

Δορυφορικές Επικοινωνίες

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

Ενότητα 1^η
Εισαγωγή στις Δορυφορικές Επικοινωνίες

Επίκουρος Καθηγητής
Νικόλαος Χ. Σαγιάς

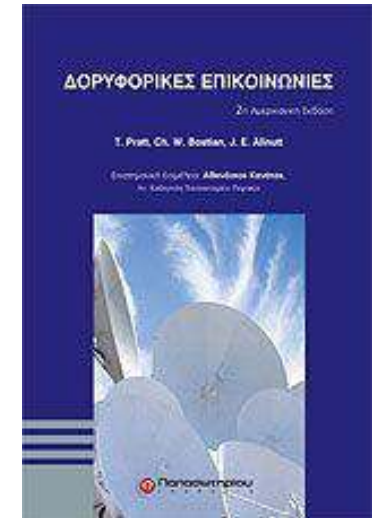
Webpage: <http://eclass.uop.gr/courses/TST207>

e-mail: nsagias@uop.gr

Βιβλιογραφία

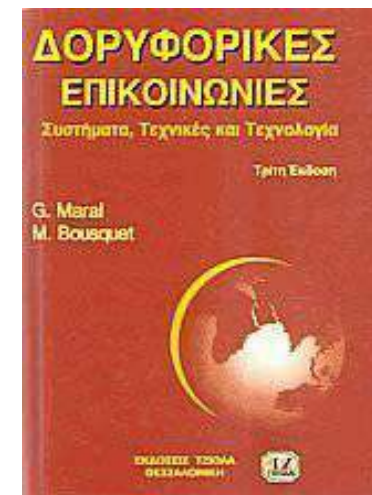
Κύρια Συγγράμματα:

- T. Pratt, Ch. W. Bostian και J. E. Allnutt, Δορυφορικές Επικοινωνίες, 2^η έκδοση, εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2009. (Μετάφραση)
- G. Maral και M. Bousquet, Δορυφορικές Επικοινωνίες, 3^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, 2000. (Μετάφραση)



Άλλα Συγγράμματα:

- X. Καψάλης και Π. Γ. Κωττής, Δορυφορικές Επικοινωνίες, εκδόσεις Τζιόλα, 2003.
- D. Roddy, Satellite Communications, 3^η έκδοση, McGraw-Hill, 2001.
- Άλλο υλικό (άρθρα, λογισμικό, σελίδες στο διαδίκτυο,...)



Λογισμικό STK της Εταιρίας

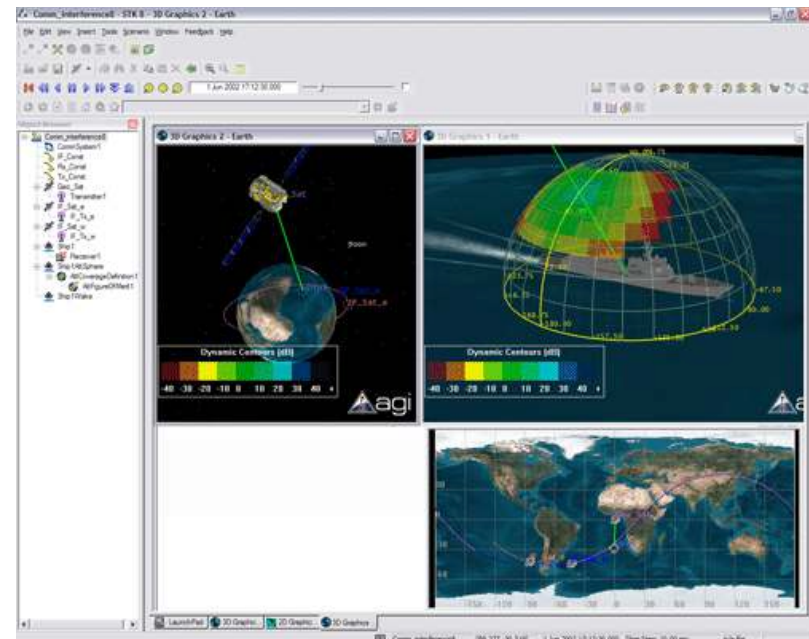
Χρήση Λογισμικού

- Μελέτη δορυφορικών τροχιών
- Ισολογισμός ισχύος δορυφορικών ζεύξεων

Άδειες χρήσης

- Ατομικές
(Host ID, Registration ID, Windows version)

Ιστοσελίδα: <http://www.stk.com>

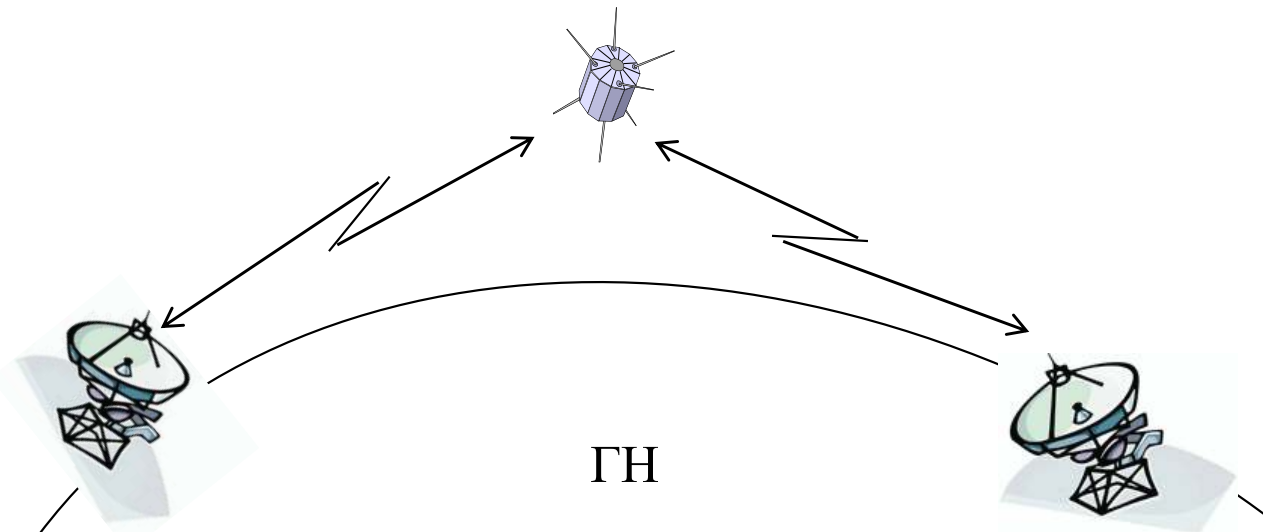


Περιεχόμενα

- **Εισαγωγικά**
- Τροχιές
- Ανάλυση ραδιοζεύξεων
- Τεχνικές εκπομπής/λήψης
- Πολλαπλή πρόσβαση
- Δορυφορικά δίκτυα
- Ειδικά θέματα

Δορυφορικές Επικοινωνίες

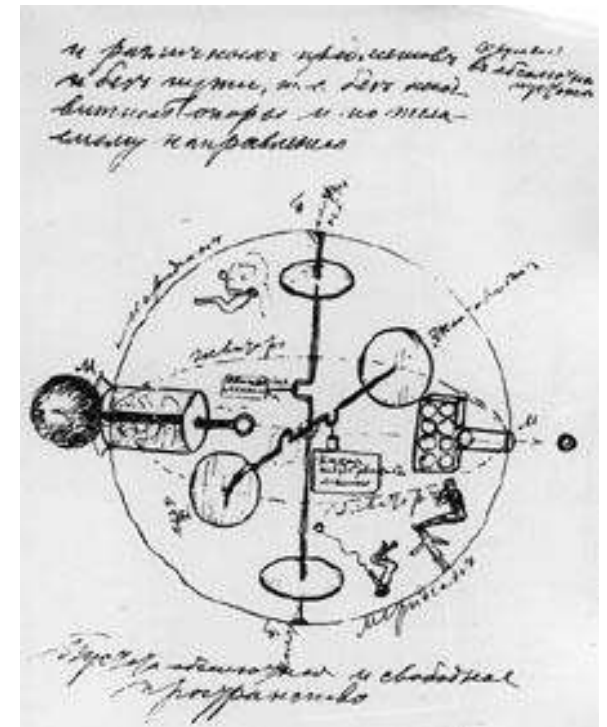
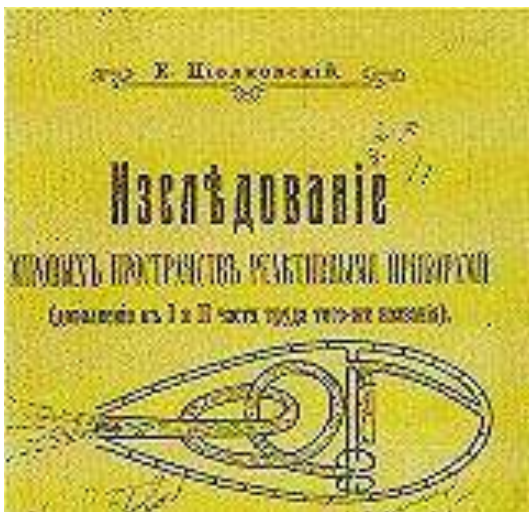
- Μια ασύρματη ζεύξη μεταξύ δύο απομακρυσμένων σημείων είναι αδύνατο να εγκαθιδρυθεί απευθείας λόγω της καμπυλότητας της Γης
- Μια τέτοια ζεύξη, ωστόσο, είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσω:
 - Πολλαπλών επίγειων αναμεταδοτών
 - Φυσικού ανακλαστήρα (ιονόσφαιρα)
 - **Τεχνητού ανακλαστήρα (δορυφόρος)**



Ιστορική Αναδρομή

Πριν το 1950

- 1000: Εφεύρεση και χρήση πυραύλων από τους Κινέζους
- 1600: Παρατήρηση κίνησης πλανητών από τον Tycho Brache
- 1609-1619: Διατύπωση νόμων Kepler
- 1903: Ο Ρώσος καθηγητής Κ. Tsiolkovsky δημοσιεύει τις ιδέες του για διαστημικές πτήσεις “*The Exploration of Cosmic Space by Means of Reaction Devices*”



Ιστορική Αναδρομή

Πριν το 1950

- 1926: 1^η εκτόξευση πυραύλου υγρών καυσίμων από τον Robert H. Goddard στις ΗΠΑ
- 1926: 1^η εμπορική διαντλαντική ραδιοζεύξη (HF) μεταξύ Καναδά και Αγγλίας
- 1942: 1^η επιτυχής εκτόξευση βαλλιστικού πυραύλου V-2 στη Γερμανία
- 1945: Ο Arthur Clarke δημοσιεύει ιδέα για χρήση γεωστατικών δορυφόρων στις τηλεπικοινωνίες (αλλά δεν υπάρχουν ικανοί πύραυλοι για το απαιτούμενο ύψος)

Wireless World
Radio and Electronics
AND YEAR OF PUBLICATION
OCTOBER 1945

Proprietors: ILIFFE & SONS LTD. Managing Editor: HUGH S. FODDIE, R.I.E.E. Editor: H. F. SMITH	MONTHLY COMMENTARY .. 289	EDITORIAL OFFICE: 5-11, Corporation Street, Telephone: CROVELEY 2700. Telegrams: "ARLWEL, LONDON."
Editorial, Advertising and Publishing Office: DORSET HOUSE, STAMFORD STREET, LONDON, S.E.1. Telephone: WATERLOO 222 (20 lines). Telegrams: "ELEWELL, LONDON."	RADAR PRODUCTION .. 290	EDITORIAL: Gifford Holdings, Navigation Street 2, Telephone: BRISTOL 407 (2 lines). Telegrams: "ARLWEL, LONDON."
	AMATEUR TRANSMISSION By "Ethel" .. 295	MANUSCRIPTS: 201, Darnley, E. Telephone: BRISTOL 4113 (2 lines). Telegrams: "J.C.B., BRISTOL."
	FUNDAMENTALS OF RADAR-I. RANDOM RADIATIONS By "Dialist" .. 299	GLASGOW: 215, Renfield Street, C.2. Telephone: CENTRAL 4811. Telegrams: "G.B.L., GLASGOW."
	EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS By Arthur C. Clarke .. 305	
	CONTRAST EXPANSION (Continued) By J. G. White .. 309	
	LETTERS TO THE EDITOR .. 312	
	UNBIASED. By Free Grid .. 316	
	WORLD OF WIRELESS .. 317	
	RECENT INVENTIONS .. 320	

Price: 1/6
Published Monthly
Subscription Rates: Home and abroad 10/- per annum.

October 1945 **Wireless World** 305

EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS

Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?

By ARTHUR C. CLARKE

ALTHOUGH it is possible, by a suitable choice of frequencies and routes, to provide telephony circuits between any two points on or near the earth for a large part of the time, long-distance communication is greatly hampered by the peculiarities of the ionosphere, and there are most occasions when it may be impossible. A time broadcast service, giving constant field strength at all times over the whole globe, would be invaluable, not to say indispensable, in a world society.

Unsatisfactory though the telephony and telegraph position is, that of television is far worse, since ionospheric transmission cannot be employed at all. The service area of a television station, even on a very good site, is only about a hundred miles across. To cover a small country such as Great Britain would require a network of transmitters, connected

logical extension of developments in the last ten years—in particular the perfection of the long-range rocket of which V-2 was the prototype. While this article was being written, it was announced that the Germans were considering a similar project, which they believed possible within fifty to a hundred years.

Before proceeding further, it is necessary to discuss briefly certain fundamental laws of rocket propulsion and "astronautics." A rocket which achieved a sufficiently great speed in flight outside the earth's atmosphere would never return. The "orbital" velocity is 8 km per sec. (5 miles per sec), and a rocket which attained it would become an artificial satellite, circling the world for ever with no expenditure of power—a second moon, in fact.

the atmosphere and left to broadcast scientific information back to the earth. A little later, manned rockets will be able to make similar flights with sufficient excess power to break the orbit and return to earth.

There are an infinite number of possible stable orbits, circular and elliptical, in which a rocket would remain if the initial conditions were correct. The velocity of 8 km/sec. applies only to the closest possible orbit, one just outside the atmosphere, and the period of revolution would be about 90 minutes. As the radius of the orbit increases the velocity decreases, since gravity is diminishing and less centrifugal force is needed to balance it. Fig. 1 shows this graphically. The moon, of course, is a particular case and would lie on the curves of Fig. 1 if it were produced. The proposed German space-stations

Ιστορική Αναδρομή

Μετά το 1950

- 1957: **SPUTNIK** (1^{ος} τεχνητός δορυφόρος, Ρωσία)
- 1958: **EXPLORER 1** (μελέτη ζώνης Van Allen)
SCORE (μετάδοση ομιλίας, ΗΠΑ), 4min αποθηκευτικός χώρος, με μόνο 35 μέρες αυτονομία
- 1960: **ECHO, COURIER, TIROS I** (παθητικοί ανακλαστήρες)
- 1962: **TELSTAR I & II**, MEO, C αναμεταδότες, 50 MHz, 6389/4169 MHz, 20 min διαντλαντικές ζεύξεις, Bell
- 1964: **SYNCOM** (1^{ος} γεωστατικός δορυφόρος)
- 1965: **INTELSAT 1** (Early Bird: 1^{ος} του δικτύου Intelsat), GEO, 2 αναμεταδότες 6/4 GHz 25 MHz, ισχύ 46 W, 1.5y χρόνος ζωής, (4.6+3.6)εκ. δολάρια, 36 kg, ΗΠΑ
MOLNYA, HEO, Ρωσία, εθνική κάλυψη

Tiros 1
42" Diameter & 19" Height



Ιστορική Αναδρομή

Μετά το 1970

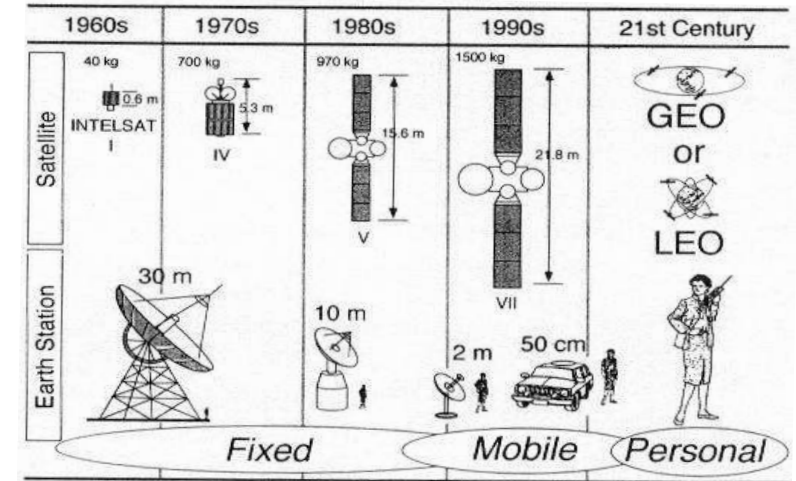
- 1974: Anik 1A – Εθνικό δορυφορικό σύστημα σε λειτουργία στον Καναδά με GEO
- 1975: 1^η επιτυχής πειραματική ευρυεκπομπή σε συνεργασία ΗΠΑ-Ινδίας
- 1977: Πλάνο για *direct broadcast satellites (DBS)* από την International Telecommunications Union (ITU)
- 1979: Ίδρυση International Mobile Satellite Organization (Inmarsat)

1980 – Επέκταση εφαρμογών γεωστατικών δορυφόρων

- 1982: Παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στη ναυσιπλοΐα
- 1984: 1^ο σύστημα ευρυεκπομπής *direct-to-home (DTH)* σε λειτουργία, Ιαπωνία
- 1987: Επιτυχείς δοκιμές επικοινωνιών *land-mobile satellite (LMS)* από τον Inmarsat
- 1989-90: Παροχή υπηρεσιών σε αεροναυσιπλοΐα από τον Inmarsat

Ανταγωνισμός λόγω επενδύσεων σε οπτικά δίκτυα

Ιστορική Αναδρομή



● 1990-95

- Προτάσεις για χρήση μη γεωστατικών δορυφόρων για επικοινωνίες LMS
- Εξάπλωση very small aperture terminal (VSAT)
- Δέσμευση φάσματος για συστήματα βασισμένα σε μη γεωστατικούς δορυφόρους
- Αύξηση των DBS με κυριότερη εφαρμογή την τηλεοπτική μετάδοση (DBS-TV)

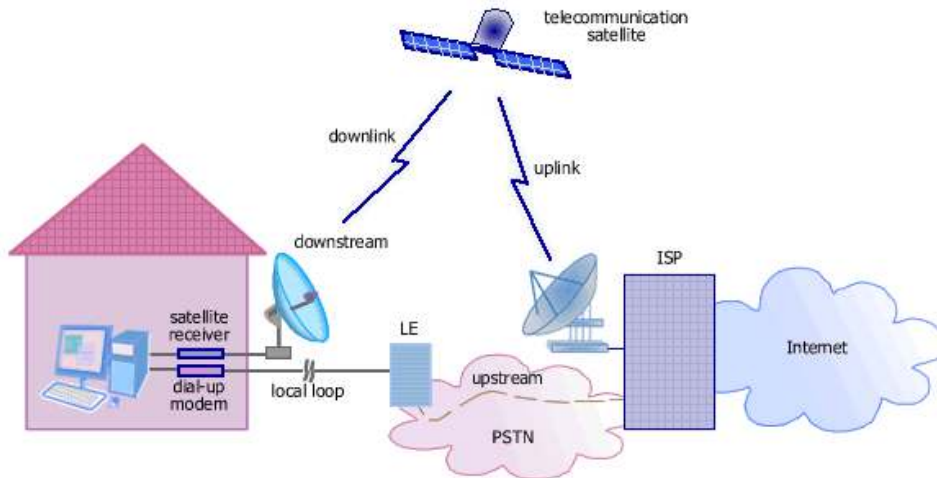
● 1997

- Εκτόξευση των δορυφόρων του δικτύου δορυφόρων Iridium
- Παροχή υπηρεσιών φωνής σε μικρού μεγέθους κινητά τερματικά από την Inmarsat

Ιστορική Αναδρομή

● Σήμερα

- Κινητές επικοινωνίες (φωνή, δεδομένα, πολυμέσα,...)
- Πρόσβαση στο διαδίκτυο (μονόδρομη ή αμφίδρομη ζεύξη)
- Broadband Global Area Network (BGAN)
- Συστήματα ψηφιακής ευρυεκπομπής DAB-S, DVB-S
- Συστήματα θεσηθεσίας GPS

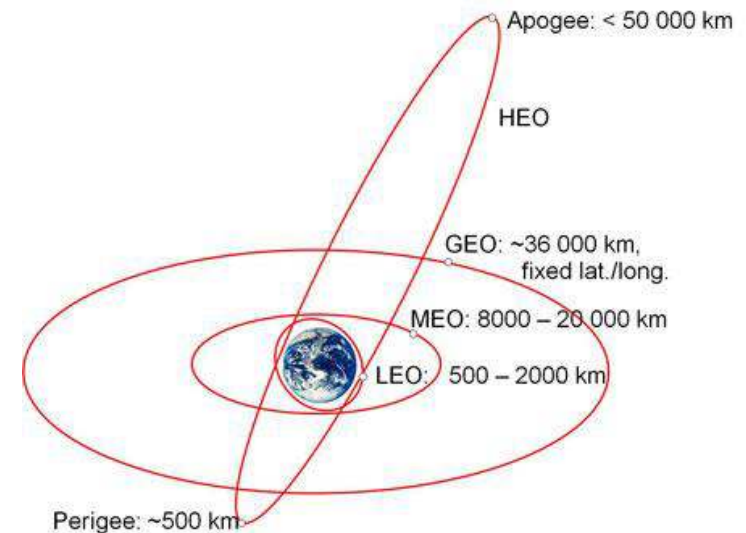
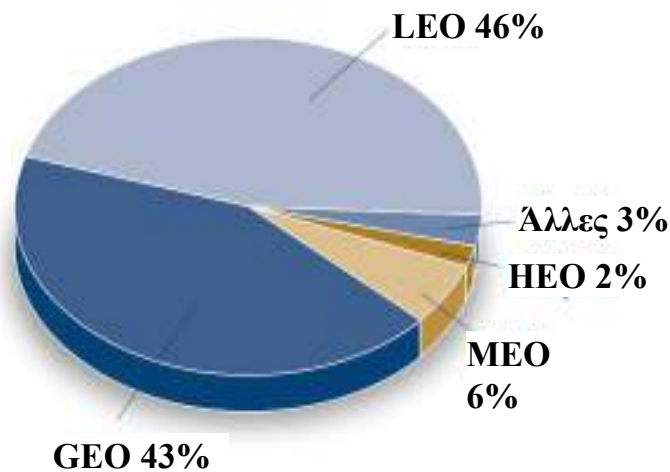
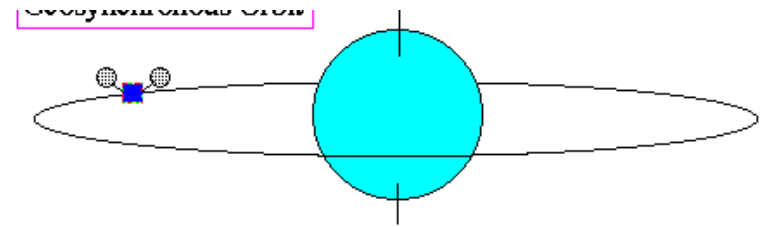


Σημερινοί GEO: Βάρος 10000 kg, ισχύ εκπομπής 12kW, 60 αναμεταδότες, χρόνο ζωής 13y

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)*)



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



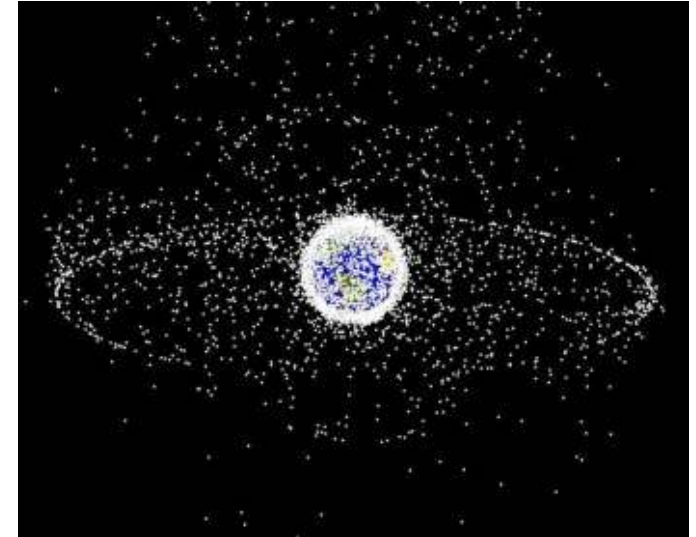
MEASAT 2A: Malaysia Ku band beam



Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Προβλήματα δορυφορικών συστημάτων (με GEO)

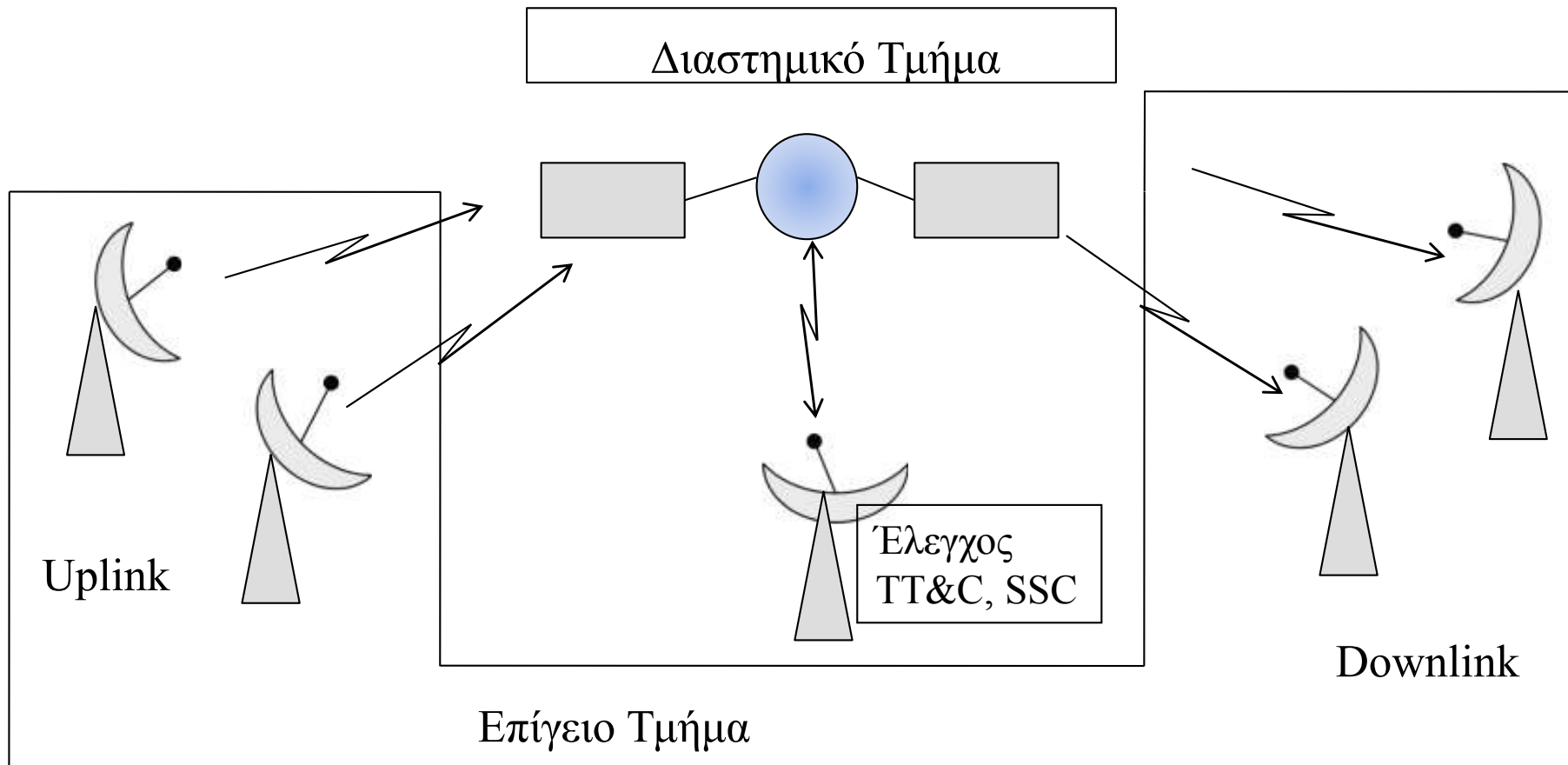
- Μεγάλη καθυστέρησης διάδοσης ~ 0.25 sec
- Μεγάλες απώλειες διάδοσης ~ 200 dB!
- Περιορισμένη διαθέσιμη ισχύς στο δορυφόρο
- Συμφόρηση στη γεωστατική τροχιά
- Υψηλό κόστος εκτόξευσης ~ 20000 euro/kg
- Ασφάλεια δεδομένων λόγω ευρυεκπομπής



Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Ένα δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελείται από:

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



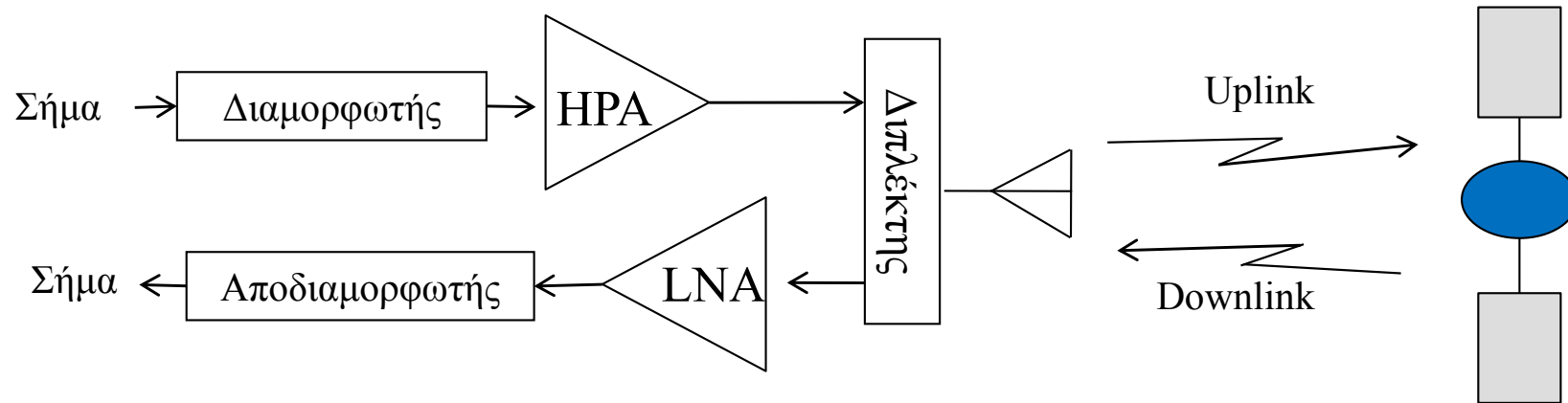
Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

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

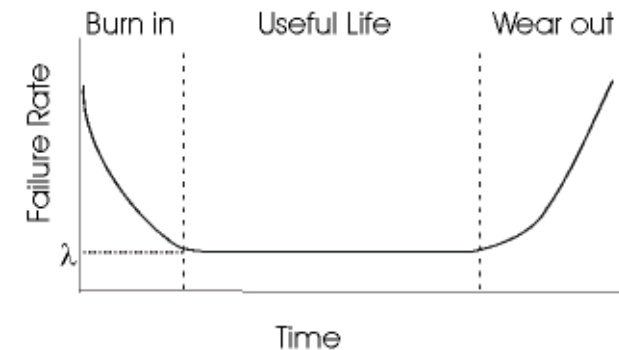
- Παροπλισμός και καταστροφή

Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών

Ο δορυφόρος αποτελείται από

- Το ωφέλιμο φορτίο (*payload*)
 - Κεραίες
 - Αναμεταδότες (*transponders*)
 - Ηλεκτρονικός τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός

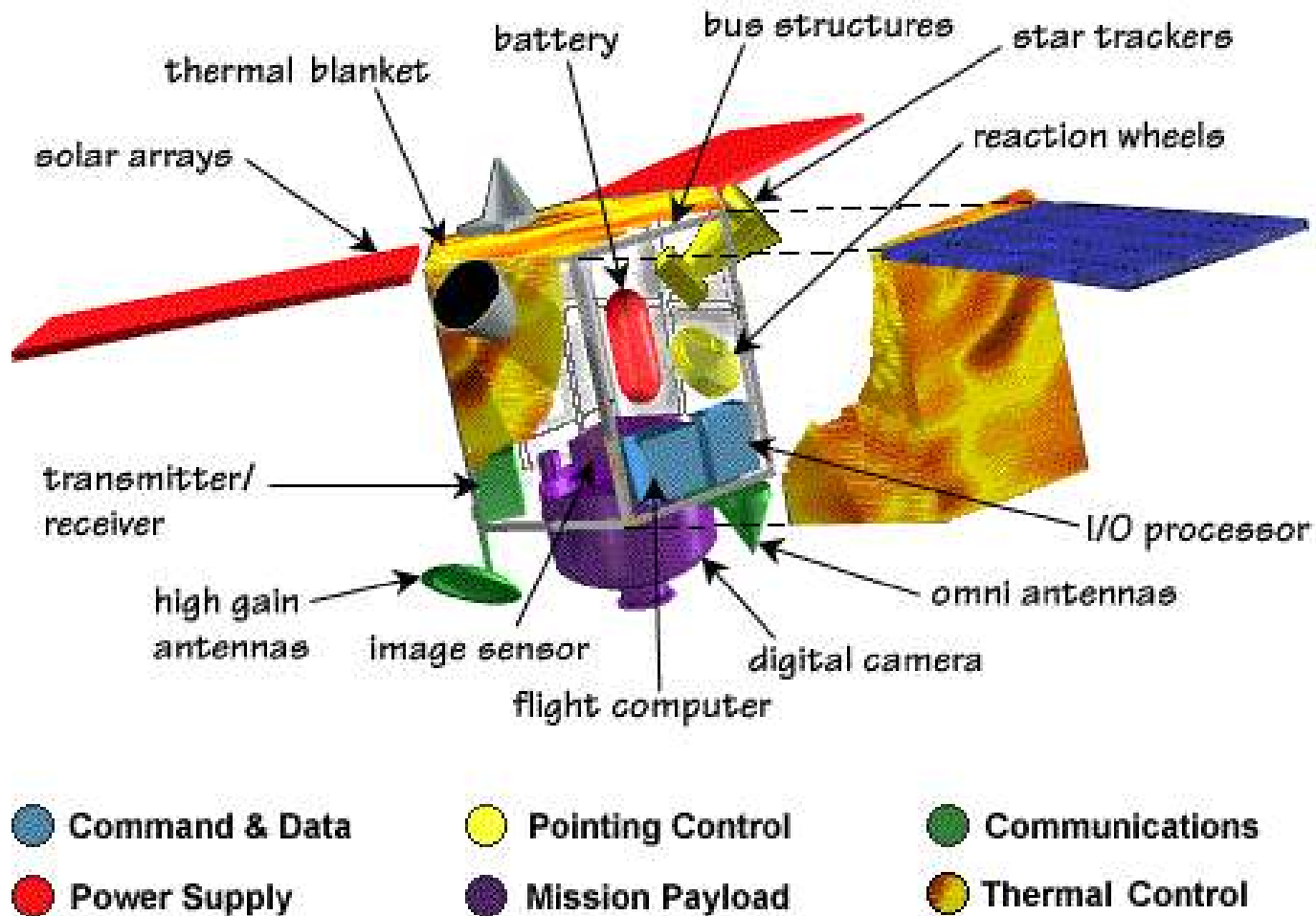
- Την πλατφόρμα (*platform*)
 - Μηχανικά μέρη
 - Καύσιμα
 - Ενέργεια (μπαταρίες και ηλιακές κυψέλες)
 - Έλεγχο θερμοκρασίας, θέσης, τροχιάς, ελέγχου,...
 - Εξοπλισμό πρόωσης



Ο δορυφόρος πρέπει να χαρακτηρίζεται από

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

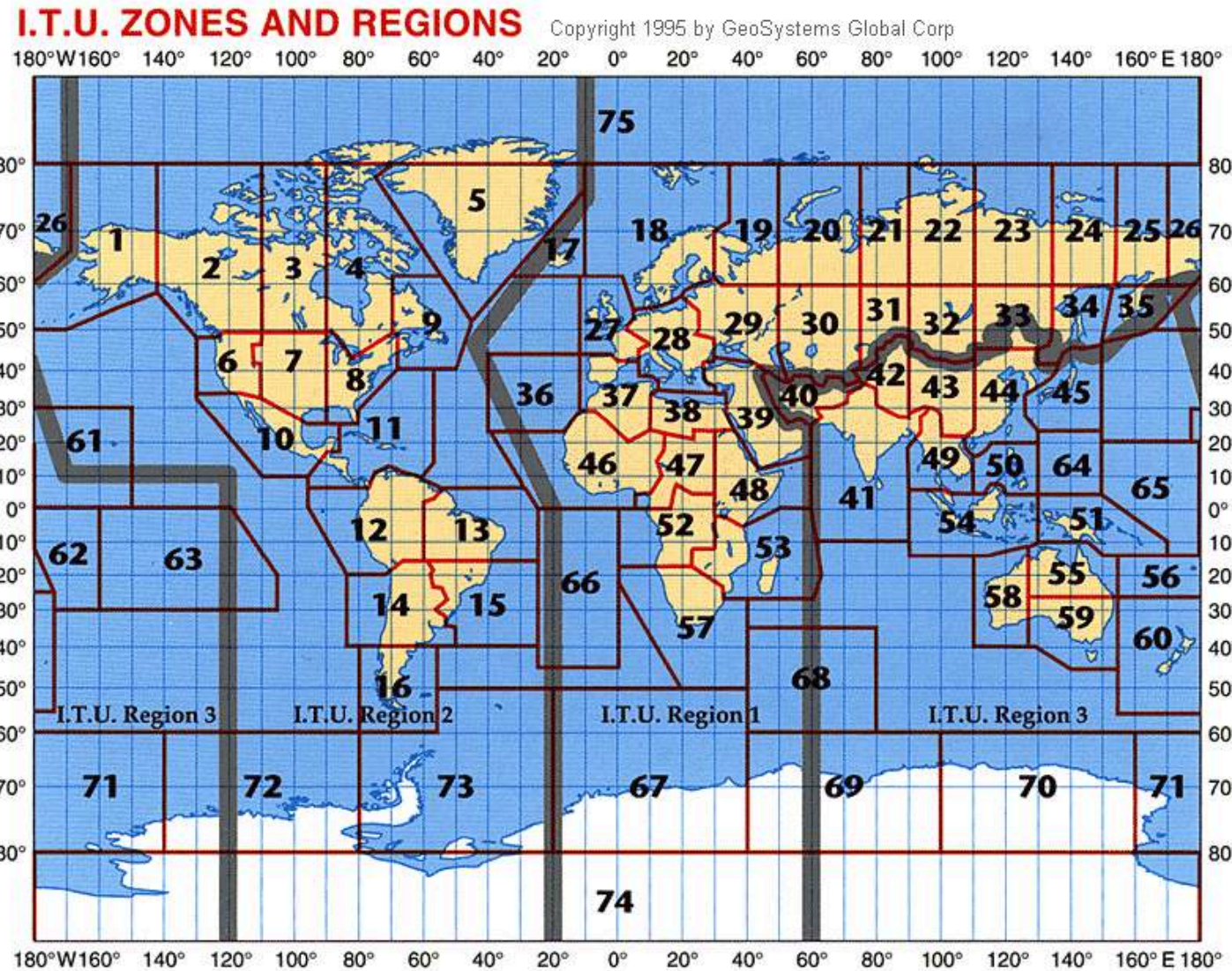
Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Επικοινωνιών



Ζώνες Συχνοτήτων

Όνομα Ζώνης	Συμβολισμός	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
	L	1-2 GHz
	S	2-4 GHz
SHF		3-30 GHz
	C	4-8 GHz
	X	8-12 GHz
	Ku	12-18 GHz
	K	18-27 GHz
EHF		30-300 GHz
	Ka	27-40 GHz
	Μιλμετρικά	40-300 GHz
	Υπομιλμετρικά	300-3000 GHz

Ζώνες Συχνότητων



Ζώνες Συχνοτήτων

Downlink (Space-Earth)											
	1,215 MHz	1,260	1,492	1,525	1,530	1,535	1,544	1,545	1,555	1,559	1,610 MHz
Region 1					MMSS LMSS (S-E)						
Region 2	RNSS (S-E)			MSS (S-E)		MMSS LMSS (S-E)	Distress and safety (S-E)	AMSS (S-E)	LMSS (S-E)	RNSS (S-E)	
Region 3											

Uplink (Earth-Space)											
	1,610 MHz	1,626.5	1,631.5	1,645.5	1,646.5	1,656.5	1,660 MHz				
Region 1		MSS (E-S)	MMSS LMSS (E-S)		Distress and safety (E-S)	AMSS (E-S)	LMSS (E-S)				
Region 2		RDSS MSS (E-S)	MSS (E-S)	MMSS LMSS (E-S)							
Region 3											

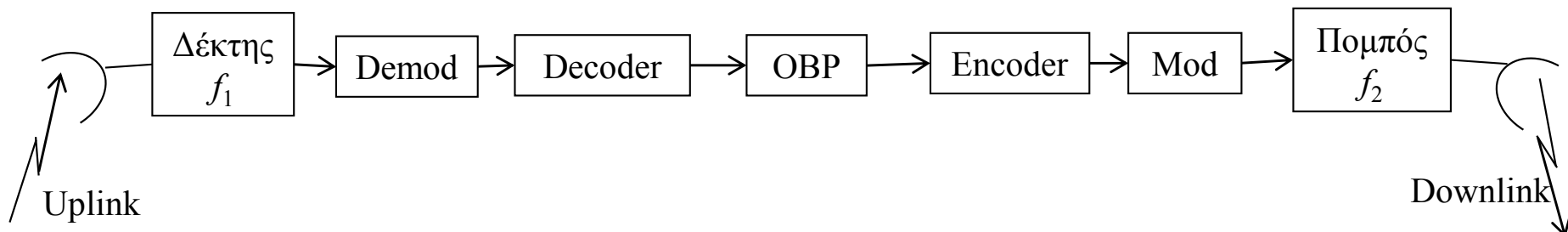
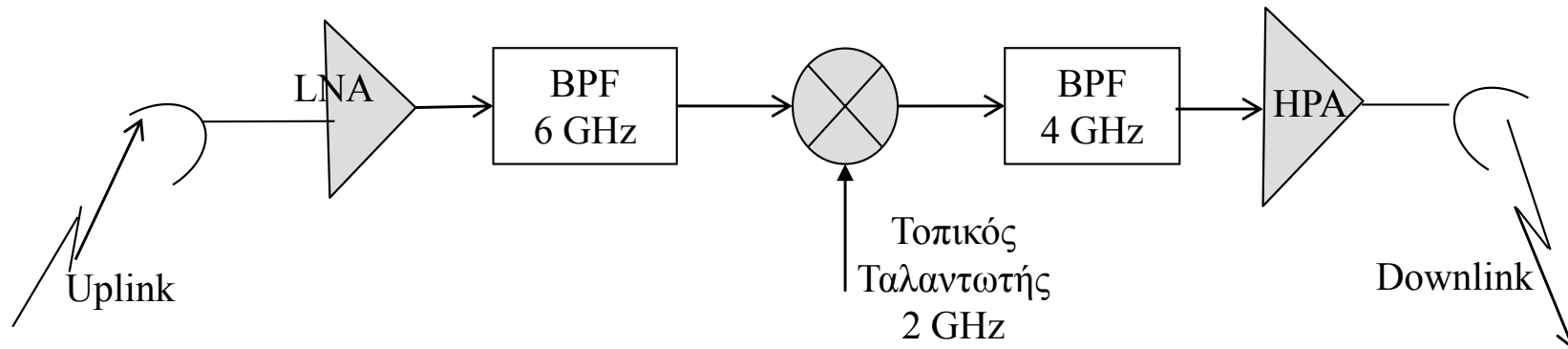
	1,930 MHz	1,980	2,010	2,120	2,170	2,200	2,483.5	2,500	2,520	2,670	2,690 MHz
Region 1											
Region 2			MSS (E-S)			MSS (S-E)		RDSS MSS (S-E)	MSS (S-E)		MSS (E-S)
Region 3											

Note (1) Region 1: Europe, Russia, Africa Region 2: North & South America Region 3: Asia, Australia
 Note (2) MSS: Mobile satellite service MMSS: Maritime mobile satellite service
 RDSS: Radio-determination satellite service AMSS: Aeronautical mobile satellite service
 RNSS: Radio-navigation satellite service LMSS: Land mobile satellite service

Δορυφορικοί Αναμεταδότες

Αναμεταδότες (*transponders*) – **Transmitters-Respon**ders

- Διαφανείς: Αλλάζουν τη φέρουσα συχνότητα μεταξύ uplink και downlink
- Αναγεννητικοί: Κάνουν ό,τι και οι διαφανείς, αλλά επιπλέον επεξεργάζονται το λαμβανόμενο σήμα (*on board processing* – *OBP*)

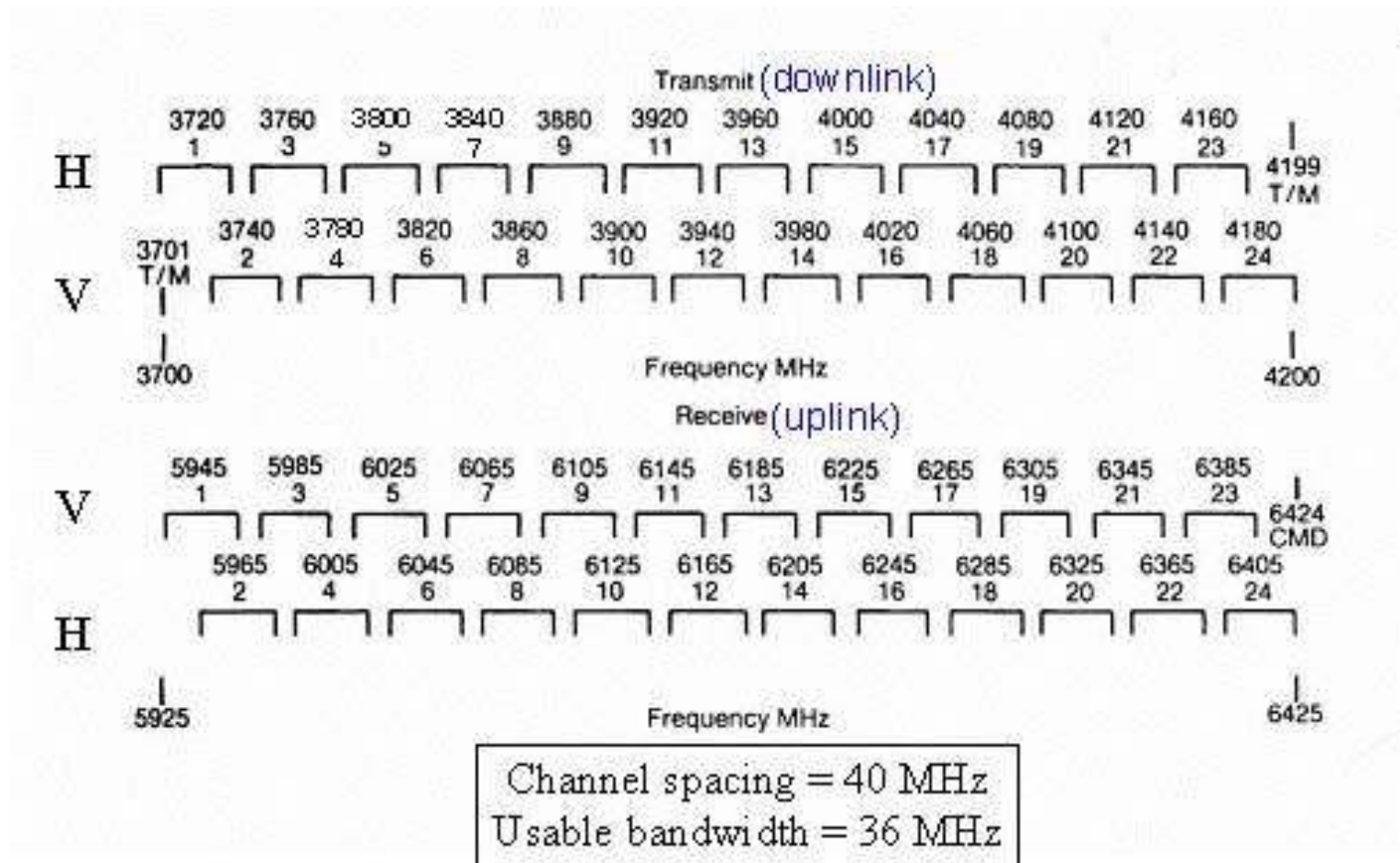


Δορυφορικοί Αναμεταδότες

Λειτουργία αναμεταδότη

- Μετατροπή συχνότητας uplink/downlink (π.χ., 6/4 GHz, 14/11 GHz, 30/20 GHz)
- Σήματα μεγάλου εύρους ζώνης, π.χ. 500 MHz, δε μπορούν να ενισχυθούν από έναν ενισχυτή TWT υψηλής ισχύος (*high power amplifier – HPA*), λόγω παραμόρφωσης
- Στην πράξη χρησιμοποιούνται πολλοί αναμεταδότες (π.χ. 24 αναμεταδότες για σήματα εύρους ζώνης 36 MHz, $(36+4)$ MHz \times 12 αναμεταδότες, V+H πολώσεις)
- Μέσω μήτρας μεταγωγής ανακατευθύνονται τα λαμβανόμενα σήματα σε διαφορετική συχνότητα, πόλωση, ή δέσμη
- Η πολλαπλή πρόσβαση στον αναμεταδότη στο uplink γίνεται βάσει
 - FDMA: Με διαίρεση συχνότητας
 - TDMA: Με διαίρεση χρόνου
 - Υβριδικού FDMA/TDMA

Δορυφορικοί Αναμεταδότες



Δορυφόρος Hellas-Sat 2

Διαστημικό Όχημα	Πλατφόρμα ASTRIUM Eurostar 2000+
Τροχιακή Θέση	39° Ανατολικά
Ημ/νια Εκτόξευσης	13 Μαΐου 2003
Χρόνος Ζωής	15 έτη
Ku-Band Payload	30 × 36 MHz αναμεταδότες συν 8 πλεοναστικούς
Ισχύς Εκπομπής	TWTA 105 Watts 10.95 - 11.20 GHz
Συχνότητες Downlink	11.45 - 11.70 GHz 12.50 - 12.75 GHz
Συχνότητες Uplink	13.75 - 14.50 GHz
Κάλυψη	Σταθερή για Ευρώπη Κατευθυνόμενη για Νότια Αφρική & Μέση Ανατολή
Δέσμες	F1 & F2 σε Ευρώπη (18 αναμεταδότες) S2 σε Μέση Ανατολή (6 αναμεταδότες) S1 σε Νότιο Αφρική (6 αναμεταδότες)
Downlink EIRP	55 dBW max. για F1, F2 52.5 dBW max. για S1, S2
Uplink G/T	+11 dB/K max. για F1, F2 +5.5 dB/K max. για S1, S2
Πλεονασμός	3:2 για F1 2:1 για F2 2:1 για S1 3:2 για S2 38:30 συνολικά TWTA



Δορυφόρος Hellas-Sat 2

