

ΔΟΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΖΕΥΞΕΙΣ

7^ο Εξάμηνο

Σώζος Κώστας

Περίγραμμα

- 1→ Περιεχόμενα, εισαγωγή 17 Οκτώβρη
- 2→ Διάλεξη 1 → Δομικές μονάδες+Ψηφιακή μετάδοση 24 Οκτώβρη
- 3→ Διάλεξη 2 – Εργασίες → Κεραίες+Θόρυβος+ Link budget 31 Οκτώβρη
- 4→ Διάλεξη 3 → Παραδείγματα απλών ζεύξεων 7 Νοέμβρη
- 5→ Επανάληψη-Ασκήσεις στις ζεύξεις 14 Νοέμβρη
- 6→ Ενδιάμεση Εξέταση 21 Νοέμβρη
- 7→ Διάλεξη 4 → Περιβάλλον-φαινόμενα διάδοσης-αντιστάθμιση 28 Νοέμβρη
- 8→ Διάλεξη 5 → Πολλαπλή πρόσβαση 5 Δεκέμβρη
- 9→ Διάλεξη 6 → Κινητά Κανάλια 12 Δεκέμβρη
- 10→ Διάλεξη 7→ Εργαστήριο Matlab 19 Δεκέμβρη
- 11→ Παρουσίαση εργασιών 9 Γενάρη
- 12→ Επανάληψη-θέματα 16 Γενάρη

Εισαγωγή στα Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνιών

- Τα πρώτα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών είχαν υψηλό κόστος και μικρές δυνατότητες.
- INTELSAT I (68 kg, 480 κανάλια, \$32,500/κανάλι ανά έτος)
- Η τεχνολογική πρόοδος οδήγησε σε μείωση κόστους και αύξηση χωρητικότητας.
- INTELSAT VIII (3,600 kg, 22,500 κανάλια, \$1,000/κανάλι ανά έτος).

Βασικά Θέματα Δορυφορικών Επικοινωνιών

- Απαίτηση για μικρό μέγεθος, μικρό βάρος και ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.
- ❖ Ηλιακές κυψέλες ως βασική πηγή ενέργειας.
- Αύξηση της διάρκειας ζωής των δορυφόρων χωρίς ανάγκη συντήρησης.
- Αντιμετώπιση αντίξωων συνθηκών (θερμοκρασία, ακτινοβολία, μικρομετεωρίτες).

Τεχνικές Προκλήσεις και Αντιμετώπιση στις Δορυφορικές Επικοινωνίες

Απώλειες ισχύος λόγω απόστασης:

- Η απόσταση δορυφόρου-Γης (π.χ. 35,786 km για γεωστατικές τροχιές) απαιτεί τα Η/Μ σήματα να διανύουν αυτή την απόσταση δύο φορές.
- Οι απώλειες διάδοσης ελεύθερου χώρου είναι αντίστροφα ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης, οδηγώντας σε σημαντική μείωση της ισχύος του σήματος.
- Για συχνότητες άνω των 10 GHz, οι απώλειες αυξάνονται λόγω βροχής.

Απαιτήσεις στην άνω και κάτω ζεύξη:

- Άνω ζεύξη: Απαιτούνται ισχυροί πομποί και μεγάλες κεραίες στους επίγειους σταθμούς, γεγονός που αυξάνει το κόστος.
- Κάτω ζεύξη: Η ισχύς του πομπού και το μέγεθος της κεραίας περιορίζονται από τις δυνατότητες του δορυφόρου. Τα λαμβανόμενα σήματα στη Γη είναι εξαιρετικά ασθενή, απαιτώντας τεχνικές ενίσχυσης και αντιμετώπισης θορύβου.

Αντιμετώπιση εξασθένισης και θορύβου:

- Χρήση τεχνικών ενίσχυσης για την αύξηση της ισχύος του σήματος.
- Προσαρμογές στα υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνιών για την αντιμετώπιση καθυστερήσεων και απωλειών.

Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης:

- Πρέπει να υποστηρίζουν μεγάλο και μεταβαλλόμενο αριθμό χρηστών ταυτόχρονα, με αποδοτική χρήση των πόρων.

Πλεονεκτήματα των Δορυφορικών Συστημάτων

- Η μετάδοση είναι ανεξάρτητη της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη.
- Παρέχει επικοινωνία σε περιοχές όπου τα επίγεια δίκτυα δεν μπορούν να φτάσουν, όπως σε πλοία και αεροπλάνα.
- Εκπομπή σημάτων ευρείας ζώνης συχνοτήτων για παγκόσμια κάλυψη.
- Παράκαμψη των επίγειων δικτύων και παροχή συμπληρωματικών κινητών υπηρεσιών.
- Γρήγορη και εύκολη αναδιάταξη της επικοινωνίας.
- Ανεξάρτητη της τεχνολογίας και του τύπου των δικτύων, ιδανική για διασύνδεση διαφορετικών συστημάτων.
- Διατήρηση της επικοινωνίας ακόμα και όταν τα επίγεια δίκτυα είναι εκτός λειτουργίας.



MEASAT 2A: Malaysia Ku band beam



Μειονεκτήματα των Δορυφορικών Συστημάτων

- Λόγω μεγάλης απόστασης και των συνθηκών διάδοσης, τα σήματα εξασθενούν σημαντικά. (Απώλειες ~200 dB)
- Περιορισμένη ισχύς, ιδιαίτερα στην κάτω ζεύξη.
- Σε γεωστατικούς δορυφόρους, η καθυστέρηση μετάδοσης φτάνει τα 240 ms, επηρεάζοντας την ποιότητα της επικοινωνίας φωνής.
- Η μετάδοση μέσω του αέρα καθιστά τα δορυφορικά συστήματα πιο ευάλωτα σε επιθέσεις, απαιτώντας υψηλή κρυπτογράφηση.
- Το κόστος τοποθέτησης δορυφόρου είναι υψηλό, με περιορισμένη διάρκεια ζωής και πιθανότητα αποτυχίας εκτόξευσης. (2000 euro/kg)
- Παρατηρείται συχνά συμφόρηση στις γεωστατικές τροχιές και στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες.

Κόστος και Οικονομικές Προκλήσεις

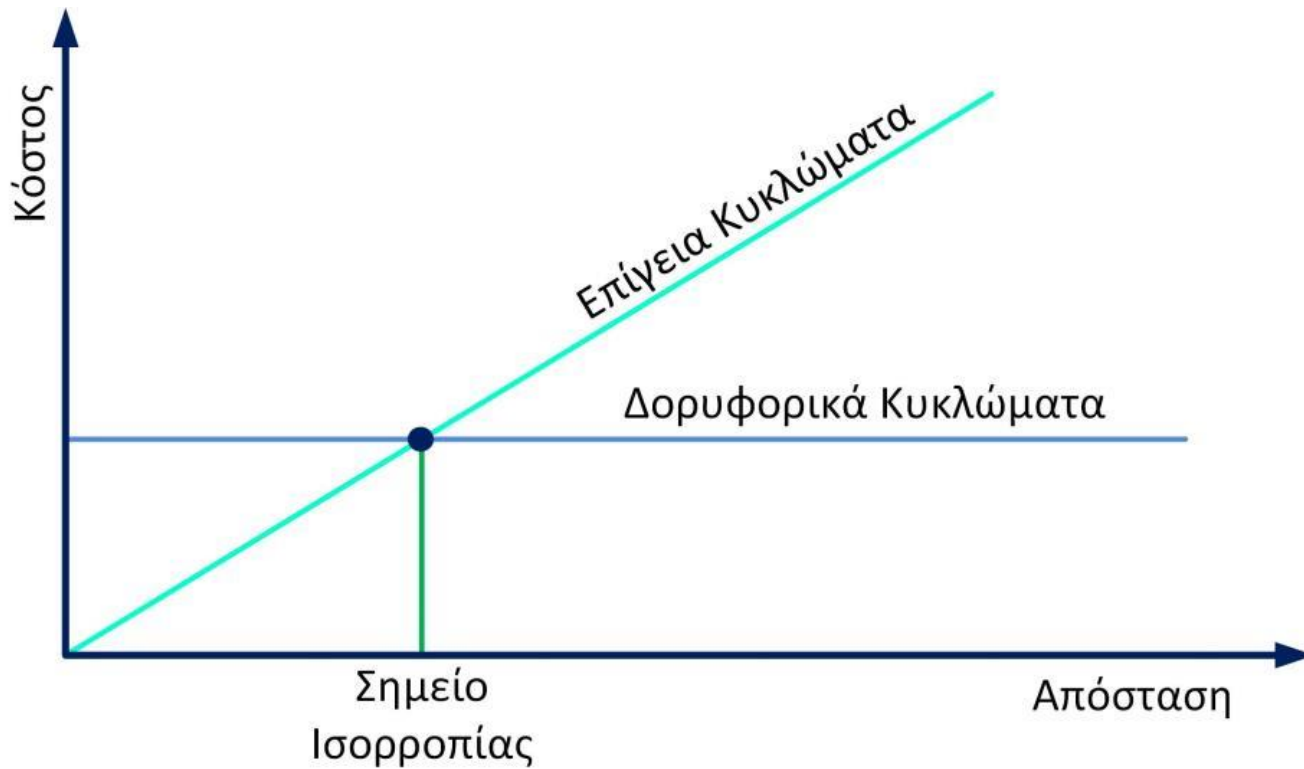
Κόστος Κατασκευής και Εκτόξευσης:

- Το κόστος κατασκευής και εκτόξευσης ενός γεωστατικού δορυφόρου υπολογίζεται στα \$200-400 εκατομμύρια.
- Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής: 15 έτη.
- Για να είναι επικερδής η επένδυση, τα έσοδα θα πρέπει να ανέρχονται σε \$20-30 εκατομμύρια ετησίως.

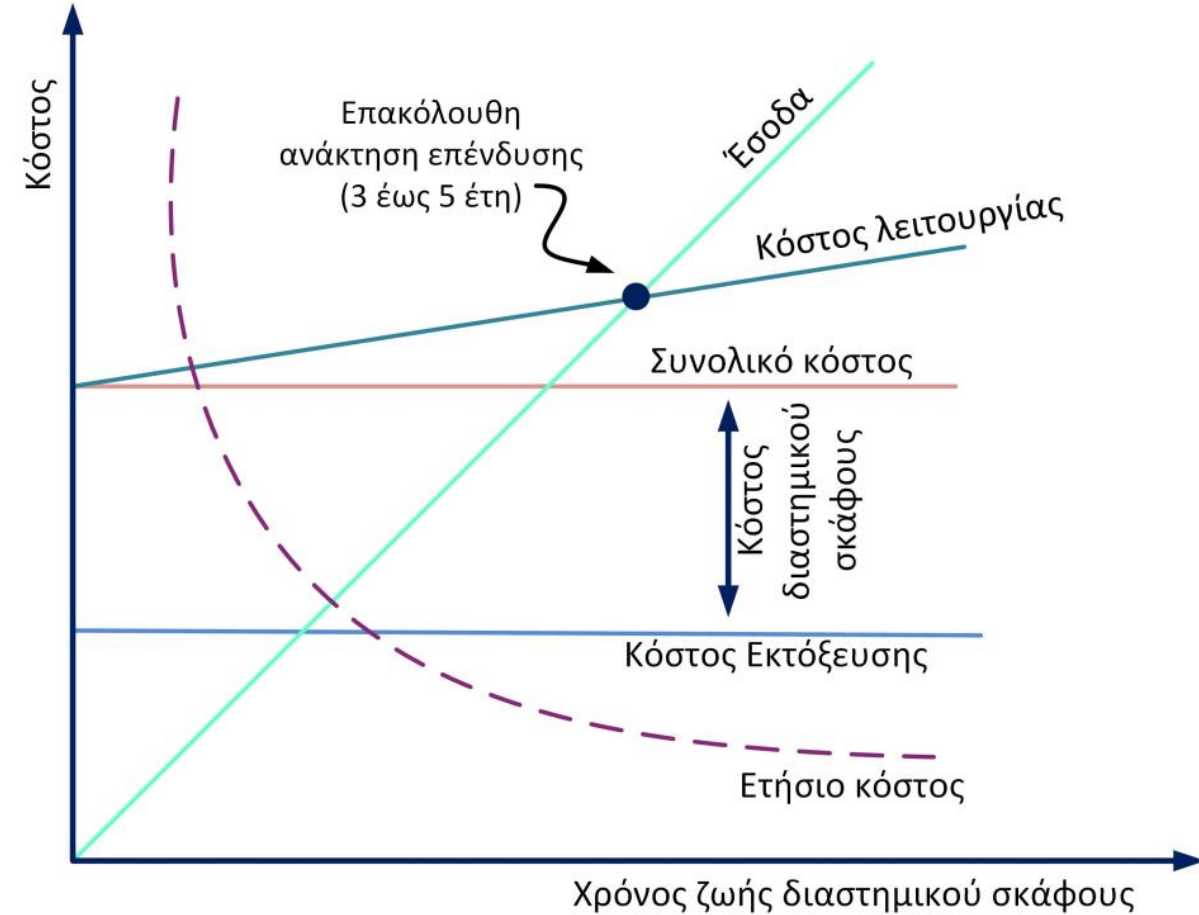
Χρόνος Ανάκτησης Επένδυσης:

- Χρειάζεται αρκετός χρόνος αναμονής για την ανάκτηση της αρχικής επένδυσης (break-even point).
- Η επένδυση σε δορυφορική τεχνολογία είναι πιο δαπανηρή σε σύγκριση με τις επίγειες επικοινωνίες.
- Οι πρώτης γενιάς δορυφόροι GEO απαιτούσαν κοστοβόρα τερματικά λόγω περιορισμένης ισχύος. Σήμερα, με τις αυξήσεις στη διαθέσιμη ισχύ και τη μείωση του μεγέθους των κεραιών, το κόστος έχει μειωθεί σημαντικά.

Κόστος και Οικονομικές Προκλήσεις



Ισορροπία κόστους-απόστασης



Περιορισμοί της δορυφορικής επένδυσης

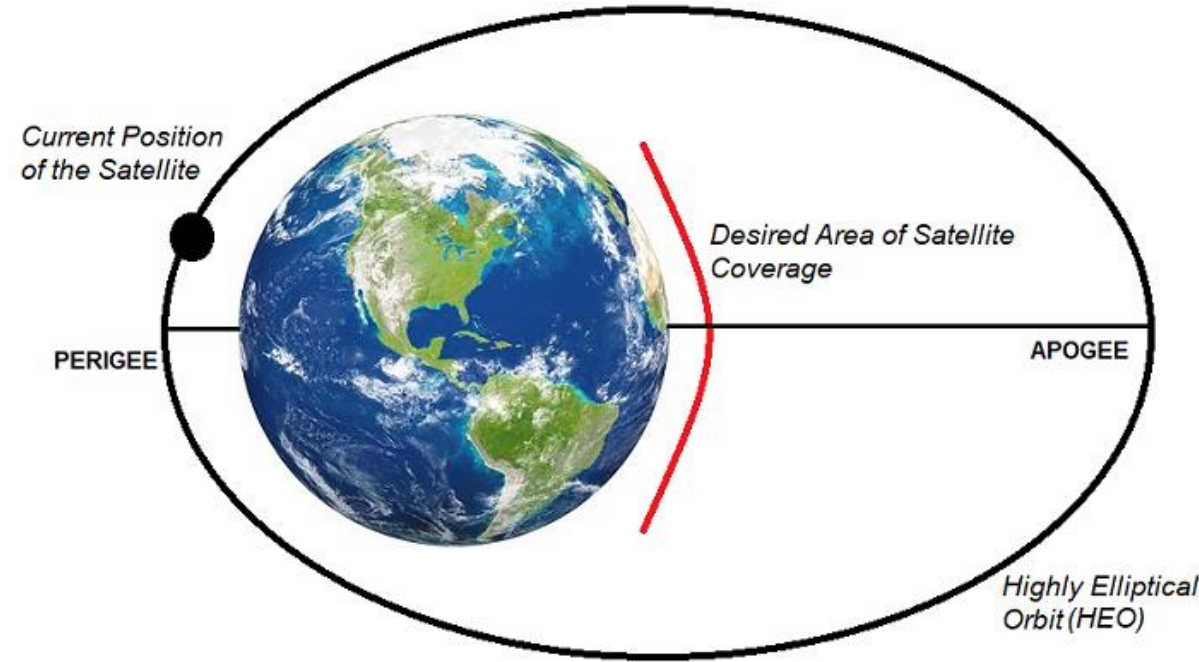
Δορυφορικές τροχιές

- ▶ Τροχιά : Πορεία Δορυφόρου
- ▶ Μορφή Τροχιών : Ελλειπτική
- ▶ Η τροχιά ανήκει σε επίπεδο που περνά από το κέντρο της γης.
- ▶ Η ταχύτητα του δορυφόρου είναι αντίστροφα ανάλογη με την απόσταση από τη γη.
- ▶ Συνήθεις τροχιές
 - GEO (Geostationary Earth Orbits)
 - HEO (Highly Elliptical Orbits)
 - LEO (Low Earth Orbits)
 - MEO (Medium Earth Orbits)

Δορυφορικές τροχιές

Ελλειπτικές τροχιές (HEO) High Elliptical Orbit

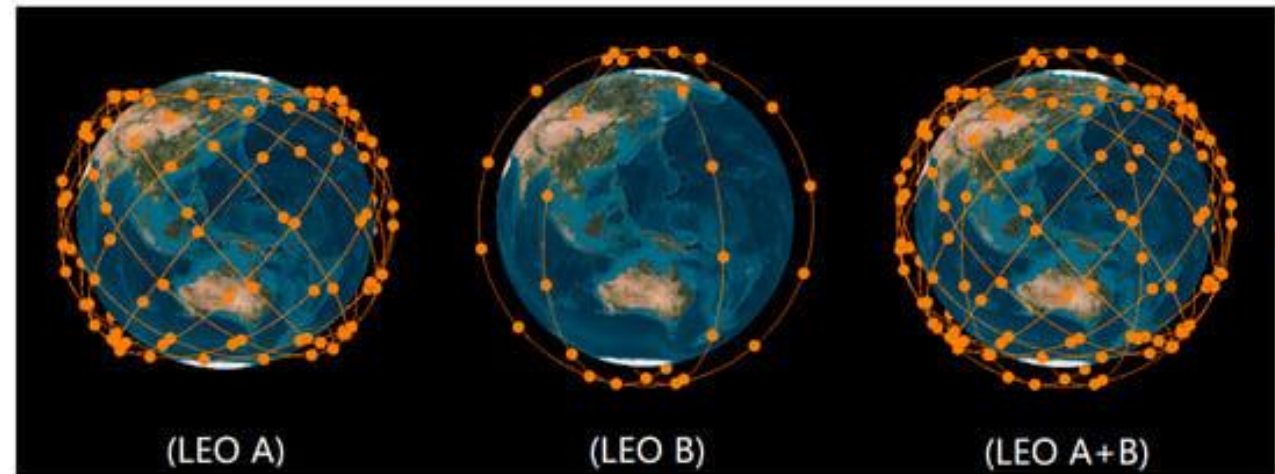
- **Γωνία κλίσης:** 63.44° ως προς τον ισημερινό.
- **Κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών πλατών:** Ο δορυφόρος παραμένει στο απόγειο για 8-12 ώρες, καλύπτοντας περιοχές υψηλού γεωγραφικού πλάτους.
- **Ζεύξεις σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη:** Παρέχουν αξιόπιστες επικοινωνίες, ειδικά όταν ο δορυφόρος βρίσκεται κοντά στο απόγειο, με γωνίες ανύψωσης κοντά στις 90° .
- **Παγκόσμια κάλυψη με 3 δορυφόρους σε 3 τροχιές** και με διαφορά φάσης



Δορυφορικές τροχιές

Κυκλικές τροχιές μικρού ύψους (LEO) Low Earth Orbit

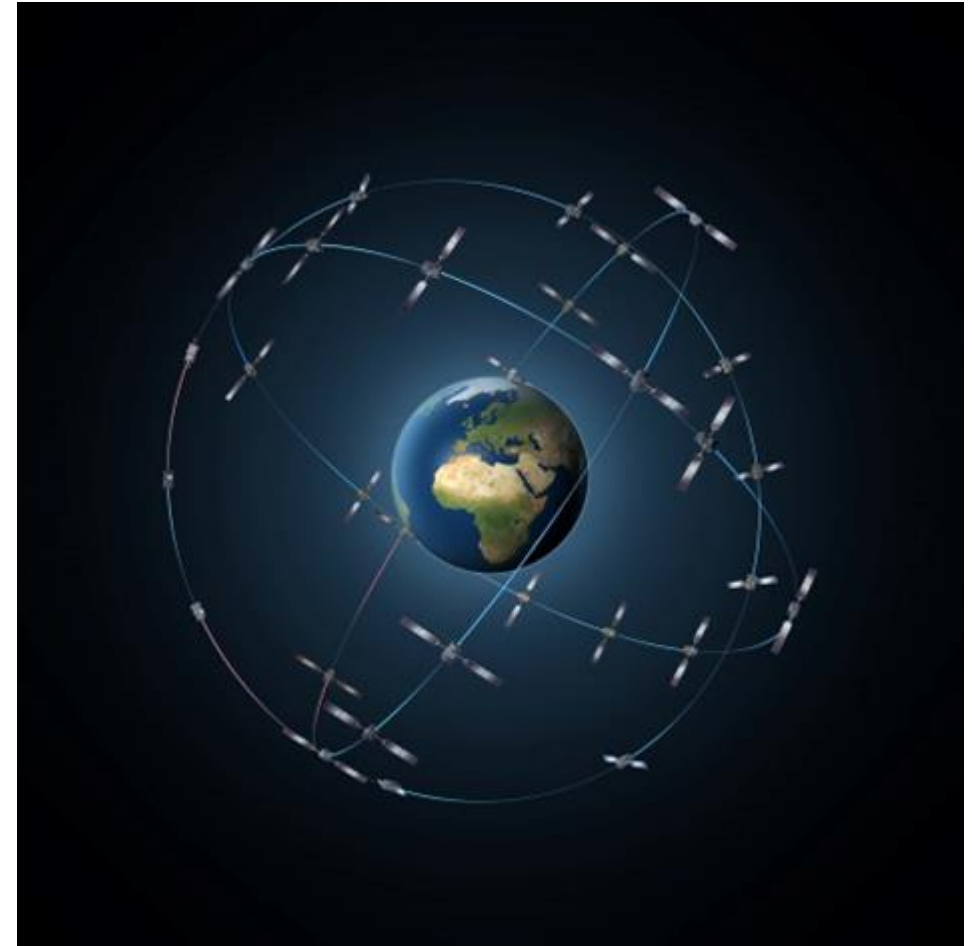
- **Ύψος:** 700-1000 km πάνω από τη Γη.
- **Περίοδος:** Μία πλήρης περιστροφή ολοκληρώνεται σε 1.5 ώρα.
- **Πλεονέκτημα:** Καλύπτουν κάθε περιοχή της Γης, λόγω κλίσης σχεδόν 90°.
- **Εφαρμογές:** Χρησιμοποιούνται για δορυφόρους παρατήρησης (π.χ. SPOT) και τηλεπικοινωνίες.
- **Παγκόσμιες επικοινωνίες:** Αστερισμοί δορυφόρων, όπως τα Iridium (11 τροχιακά με 6 δορυφόρους ανά επίπεδο και Globalstar (8 επίπεδα με 8 δορυφόρους ανά επίπεδο), παρέχουν συνεχή κάλυψη σε πραγματικό χρόνο.



Δορυφορικές τροχιές

Κυκλικές τροχιές μέσου ύψους -Medium Earth Orbits - Intermediate Circular Orbits (ΜΕΟ/ΙCΟ)

- **Ύψος:** 10.000-20.000 km.
- **Κλίση:** 50° ως προς τον ισημερινό.
- **Περίοδος:** 6 ώρες ανά περιστροφή.
- **Παγκόσμια κάλυψη:** Συστήματα με 2 τροχιακά και 6 δορυφόρους (π.χ. το σύστημα new-ICO) εξασφαλίζουν παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο.



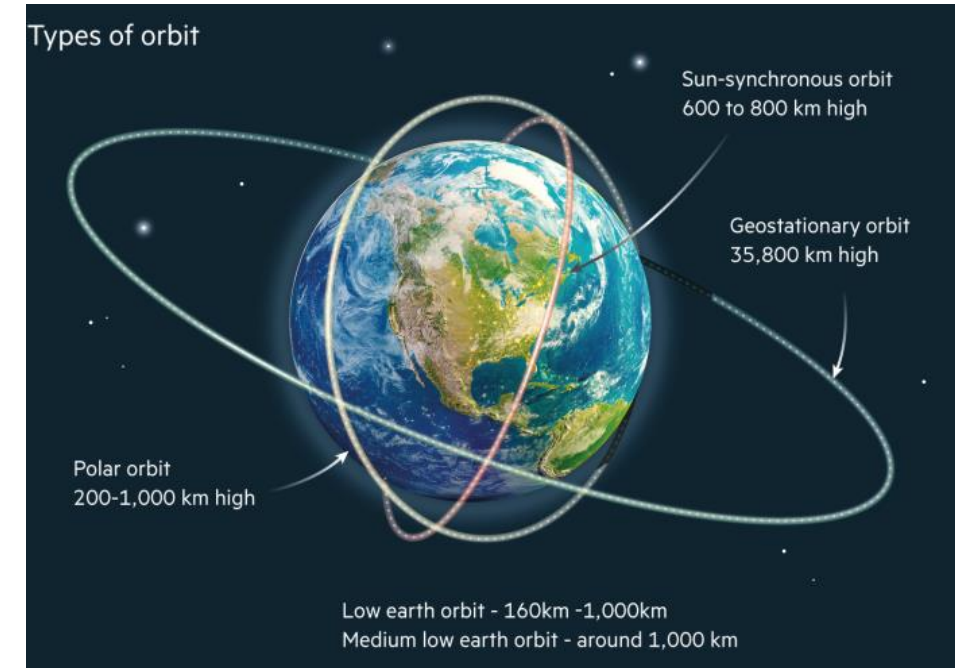
Ηλιο-σύγχρονη και Γεωσύγχρονη Τροχιά

Ηλιο-σύγχρονη τροχιά (Sun-Synchronous Orbit)

- Χαρακτηριστικά:** Το επίπεδο της τροχιάς περιστρέφεται με την ίδια περίοδο που περιστρέφεται η Γη γύρω από τον Ήλιο ($\sim 1^\circ$ /ημέρα).
- Αιτία:** Λόγω της μη τέλει σφαιρικότητας της Γης και των πρόσθετων βαρυτικών δυνάμεων.
- Πλεονέκτημα:** Ο δορυφόρος περνά από το ίδιο σημείο την ίδια τοπική ώρα, ιδανικό για δορυφόρους που απαιτούν σταθερή γωνία ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. παρατήρηση Γης).

Γεωσύγχρονη τροχιά (Geo-Synchronous Orbit)

- Περίοδος:** Ίση με την περίοδο περιστροφής της Γης (23h 56min 4,1 sec).
- Ύψος:** 35.786 km.
- Ταχύτητα:** 3.075 m/sec.
- Προσαρμοστικότητα:** Η κλίση και η εκκεντρότητα της τροχιάς μπορεί να ποικίλλουν.



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.

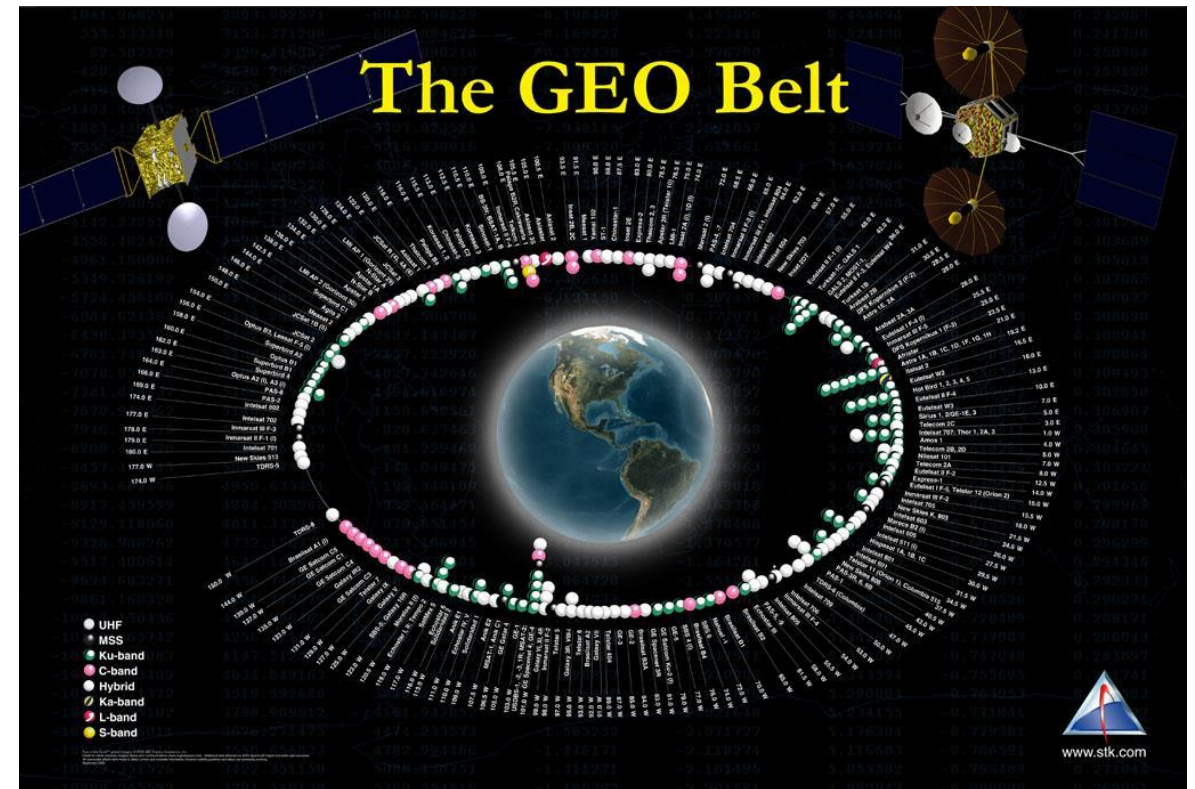
Γεωστατικές τροχιές (GEO)

Κυκλικές τροχιές με μηδενική κλίση
(ισημερινές τροχιές)

Ύψος: 35.786 km.

Περίοδος: Ο δορυφόρος ολοκληρώνει μία περιστροφή σε 24 ώρες, παραμένοντας σταθερός πάνω από ένα σημείο της Γης.

Κάλυψη: Κάθε γεωστατικός δορυφόρος καλύπτει 42,4% της επιφάνειας της Γης, ενώ 3 δορυφόροι αρκούν για την πλήρη κάλυψη του πλανήτη.



Γεωστατικές τροχιές (GEO)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Απλό διαστημικό σύστημα.
- 2) Καλή δομή ανάπτυξης του συστήματος (ένας δορυφόρος για να καλύψει κάποιες περιοχές, 3 ή 4 για παγκόσμια κάλυψη).
- 3) Δεν χρειάζεται καμιά διαδικασία μεταπομπής από δορυφόρο σε δορυφόρο μια και κάθε χρήστης επικοινωνεί συνεχώς με τον ίδιο δορυφόρο.
- 4) Το σύστημα ελέγχου των δορυφόρων είναι απλό και δοκιμασμένο.
- 5) Δεν απαιτείται σύστημα ανίχνευσης και εντοπισμού του δορυφόρου στα επίγεια τερματικά.
- 6) Δεν υπάρχει μεταβολή στην καθυστέρηση διάδοσης και στη γωνία ανύψωσης.
- 7) Τα φαινόμενα Doppler είναι αμελητέα.
- 8) Υπάρχει μεγάλη περιοχή πρόσβασης, από τη στιγμή που οι δορυφόροι βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο και καθένας παρέχει ορατότητα σε μεγάλο μέρος του κόσμου.

Γεωστατικές τροχιές (GEO)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Η μεγάλη απόσταση δορυφόρου-χρήστη επηρεάζει τόσο την εκπεμπόμενη ισχύ όσο και το μέγεθος των κεραιών στο δορυφόρο ιδίως αν χρησιμοποιηθούν συσκευές χειρός. Έτσι η πολυπλοκότητα του τηλεπικοινωνιακού μέρους του δορυφόρου έχει σαν αποτέλεσμα τόσο την αύξηση του απαιτούμενου χρόνου κατασκευής του (π.χ. ο INTELSAT VI χρειάστηκε 7 χρόνια), όσο και του κόστους.
- 2) Έχουμε μεγάλες καθυστερήσεις διάδοσης, λόγω της μεγάλης απόστασης, που μπορεί να φθάσουν τα 700 msec για μια αμφίδρομη επικοινωνία.
- 3) Οι γωνίες ανύψωσης είναι χαμηλές (10ο) σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος ή σε περιοχές με πολλά βουνά και αυτό αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για τις κινητές επικοινωνίες.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Το υψόμετρο των δορυφόρων είναι μικρό και άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πιο μικρούς και πιο φθηνούς δορυφόρους αφού η απαιτούμενη ισχύς για επιτυχή ζεύξη είναι μικρότερη.
- 2) Το μικρό μέγεθος των δορυφόρων και η μικρή απόσταση διευκολύνουν την εκτόξευση και περιορίζουν τα αντίστοιχα έξοδα.
- 3) Οι καθυστερήσεις διάδοσης είναι μικρές της τάξης των 10-20msec και έτσι δίνεται η δυνατότητα για πολλαπλές μεταπομπές του σήματος από δορυφόρο σε δορυφόρο.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Λόγω του μεγάλου αριθμού των δορυφόρων (66 στο Iridium) που απαιτείται, η διαδικασία σύνταξης του όλου συστήματος είναι χρονοβόρα και πολυέξοδη.
- 2) Επιπλέον απαιτείται πλήρης ανάπτυξη του συστήματος για να εξασφαλιστεί συνεχής κάλυψη οπουδήποτε.
- 3) Το σύστημα ελέγχου του διαστημικού μέρους είναι πολύπλοκο.
- 4) Απαιτούνται συχνές μεταπομπές (κάθε 10 λεπτά περίπου μεταξύ δορυφόρων και κάθε 1 ή 2 λεπτά μεταξύ κυψελών), λόγω της γρήγορης κίνησης των δορυφόρων στον ουρανό.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 5) Τα φαινόμενα Doppler είναι πολύ ισχυρά λόγω της γρήγορης κίνησης των δορυφόρων (δεκάδες KHz).
- 6) Οι συνθήκες διάδοσης είναι μεταβλητές λόγω της μεταβολής της γωνίας ανύψωσης.
- 7) Λόγω της γρήγορης κίνησης των δορυφόρων έχουμε αυξημένο πρόβλημα εστίασης στις κεραίες.
- 8) Η διάρκεια ζωής των δορυφόρων είναι μικρή (υπολογίζεται περίπου 5 χρόνια με την υπάρχουσα τεχνολογία).

ΗΕΟ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Μεγάλες γωνίες ανύψωσης (55° - 60°) λόγω της τροχιακής θέσης του απόγειου.
- 2) Δυνατότητα περικοπής του συστήματος για την κάλυψη κάποιων περιοχών με το μικρότερο αριθμό δορυφόρων.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Πολύ μεγάλο υψόμετρο των δορυφόρων (στο απόγειο) που συνεπάγεται προβληματικές ζεύξεις.
- 2) Μεγάλο μέγεθος κεραιών (6m) ιδίως για την περίπτωση της L ζώνης συχνοτήτων (1.5 GHz).
- 3) Μεγάλες καθυστερήσεις διάδοσης.
- 4) Μεγάλες ολισθήσεις Doppler λόγω της γρήγορης κίνησης.
- 5) Περιορισμένη διάρκεια ζωής των δορυφόρων λόγω της κίνησής τους μέσα από ζώνες υψηλής ακτινοβολίας.
- 6) Σημαντικό πρόβλημα με την εστίαση των κεραιών λόγω της μεγάλης και γρήγορης μεταβολής του υψόμετρου κατά τη διάρκεια μιας περιόδου.

Κριτήριο Επιλογής Τύπου Τροχιάς

- ◆ Έκταση της προς κάλυψη περιοχής
- ◆ Γεωγραφικό Πλάτος της περιοχής
- ◆ Επιθυμητή Γωνία Ανύψωσης
- ◆ Επιθυμητή διάρκεια εκπομπής
- ◆ Μέγιστη Ανεκτή καθυστέρηση εκπομπής
- ◆ Ανοχή στις παρεμβολές
- ◆ Απόδοση εκτοξευτών
- ◆ Κόστος

Δορυφορικές τροχιές

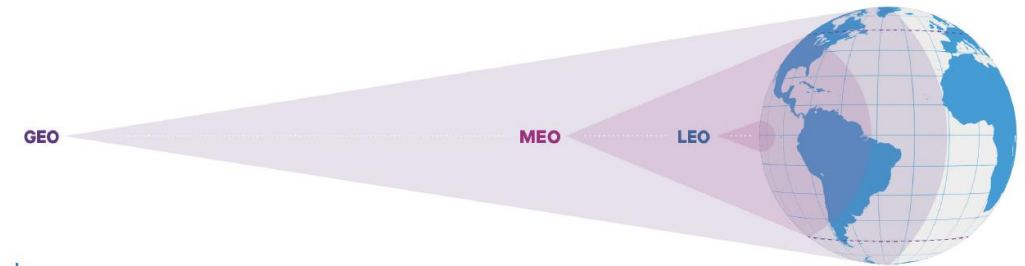
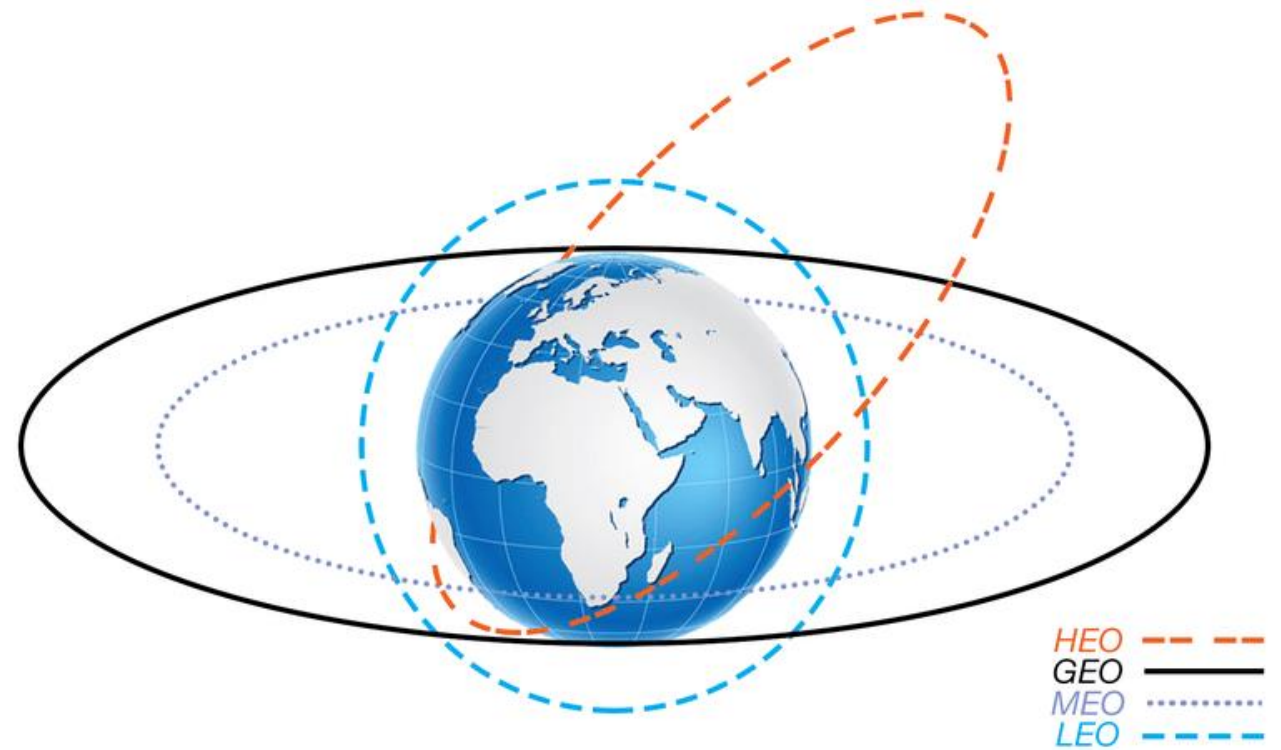
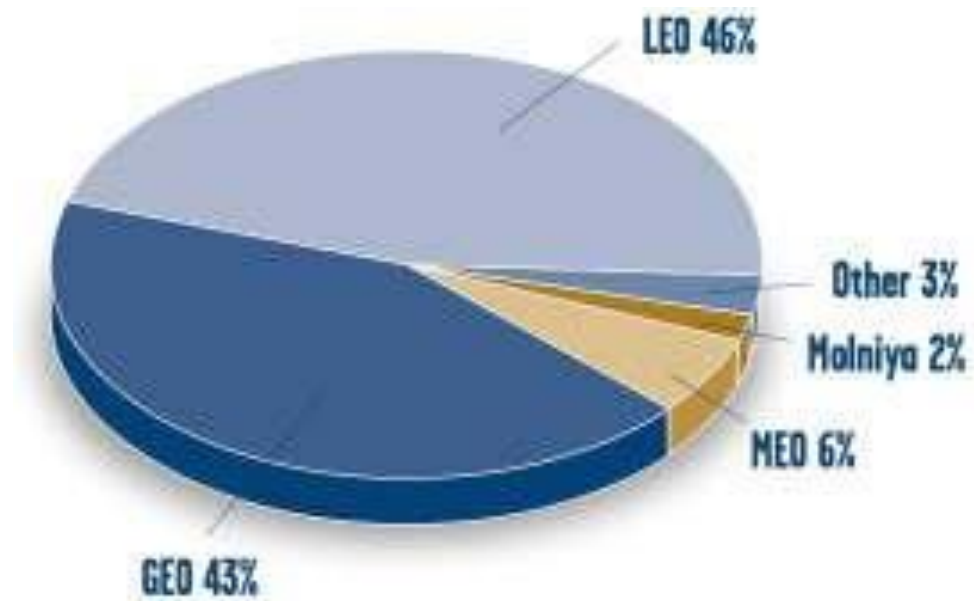


Figure 1: Schematic of orbital altitudes and coverage areas



Εξειδικευμένες Δορυφορικές Υπηρεσίες



Κατανομή των δορυφορικών υπηρεσιών

Βασικές Εφαρμογές Δορυφορικών Τηλεπικοινωνιών

Συγκανάλωση Τηλεφωνίας & Τηλεοπτικών Προγραμμάτων (Trunking):
Υψηλής κίνησης μεταδόσεις τηλεφωνίας και τηλεοπτικών σημάτων (π.χ., INTELSAT, EUTELSAT).

Ευρυεκπομπή Πολυμέσων (Broadcasting):
Τηλεόραση: Ψηφιακή μετάδοση μέσω προτύπων DVB-S.

Ραδιόφωνο:
Ψηφιακή μετάδοση ήχου υψηλής ποιότητας (π.χ., Worldspace, XM-Radio).

Διαδραστική Τηλεόραση: Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας.

Προχωρημένες Δορυφορικές Εφαρμογές

Ευρυζωνικές Υπηρεσίες Πολυμέσων (Broadband Multimedia Services):

Συνδυασμός δεδομένων, ήχου, και βίντεο για απομακρυσμένες περιοχές (Combination of data, audio, and video for remote areas).

Κινητές & Προσωπικές Επικοινωνίες (Mobile & Personal Communications):

Παροχή κινητής τηλεφωνίας και δεδομένων σε απομακρυσμένες περιοχές (Mobile telephony and data for remote regions) (π.χ., Inmarsat, Iridium).

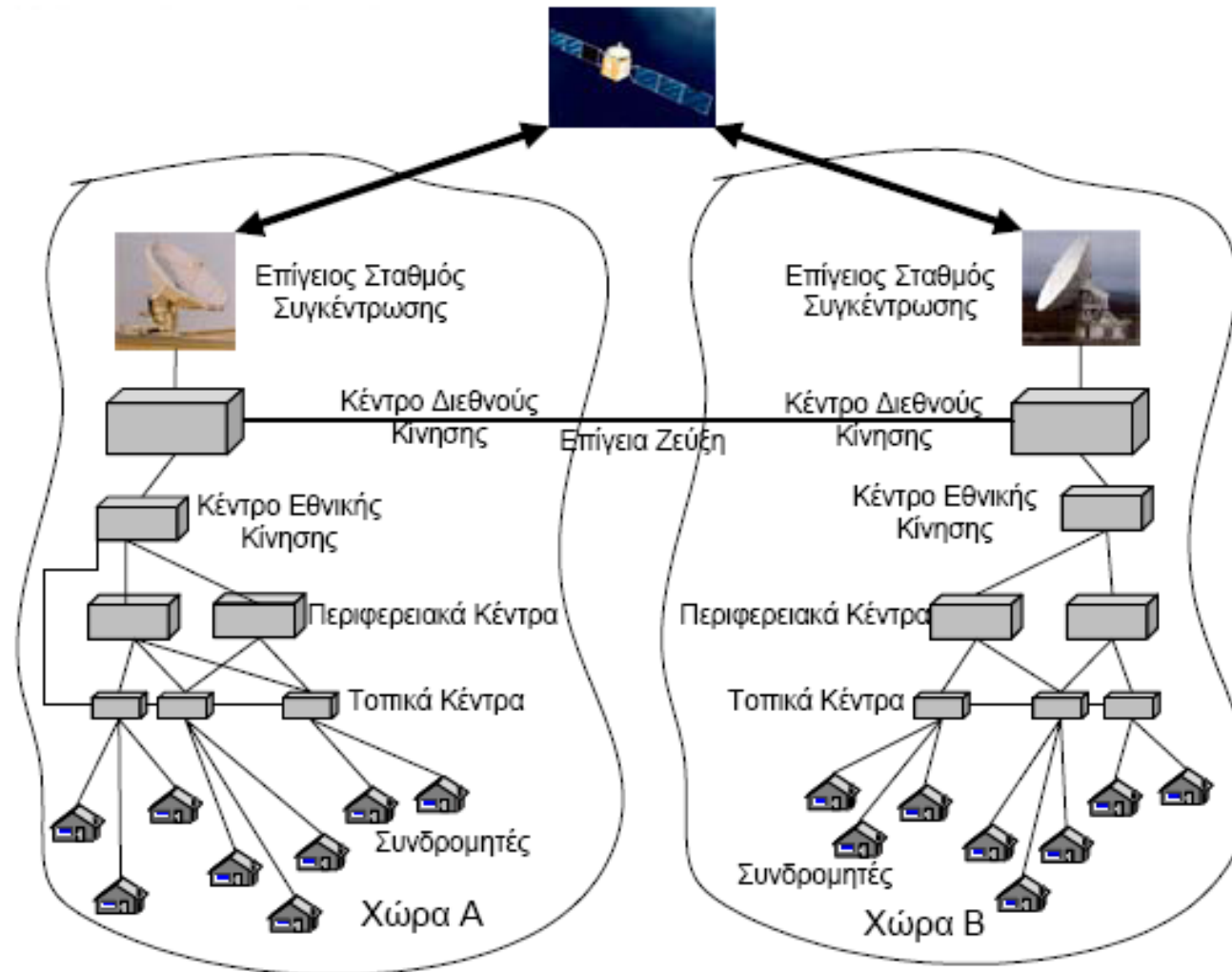
Συλλογή Ειδήσεων (Satellite News Gathering, SNG):

Γρήγορη μετάδοση ειδήσεων μέσω φορητών σταθμών δορυφορικών επικοινωνιών (Rapid transmission of news using portable satellite communication stations).

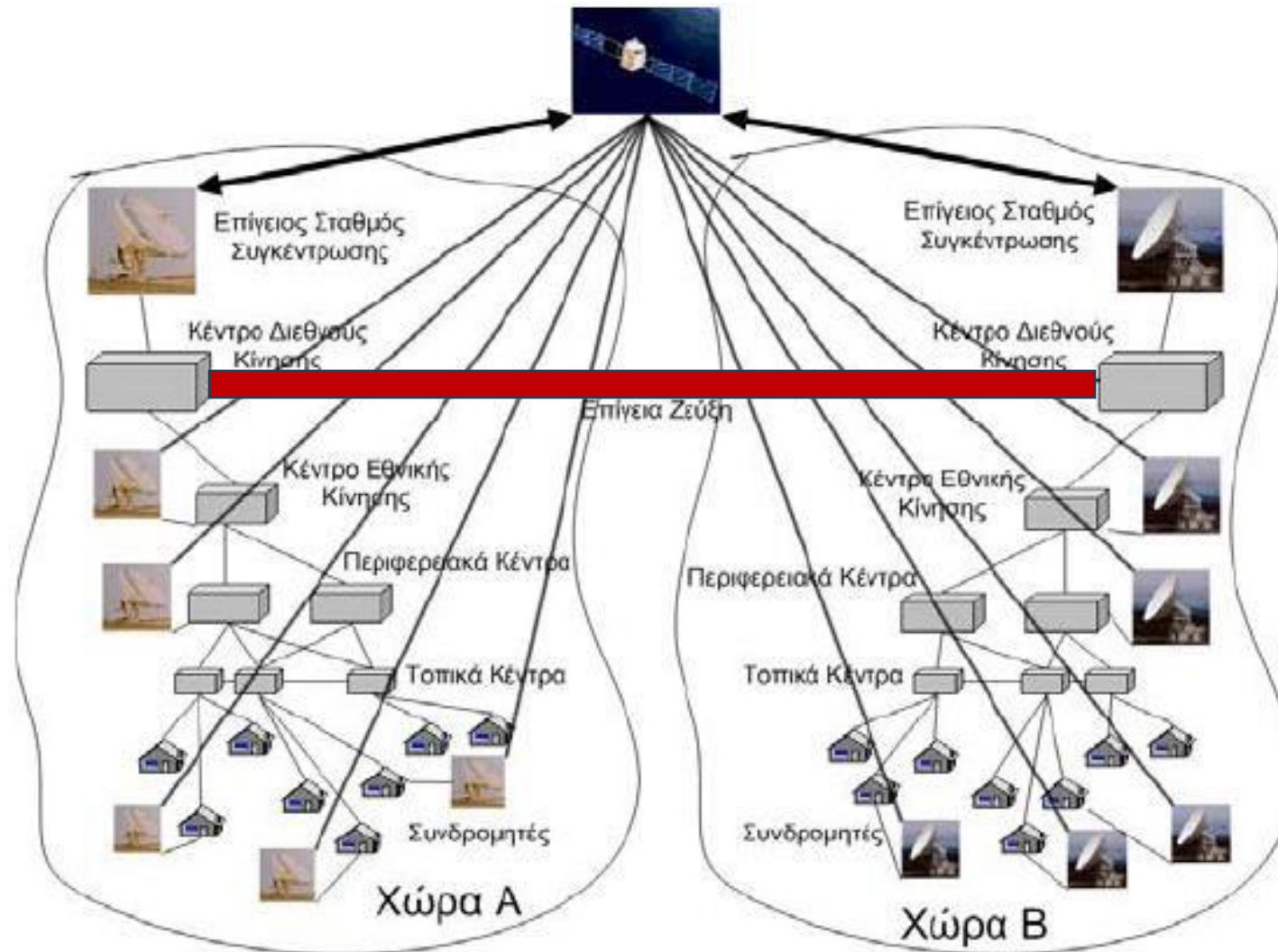
Εξέλιξη Δορυφορικών Δικτύων



Αρχική Δομή Δικτύων



Εξελιγμένη Δομή Δικτύων

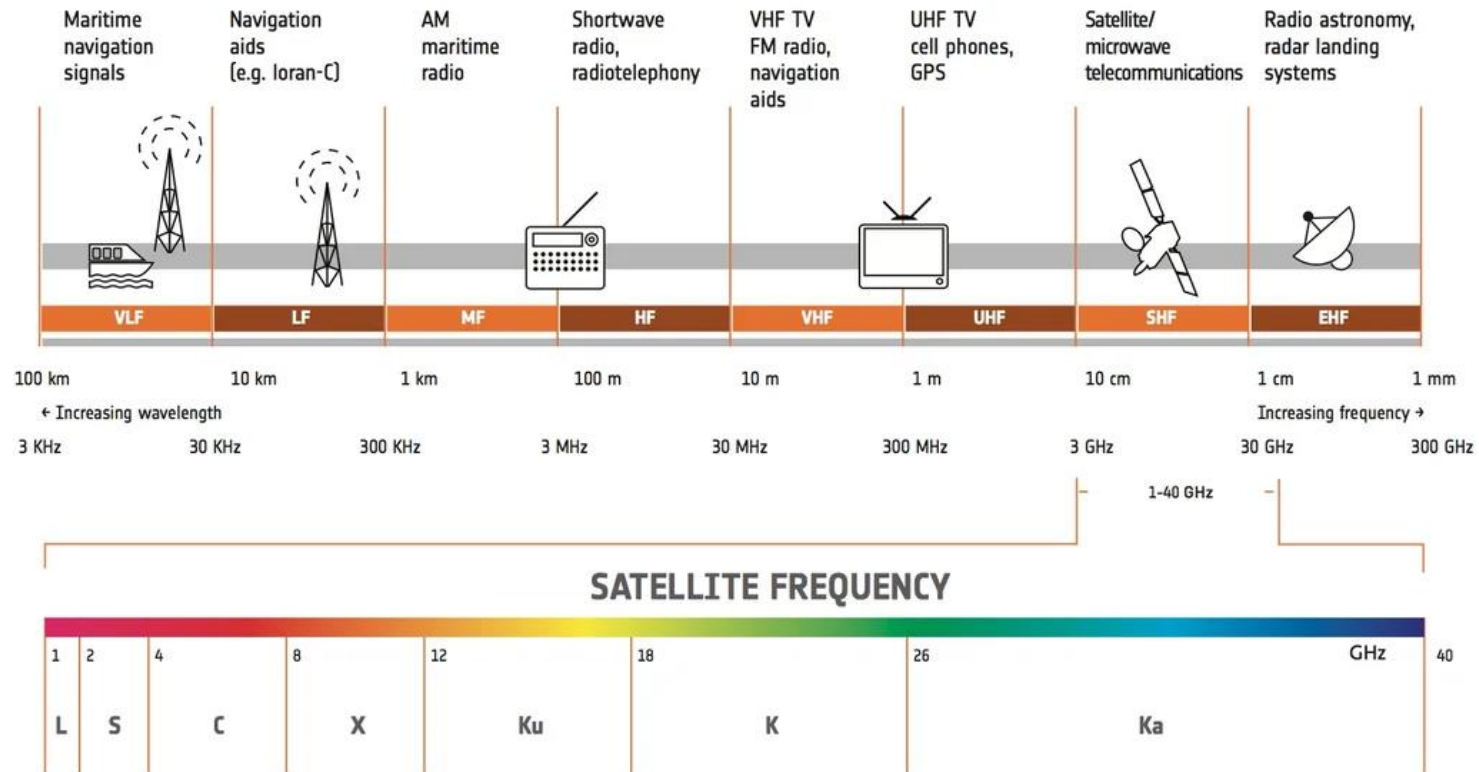


- Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση Γης-Δορυφόρου (άνω ζεύξη) είναι γενικά υψηλότερες σε σχέση με τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση Δορυφόρου-Γης (κάτω ζεύξη).
- Αυτό βοηθά στην αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των πομποδεκτών και στην προστασία της κάτω ζεύξης από τις μεγαλύτερες αποσβέσεις που παρατηρούνται σε υψηλότερες συχνότητες.
- **Χαμηλές συχνότητες (S-ζώνη και L-ζώνη)** χρησιμοποιούνται για επικοινωνία με κινητούς σταθμούς, όπως πλοία ή αεροσκάφη, λόγω των χαμηλότερων απωλειών διάδοσης.
- **Υψηλές συχνότητες (C-ζώνη, X-ζώνη, Ku-ζώνη, Ka-ζώνη)** προτιμώνται για σταθερούς σταθμούς, καθώς προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων.

Εμπορική Χρήση Ζωνών Συχνοτήτων & Τεχνικές Προκλήσεις

- Οι πρώτοι δορυφόροι που τέθηκαν σε τροχιά χρησιμοποιούσαν κυρίως τη C-ζώνη (6/4 GHz), ωστόσο η αυξημένη ζήτηση για δορυφορικές υπηρεσίες οδήγησε στην υπερφόρτωση αυτής της ζώνης.
- Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, ξεκίνησε η χρήση της
 - Ku-ζώνης (14/12 GHz) και της
 - Ka-ζώνης (30/20 GHz), οι οποίες προσφέρουν περισσότερη χωρητικότητα και λιγότερες παρεμβολές.
- Η V-ζώνη (50/40 GHz), αν και δεν αναφέρεται συχνά, έχει επίσης προσελκύσει το ενδιαφέρον των εμπορικών δορυφορικών συστημάτων, ιδιαίτερα λόγω της ανάπτυξης του Internet και των αυξημένων απαιτήσεων για ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Ζώνες συχνοτήτων



Όνομα Ζώνης	Περιοχή Συχνοτήτων
VLF	3-30 kHz
LF	30-300 kHz
MF	300-3000 kHz
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	300-3000 MHz

Ζώνες Συχνοτήτων

- Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούν την ατμόσφαιρα ως μέσο διάδοσης και το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων για τη μετάδοση των σημάτων.
 - Κάθε ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιείται για διαφορετικές εφαρμογές.
-
- **Διαφορετικές Συχνότητες Άνω/Κάτω Ζεύξης:**
 - Αποφυγή παρεμβολών μεταξύ πομπού και δέκτη.
 - Χρήση υψηλότερης συχνότητας στην άνω ζεύξη λόγω:
 - Μεγαλύτερων απωλειών διάδοσης με αύξηση συχνότητας.
 - Περισσότερης διαθέσιμης ισχύος στον επίγειο σταθμό.

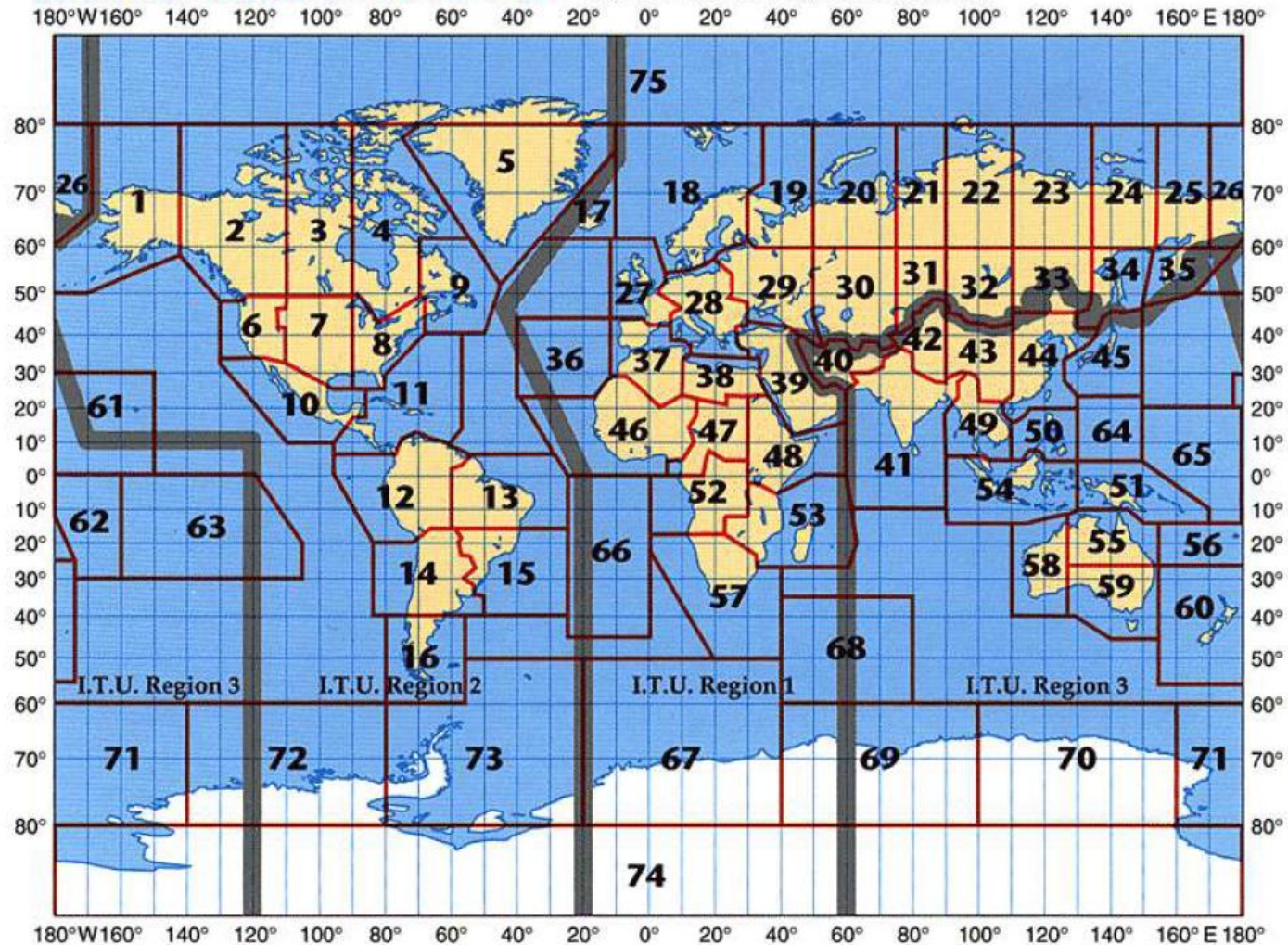
Ζώνη Συχνοτήτων	Συχνότητα άνω ζεύξης	Συχνότητα κάτω ζεύξης	Κεραία Τερματικού	Διαθέσιμο Εύρος Ζώνης	Κατηγορίες Τηλεπικοινωνιακών Υπηρεσιών
L-ζώνη	2 GHz	1 GHz	Μικρή	<100MHz	Κινητή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Mobile Satellite Service, MSS)
					Κινητή υπηρεσία ξηράς μέσω δορυφόρου (Land Mobile Satellite Service, LMSS)
S-ζώνη	4 GHz	2 GHz	Μικρή	<100MHz	Κινητή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Mobile Satellite Service, MSS)
					Υπηρεσία έρευνας του διαστήματος (Space Research Service)
C-ζώνη	8 GHz	4 GHz	Μεγάλη	800MHz	Σταθερή Υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS)
X-ζώνη	12,5 GHz	8 GHz	Μεσαία		Σταθερή Υπηρεσία μέσω δορυφόρου για στρατιωτικούς σκοπούς (Fixed Satellite Service military communication)
Ku-ζώνη	19 GHz	12,5 GHz	Μικρή	1000MHz	Σταθερή Υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS)
					Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου (Broadcast Satellite Service, BSS)
K-ζώνη	26,5 GHz	19 GHz	Μικρή	1000MHz	Σταθερή Υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS)
					Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου (Broadcast Satellite Service, BSS)
Ka-ζώνη	30 GHz	26,5 GHz	Μικρή	2500MHz	Σταθερή Υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS)
					Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου (Broadcast Satellite Service, BSS)

Πίνακας 1.1 Μέγεθος κεραίας, διαθέσιμο εύρος ζώνης και οι υπηρεσίες τους για τις δορυφορικές ζώνες συχνοτήτων

Ζώνες Συχνοτήτων

I.T.U. ZONES AND REGIONS

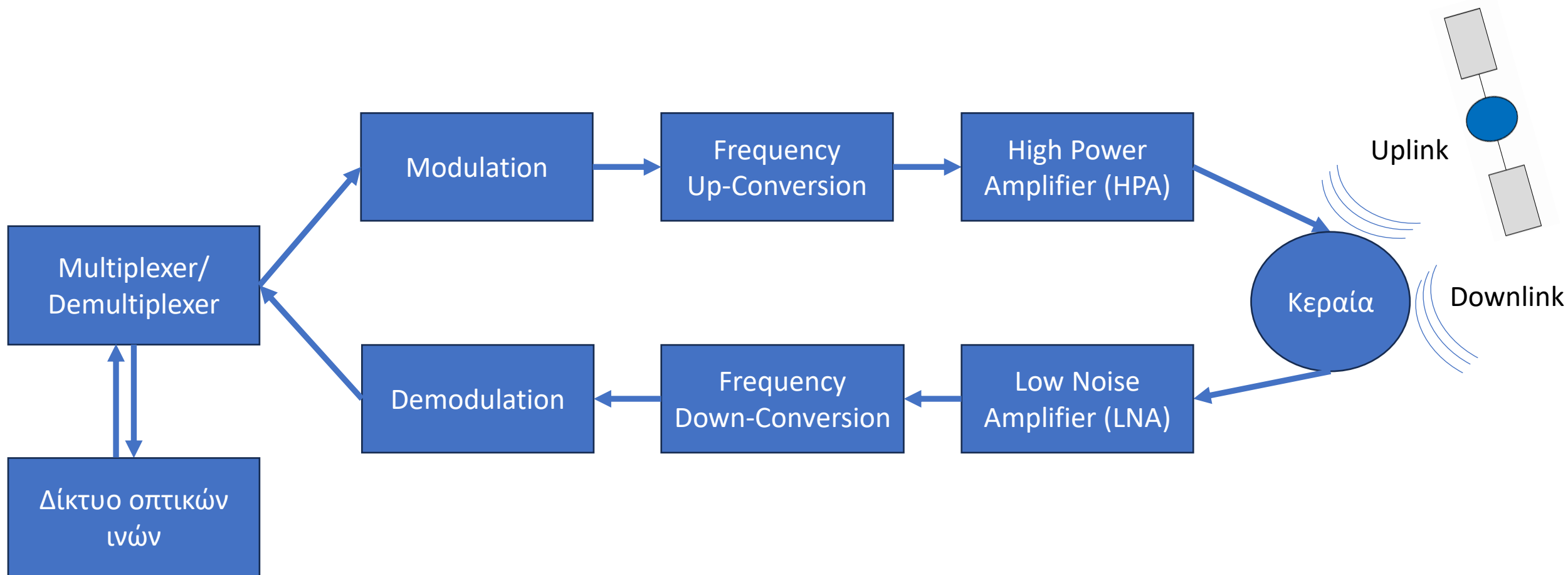
Copyright 1995 by GeoSystems Global Corp



Γενικό σχήμα δορυφορικών επικοινωνιών

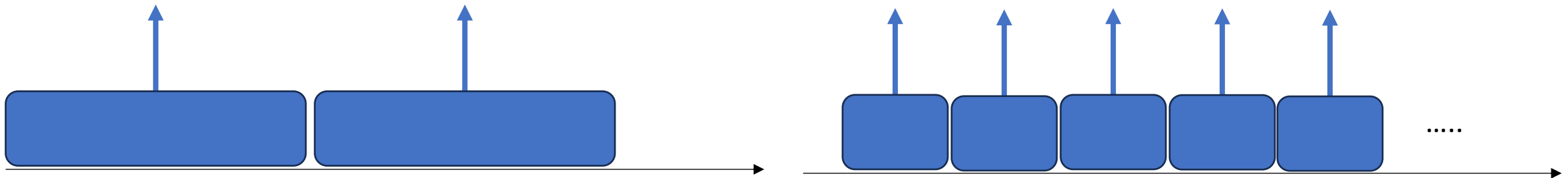
- Δορυφορικό τμήμα
 - Παλιότερα → Ένας μοναδικός δορυφόρος
 - Σήμερα → Δίκτυο δορυφόρων (επικοινωνία μεταξύ τους)
 - Έχουν περιορισμένες δυνατότητες ισχύος, επικοινωνίας κλπ
- Επίγειο τμήμα
 - Αποτελείται από έναν ή περισσότερους σταθμούς
 - Συνήθως είναι πομπός και δέκτης (κάποιοι σταθμοί είναι μόνο δέκτες)
 - Αποτελούνται από μία ή παραπάνω μεγάλες κεραίες (διάμετροι >20-30 m)
 - Συνδέονται απευθείας με το οπτικό δίκτυο
 - Διαθέτουν αφθονία πόρων και μεγαλύτερη ποιότητα από το δορυφορικό τμήμα

Επίγειο τμήμα



Διαθέσιμο bandwidth και ρυθμός μετάδοσης

- Οι ζώνες συχνοτήτων έχουν διαφορετικά εύρη η κάθε μια.
- Η L-ζώνη διαθέτει μόνο 1 GHz ενώ η Ka 14 GHz.
- Ο ρυθμός δεδομένων που μπορούμε να μεταδώσουμε εξαρτάται:
 - Από το σχήμα διαμόρφωσης
 - Από το αναλογικό εύρος ζώνης των πομποδεκτών
 - Από τους διαθέσιμους βαθμούς ελευθερίας (πολώσεις, carriers κλπ)



- Για παράδειγμα: στο 1 GHz της άνω ζεύξης της L-band μπορούμε να μεταδώσουμε 2 carriers με διαμόρφωση <500 MHz ή 10 με διαμόρφωση <100 MHz.
- Αν η διαμόρφωσή μας αντιστοιχεί σε 2 bit/σύμβολο (πχ QPSK) → max 2 Gb/s

Μετατροπές συχνότητας

- Στο Uplink και το Downlink ανατίθενται διαφορετικά μέρη του bandwidth.
- Απαιτούνται διαρκώς μετατροπές συχνότητας (προς τα πάνω/κάτω).
- Το ρόλο των μετατροπών συχνότητας αναλαμβάνει ένας μείκτης με τη βοήθεια ενός τοπικού ταλαντωτή (Local Oscillator ή LO).
- Οι μίκτες είναι συνήθως κυκλώματα μη γραμμικών στοιχείων (πχ δίοδοι).
 - Η χαρακτηριστική τους έχει όρους μεγαλύτερης πχ. τετράγωνα.

$$v_S(t) = A_S \cos(2\pi f_S t) \quad i(t) = a_1 v(t) + a_2 v^2(t)$$

$$v_{LO}(t) = A_{LO} \cos(2\pi f_{LO} t)$$

$$v^2(t) = A_S^2 \cos^2(2\pi f_S t) + A_{LO}^2 \cos^2(2\pi f_{LO} t) + 2A_S A_{LO} \cos(2\pi f_S t) \cos(2\pi f_{LO} t)$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} [\cos(A - B) + \cos(A + B)]$$

$$v^2(t) = \dots + A_S A_{LO} [\cos 2\pi(f_S - f_{LO})t + \cos 2\pi(f_S + f_{LO})t]$$



$$f_{SUM} = f_S + f_{LO}$$

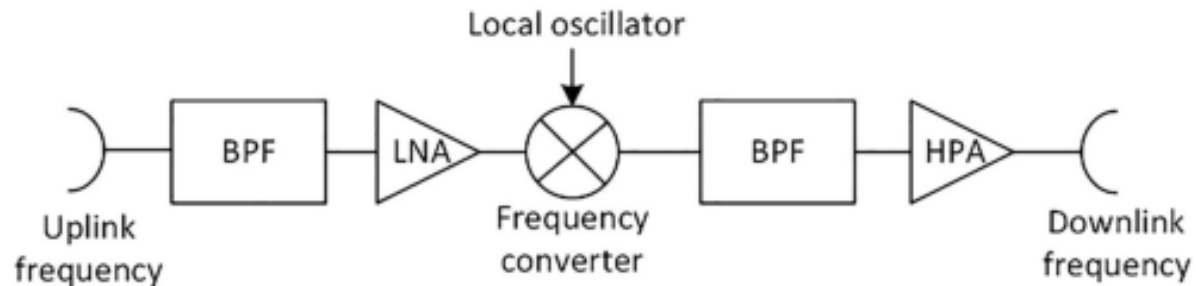
$$f_{DIFF} = |f_S - f_{LO}|$$

- Άρα έχουμε νέες συχνότητες.
- Με χρήση φίλτρων κρατάμε τη συχνότητα που μας ενδιαφέρει.

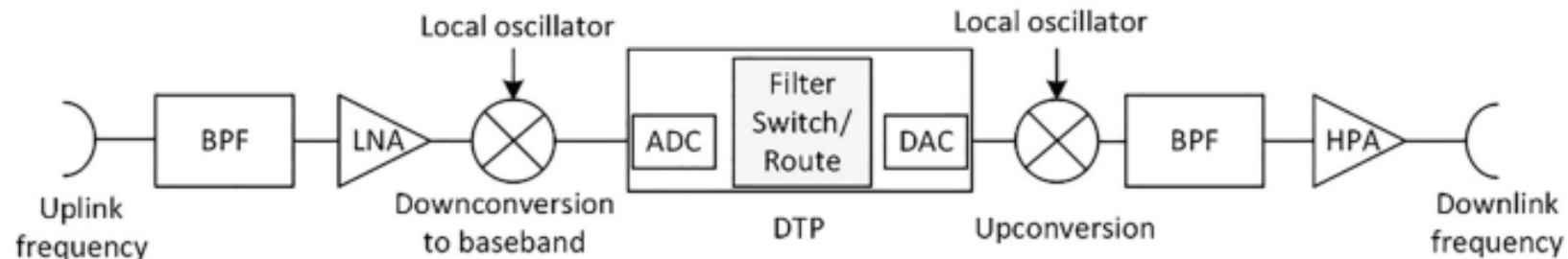
Δορυφορικό τμήμα

- Για τους δορυφόρους επικοινωνιών το payload περιλαμβάνει:
 - Τις κεραίες λήψης και εκπομπής
 - Τα ηλεκτρονικά που απαιτούνται για να υποστηριχθεί η μετάδοση
 - ❖ Το payload είναι αυτό που δικαιολογεί την ύπαρξη του δορυφόρου
- Υπάρχουν δύο τύποι δορυφόρων για επικοινωνίες
 - Οι bend-ripe δορυφόροι
 - Είναι απλούστεροι
 - Ενισχύουν το θόρυβο και μεταδίδουν τα λάθη
 - Λειτουργούν σαν ενισχυτές στον ουρανό
 - Οι Regenerative δορυφόροι
 - Αποκωδικοποιούν το σήμα
 - Καθαρίζουν το σήμα από θόρυβο και λάθη
 - Μπορούν να κάνουν switching, routing
 - Λειτουργούν ως repeaters στον ουρανό

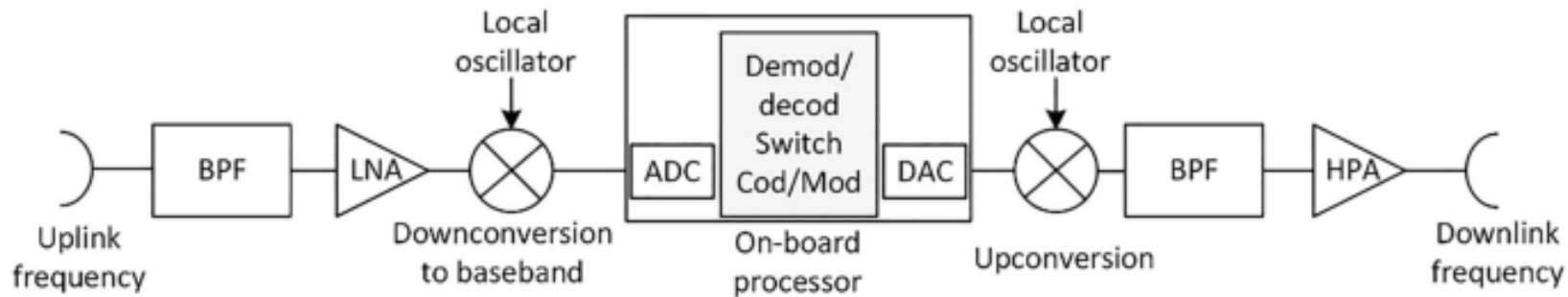
Δορυφορικό τμήμα



a) Analog bent-pipe transponder.



b) Digital transparent transponder.



c) Regenerative transponder.

Δορυφορικοί αναμεταδότες

- Σήματα μεγάλου εύρους ζώνης (>500 MHz) δεν μπορούν να ενισχυθούν από ένα μοναδικό ενισχυτή (HPA). Οι μεγαλύτερες συχνότητες παραμορφώνονται λόγω του περιορισμένου αναλογικού bandwidth των ηλεκτρονικών του ενισχυτή.
- Έτσι, χρησιμοποιούνται πολλοί αναμεταδότες (πχ. 24 αναμεταδότες με εύρος ζώνης 36 MHz σε δύο πολώσεις).
- Το συνολικό σήμα φιλτράρεται από 24 band pass φίλτρα, ενισχύεται ξεχωριστά και τα επιμέρους σήματα μεταδίδονται σε διαφορετική συχνότητα, πόλωση ή δέσμη μέσω πολυπλεξίας.

