



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Κινητές και Δορυφορικές Επικοινωνίες

Εισαγωγή στις Δορυφορικές Επικοινωνίες

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

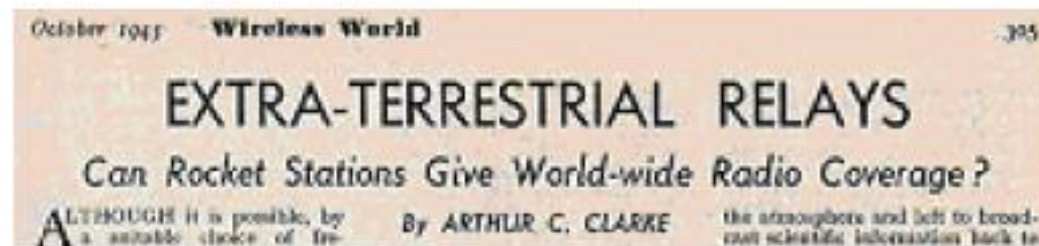


Ιστορική Αναδρομή

- ◆ **Konstantin Tsiolkovsky** (1857-1935), Ρώσος οραματιστής που πρώτος περιέγραψε έναν πύραυλο με πολλαπλά στάδια ως μέσο εκτόξευσης και τοποθέτησης σε τροχιά.
<http://www.nasa.gov/audience/foreducators/rocketry/home/konstantin-tsiolkovsky.html>
- ◆ **Hermann Noordung** (1892-1929), επινόησε τη γεωστατική τροχιά, “The Problem of Space Travel : The Rocket Motor”.
<http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/SP-4026/cover.html>

Ιστορική Αναδρομή

- ◆ **1945** : Sir Arthur C. Clarke “Extra-Terrestrial Relays”, Wireless World, October, 1945.



- ◆ Επανδρωμένοι Δορυφόροι με περίοδο περίπου 24 ώρες, για αναμετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων. Σύνολο 3 απέχοντας 120°.
- ◆ **1951** : Sir Arthur C. Clarke “The Exploration of Space”.

Ιστορική Αναδρομή

- ◆ **1955** : John R. Pierce (Bell Labs), “Orbital Radio Relays”
 - Σύγκριση χωρητικότητας τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου (1000 τηλεφωνικές κλήσεις) και του 1ου υπερατλαντικού καλωδίου TAT-1 (36 τηλεφωνικές κλήσεις με κόστος \$30-50 εκατομύρια). Αξίζει 1 δισ. δολάρια?
- ◆ **1957** : Sputnik I (Ρωσικός) – Εκτόξευση Πρώτου τεχνητού δορυφόρου (και Αμερικανικού εφιάλτη!!).
- ◆ **1958** : Μετάδοση Χριστουγεννιάτικου Μηνύματος Eisenhower (Δορυφόρος SCORE – Καθυστερημένη Αναμετάδοση Μηνυμάτων).
- ◆ **1960** : Λειτουργία Δορυφόρου – Ανακλαστήρα ECHO I (δοκιμές διάδοσης και τεχνικών μετάδοσης).

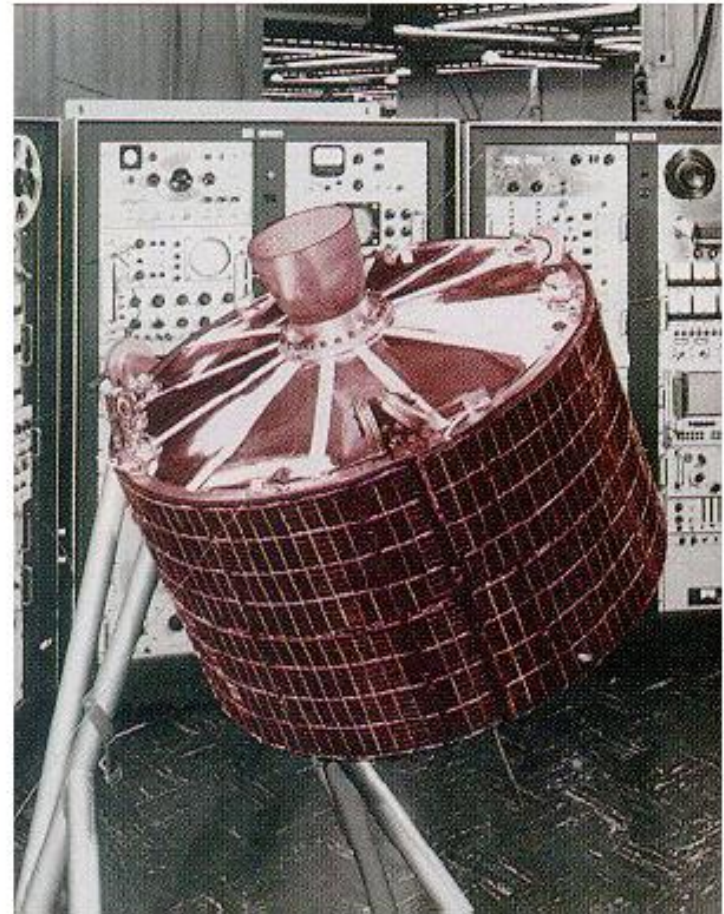
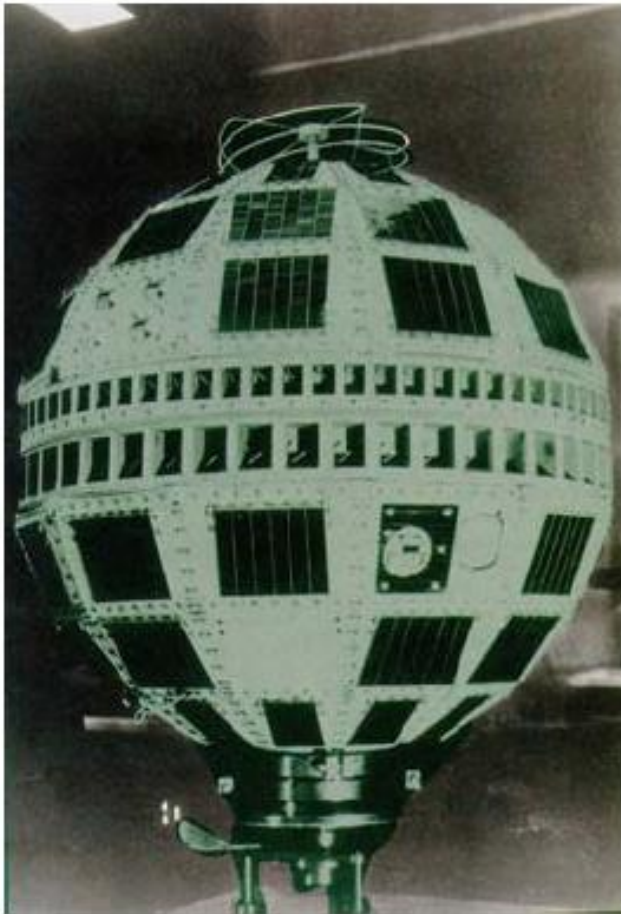
Ιστορική Αναδρομή

- ◆ **1960** : Κατασκευή πρώτου πυραύλου εκτόξευσης δορυφόρων DELTA από τις ΗΠΑ.
- ◆ **1962** : Αποστολή του πρώτου ενεργού δορυφόρου αναμετάδοσης TELSTAR της AT&T (δορυφόρος σε τροχιά μέσου ύψους 7.200Km). Λάμβανε στα 6GHz, μετέτρεπε σε χαμηλότερη συχνότητα, ενίσχυε, μετέτρεπε σε συχνότητα 4GHz και εξέπεμπε.
- ◆ **1962** : Ακολουθούν οι RELAY και TELSTAR II με παρόμοια χαρακτηριστικά (ελλειπτικές τροχιές μέσου ύψους με ορατότητα στον Ατλαντικό Ωκεανό διάρκειας μικρότερης της 1 ώρας σε κάθε πέρασμα).

Ιστορική Αναδρομή

- ◆ **1963** : Εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος σε σχεδόν γεωστατική τροχιά (SYNCOM II).
- ◆ **1964** : Εκτόξευση του πρώτου γεωστατικού δορυφόρου (SYNCOM III).
- ◆ **20 Αυγούστου 1964** : Ιδρύεται ο πρώτος Διεθνής Οργανισμός για την Συντονισμένη Εκμετάλλευση του Διαστήματος, INTELSAT (International Telecommunication Satellite Organization).

Ιστορική Αναδρομή– TELSTAR & SYNCOM



Ιστορική Αναδρομή

- ◆ **6 Απριλίου 1965** : Εκτόξευση από το Ακρωτήριο Κανάβεραλ του πρώτου εμπορικού τηλεπικοινωνιακού γεωστατικού δορυφόρου της εταιρείας COMSAT, ονόματι **Early Bird**.
- ◆ **1965** : Ο Early Bird περιέρχεται στον INTELSAT και ονομάζεται INTELSAT I. Περιείχε 480 τηλεφωνικά κανάλια και ήταν ο πρώτος δορυφόρος που έδωσε τη δυνατότητα υπερατλαντικής μετάδοσης τηλεοπτικών προγραμμάτων.
- ◆ **1965** : Οι Ρώσοι απαντούν με τον πρώτο τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο σε τροχιά MOLNYA και δημιουργούν το πρώτο σύστημα τοπικών επικοινωνιών με δορυφόρους.
- ◆ Ακολουθούν ο INTELSAT II και αργότερα (**1968**) ο INTELSAT III, ο πρώτος δορυφόρος που παρείχε κάλυψη σε 3 Ωκεανούς.

INTELSAT I (Early Bird) και II



Ιστορική Αναδρομή

- ◆ **1977** : Ιδρύεται ο EUTELSAT
- ◆ **1983** : Εκτόξευση του πρώτου Ευρωπαϊκού Δορυφόρου ECS (EUTELSAT 1).
Εξολοκλήρου Ευρωπαϊκή κατασκευή υπό την επίβλεψη της ESA (European Space Agency)
- ◆ **2001** : Η Ελλάδα μέλος της ESA
- ◆ **2002** : Ο πρώτος Ελληνικός Δορυφόρος σε τροχιά (ενοικίαση δορυφόρου Kopernikus).
- ◆ **2003** : Ο πρώτος Ελληνικός Δορυφόρος (**HELLAS-SAT**) τίθεται σε τροχιά.

Ανάπτυξη Δορυφορικών Συστημάτων

- ◆ Αρχικά Υψηλό Κόστος και Μικρές Ικανότητες Π.χ. INTELSAT I (68Kg, 480 τηλεφωνικά κανάλια με ετήσιο κόστος \$32.500/κανάλι).
- ◆ Παράγοντες Κόστους
 - Κόστος Πυραύλου Εκτόξευσης
 - Κόστος Δορυφόρου
 - Μικρή Διάρκεια Ζωής Δορυφόρου (1.5 έτη)
 - Μικρή Χωρητικότητα σε Κανάλια
- ◆ Η τεχνολογική πρόοδος μείωσε το κόστος Π.χ. INTELSAT VIII (3.600Kg, 22.500 τηλεφωνικά κανάλια, ετήσιο κόστος \$3.000/κανάλι)

Ανάπτυξη Δορυφορικών Συστημάτων

◆ Ανάπτυξη Υπηρεσιών

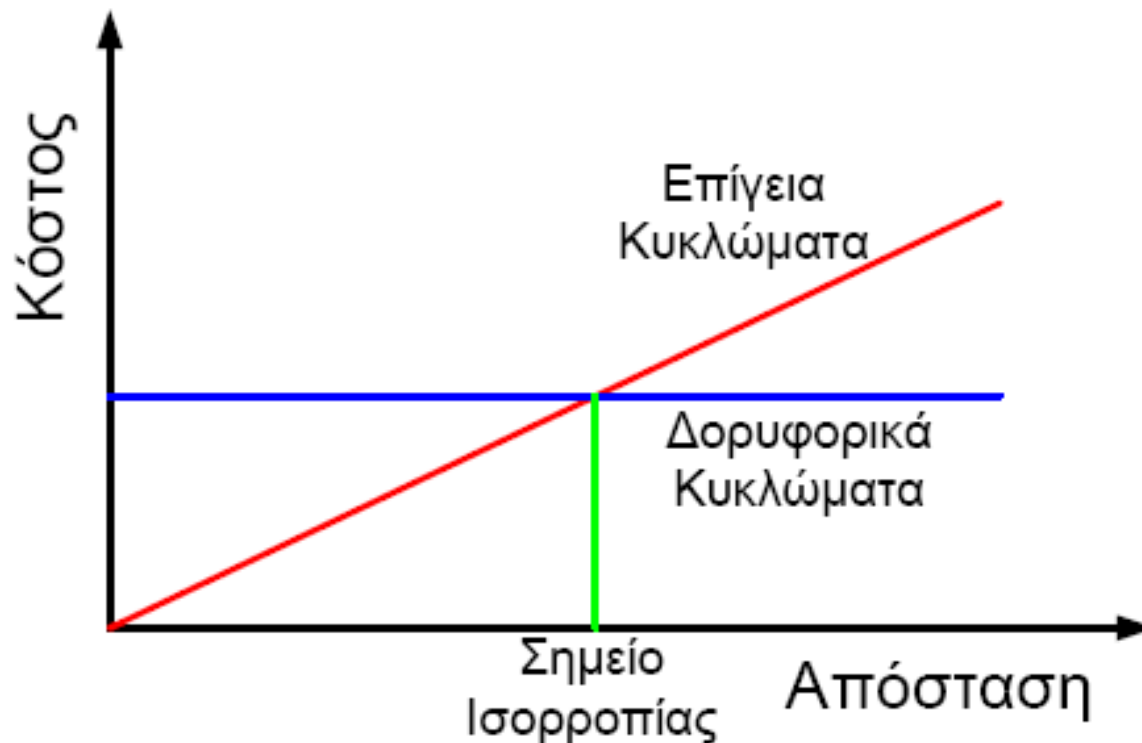
- Αρχικά επικοινωνία 2 σημείων με μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, και εξυπηρέτηση λίγων επίγειων σταθμών με κεραίες διαμέτρου 15-30m, κόστους \$10.000.000
- Αύξηση μεγέθους και ισχύος δορυφόρου συνεπάγεται μείωση διαστάσεων και κόστους επίγειων σταθμών και αύξηση του αριθμού τους.
- Δυνατότητα συλλογής και ευρείας αναμετάδοσης σημάτων από και προς πολλαπλές περιοχές.
- Επίγειοι Σταθμοί με κεραίες διαμέτρου 0.6-3.5m και κόστους από \$500 ως \$50.000

Δορυφορικές Υπηρεσίες & Μέγεθος Επίγειων Σταθμών

- ◆ Τηλεφωνία (μέρος της διεθνούς κίνησης μιας χώρας) και Ανταλλαγή Τηλεοπτικών Προγραμμάτων (INTELSAT, EUTELSAT). (15-30m)
- ◆ Πολυ-υπηρεσίες (φωνή, video, δεδομένα), για ομάδες χρηστών γεωγραφικά διεσπαρμένες. Κάθε ομάδα μοιράζεται έναν επίγειο σταθμό μέσω επίγειου δικτύου. (3-10m)
- ◆ VSAT (Very Small Aperture Terminals) για μετάδοση δεδομένων αλλά και για ευρεία αναμετάδοση τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών προγραμμάτων (0.6-1.5m)

Πλεονεκτήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών

- ◆ Κόστος κυκλωμάτων ανεξάρτητο της απόστασης.



Πλεονεκτήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών

- ◆ Δυνατότητα Ευρείας Αναμετάδοσης.
- ◆ Παράκαμψη των Επίγειων Δικτύων.
- ◆ Δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης νέων κυκλωμάτων.
- ◆ Δυνατότητα ελέγχου του ιδιωτικού δικτύου από το χρήστη.



Πλεονεκτήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών

- ◆ Παροχή υπηρεσιών σε περιοχές που τα επίγεια αδυνατούν (π.χ. πλοία, αεροπλάνα)
- ◆ Παροχή υπηρεσιών σε περιοχές με περιορισμένη ή και χωρίς επίγεια υποδομή.
- ◆ Παροχή παγκόσμιας κάλυψης.
- ◆ Παροχή Κινητών Υπηρεσιών συμπληρωματικά ως προς τα επίγεια.
- ◆ Παροχή υπηρεσιών σε περιπτώσεις αδυναμίας λειτουργίας των επίγειων δικτύων (πόλεμοι, καταστροφές).

Μειονεκτήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών

- ◆ Μεγάλο αρχικό κόστος για την τοποθέτηση και λειτουργία τους.
- ◆ Διάδοση και Παρεμβολές
- ◆ Συμφόρηση στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες.
- ◆ Συμφόρηση στη γεωστατική τροχιά.

Σύνοψη Σημαντικών Θεμάτων στα Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνιών

- ◆ Οι δορυφόροι πρέπει να είναι μικροί, ελαφρείς, και να καταναλώνουν την ελάχιστη δυνατή ενέργεια.
- ◆ Αύξηση βάρους σημαίνει αύξηση κόστους εκτόξευσης.
- ◆ Η βασική πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος, άρα οι ηλιακές κυψέλες είναι η μόνη λύση. Αύξηση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας σημαίνει αύξηση βάρους και επιφάνειας.
- ◆ Οι επικοινωνίες είναι η μοναδική πηγή εσόδων, άρα απαιτείται μεγιστοποίηση των διαθέσιμων διαύλων.

Σύνοψη Σημαντικών Θεμάτων στα Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνιών

- ◆ Λόγω μεγάλου κόστους των δορυφόρων και της εκτόξευσης, απαιτείται μακροχρόνια λειτουργία χωρίς συντήρηση.
- ◆ Αντίξοες συνθήκες λειτουργίας (εναλλαγή θερμοκρασίας, συνεχής βομβαρδισμός από υψηλή ακτινοβολία, υποατομικά σωματίδια, μικρομετεωρίτες).
- ◆ Η απόσταση δορυφόρου-γης είναι τεράστια (π.χ. 35.870Km) και τα Η/Μ σήματα πρέπει να την ταξιδεύουν δύο φορές, για μια απλή ζεύξη.

Σύνοψη Σημαντικών Θεμάτων στα Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνιών

- ◆ 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 λόγω βροχής.
- ◆ Στην Άνω-ζεύξη απαιτούνται ισχυροί πομποί και μεγάλες κεραίες, άρα αυξημένο κόστος.

Σύνοψη Σημαντικών Θεμάτων στα Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνιών

- ◆ 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 εξασθένισης και του θορύβου.

Σύνοψη Σημαντικών Θεμάτων στα Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνιών

- ◆ Λόγω της απόστασης ακόμη και τα διάφορα υπάρχοντα πρωτόκολλα απαιτούν κάποια τροποποίηση για τη σωστή λειτουργία.
- ◆ Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης πρέπει να μπορούν να υποστηρίζουν 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 κλπ.)

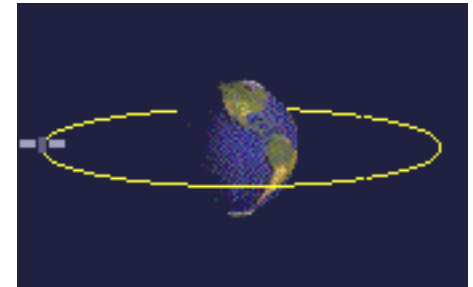
Δορυφορικές Τροχιές

- ◆ 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)

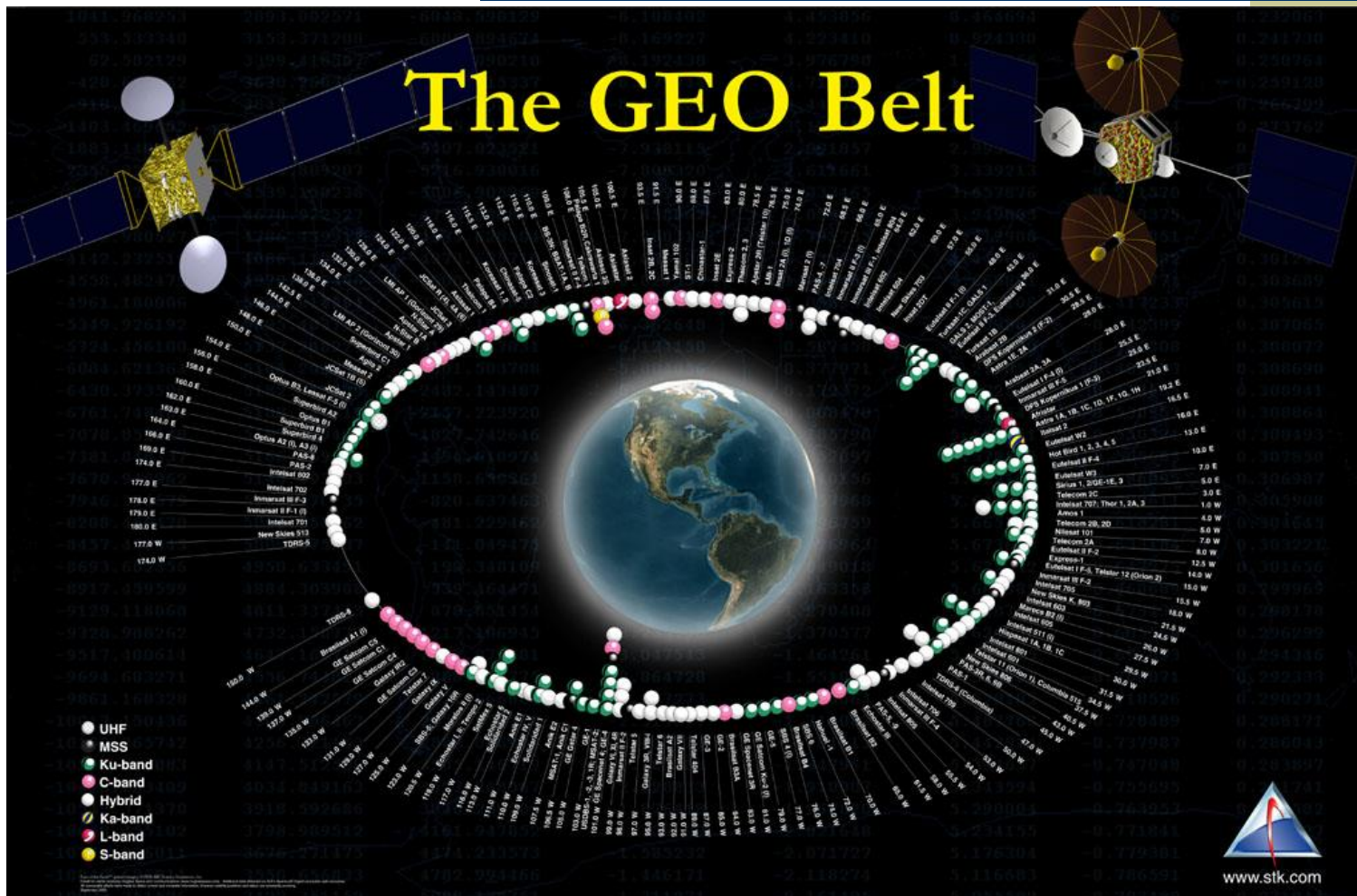
Γεωστατικές Τροχιές (GEO)

◆ Χαρακτηριστικά

- Κυκλικές τροχιές με μηδενική κλίση (ισημερινές τροχιές).
- Ύψος 35.786 Km
- Περιστροφή με την ίδια ταχύτητα και φορά με τη γη.
- Συνεχής κάλυψη της περιοχής ορατότητάς του (42.4% της επιφάνειας της γης).
- 3 Δορυφόροι είναι αρκετοί για την πλήρη κάλυψη της γης (εκτός από τις περιοχές των πόλων).

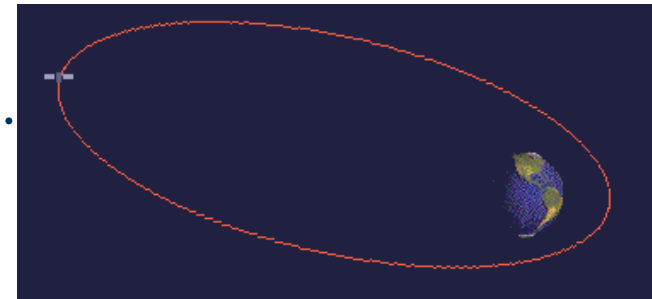


Γεωστατικές Τροχιές (GEO)

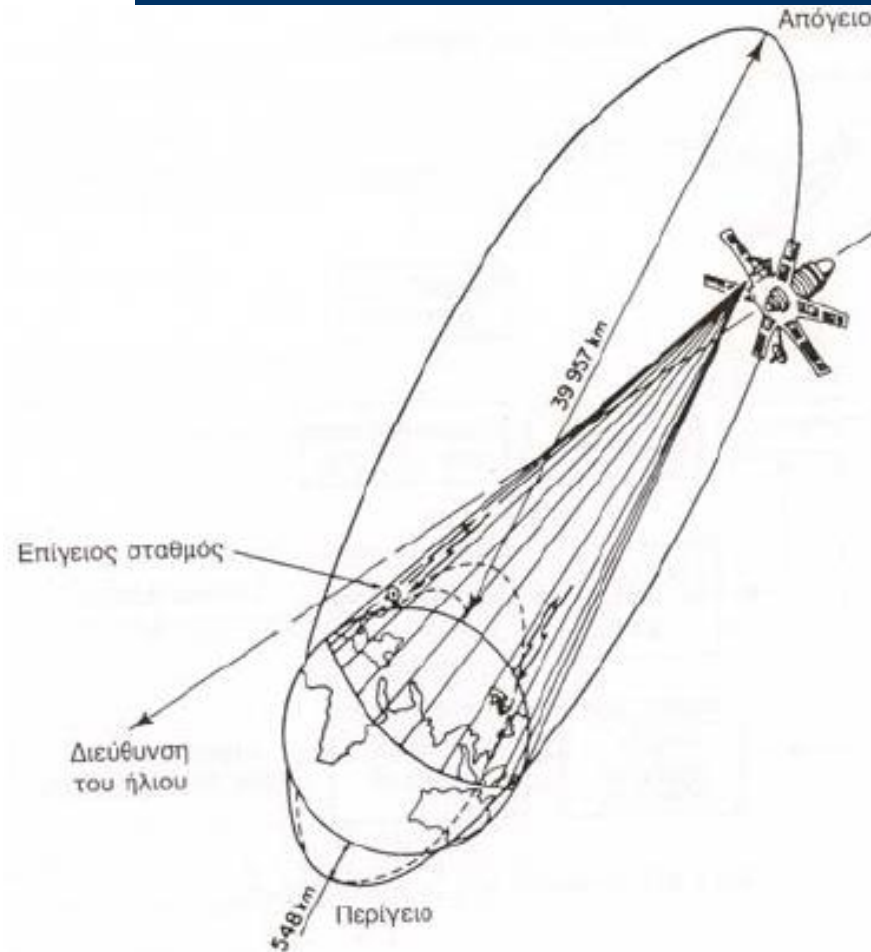


HEO (Highly Elliptical Orbits)

- ◆ Ελλειπτικές τροχιές με γωνία κλίσης περίπου 64° ως προς το ισημερινό επίπεδο.
- ◆ Κάλυψη περιοχών με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος στο απόγειο (apogee).
- ◆ Μεγάλο κλάσμα της περιόδου περιστροφής στο απόγειο π.χ. MOLNYA με 8 από τις 12 ώρες της περιόδου.
- ◆ Για TUNDRA η περίοδος περιστροφής είναι περίπου 24 ώρες.
- ◆ Παγκόσμια κάλυψη με 3 δορυφόρους σε 3 τροχιές και με διαφορά φάσης.
- ◆ Κάλυψη με μεγάλες γωνίες ανύψωσης.



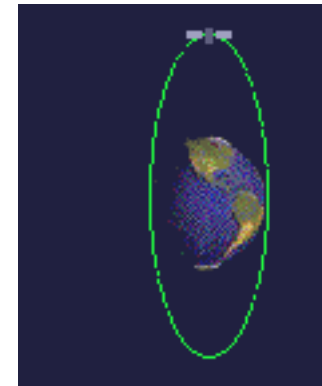
Τροχιά Συστήματος MOLNIYA



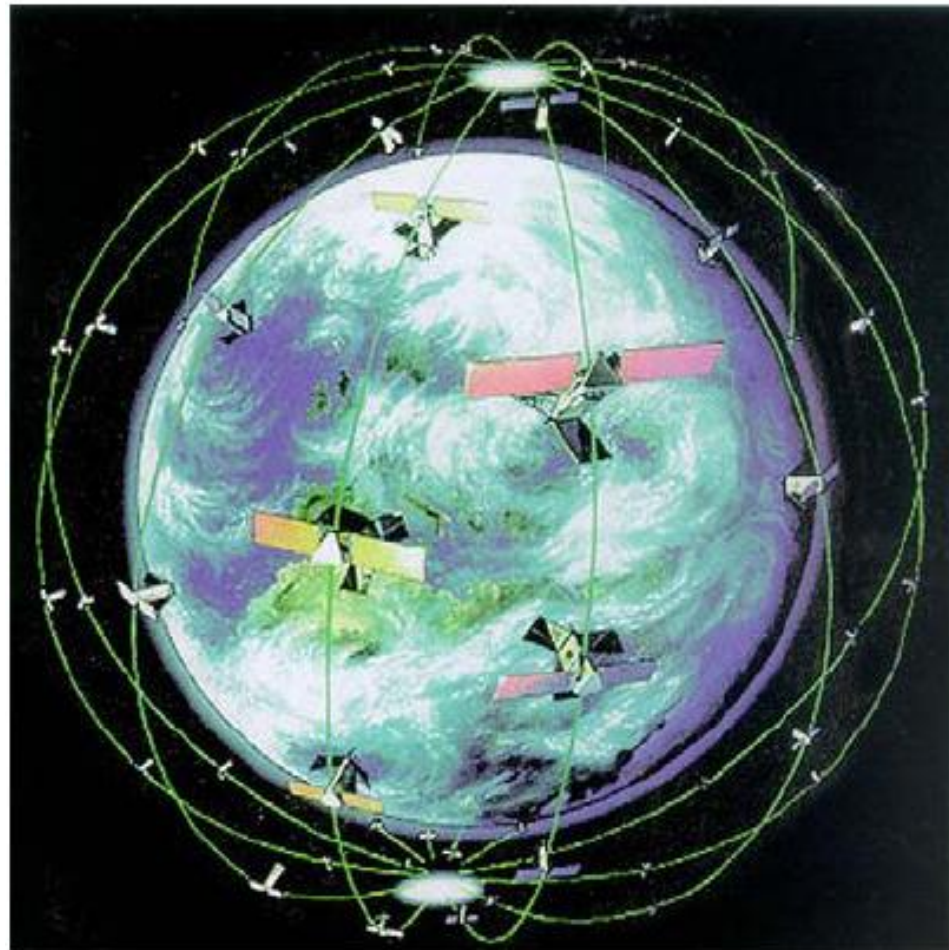
LEO (Low Earth Orbits)

- ◆ **Κυκλικές** τροχιές μικρού ύψους (700-1000Km), και περίοδο περίπου 1,5 ώρες.
- ◆ Τροχιακό επίπεδο με κλίση ως προς τον ισημερινό.
- ◆ **Πολικές** Τροχιές όταν η κλίση περίπου 90° , π.χ. ο δορυφόρος παρατήρησης SPOT, $98,7^\circ$ περίοδο 101 λεπτά και 830Km ύψος.
- ◆ Οι πολικές εγγυώνται ότι ο δορυφόρος θα περάσει πάνω από κάθε περιοχή της γης.
- ◆ Αστερισμοί δορυφόρων (π.χ. 11 τροχιακά επίπεδα με 6 δορυφόρους ανά επίπεδο στο Iridium, ή 8 επίπεδα με 8 δορυφόρους ανά επίπεδο στο Globalstar) παρέχουν παγκόσμια κάλυψη.

Παράδειγμα Τροχιάς LEO



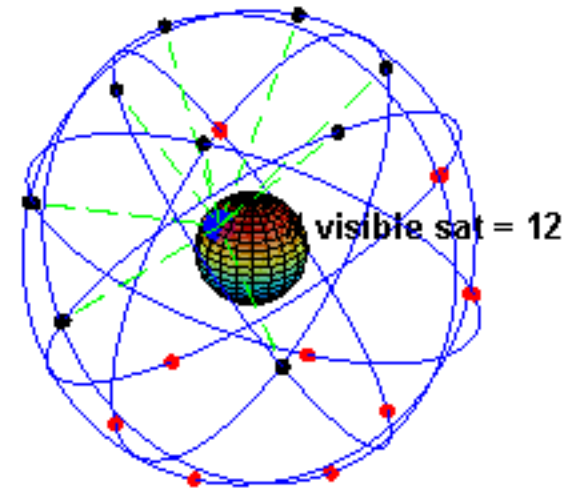
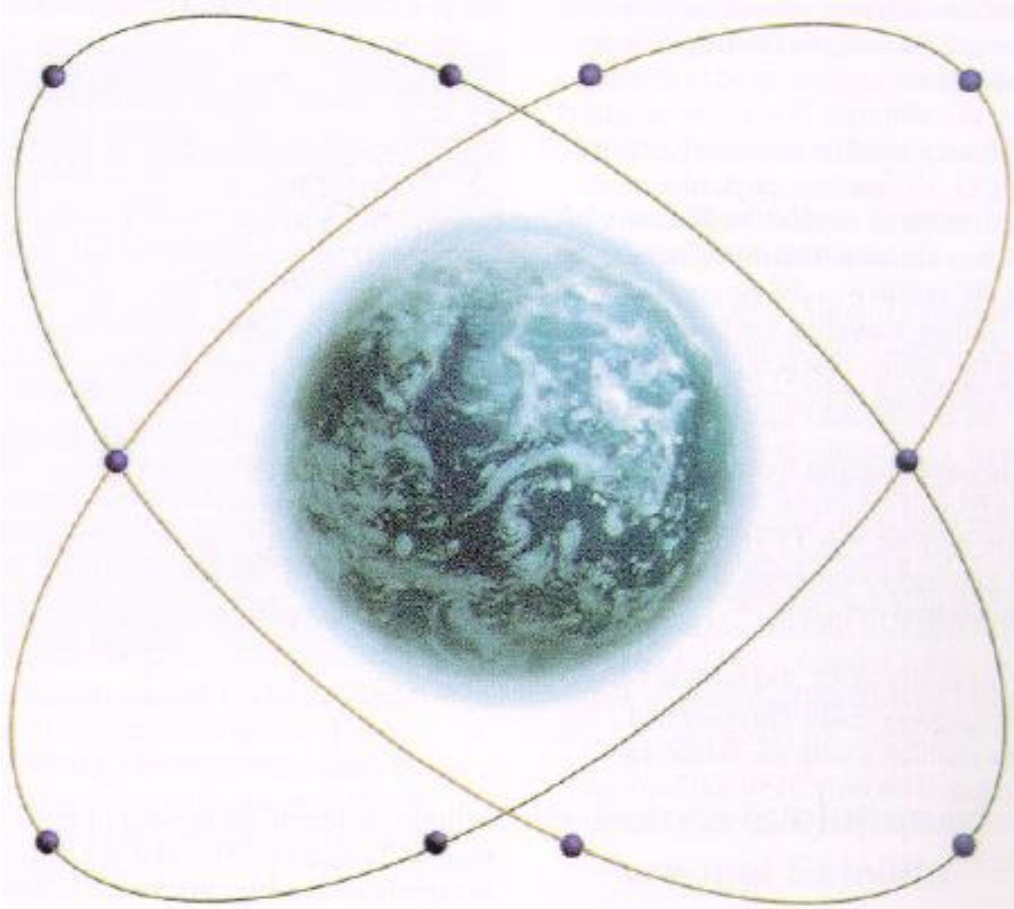
Παράδειγμα LEO – Iridium



ΜΕΟ (Medium Earth Orbits)

- ◆ Κυκλικές Τροχιές, μέσου ύψους (10.000Km), περίοδο περίπου 6 ώρες και κλίση τροχιακού επιπέδου 50° .
- ◆ Ονομάζονται και ICO (Intermediate Circular Orbits).
- ◆ Με 2 τροχιακά επίπεδα και 6 δορυφόρους ανά επίπεδο επιτυγχάνεται παγκόσμια κάλυψη.

Παράδειγμα ΜΕΟ - ΙСО



Πλεονεκτήματα GEO

- 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.

Μειονεκτήματα GEO

- 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.

Πλεονεκτήματα LEO

- 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.

Μειονεκτήματα LEO

- 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.

Μειονεκτήματα LEO (συνέχεια)

- 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).

Πλεονεκτήματα ΗΕΟ

- 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.

Μειονεκτήματα ΗΕΟ

- 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.

Κριτήρια 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

Οργανισμοί Τυποποίησης

- ◆ **ITU** (International Telecommunications Union) Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών
- ◆ Τρεις τομείς
 - **ITU-R** (Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών πρώην **CCIR**, ασχολείται με ασύρματες επικοινωνίες)
 - **ITU-T** (Τομέας Προτυποποίησης Τηλεπικοινωνιών πρώην **CCITT**, ασχολείται με ενσύρματες επικοινωνίες)
 - **ITU-D** (Τομέας Ανάπτυξης)
- ◆ **Radio Regulations** (Κανονισμοί Ραδιοσυχνοτήτων)
- ◆ Συστάσεις (**Recommendations**) και Αναφορές (**Reports**) της ITU-R

Κανονισμοί Ραδιοσυχνοτήτων & Συστάσεις

- ◆ Ρυθμίζουν την **απόδοση** και τη **χρήση** των συχνοτήτων έτσι ώστε να **ΑΠΟΦΕΥΓΕΤΑΙ** η πρόκληση **ΕΠΙΖΗΜΙΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ** μεταξύ τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.
- ◆ Η απόδοση των συχνοτήτων στις διάφορες υπηρεσίες γίνεται από τα **WARC** (World Administrative Radio Conference).
- ◆ Η **ITU-R** παράγει πρότυπα για την **Αποδοτικότητα** και την **Συμβατή Διαδικτύωση** των **Ραδιο-Συστημάτων**.

Παραδείγματα Συστάσεων & Αναφορών

- ◆ Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας των Σταθμών Βάσης (Rec. 465-1 & 580, Rep. 390-4 & 391-4)
- ◆ Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας ενός δορυφόρου (Rep. 558-2)
- ◆ Απαιτήσεις ως προς τα χαρακτηριστικά εκπομπής ενός δορυφόρου (RR28-4, Rec. 358, Rep. 387, 558 & 810)
- ◆ Η απαιτούμενη τροχιακή απόσταση μεταξύ δύο δορυφόρων (Rep. 453-3 & 559)
- ◆ Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής προς τον ορίζοντα ενός Σταθμού Βάσης (Rep. 386-3)

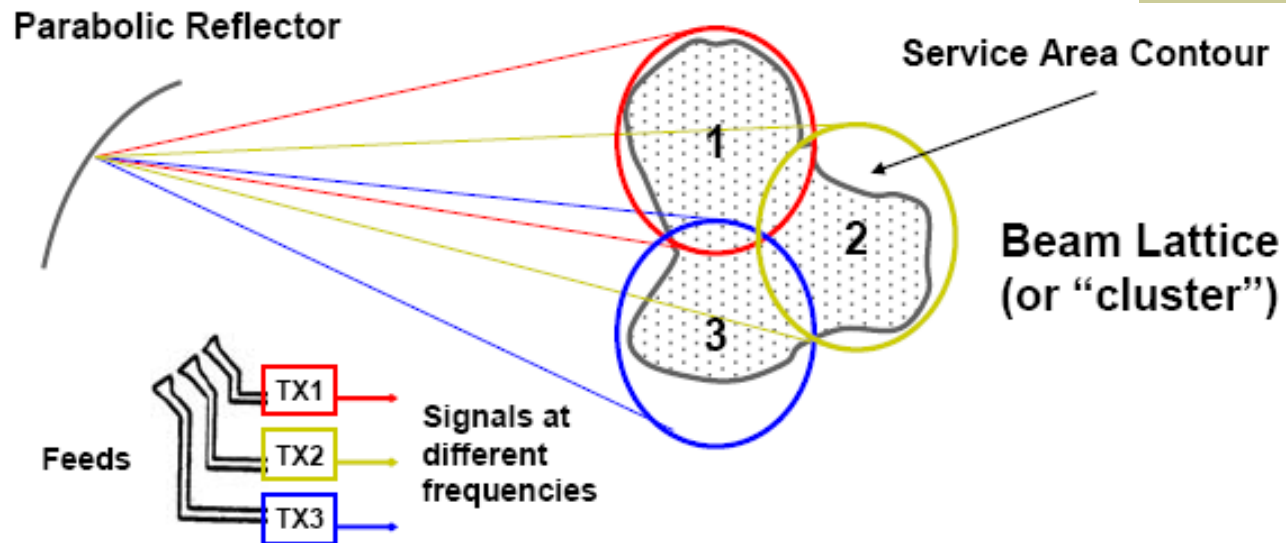
Κατηγορίες Δορυφορικών Ραδιοεπικοινωνιών

- ◆ Fixed Satellite Service (FSS)
- ◆ Broadcasting Satellite Service (BSS)
- ◆ Mobile Satellite Service (MSS)
 - Aeronautical Mobile Satellite Service (AMSS)
 - Maritime Mobile Satellite Service (MMSS)
 - Land Mobile Satellite Service (LMSS)
- ◆ Amateur Satellite Service (AmSS)
- ◆ Radio Determination Satellite Service (RDSS)
 - Radio Navigation Satellite Service (RNSS)
 - Maritime (MRNSS)
 - Aeronautical (AeRNSS)

Κατηγορίες Δορυφορικών Ραδιοεπικοινωνιών

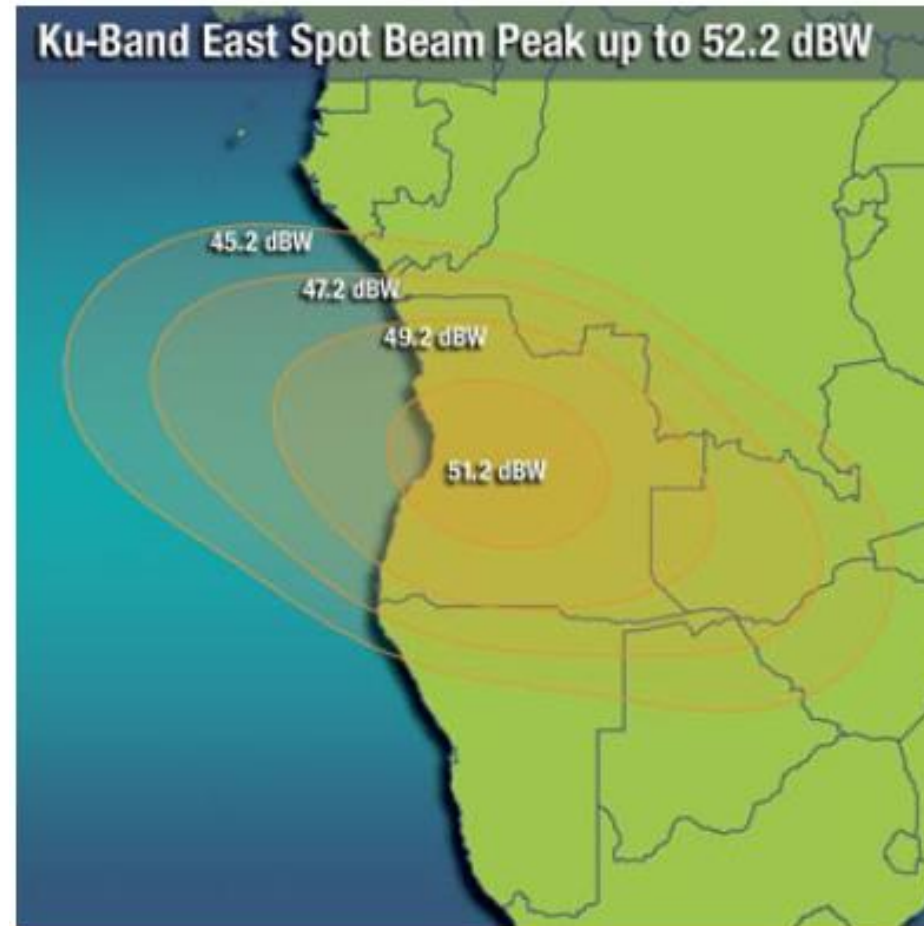
- ◆ Standard Frequency & Time signal Satellite Service (SFSS)
- ◆ Inter Satellite Service (ISS)
- ◆ Earth Exploration Satellite Service (EESS)
 - Meteorological Satellite Service (MetS)
- ◆ Space Research Service (SRS)
- ◆ Space Operation Service (SpO)

MultiSpot Beams (Δέσμες Πολλαπλών Σημείων)

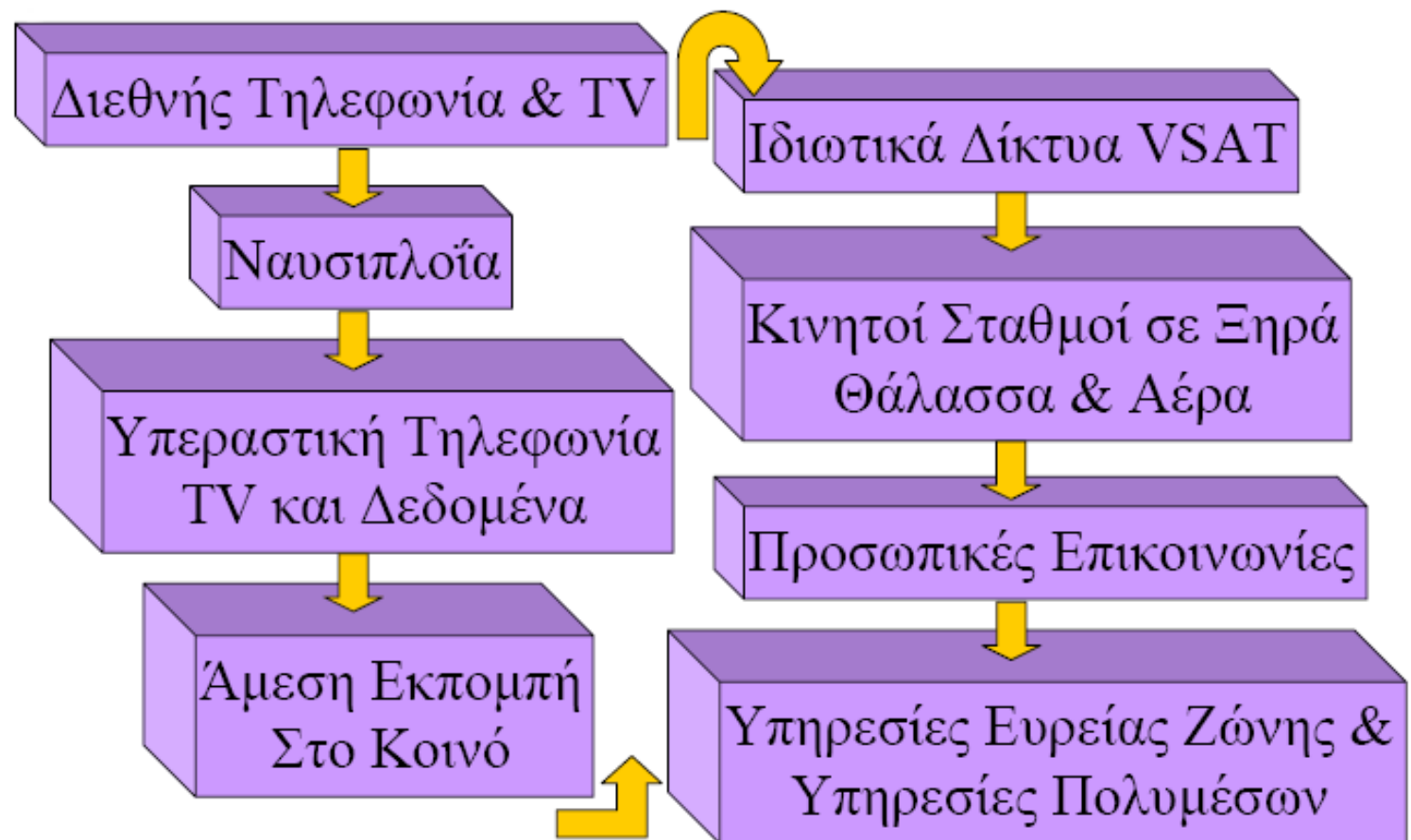


- ◆ Χρήση κοινού ανακλαστήρα με διαφορετικές χοανοκεραίες τροφοδότησης, παρέχοντας διαφορετικές δέσμες.
- ◆ Αν είναι γεωγραφικά απομακρυσμένες και/ή γίνεται χρήση διαφορετικής πόλωσης τότε μπορεί να έχουμε επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

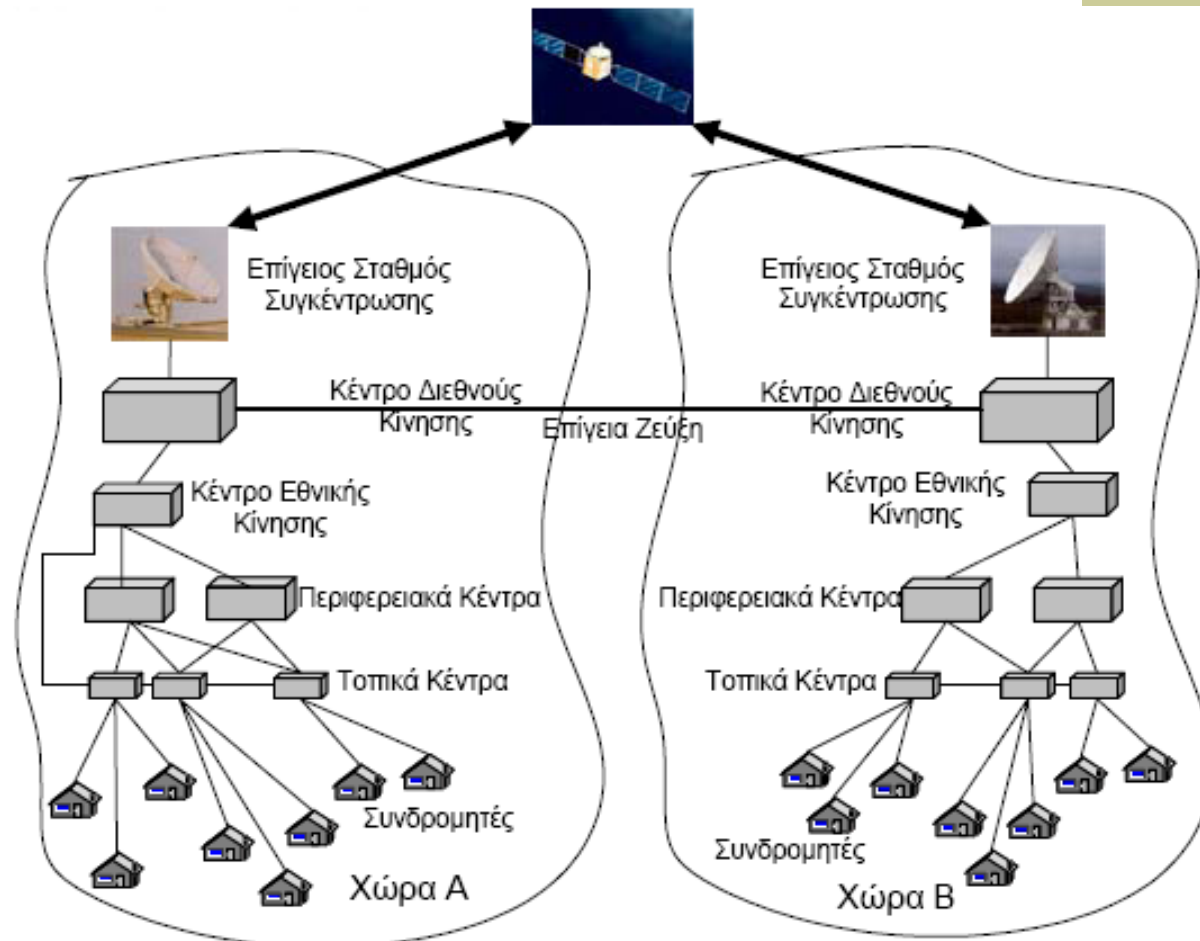
MultiSpot Beams (Δέσμες Πολλαπλών Σημείων)



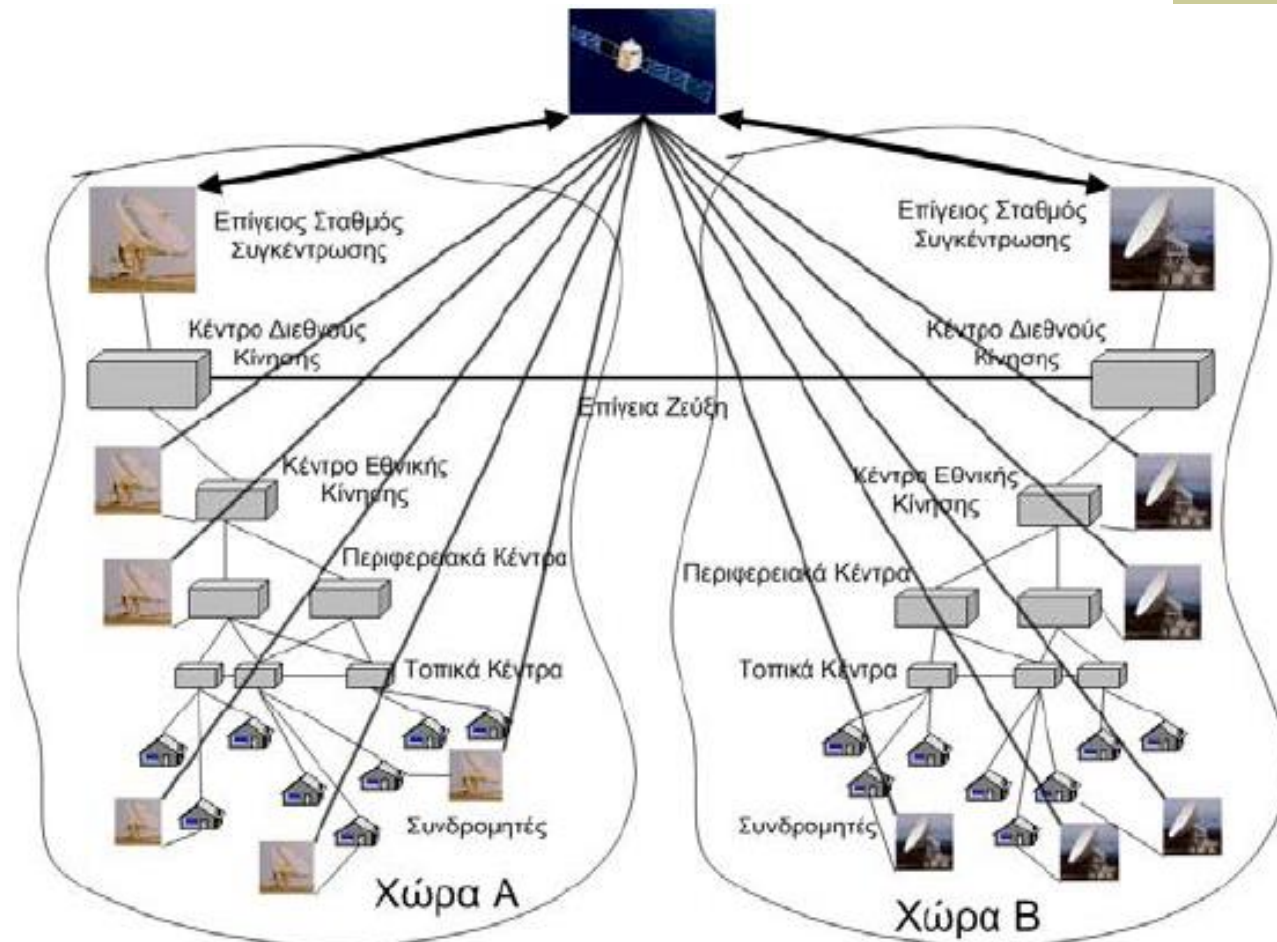
Εξέλιξη Δορυφορικών Δικτύων



Αρχική Δομή Δικτύων



Μετέπειτα Δομή Δικτύων



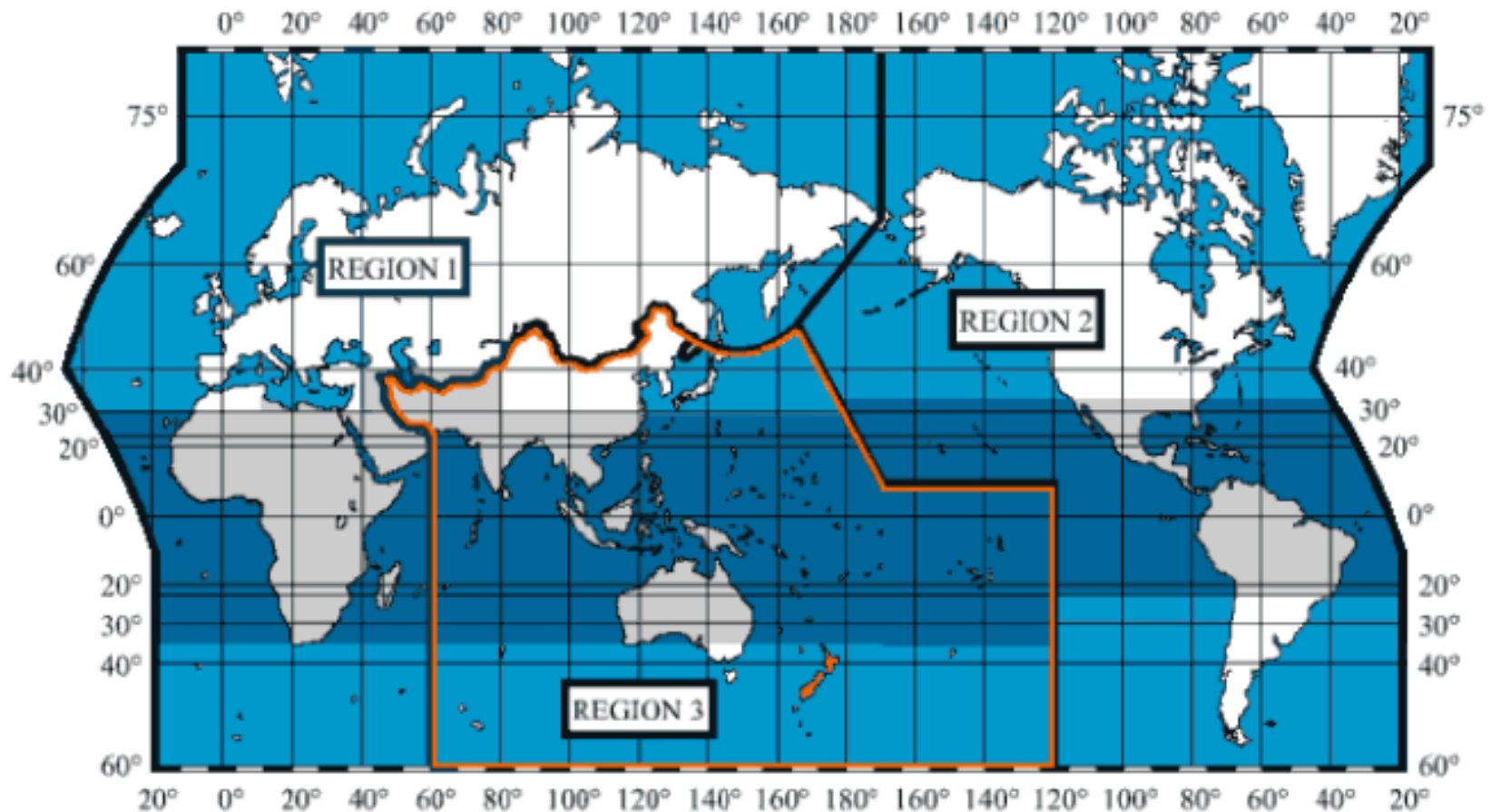
Ζώνες Συχνοτήτων στις Δορυφορικές Επικοινωνίες

<i>Ζώνες Συχνοτήτων</i>	<i>Συχνότητες</i>
L-band	1GHz-2GHz
S-band	2GHz-4GHz
C-band	4GHz-8GHz
X-band	8GHz-12GHz
Ku-band	12GHz-18GHz
Ka-band	20GHz-30GHz

Χρήση Συχνοτήτων (Uplink/Downlink)

- ◆ Επικοινωνία με Κινητούς Σταθμούς
 - 2.6/2.5 GHz (S-band)
 - 1.6/1.4 GHz (L-band)
- ◆ Επικοινωνία με Σταθερούς Επίγειους Σταθμούς
 - 6/4 GHz (C-band)
 - 8/7 GHz (X-band, στρατιωτική χρήση)
 - 14/12 GHz (Ku-band)
 - 30/20 GHz (Ka-band)
- ◆ Χρήση διαφορετικών συχνοτήτων στο Uplink και στο Downlink για **αποφυγή παρεμβολών** στο δορυφόρο.

Περιοχές ITU (ITU Regions)



Παγκόσμιοι Δορυφορικοί Οργανισμοί

- ◆ **INTELSAT** (International Satellite Organization) (Κυρίως FSS και BSS)
- ◆ **INMARSAT** (International Maritime Satellite Organization) (MSS)
- ◆ **EUTELSAT** (European Telecommunications Satellite Organization) (FSS, BSS και RDSS)

INTELSAT

- ◆ Από το 1964 διεθνής οργανισμός. Το 2001 έγινε ιδιωτική εταιρεία.
- ◆ Σημαντικές εξελίξεις
 - 1969 μετάδοση της προσελήνωσης, η πρώτη ζωντανή παγκόσμια τηλεοπτική μετάδοση.
 - 1974 υλοποίηση της πρώτης διεθνούς ψηφιακής τηλεφωνικής υπηρεσίας.
 - 1987 η μεγαλύτερη τηλεδιάσκεψη (50.000 άνθρωποι από 79 πόλεις)
 - 1993 παροχή Internet υπηρεσιών
- ◆ Παρέχει υπηρεσίες :
 - Internet Trunking
 - International Private Line (Δίκτυο Δορυφόρων και Οπτικών Ινών)
 - Video

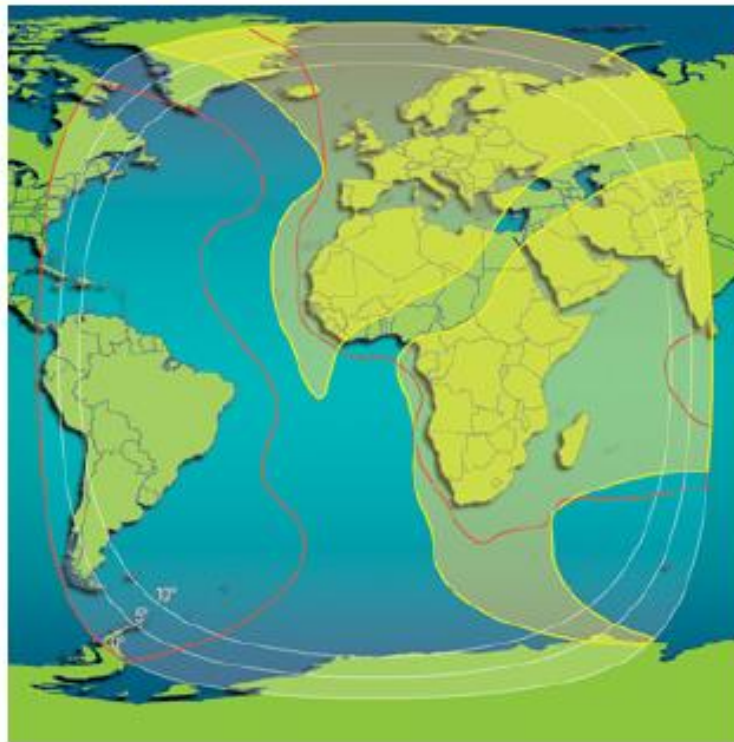
INTELSAT

- ◆ Γενιά Δορυφόρων :
Intelsat X (2003)
 - Intelsat 10-01 και 10-02
 - Μάζα εκτόξευσης 5.000Kg
 - Ισχύς ωφέλιμου φορτίου 8KW
 - Κατασκευαστής η Astrium
 - 70 C-band και 36 Kuband transponders (36MHz ο καθένας)
 - Εκτοξεύθηκε 15/6/2004

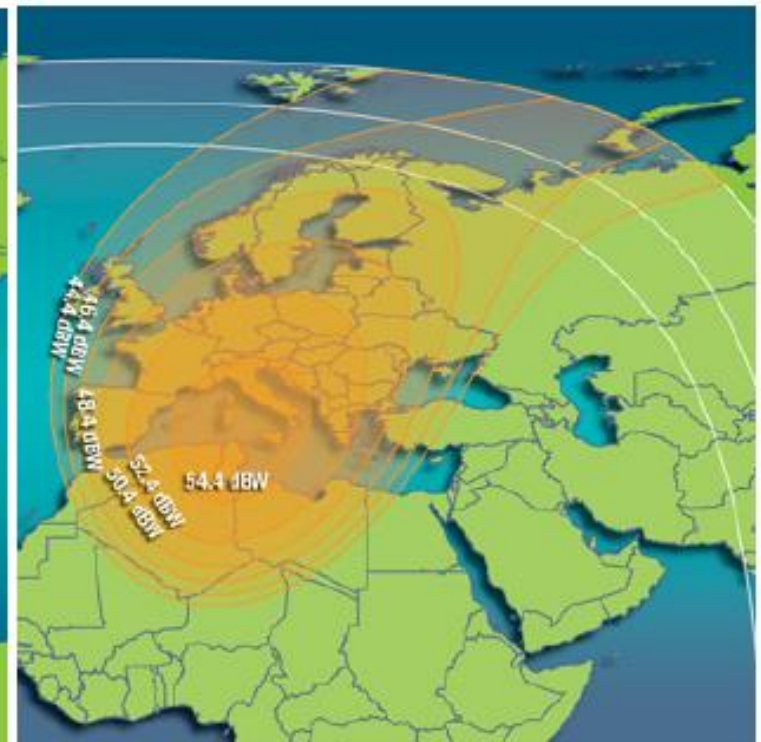


INTELSAT

Global Beam 10-02



Spot Beam 10-02



INMARSAT

- ◆ Διεθνής οργανισμός που παρέχει παγκόσμιες κινητές δορυφορικές επικοινωνίες και ιδρύθηκε το 1979.
- ◆ 86 χώρες μέλη (από το 1999 ιδιωτική εταιρεία).
- ◆ Οι υπηρεσίες που προσφέρει αφορούν σε ξηρά, θάλασσα, και αέρα.
- ◆ Εξυπηρετεί περισσότερα από 240.000 πλοία, αεροπλάνα, οχήματα και κινητά τερματικά με υπηρεσίες **φωνής, fax, δεδομένων ως 64Kbps**.
- ◆ Επόμενος στόχος η ανάπτυξη του Inmarsat I-4 συστήματος που από το 2005 θα υποστηρίζει το Inmarsat Broadband Global Area Network (B-GAN) – κινητές επικοινωνίες δεδομένων ως 432kbit/s για Internet, mobile multimedia, και άλλες προηγμένες υπηρεσίες πολυμέσων.

Inmarsat GAN

◆ Υπηρεσίες GAN :

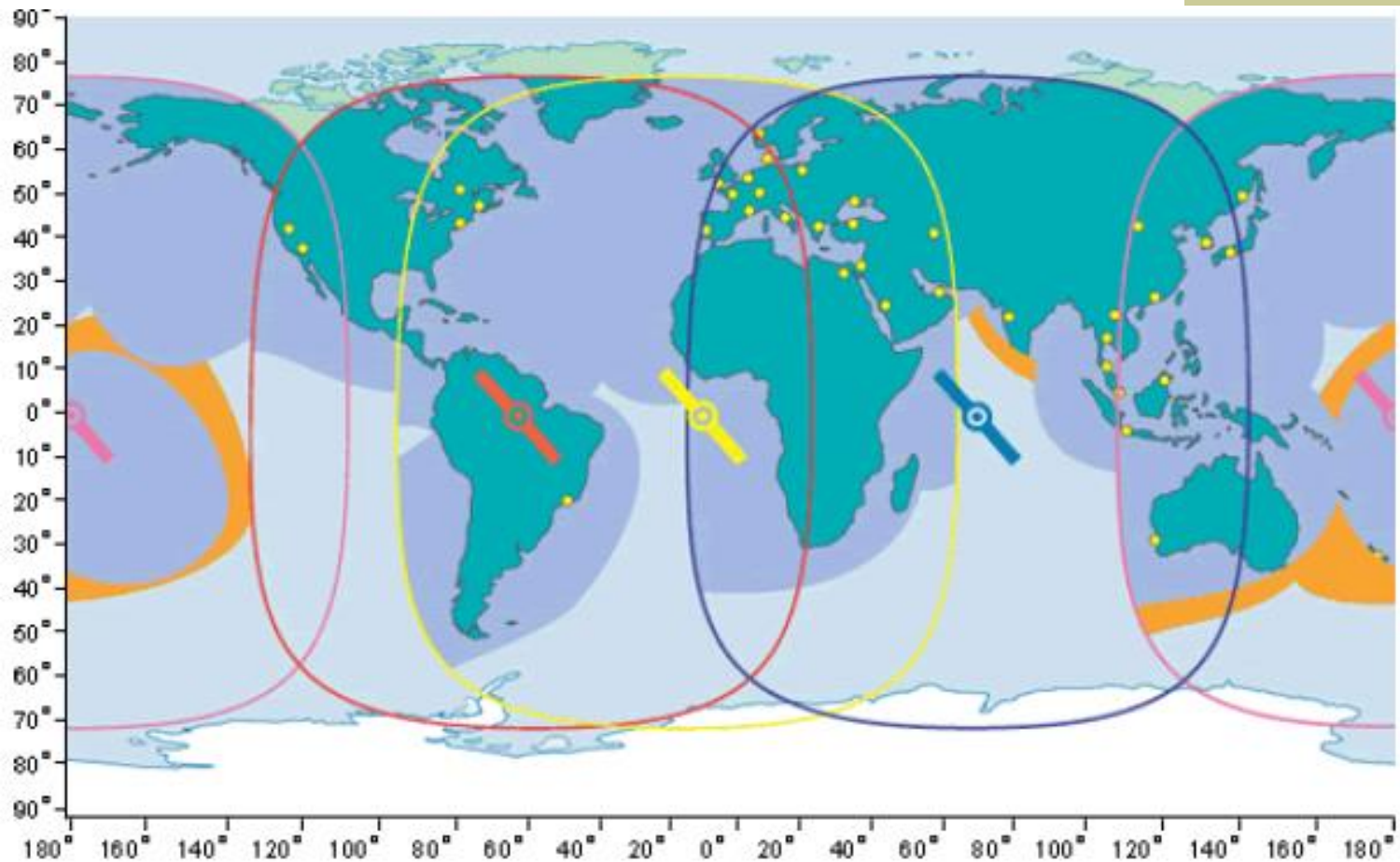
- remote LAN access,
- e-mail,
- e-commerce,
- intranet access,
- image transfer,
- store-and-forward video
- high-quality voice and fax.



◆ Παρέχονται 2 τύποι υπηρεσιών :

- **Mobile ISDN** (χρέωση με ώρα σύνδεσης)
- **Mobile Packet Data** (χρέωση με ποσότητα πακέτων)

Κάλυψη INMARSAT



INMARSAT Satellites

- ◆ Σήμερα βρισκόμαστε στη σειρά 3.
- ◆ Η επόμενη γενιά δορυφόρων είναι η INMARSAT I-4
- ◆ 5.000 Kg
- ◆ 9KW
- ◆ 630 κανάλια των 200KHz
- ◆ 200 spot beams

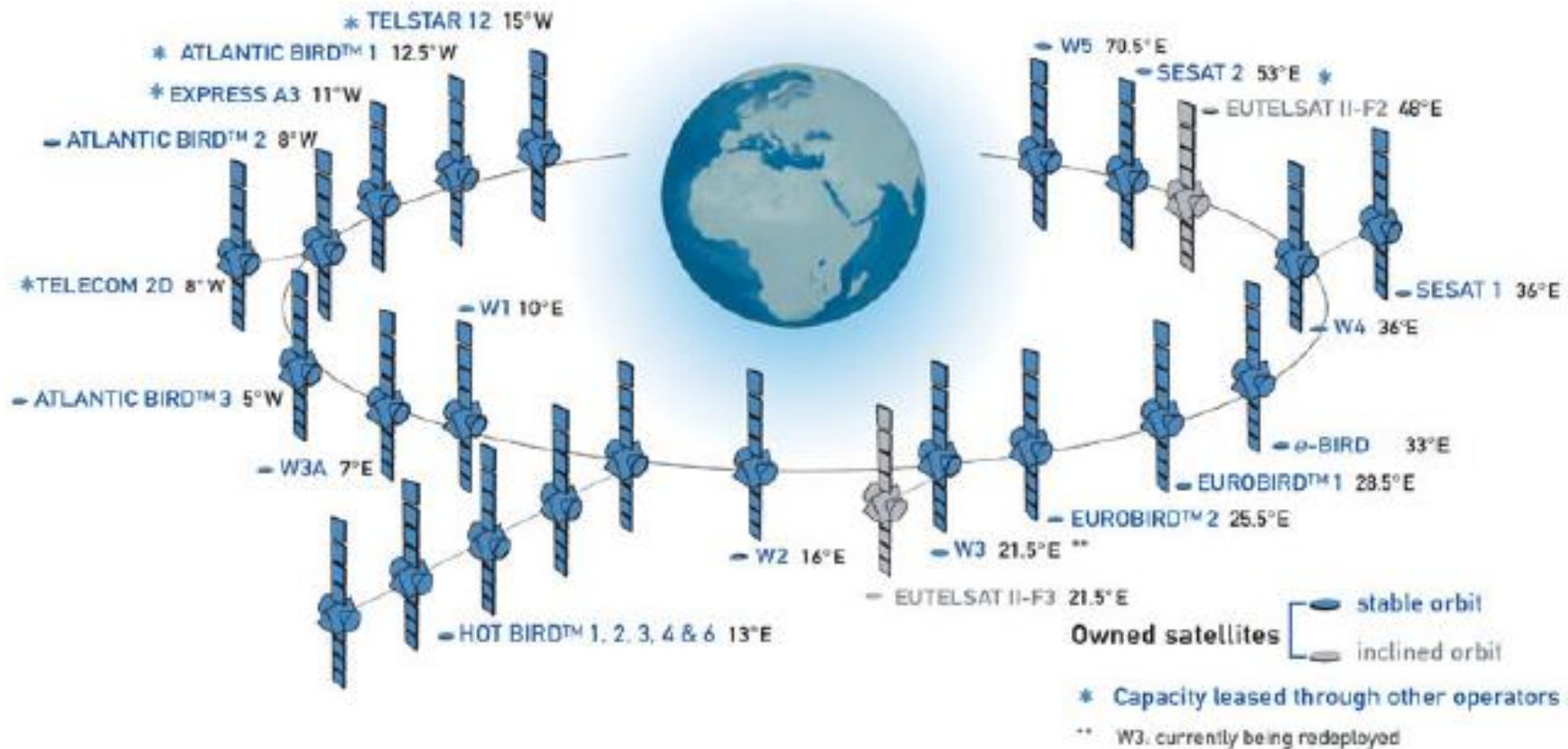


EUTELSAT

◆ Δίκτυα της Eutelsat

- **EUTELSAT II** (η πιο παλιά γενιά δορυφόρων για video και τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες)
- **HOT BIRD™** (Ευρεία Εκπομπή Τηλεοπτικών και Ραδιοφωνικών Προγραμμάτων στην Ευρώπη)
- **W Series** (Τηλεφωνία, Internet, Τηλεοπτικά και Ραδιοφωνικά Προγράμματα, Δίκτυα Επιχειρήσεων)
- **EUROBIRD™** (Παρόμοιες υπηρεσίες με τους W)
- **SESAT** (Τηλεφωνία και Δίκτυα Επιχειρήσεων)
- **Atlantic Gate** (Video, IP, data, συνδέοντας Ευρώπη και Αμερική)

Τροχιακές Θέσεις EUTELSAT



EutelTRACS™

- ◆ Υπηρεσία Κινητών Δορυφορικών Επικοινωνιών (Παρακολούθηση Στόλου). Εξέλιξη του συστήματος OmniTRACS της Qualcomm στην Αμερική.
- ◆ 600 ναυτιλιακές εταιρείες και εταιρείες μεταφορών, 22.000 φορτηγά και πλοία.
- ◆ Υπηρεσίες
 - Εντοπισμός με ακρίβεια 100m
 - Μετάδοση σημάτων κινδύνου
 - Ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ κινητών και βάσης
 - Συλλογή και μετάδοση δεδομένων από τα κινητά
 - Παροχή πρόσβασης των κινητών σε βάσεις δεδομένων με πληροφορίες καιρού ή κίνησης.
- ◆ Παρέχεται από του δορυφόρους W3 και SESAT.

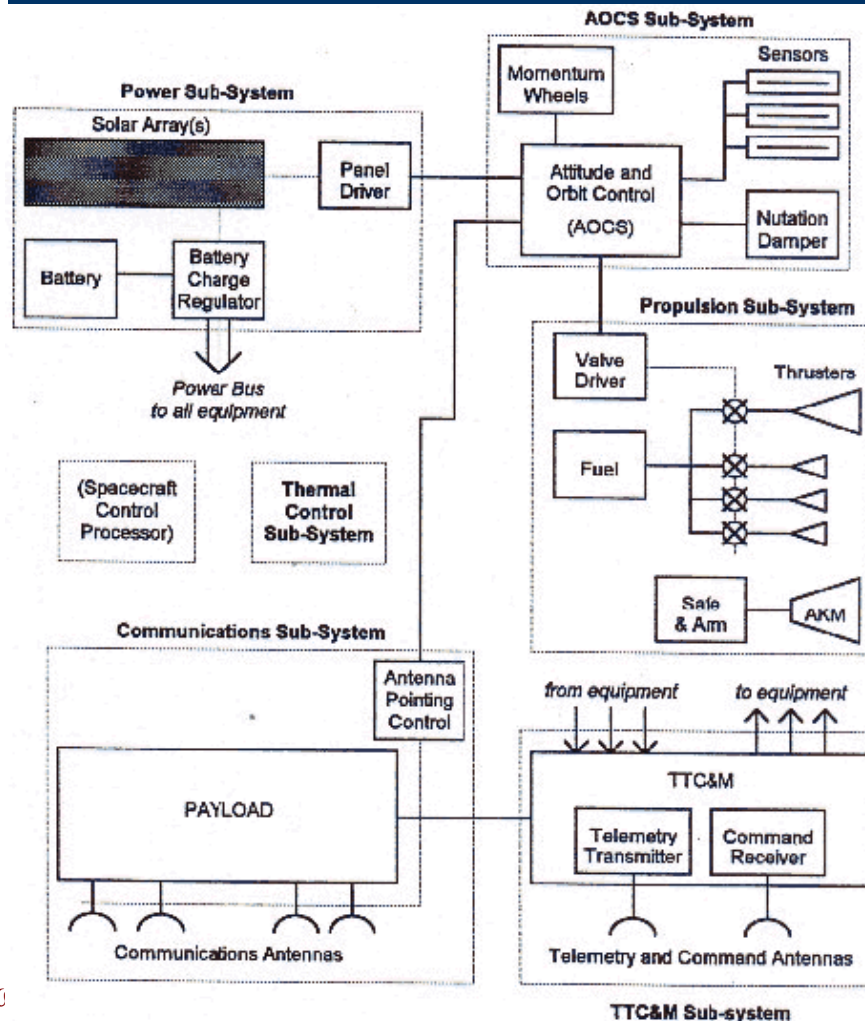
Οργάνωση Συστήματος Δορυφορικών Επικοινωνιών



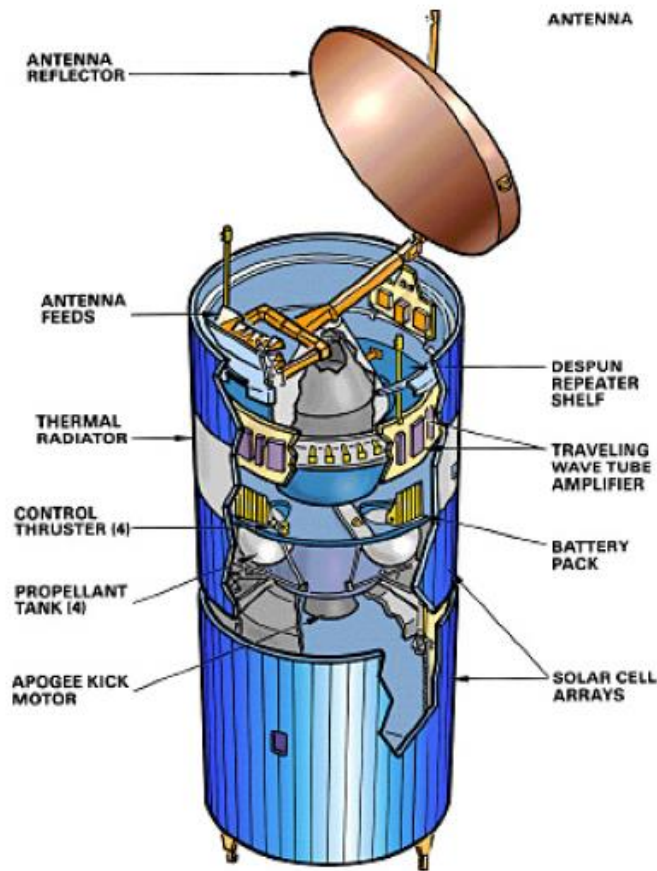
Διαστημικό Τμήμα

- ◆ Δορυφόρος
 - Ωφέλιμο Φορτίο (Payload) (κεραίες & ηλεκτρονικός εξοπλισμός μεταδόσεων)
 - Πλατφόρμα (Platform or Bus)
 - Μηχανική Κατασκευή
 - Παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας
 - Έλεγχος Θερμοκρασίας
 - Έλεγχος Θέσης και Τροχιάς
 - Εξοπλισμός Πρόωσης
 - Εξοπλισμός Παρακολούθησης Τηλεμετρίας & Ελέγχου
- ◆ Επίγειες Εγκαταστάσεις Ελέγχου, Τηλεμετρίας & Παρακολούθησης Δορυφόρου (Tracking Telemetry & Control, TT&C)

Υποσυστήματα Πλατφόρμας Δορυφόρου



Υποσυστήματα Πλατφόρμας Δορυφόρου



Access to U.S. communication satellites has undoubtedly permitted the PRC to gain invaluable information about their configuration and design. In as little as two hours, PRC technical personnel can penetrate the interior of a satellite without leaving any traces.

Υποσυστήματα Πλατφόρμας Δορυφόρου

- ◆ **Μηχανική Κατασκευή** (Υποστήριξη εξοπλισμού – Σταθερότητα, Ευστάθεια)
- ◆ **Παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας** (Ισχύς και Ρύθμιση Τάσης)
- ◆ **Έλεγχος Θερμοκρασίας** (Ρύθμιση θερμοκρασίας του εξοπλισμού – Δυνατότητα απαγωγής θερμότητας)
- ◆ **Έλεγχος Θέσης και Τροχιάς** (Καθορισμός τροχιάς και σταθεροποίηση θέσης στην τροχιά - Ακρίβεια)
- ◆ **Εξοπλισμός Πρόωσης** (Παρέχει αυξήσεις ταχύτητας και κατάλληλες ροπές – Μάζα καυσίμων και συγκεκριμένες ωθήσεις)
- ◆ **Εξοπλισμός Παρακολούθησης Τηλεμετρίας & Ελέγχου** (Ανταλλαγή δεδομένων με τον σταθμό ελέγχου – Αριθμός διαθέσιμων διαύλων και ασφάλεια επικοινωνιών)

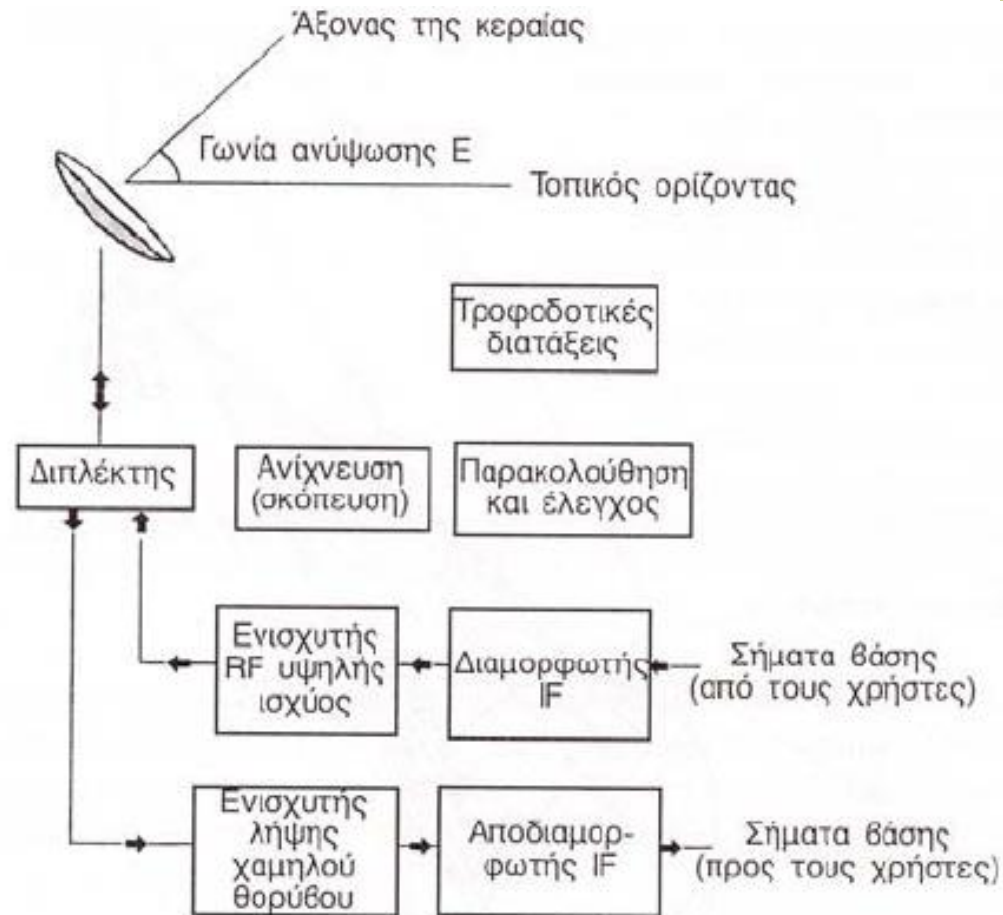
Επίγειο Τμήμα

- ◆ Ο Πομπός και/ή ο Δέκτης είναι μέρη του Επίγειου Σταθμού
- ◆ Οι επίγειοι σταθμοί είναι είτε Σταθεροί είτε Κινητοί
- ◆ Οι Σταθεροί Επίγειοι Σταθμοί περιλαμβάνουν
- ◆ Σταθμούς Δρομολόγησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που συλλέγεται από επίγεια συστήματα.
- ◆ Σταθμούς στις εγκαταστάσεις του χρήστη.
- ◆ Οι Κινητοί Σταθμοί περιλαμβάνουν σταθμούς σε Ξηρά, Θάλασσα και Αέρα.

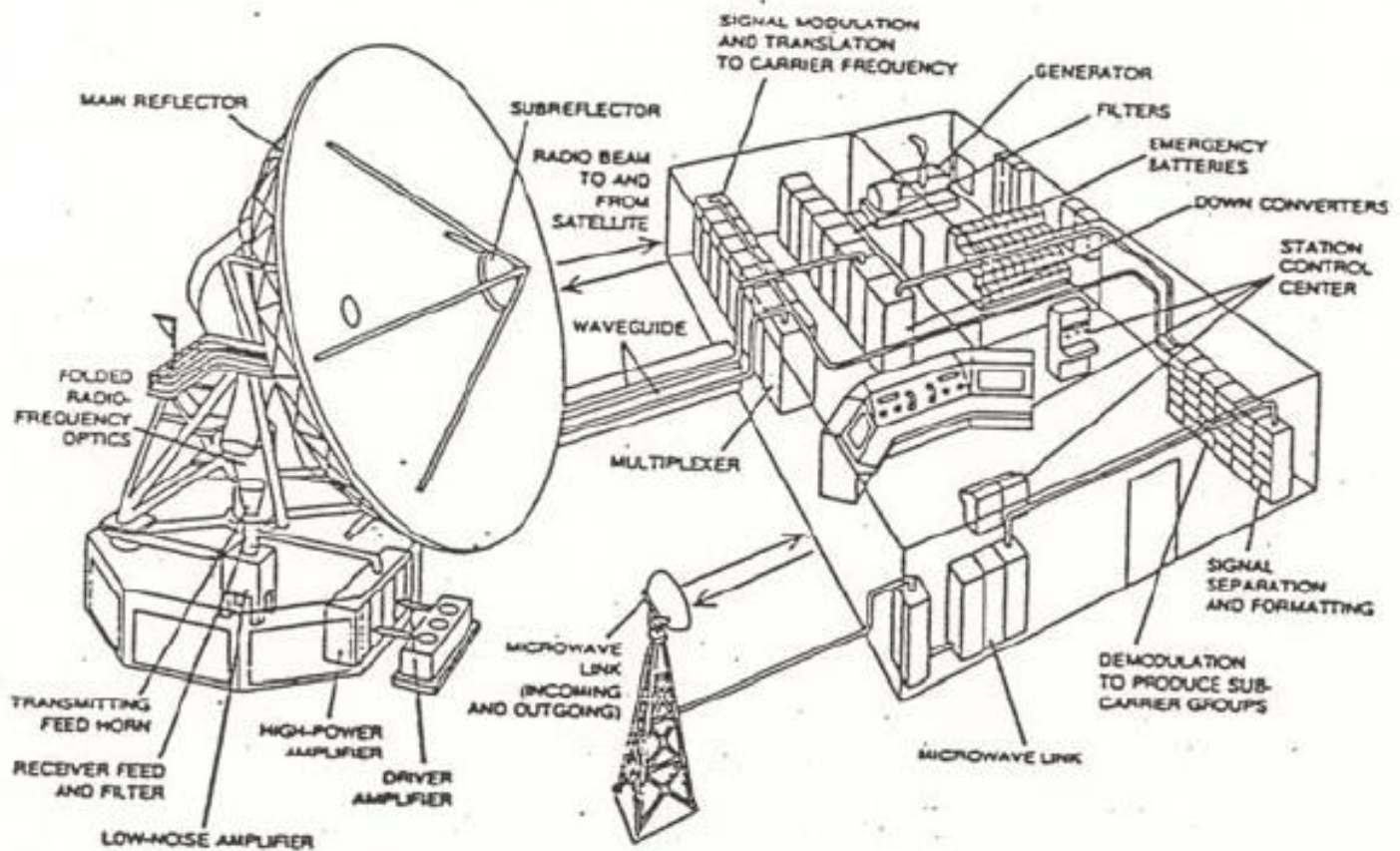
Επίγειο Τμήμα

- ◆ Τα Δορυφορικά Συστήματα Επικοινωνιών εμπλέκουν **πολλούς επίγειους σταθμούς** που εκπέμπουν και ζητούν **ταυτόχρονη πρόσβαση σε ΕΝΑ δορυφόρο**. (Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης).
- ◆ Τα Δορυφορικά Συστήματα Ευρείας Μετάδοσης εμπλέκουν έναν Επίγειο Σταθμό που εκπέμπει, και **πολλαπλούς επίγειους σταθμούς δέκτες μόνο (RCVO)**.

Επίγειο Τμήμα – Οργάνωση Σταθμών



Αρχιτεκτονική Επίγειων Σταθμών



Επίγειοι Σταθμοί



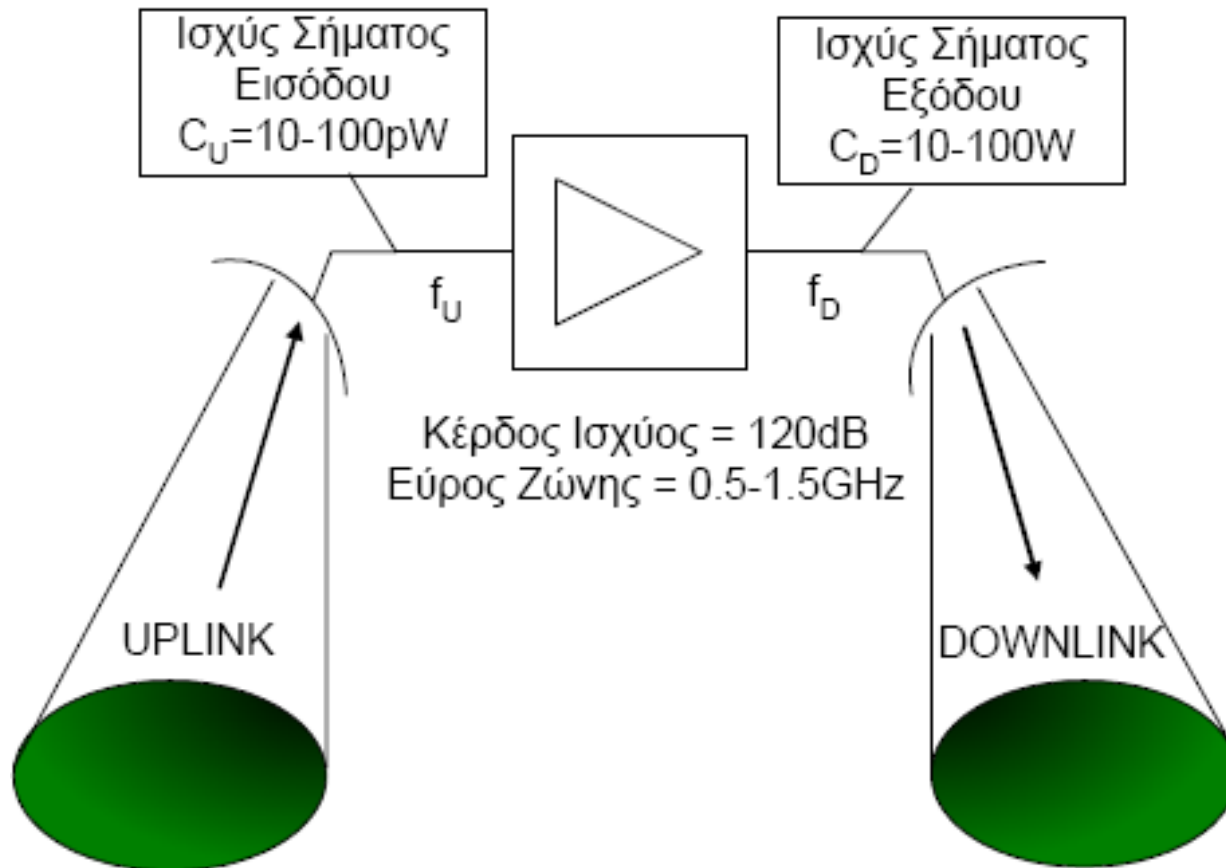
Telemetry, Tracking & Control



Λειτουργίες Ωφέλιμου Φορτίου (Payload) Απλού Αναμεταδότη

- ◆ **Συλλογή** μικροκυματικών σημάτων από συγκεκριμένες περιοχές της γης.
- ◆ **Ενίσχυση** του φέροντος ραδιοσυχνοτήτων.
- ◆ **Μετατροπή** της συχνότητας του φέροντος από τη συχνότητα της Άνω ζεύξης στη συχνότητα της Κάτω ζεύξης.
- ◆ **Εκπομπή** των μικροκυματικών σημάτων προς συγκεκριμένη περιοχή της γης.

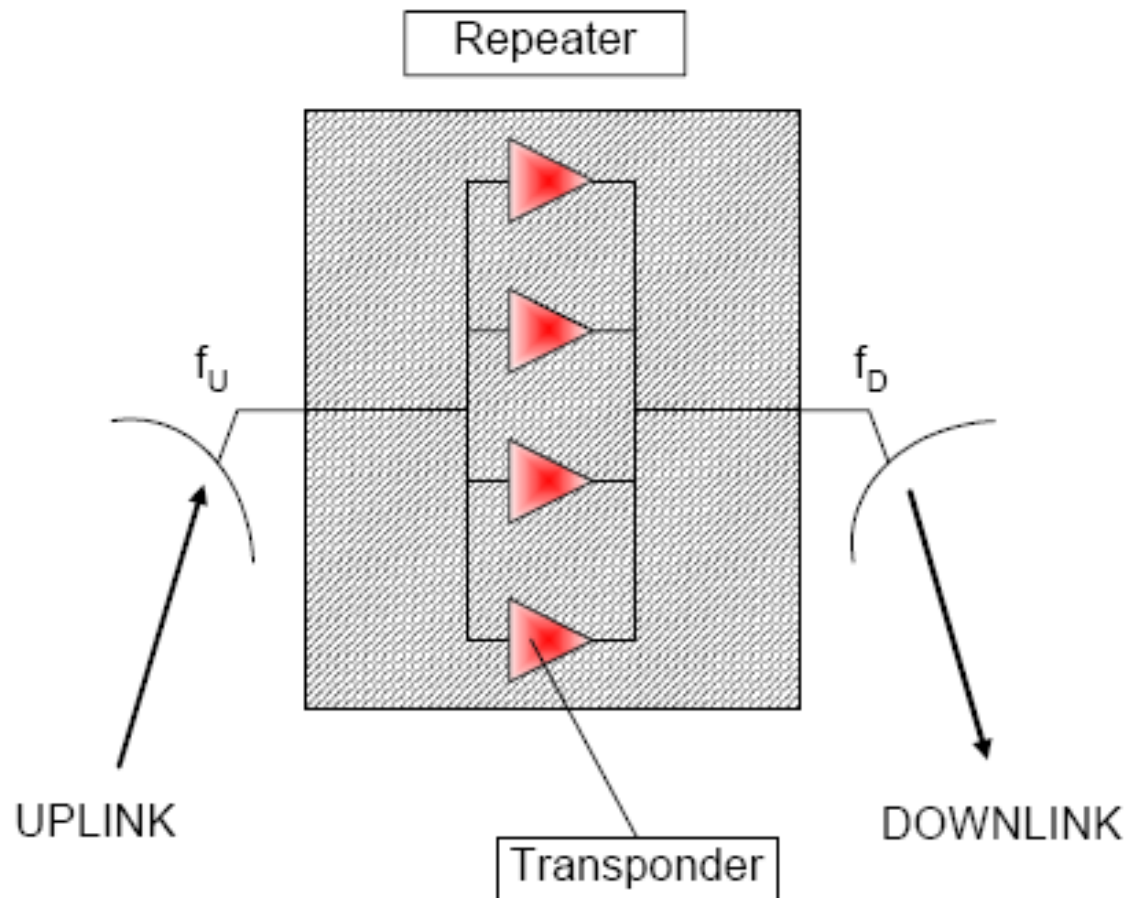
Λειτουργίες Ωφέλιμου Φορτίου (Payload)



Αναμεταδότης και Δορυφορικός Δίαυλος

- ◆ Το συνολικό εύρος ζώνης (500MHz – 1.5GHz) είναι πολύ μεγάλο ώστε να ενισχυθεί από έναν και μόνο ενισχυτή.
- ◆ Επιπλέον κάθε φέρον έχει μικρότερο εύρος.
- ◆ Το συνολικό εύρος ζώνης του Αναμεταδότη (**Repeater**) χωρίζεται σε υπο-ζώνες με εύρος η κάθε μια μέχρι μερικές δεκάδες MHz.
- ◆ Κάθε υπο-ζώνη συχνοτήτων ενισχύεται από έναν δορυφορικό δίαυλο (**transponder**).

Αναμεταδότης και Δορυφορικός Δίαυλος



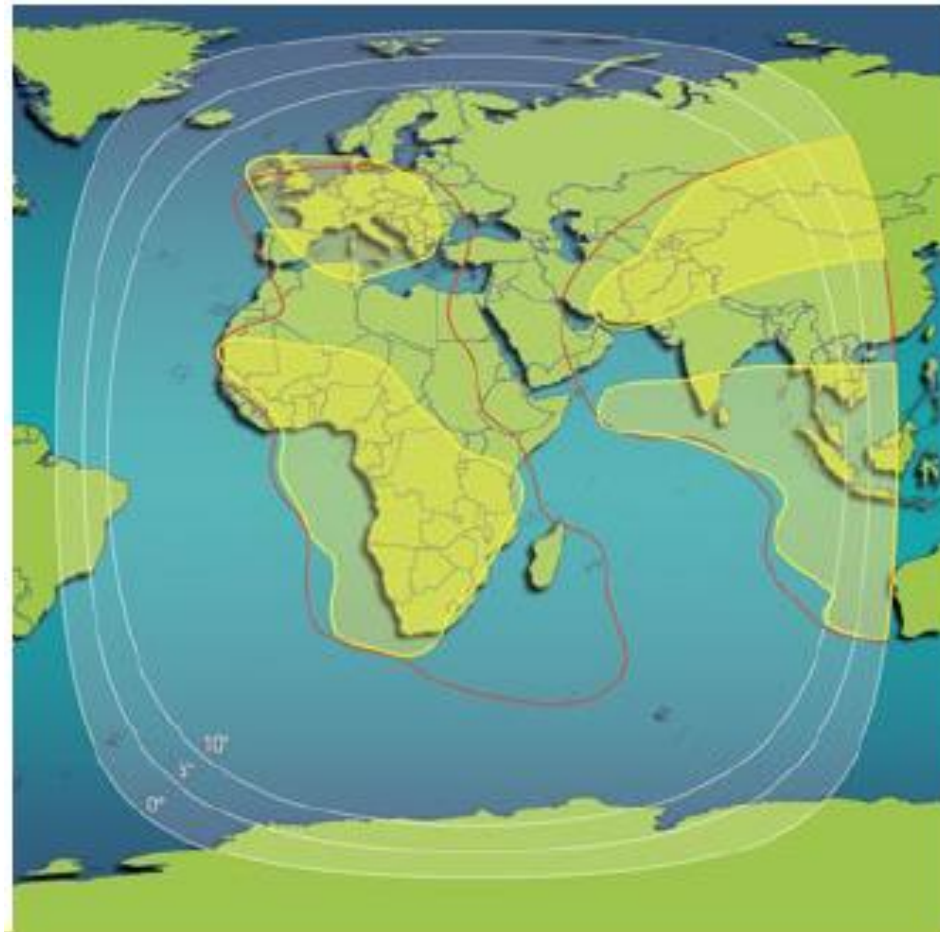
Επεξεργασία στο Δορυφόρο (OBP-On Board Processing)

- ◆ Ένας Δορυφορικός Δίαυλος (transponder) μπορεί να υποστηρίξει πιο πολύπλοκες διεργασίες από απλή αναμετάδοση
 - Μεταγωγή (Switching) (στη συχνότητα και/ή στο χώρο και/ή στο χρόνο)
 - Αναγέννηση (Regeneration) (ανάκτηση της ψηφιακής πληροφορίας στο δορυφόρο)
 - Επεξεργασία Βασικής Ζώνης (Baseband Processing) (π.χ. Bit rate conversion, error correcting decoding, κλπ.)
- ◆ Τέτοιοι transponders δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένοι.

Κάλυψη Κεραιών Δορυφόρων

- ◆ Παγκόσμιες Δέσμες (Global Beams)
 - Χρήση απλών κεραιών, έχουν μικρή χωρητικότητα, δεν απαιτείται OBP.
- ◆ Δέσμες Ζωνών (Zone Beams)
- ◆ Δέσμες Σημείων (Spot Beams)
 - Χρήση απλών πιο μεγάλων κεραιών, έχουν μικρή χωρητικότητα αλλά καλύτερα κατανομημένα, δεν απαιτείται OBP.
- ◆ Πολλαπλές Δέσμες Σημείων (Multispot Beams)
 - Χρήση πολύπλοκων κεραιών, έχουν μεγάλη χωρητικότητα, αλλά απαιτείται OBP.
- ◆ Κατευθυνόμενες Δέσμες (Steerable Beams)

Παγκόσμιες Δέσμες & Δέσμες Ζωνών



Δέσμες Σημείων (Spot Beams)

