ο δορυφόρος θα περάσει πάνω από κάθε περιοχή της Γης. Γι' αυτό τον λόγο ο συγκεκριμένος τύπος τροχιάς επιλέγεται για δορυφόρους παρατήρησης (π.χ. ο δορυφόρος SPOT, με ύψος τροχιάς 830km, κλίση τροχιάς $98,7^\circ$, περίοδο 101min). Ένας "αστερισμός" μερικών δεκάδων δορυφόρων κυκλικής τροχιάς σε μικρό ύψος (της τάξης των 1000km) μπορεί να παρέχει παγκόσμιες επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο. Μερικά τέτοια συστήματα, που έχουν προταθεί, είναι τα Iridium, Globalstar, Ellipsat και Teledesic.

- **Κυκλικές τροχιές μέσου ύψους** (Medium Earth Orbit, MEO) ή ενδιάμεσες κυκλικές τροχιές (Intermediate Circular Orbits, ICO). Οι τροχιές αυτές έχουν ύψος περίπου 10.000-20.000 km, κλίση περίπου 50° και η περίοδος είναι 6 ώρες. Με συστήματα 10 έως 15 δορυφόρων είναι δυνατό να επιτευχθεί εγγυημένη παγκόσμια κάλυψη για παροχή επικοινωνιών σε πραγματικό χρόνο. Ένα υπό σχεδιασμό σύστημα αυτού του τύπου είναι το σύστημα new-ICO (προέρχεται από το σύστημα Project 21 του INMARSAT) ή Pendrell Corporation, όπως μετονομάστηκε τον Ιούνιο του 2011, με σύστημα 10 δορυφόρων σε 2 τροχιακά επίπεδα και κλίση 45° .

- **Κυκλικές τροχιές με μηδενική κλίση** (ισημερινές τροχιές) ή **γεωστατική τροχιά** (Geostationary Earth Orbit, GEO). Η πιο γνωστή είναι η τροχιά των γεωστατικών δορυφόρων. Οι δορυφόροι περιστρέφονται γύρω από τη Γη σε ύψος 35.786km και με την ίδια φορά, όπως η Γη. Η περίοδος είναι ίση με της Γης, με αποτέλεσμα ο δορυφόρος να φαίνεται σαν ένα σταθερό σημείο στον ουρανό. Ένας γεωστατικός δορυφόρος εξασφαλίζει συνεχή κάλυψη ως αναμεταδότης σε πραγματικό χρόνο, για την περιοχή στην οποία είναι ορατός (περίπου 42,4% της επιφάνειας της Γης). Κατά συνέπεια, 3 δορυφόροι είναι αρκετοί για την πλήρη κάλυψη της επιφάνειας της Γης.

Ένας ιδιαίτερα σημαντικός τύπος τροχιάς είναι η **ηλιο-σύγχρονη τροχιά** (Sun-Synchronous Orbit). Οι παράμετροι αυτής της τροχιάς είναι επιλεγμένες με τέτοιο τρόπο, ώστε το επίπεδο της τροχιάς να περιστρέφεται με την ίδια περίοδο περίπου που περιστρέφεται η Γη γύρω από τον Ήλιο. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι το επίπεδο της τροχιάς του δορυφόρου περιστρέφεται κατά 1° περίπου κάθε ημέρα. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί, επειδή η Γη δεν είναι τελείως σφαιρική, με αποτέλεσμα πρόσθετες βαρυτικές δυνάμεις, οι οποίες δρουν στον δορυφόρο, όταν βρίσκεται κοντά στον ισημερινό, να επιδρούν στην τροχιά του. Σε μία ηλιο-σύγχρονη τροχιά ο δορυφόρος περνά από το ίδιο σημείο την ίδια τοπική ώρα. Αυτού του είδους η τροχιά χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα, στα οποία οι δορυφόροι πρέπει να δέχονται ηλιακή ακτινοβολία σταθερά υπό συγκεκριμένη γωνία.

Επίσης, με τον όρο **γεωσύγχρονος δορυφόρος** (Geo-Synchronous Satellite) προσδιορίζεται ο δορυφόρος εκείνος, ο οποίος έχει περίοδο περιστροφής ίση με την περίοδο περιστροφής της Γης, δηλαδή $T=23h\ 56min\ 4,1sec$. Κάνοντας χρήση της σχέσης, μπορεί να υπολογιστεί ότι το ύψος ενός γεωσύγχρονου δορυφόρου είναι ίσο με 35.786km. Η ταχύτητα ενός γεωσύγχρονου δορυφόρου είναι 3.075m/sec, ενώ η κλίση αλλά και η εκκεντρότητα της γεωσύγχρονης τροχιάς μπορούν να έχουν γενικά οποιαδήποτε τιμή.

Προφανώς, ο γεωσύγχρονος δορυφόρος, του οποίου η τροχιά έχει μηδενική εκκεντρότητα και κλίση, δηλαδή κινείται σε κυκλική τροχιά στο επίπεδο του ισημερινού (γεωστατική τροχιά), είναι **γεωστατικός** (Geostationary Satellite) δορυφόρος. Εάν το επίπεδο τροχιάς του δορυφόρου είναι το ισημερινό επίπεδο και η τροχιά του είναι κυκλική και η ταχύτητα περιστροφής του ταυτίζεται με αυτήν της Γης, θα φαίνεται από τον επίγειο σταθμό ως ένα σταθερό σημείο στον ουρανό. Όμως, οι γεωστατικοί δορυφόροι παρουσιάζουν μία μικρή ολίσθηση, έτσι ώστε η τροχιά τους να παρουσιάζει μια μικρή κλίση. Το φαινόμενο αυτό, που οφείλεται σε φαινόμενα έλξεων από τον Ήλιο ή από τη Σελήνη, μπορεί να δημιουργήσει, αν δεν ληφθεί πρόνοια, μια γωνία κλίσης, η οποία θα είναι αρκετές μοίρες στη διάρκεια ενός χρόνου. Γι' αυτό τον λόγο η τροχιά του γεωστατικού δορυφόρου διορθώνεται περιοδικά, ώστε να παραμένει στο ισημερινό επίπεδο.

Όσον αφορά τους δορυφόρους **μέσης γήινης τροχιάς** (MEO), το ύψος της τροχιάς τους κυμαίνεται στα 10.000-20.000km, με κλίση περίπου 50% και περίοδο περιστροφής γύρω από την Γη περίπου 6 ώρες. Για να πετύχουν πλήρη κάλυψη της Γης, πρέπει να υλοποιήσουν έναν αστεροειδή σχηματισμό 10-15 δορυφόρων. Έχουν πολύ μικρότερες απώλειες διάδοσης και μικρότερη καθυστέρηση μετάδοσης λόγω κοντινότερης απόστασης από τη Γη. Όμως, λόγω της μεταβολής της γωνιακής τους ταχύτητας σε σχέση με το έδαφος απαιτείται διαρκής παρακολούθηση της θέσης τους, ενώ η εκτόξευση, συντήρηση και αντικατάσταση μεγάλου αριθμού δορυφόρων οδηγούν σε αύξηση του κόστους. Παραδείγματα δορυφόρων MEO είναι οι 24 δορυφόροι του Παγκόσμιου Συστήματος Ανεύρεσης Θέσης (Global Positioning Systems, GPS), οι οποίοι βρίσκονται σε τροχιά σε υψόμετρο 20.000km περίπου.

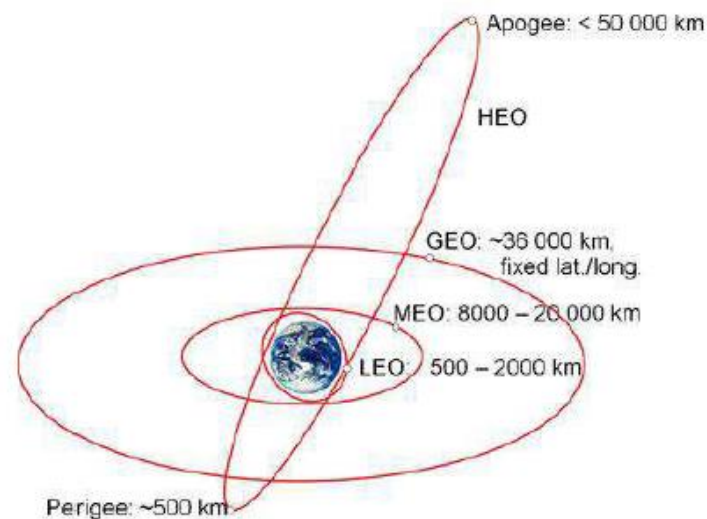
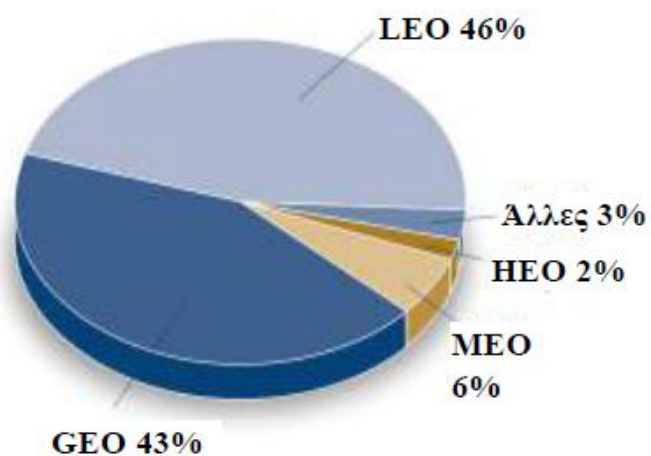
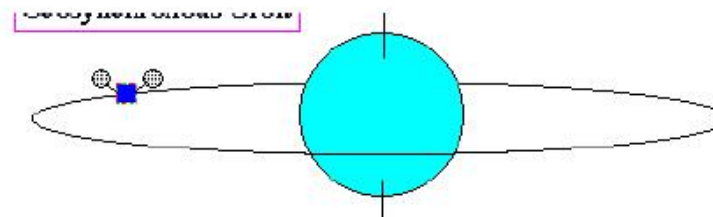
Στους δορυφόρους **χαμηλής γήινης τροχιάς** (LEO) το ύψος της τροχιάς τους κυμαίνεται από 700 έως 1000km και η κλίση τους είναι της τάξεως των 90° περίπου. Έχουν μικρότερες απώλειες διάδοσης, επιτυγχάνοντας τη χρήση μικρότερων επίγειων τερματικών, ενώ λόγω της μικρότερης απόστασης από την Γη, επιτυγχάνουν καθυστέρηση της μετάδοσης σε επίπεδα όμοια με αυτά των οπτικών ινών. Λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής και του μεγάλου αριθμού των δορυφόρων, που απαιτούνται για την πλήρη κάλυψη της Γης, έχουν μεγάλο κόστος λειτουργίας και μικρότερη διάρκεια ζωής, εξαιτίας της γρήγορης εξάντλησης των αποθεμάτων καυσίμων.

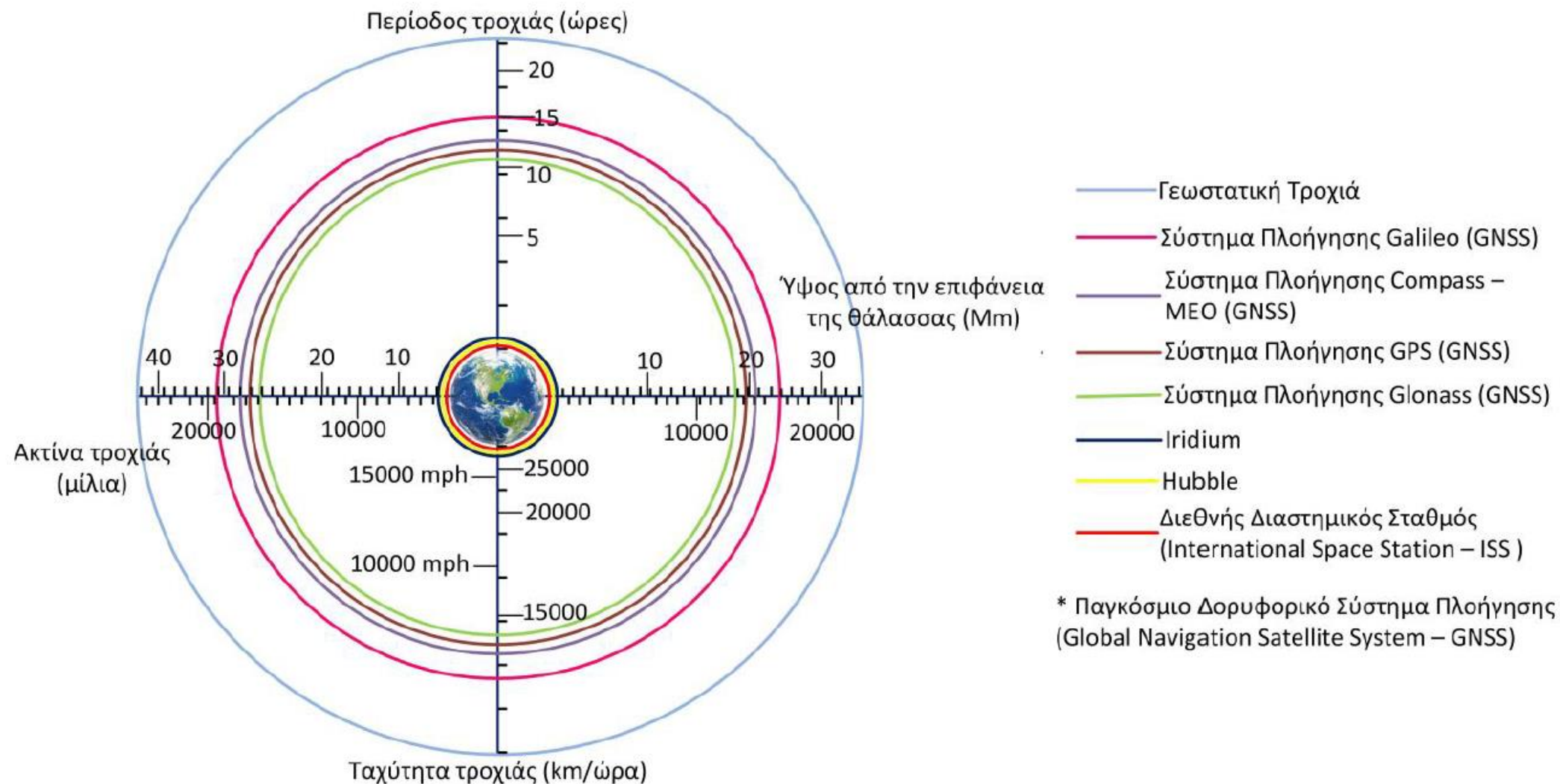
Τα βασικά κριτήρια επιλογής τύπου της τροχιάς είναι η έκταση της προς κάλυψη περιοχής, το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, η επιθυμητή γωνία ανύψωσης, η επιθυμητή διάρκεια εκπομπής, η μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση εκπομπής, η ανοχή στις παρεμβολές, η απόδοση των εκτοξευτών και, φυσικά, το κόστος.

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Δορυφορικές Τροχιές

- Γεωστατική (*Geostationary Earth Orbit (GEO)*)
- Έντονα ελλειπτική (*Highly inclined Earth Orbit (HEO)*)
- Μέσου ύψους (*Medium Earth Orbit (MEO)*)
- Χαμηλού ύψους (*Low Earth Orbit (LEO)*)



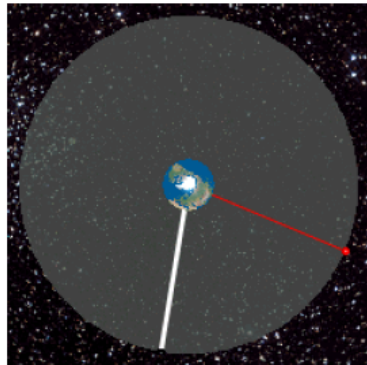


Σχήμα 1.8 Σύγκριση γεωστατικής γήινης τροχιάς με το σύστημα GPS, τις τροχιές του συστήματος δορυφορικής πλοήγησης GLONASS, Galileo και Compass (μεσαία γήινη τροχιά), τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, το διαστημικό τηλεσκόπιο

Τροχιές (2/2)

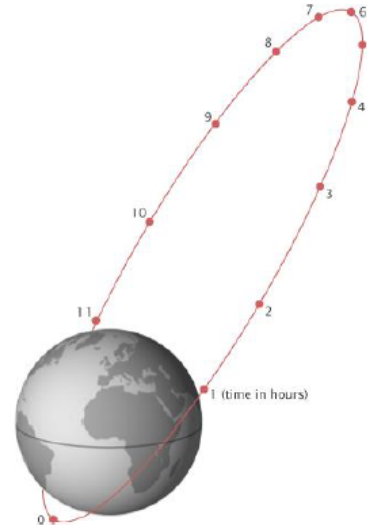
Γεωστατική τροχιά (πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Geostationary_orbit#/media/File:Geostationaryjava3D.gif)



Ελλειπτική τροχιά (πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Molniya_orbit#/media/File:NASA_molniya_oblique.png)



Τεχνολογίες Δορυφόρων

- Υπάρχουν πλήθος διαθέσιμων τεχνολογιών:
 - ARCHIMEDES
 - ARIES
 - GEOSTAR
 - GLOBALSTAR
 - INMARSAT
 - INTELSAT 5
 - INTELSAT 6,7
 - IRIDIUM
 - MSAT