



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών

Ενότητα 10: Δορυφορικές Επικοινωνίες

Καθ. Εμμανουήλ Βαρβαρίγος

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

- Η εξοικείωση του φοιτητή με τις βασικότερες έννοιες των δορυφορικών επικοινωνιών και του συστήματος GPS



Περιεχόμενα ενότητας

Είδη δορυφόρων με βάση την τροχιά

Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS)

Δορυφορικές επικοινωνίες



Είδη δορυφόρων με βάση την
τροχιά

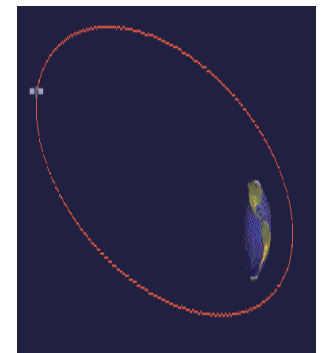
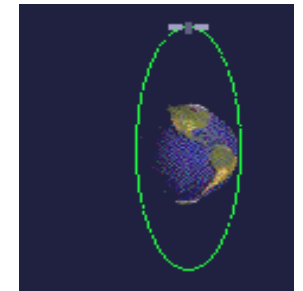
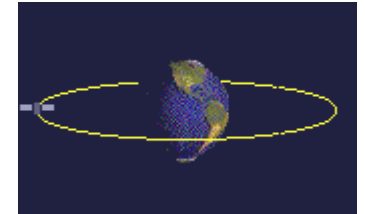
Κινητά Δορυφορικά Συστήματα

- Είναι σαν τα κυψελωτά συστήματα, μόνο που και οι σταθμοί βάσης (δορυφόροι) κινούνται.
- Η δορυφορική κάλυψη είναι ελκυστική για περιοχές όπου η υπάρχουσα επίγεια υποδομή δεν είναι αρκετή για να ικανοποιήσει τις ανάγκες, π.χ. ωκεανοί, αναπτυσσόμενες χώρες



Τροχιές

- Κυκλική ή ελλειπτική τροχιά
 - Κυκλική με κέντρο το κέντρο της Γης
 - Ελλειπτική με το ένα κέντρο στο κέντρο της Γης
- Τροχιά γύρω από τη Γη σε διαφορετικά επίπεδα
 - Ισημερινή τροχιά πάνω από τον Ισημερινό της Γης
 - Πολική τροχιά περνάει πάνω από τους πόλους
 - Άλλες τροχιές αναφέρονται σαν κεκλιμένες τροχιές
- Επίσης, Οι δορυφόροι μπορεί να είναι ενεργητικοί ή παθητικοί



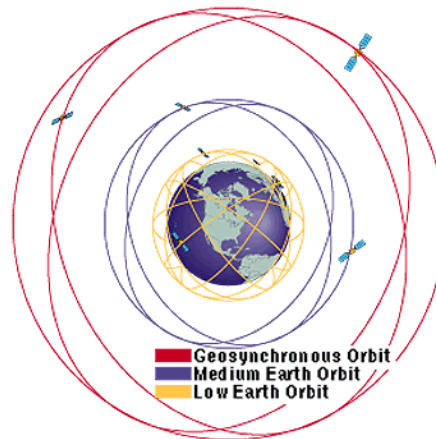
Υψόμετρο των δορυφόρων

- Γεωστατικής Τροχιάς – Geostationary orbit (GEO) @ 11000 km/h
- Μεσαίας Τροχιάς - Medium earth orbit (MEO) @ 19000 km/h
- Χαμηλής Τροχιάς - Low earth orbit (LEO)

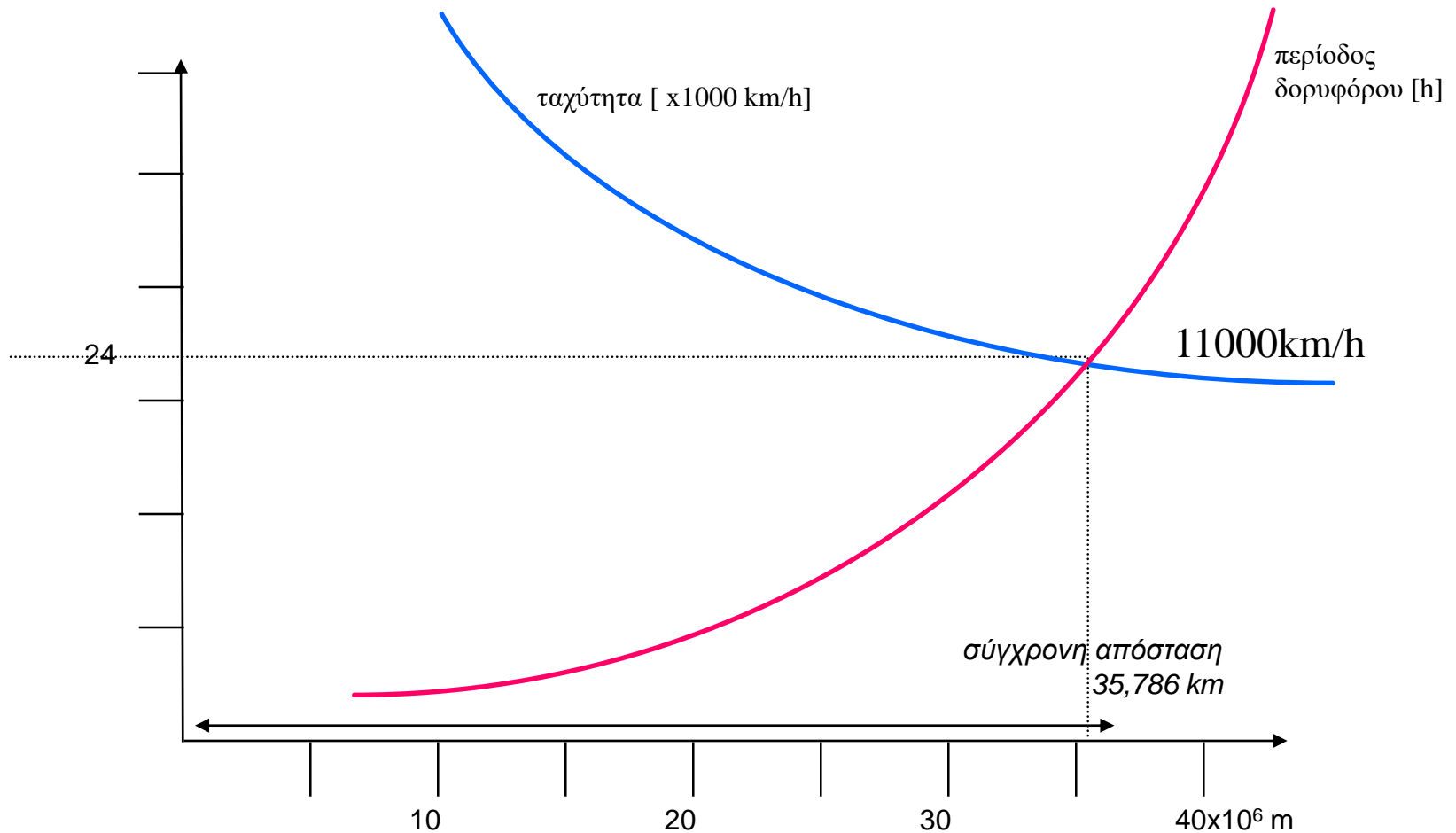
Εξίσωση της φυγόκεντρου με τη βαρυτική δύναμη:

$$m\omega^2 r = k \frac{mM}{r^2} \Rightarrow T \sim r^{\frac{3}{2}}$$

- Όπου T η περίοδος περιστροφής του δορυφόρου και r η απόστασή του από τη Γη

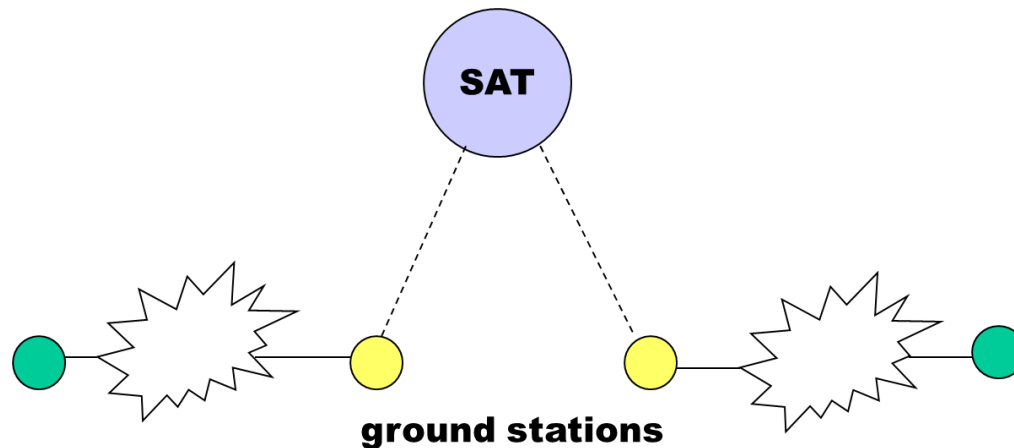


Περίοδος vs Ταχύτητα



Γεωστατικοί Δορυφόροι

- Η μεγάλη απόσταση των 35786 km δημιουργεί μεγάλες καθυστερήσεις διάδοσης (250 ms).
 - Δύσκολη η χρήση στρατηγικών ανίχνευσης λαθών/επαναμετάδοσης.
 - Αδύναμο σήμα όταν ταξιδέψει 35000 km.
- **Πλεονεκτήματα:** Η ανίχνευση της θέσης του δορυφόρου είναι απλή διαδικασία. Μεγάλη περιοχή κάλυψης. Οι αλλαγές σταθμού βάσης κατά τη διάρκεια μιας κλήσης/επικοινωνίας (handoff) είναι εξαιρετικά σπάνιες.



Χαρακτηριστικά δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO)

- Κυκλική/ελαφρώς ελλειπτική τροχιά κάτω από 2000 km.
- Περίοδος τροχιάς 1.5 - 2 ώρες.
- Διάμετρος κάλυψης περίπου 8000 km.
- Καθυστέρηση διάδοσης αμφίδρομης επικοινωνίας < 20 ms.
- Μέγιστος χρόνος ορατότητας δορυφόρου μέχρι 20 λεπτά.
- Η ατμοσφαιρική τριβή έχει ως αποτέλεσμα αλλαγή στην τροχιά

LEO Δορυφόροι

- Μικροί LEO δορυφόροι
 - Συχνότητες κάτω από 1 GHz. Ρυθμοί δεδομένων μεχρι 10 kbps.
 - Χρήση σε ανίχνευση (tracking), ειδοποίηση (paging) και μηνύματα χαμηλού ρυθμού.
- Μεγάλοι LEO δορυφόροι
 - Συχνότητες πάνω από 1 GHz. Υποστηρίζουν ρυθμούς δεδομένων μέχρι μερικά Mbps. Προσφέρουν τις ίδιες υπηρεσίες με τα μικρά LEOs και επιπλέον υπηρεσίες τηλεφωνίας και ανίχνευσης θέσης.

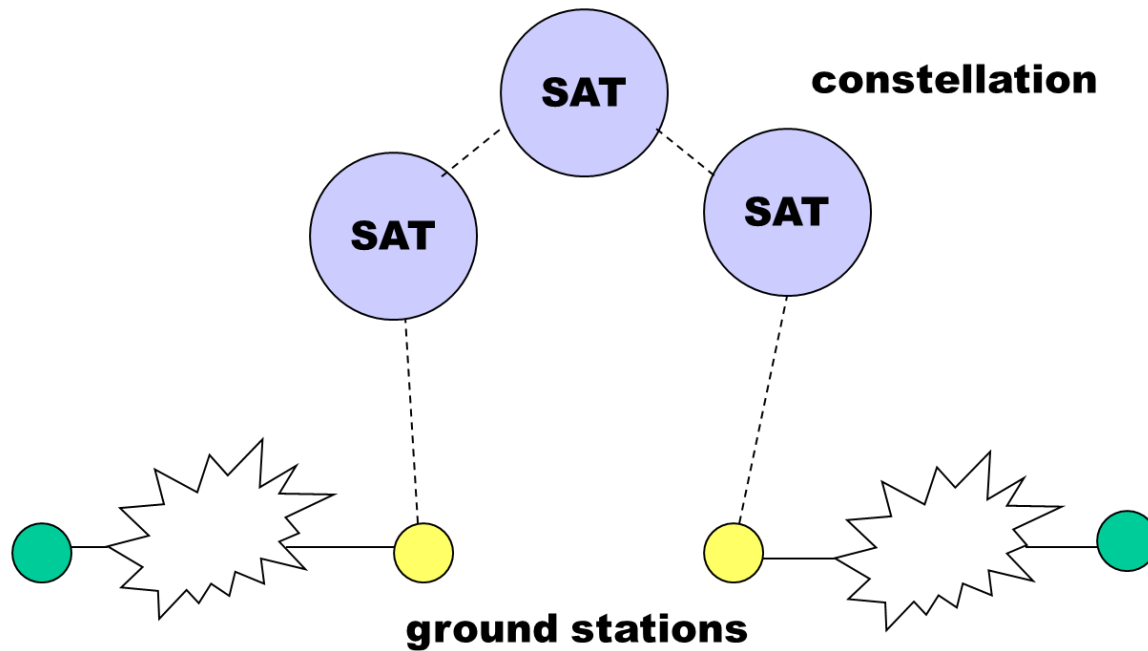
LEO Δορυφόροι

Μειονεκτήματα:

- Η ορατότητα μικρής διάρκειας απαιτεί πολυάριθμους σχηματισμούς
- Η διάρκεια ζωής των δορυφόρων μειώνεται δραστικά όταν βρίσκονται σε χαμηλή τροχιά.
- Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα οικονομικά δεδομένα των δορυφορικών συστημάτων χαμηλής τροχιάς.

LEO Δορυφόροι

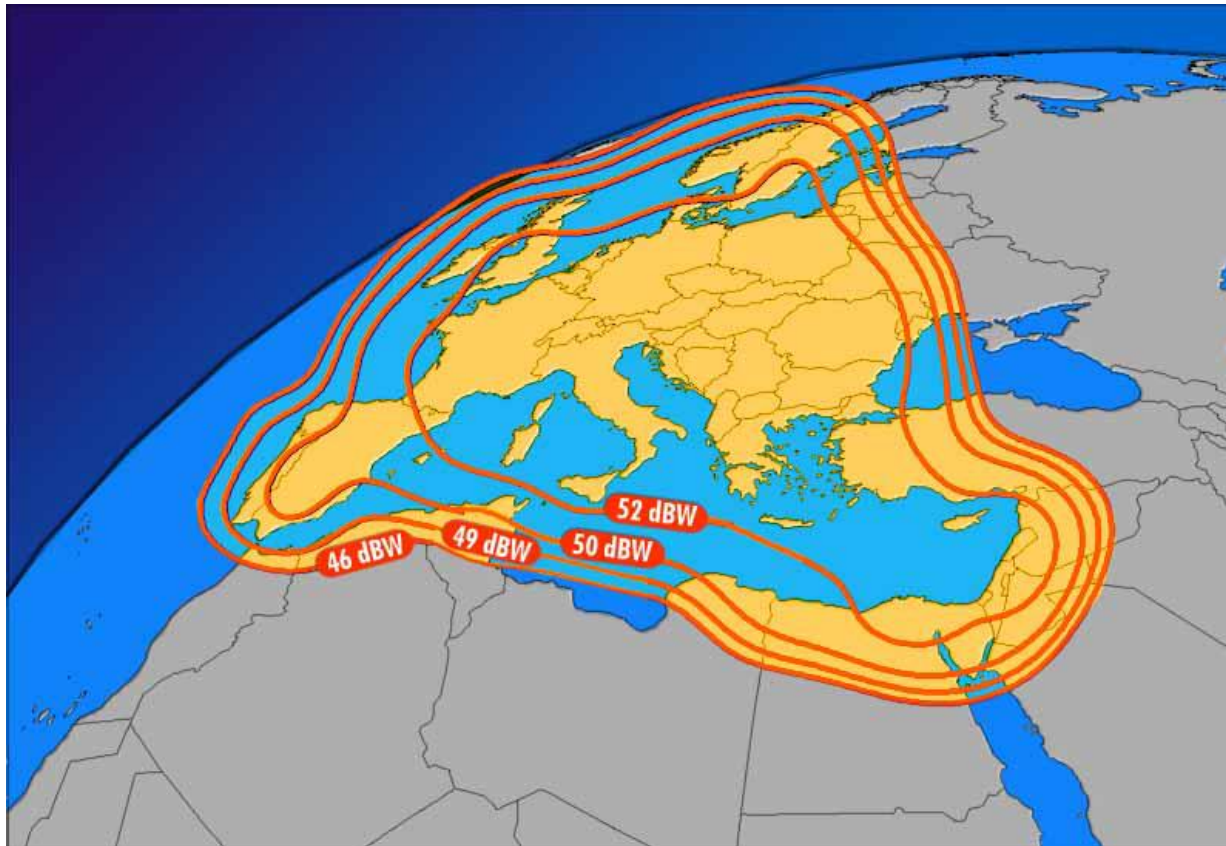
- Παράδειγμα: Iridium (66 satellites)



Χαρακτηριστικά δορυφόρων μεσαίας τροχιάς (ΜΕΟ)

- Κυκλική τροχιά σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 5000 μέχρι 12,000 km
- Περίοδος τροχιάς: 6 ώρες
- Διάμετρος κάλυψης: 10,000 ως 15,000 km
- Η καθυστέρηση διάδοσης σήματος σε αμφίδρομη επικοινωνία (round trip) είναι μικρότερη από 50 ms
- Μέγιστος χρόνος ορατότητας δορυφόρου είναι μερικές ώρες

Το ίχνος του Hellas sat (ακτίνα F1)



Χαρακτηριστικά Δορυφόρων

Ενδεικτικά χαρακτηριστικά:

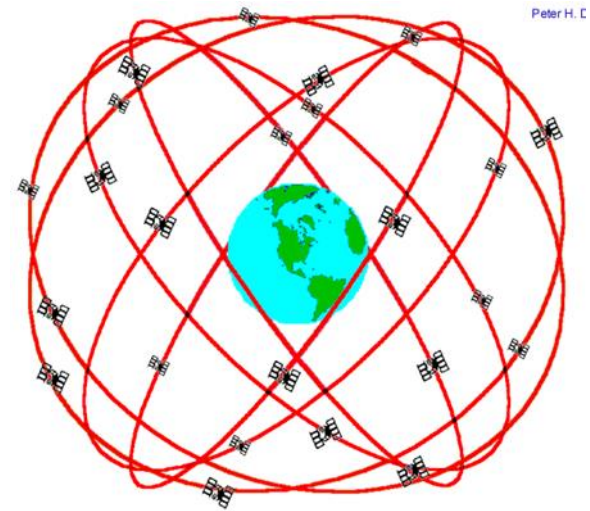
- 30 x 36 MHz πομποί σε λειτουργία συν 8 x 36 MHz εφεδρικοί.
- Κάθε κανάλι μπορεί να μεταφέρει δεδομένα πληροφορίας με ρυθμό 45Mbps. Χρησιμοποιούνται FEC (turbo codes), FDMA/TDMA.
- Σταθεροί (fixed) πάνω από την Ευρώπη, κατευθυνόμενοι (steerable) πάνω από τη νότια Αφρική, τη Μέση Ανατολή, την Ινδία, τη νοτιοανατολική Ασία.

Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης

GPS

Global Positioning System (GPS)

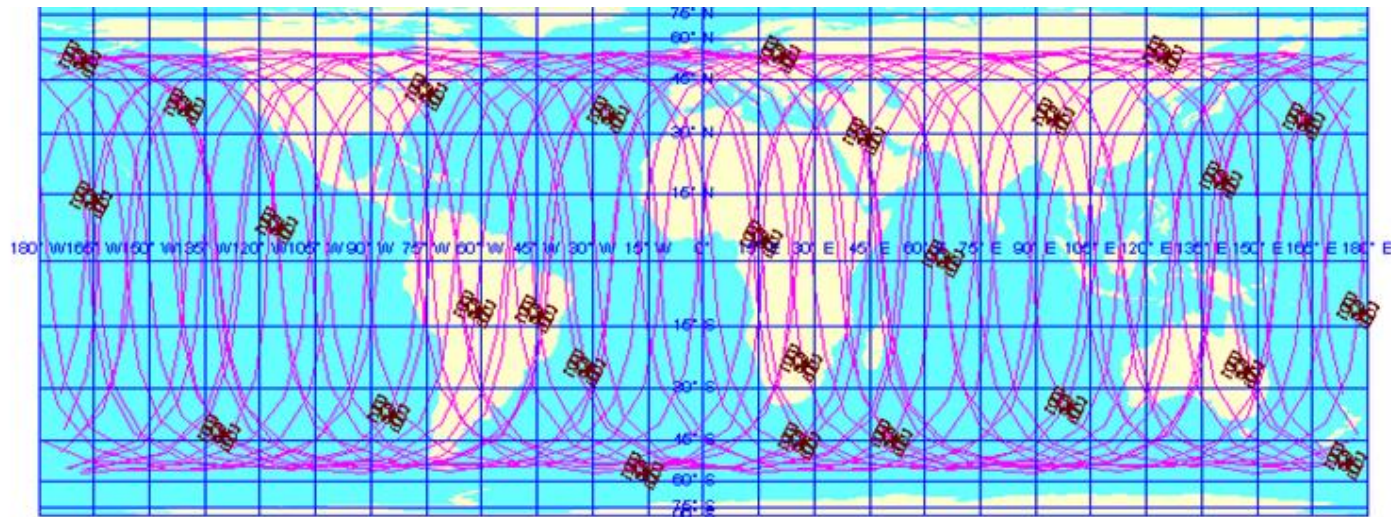
- Ο προσδιορισμός Χώρου και Χρόνου μέσω GPS γίνεται με τη λήψη σημάτων από 4 διαφορετικούς δορυφόρους και “τριγωνοποίηση”
 - 24 δορυφόροι σε 6 τροχιακά επίπεδα
 - 4 δορυφόροι ανά επίπεδο
 - Υψόμετρο 20200km
 - Γωνία ανύψωσης 55 μοίρες



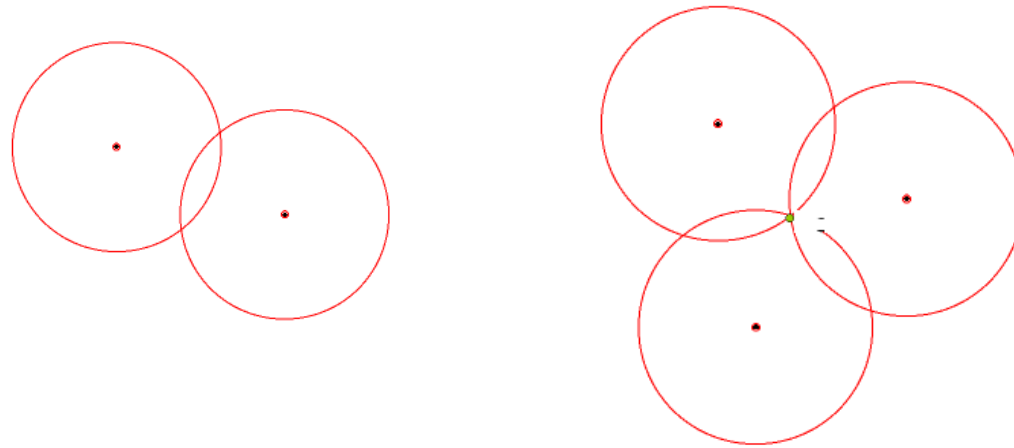
Global Positioning System (GPS)

GPS δορυφόροι και τροχιές

(27 δορυφόροι για στρατιωτικούς σκοπούς –
29/11/1998)



Global Positioning System (GPS)



- Οι δορυφόροι έχουν ατομικά ρολόγια (50-100ΚΕuros κόστος). Οι δέκτες απλά quartz ρολόγια τα οποία διορθώνουν συνεχώς.
- Τα χρονικά λάθη είναι της τάξης μεγέθους ns! Πολλές πιθανές εφαρμογές της δυνατότητας αυτής συγχρονισμού σε δίκτυα.

Global Positioning System (GPS)

Πηγές Λαθών:

- Λάθη λόγω θορύβου στη συσκευή του δέκτη (1m).
- Λάθη που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα λόγω σκοπιμοτήτων (100m).
- Λάθη στην ακρίβεια των ρολογιών των δορυφόρων.
- Λάθη που οφείλονται στην τροπόσφαιρα, ιονόσφαιρα της γης (1m).
- Λάθη στις τροχιές των δορυφόρων (1m). Η DARPA στέλνει περιοδικά στους δέκτες τις νέες συντεταγμένες.
- Λάθη που οφείλονται στο φαινόμενο πολλαπλών μονοπατιών.
- Λάθη που οφείλονται στη γεωμετρία και στη θέση των δορυφόρων στο χώρο.

Δορυφορικές Επικοινωνίες

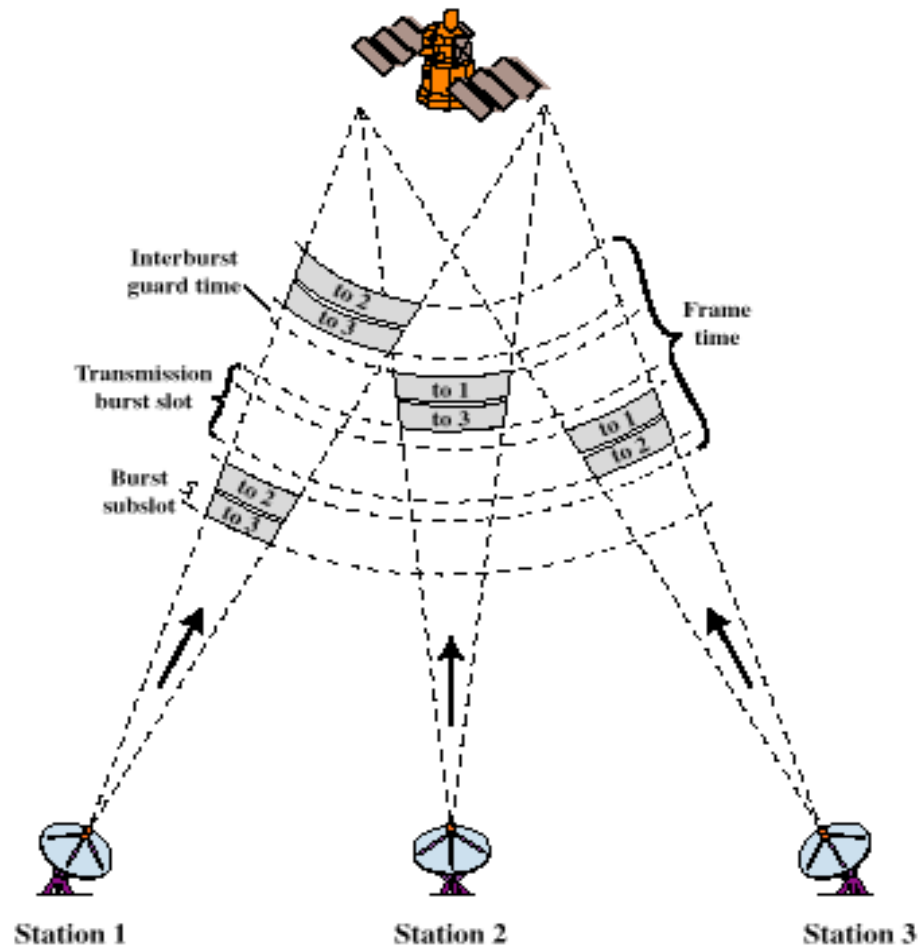
Δορυφορικές Επικοινωνίες

- Είδη πολλαπλής πρόσβασης
 - Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA)
 - Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA)
 - Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA)

Δορυφορικές Επικοινωνίες

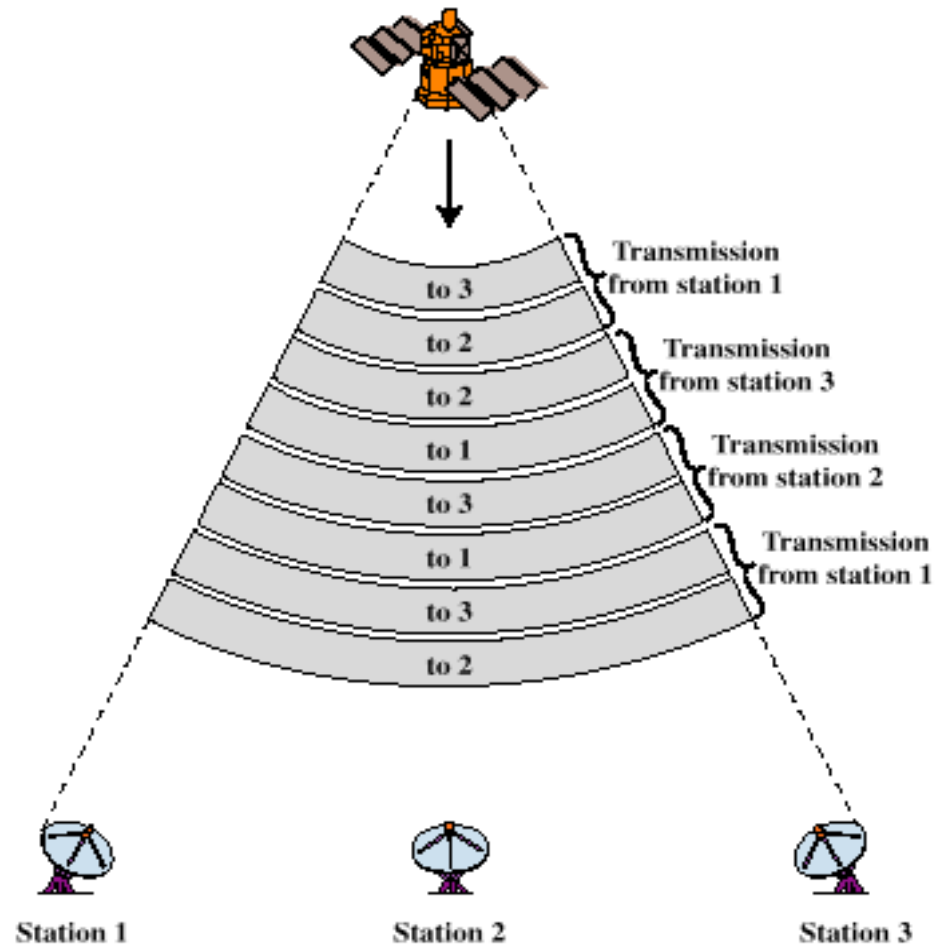
- Στρατηγικές Ανάθεσης Χωρητικότητας
 - **Πολλαπλή πρόσβαση με σταθερή ανάθεση (FAMA):** Η διαθέσιμη χωρητικότητα ανατίθεται στους σταθμούς και η ανάθεση παραμένει σταθερή. Η ζήτηση μπορεί να παρουσιάσει διακυμάνσεις, που έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό ποσοστό χρήσης της συνολικής χωρητικότητας.
 - **Πολλαπλή πρόσβαση με ανάθεση με βάση τη ζήτηση (DAMA):** Η ανάθεση της χωρητικότητας αλλάζει ώστε να αντιμετωπίζει βέλτιστα τις αλλαγές στη ζήτηση.

Δορυφορικές Επικοινωνίες



(a) Uplink

Δορυφορικές Επικοινωνίες



(b) Downlink

Δορυφορικές Επικοινωνίες

Λειτουργία FAMA-TDMA

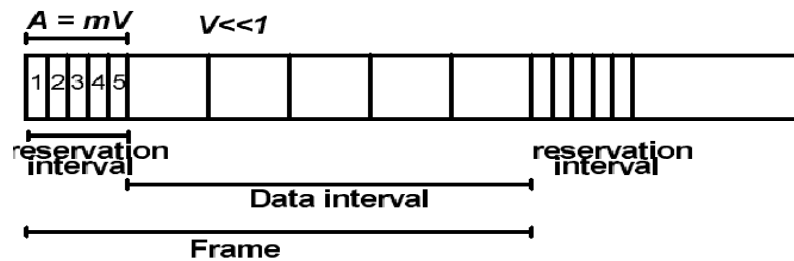
- Μετάδοση με τη μορφή ακολουθίας πλαισίων
 - Κάθε πλαίσιο διαιρείται σε χρονικές σχισμές
 - Κάθε σχισμή χρησιμοποιείται από ένα συγκεκριμένο σταθμό
- Οι γήινοι σταθμοί χρησιμοποιούν με τη σειρά το δίαυλο επικοινωνίας προς το δορυφόρο (uplink)
 - Αποστολή δεδομένων στη χρονική σχισμή που έχει ανατεθεί
- Ο δορυφόρος αναμεταδίδει τις εισερχόμενες μεταδόσεις
 - Εκπομπή προς όλους τους σταθμούς
- Οι σταθμοί πρέπει να ξέρουν ποιά χρονική σχισμή πρέπει να χρησιμοποιήσουν για εκπομπή και ποιά για λήψη

Δορυφορικές Επικοινωνίες

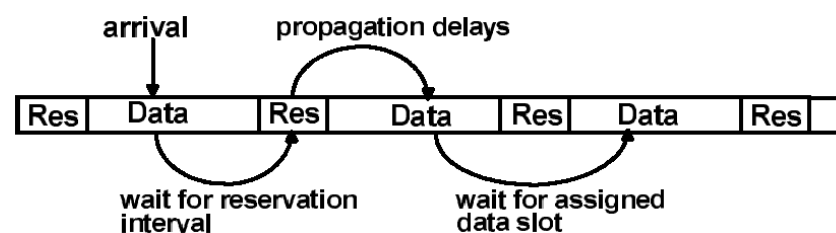
Πολλαπλή πρόσβαση με ανάθεση με βάση τη ζήτηση (DAMA):

- Πρωτόκολλα Κρατήσεων
- PRMA

Πρωτόκολλα Κρατήσεων



πλαίσιο



Δορυφορικές Επικοινωνίες

Πολλαπλή Πρόσβαση με Κρατήσεις Πακέτων (PRMA-Packet reservation multiple access)

πλαίσιο

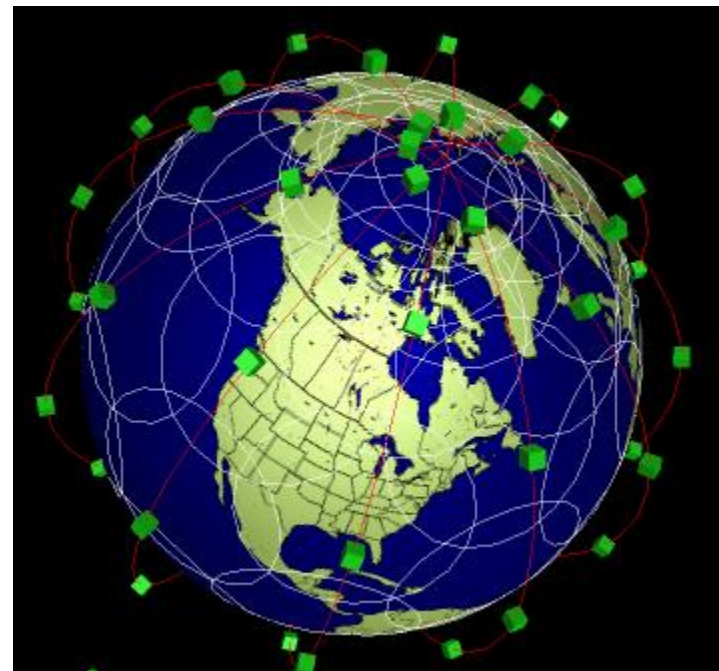
σχισμή

Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	
15	idle	3	20	collision	2	Frame 1
15	7	3	idle	9	2	Frame 2
idle	7	3	collision	9	idle	Frame 3
18	7	3	collision	9	6	Frame 4
18	7	3	15	9	6	Frame 5

idle : ανενεργό
collision : σύγκρουση

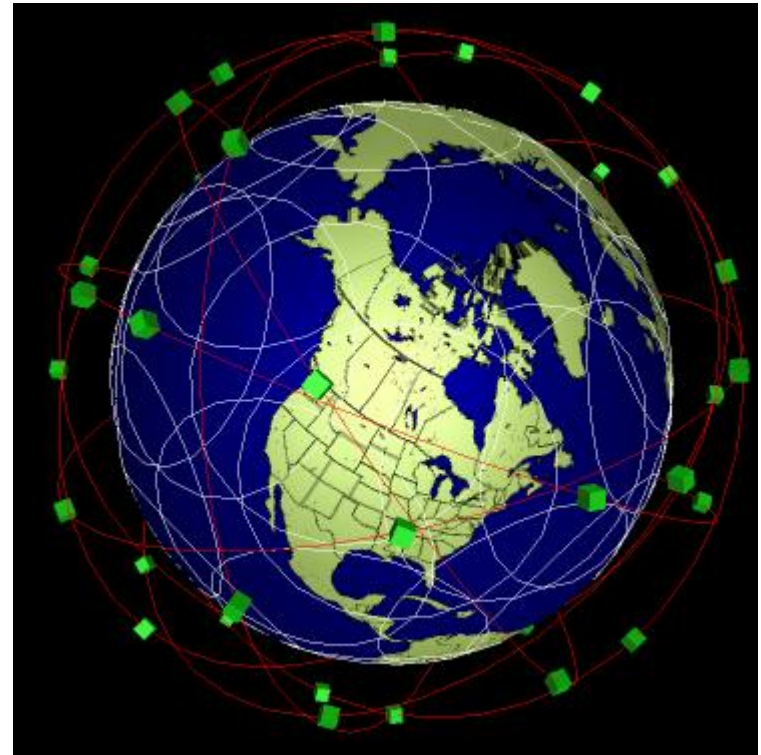
Δορυφορικές Επικοινωνίες

- IRIDIUM
 - Motorola
 - Φωνή, Δεδομένα, Fax, Υπηρεσίες θέσης
 - 66 δορυφόροι σε 6 πολικές τροχιές (780 km)
 - 48 σημειακές δέσμες ανά δορυφόρο, που σχηματίζουν “κυψέλες”
 - Σύνδεσμοι δορυφόρου με δορυφόρο, καθώς και με το έδαφος
 - FDMA/TDM
 - Υποστηρίζει αλλαγή δορυφόρου κατά τη διάρκεια κλήσης



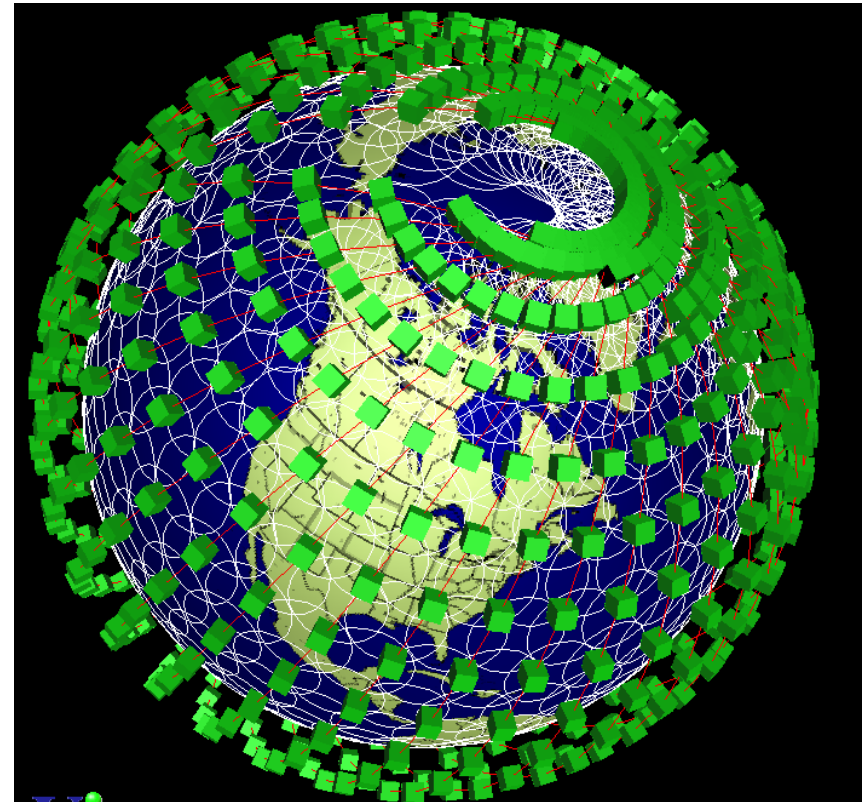
Δορυφορικές Επικοινωνίες

- GLOBALSTAR
 - Loral, Qualcomm
 - Φωνή, Δεδομένα (9.6 kbps), Fax, Υπηρεσίες θέσης
 - 48 δορυφόροι, κεκλιμένες τροχιές, 1400 km
 - CDMA τεχνικές πρόσβασης
 - Δεν υποστηρίζει αλλαγή δορυφόρου κατά τη διάρκεια κλήσης, λόγω των μεγάλων χρόνων ορατότητας από το έδαφος που εξασφαλίζονται από τις ελλειπτικές δέσμες των δορυφόρων

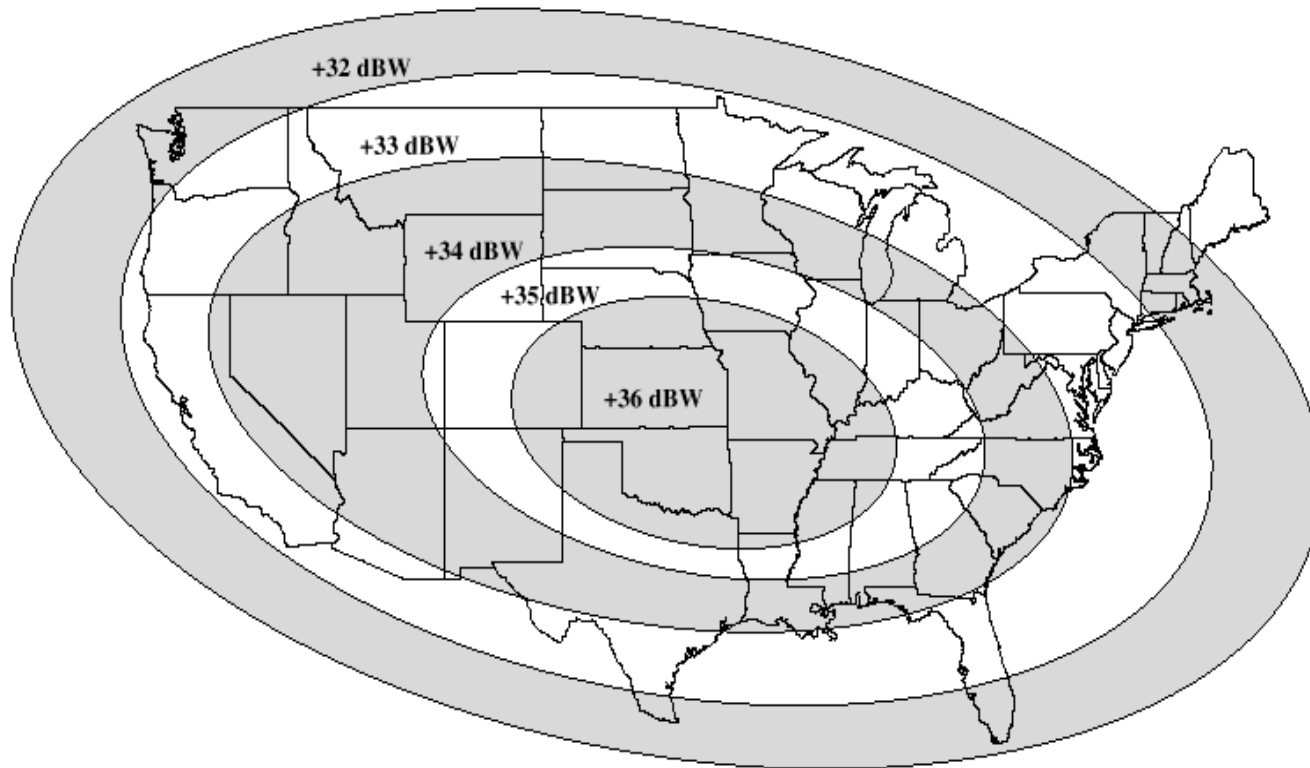


Δορυφορικές Επικοινωνίες

- Teledesic
 - Βασικοί επενδυτές: Bill Gates, Craig McCaw
 - 21 τροχιακά επίπεδα, 40 δορυφόροι ανά επίπεδο, 840 δορυφόροι συνολικά(!!), \$9.000.000.000 κόστος ανάπτυξης
 - 700 km, κυκλικές τροχιές
 - Φωνή/Δεδομένα μέχρι και 2 Mbps



Δορυφορικές Επικοινωνίες



Τυπικό Ίχνος Δορυφόρου

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Εμμανουήλ Βαρβαρίγος 2014. Εμμανουήλ Βαρβαρίγος. «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών. Δορυφορικές Επικοινωνίες». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1109/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα χρήσης έργων τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Η εικόνα στη σελίδα 7 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://sunsite.uakom.sk/sunworldonline/swol-06-1998/swol-06-connectivity.html>

Η εικόνα στη σελίδα 15 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://www.idirect.ro/services.php>

Η εικόνα στη σελίδα 18 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://www.portaldepiracicaba.com.br/rastreador2.htm>

Η εικόνα στη σελίδα 19 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gif/svs27.gif>

Σημείωμα χρήσης έργων τρίτων

Η εικόνα στη σελίδα 30 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/iridium.html>

Η εικόνα στη σελίδα 31 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/globalstar.html>

Η εικόνα στη σελίδα 32 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/teledesic.html>