



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

# Κινητές Τεχνολογίες

Διάλεξη 8η: Συστήματα εντοπισμού  
και υπηρεσίες θέσης

Γ. Καρυδάκης

Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# 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



# Περιεχόμενα ενότητας

- Αρχιτεκτονική
- Δεδομένα
- Υπολογισμός θέσης
- Εφαρμογές GPS
- Ανίχνευση θέσης σε εσωτερικούς χώρους (indoors location tracking)

# Διάλεξη 8<sup>η</sup>

Συστήματα εντοπισμού  
και υπηρεσίες θέσης

# Εισαγωγικά

- Επίσημη ονομασία GPS
  - NAVigational Satellite Timing And Ranging Global Positioning System
  - (NAVSTAR GPS)
- Global Positioning Systems (GPS)
  - Global Navigation Satellite System (GNSS)
- Αναπτύχθηκε από Υπουργείο Εθνικής Άμυνας Η.Π.Α.

# Ιστορικά

- Ερευνητικά 1960's
- Χρηματοδοτήθηκε το 1973
- Πρώτος δορυφόρος το 1978
- Πλήρως λειτουργικό από το 1995

# Τεχνικά

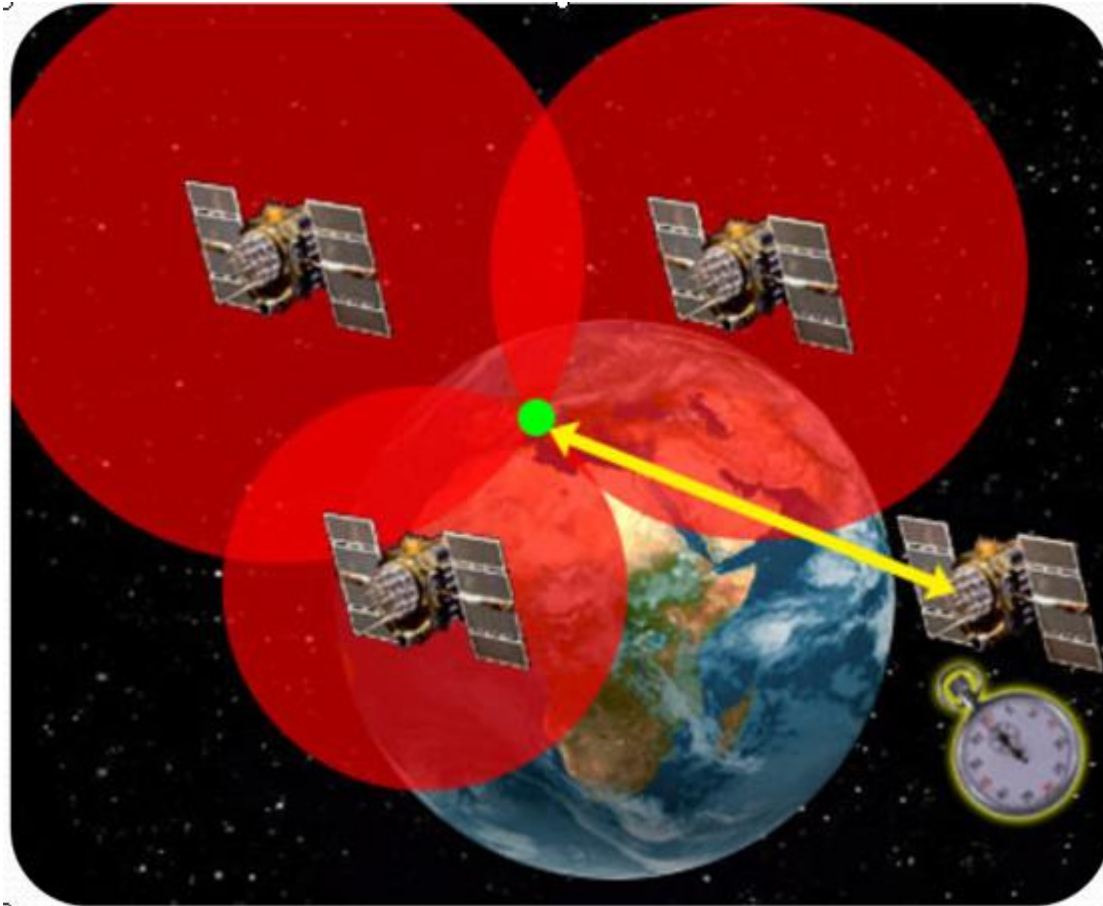
- 24 δορυφόροι
- Μέση τροχιά
  - 2000km - 35,786 km
- Ελέγχεται από την 50<sup>η</sup> Μοίρα Αεροπορίας Η.Π.Α.
- Κόστος διαχείρισης \$750 εκατομμύρια τον χρόνο!



# Εισαγωγικά

- Λειτουργεί με σύγκριση σημάτων από τρεις (τουλάχιστον) δορυφόρους στον δέκτη
- Η απόσταση υπολογίζεται:
  - Το σήμα μεταδίδεται με σταθερή(?) ταχύτητα
  - Ο δέκτης υπολογίζει τον χρόνο που παρήλθε από την εκπομπή στην λήψη του σήματος
  - Το σήμα περιέχει πληροφορία για την θέση του πομπού (δορυφόρου)
  - Υπολογίζεται η θέση του δέκτη με την μέθοδο της τριμεροποίησης (trilateration)

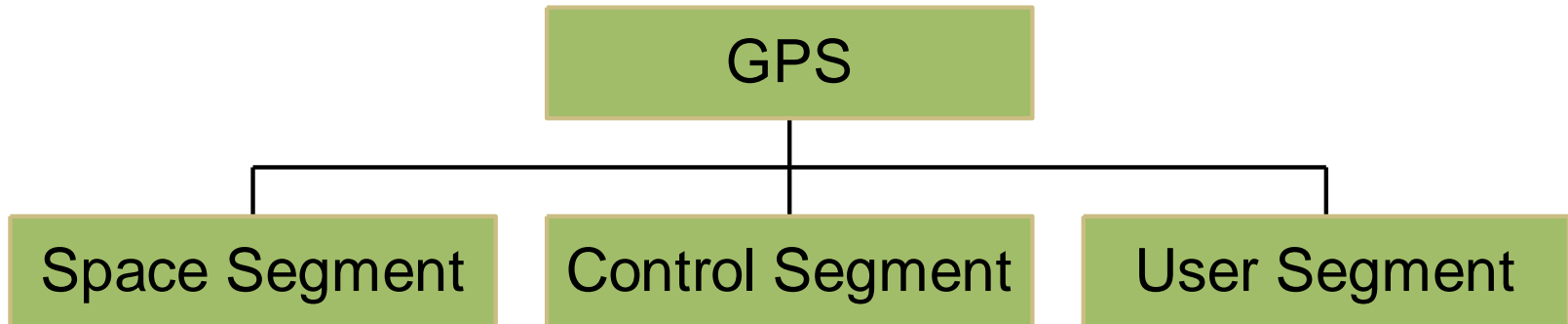
# Εισαγωγικά



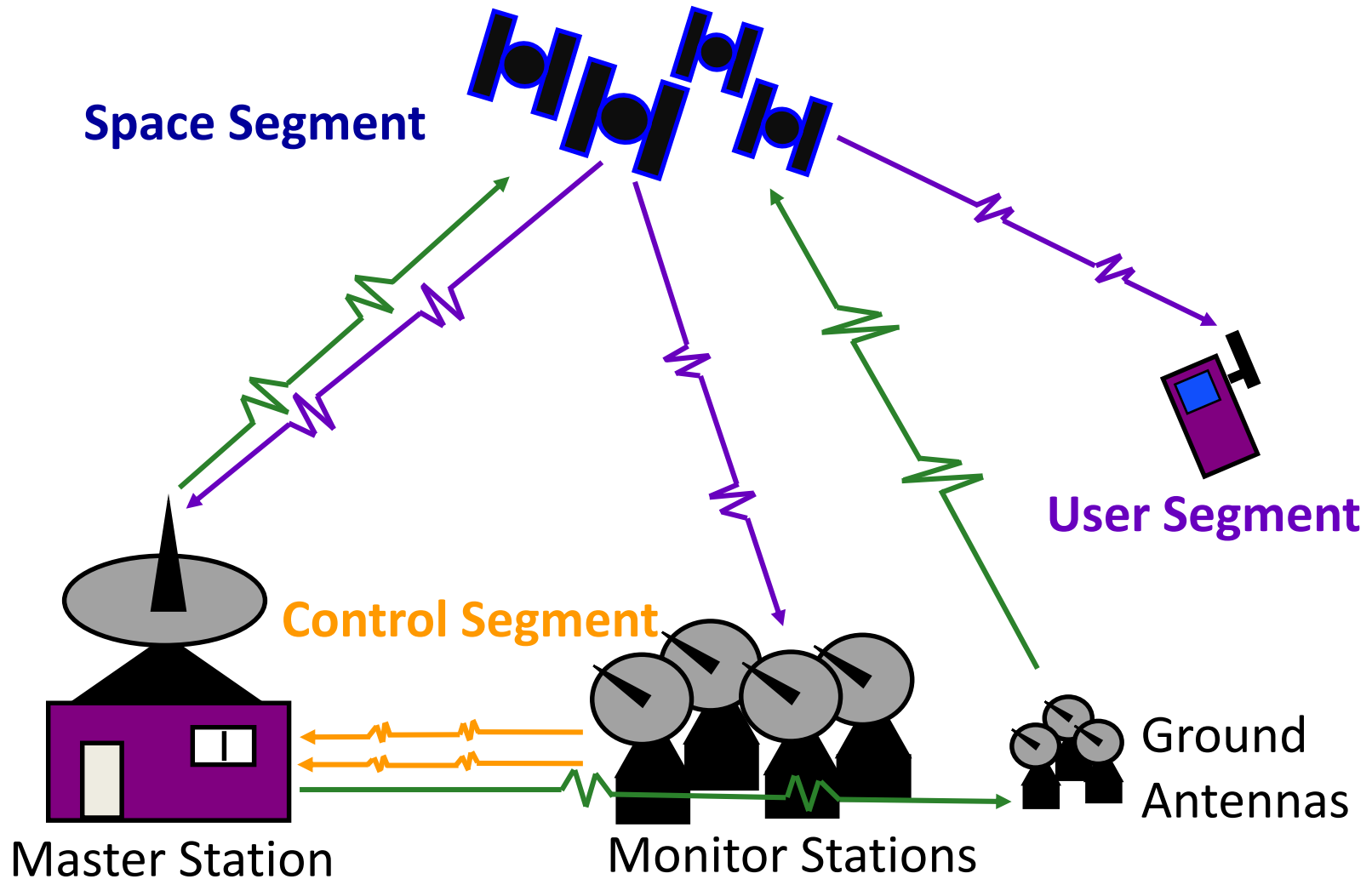
**Αρχιτεκτονική**

# Αρχιτεκτονική

- Space Segment (SS)
- Control Segment (CS)
- User Segment (US)

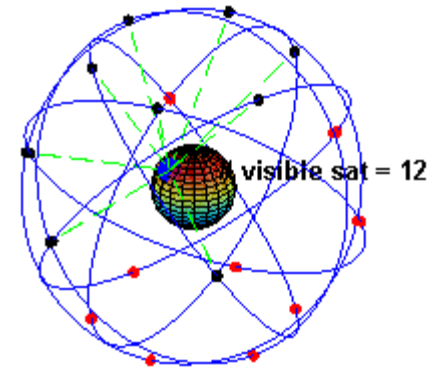


# Αρχιτεκτονική

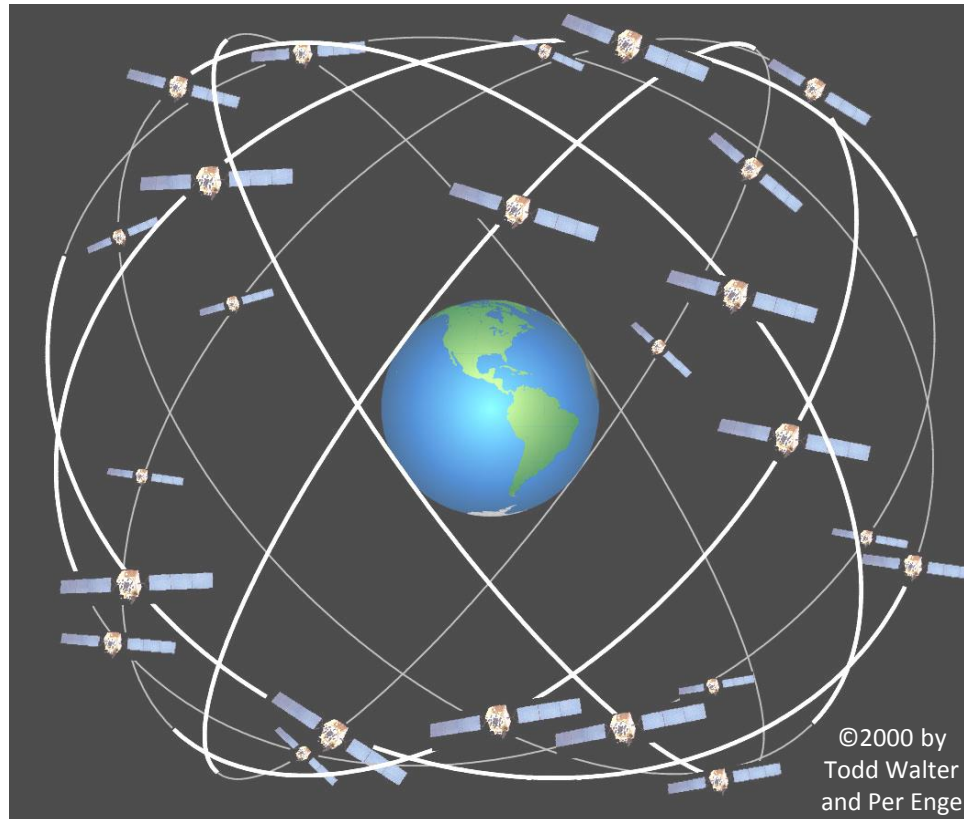


# Space Segment

- Οι δορυφόροι ταξιδεύουν σε κυκλικές τροχιές γύρω από τον πλανήτη
  - περίοδο 12 ωρών
  - ακτίνα 20,200
  - διαφοροποίηση  $55^\circ$  ως προς τον άξονα του πλανήτη
- Τροφοδοτούνται με ηλιακή ενέργεια και προσανατολίζονται ώστε να μεγιστοποιούν
  - την παροχή ενέργειας
  - την κατευθυντικότητα της κεραίας πομπού
- Οι τροχιές είναι σχεδιασμένες ώστε κατ' ελάχιστον έξι δορυφόροι να είναι ορατοί από οποιοδήποτε σημείο στον πλανήτη



# Space Segment



# Space Segment

- Πλεονασμός απαιτείται προς βελτιστοποίηση ακρίβειας προσδιορισμού θέσης
- Μη ομοιόμορφη κατανομή αντιμετωπίζει τυχαίες βλάβες



# Control Segment

- Αποτελείται από
  - Master Control System
  - Monitor Stations
  - Ground Antennas

# Master Control Station

- Βρίσκεται στις Η.Π.Α.
  - Falcon Air Force Base, Colorado
- Ευθύνεται για την συνολική διαχείριση και παρακολούθηση του συστήματος
- Διατηρείται «εφημερίδα» (GPS ephemeris) προς ενημέρωση των δορυφόρων και τελικά των χρηστών
  - υπολογισμένες θέσεις
  - ταχύτητες
  - αποκλίσεις τροχιάς

# Monitor Stations

- Συλλέγουν δεδομένα από τους δορυφόρους και τα προωθούν στο master control station.
- Έξι σταθμοί παρακολούθησης
  - Falcon Air Force Base in Colorado
  - Cape Canaveral
  - Florida
  - Hawaii
  - Ascension Island, Atlantic Ocean
  - Diego Garcia Atoll, Indian Ocean
  - Kwajalein Island, South Pacific Ocean
- Κάθε σταθμός παρακολούθησης ελέγχει
  - θέση
  - ύψος
  - ταχύτητα
  - Κατάσταση
- Κάθε δορυφόρος παρακολουθείται από 2 τουλάχιστον σταθμούς παρακολούθησης

# Monitor Stations

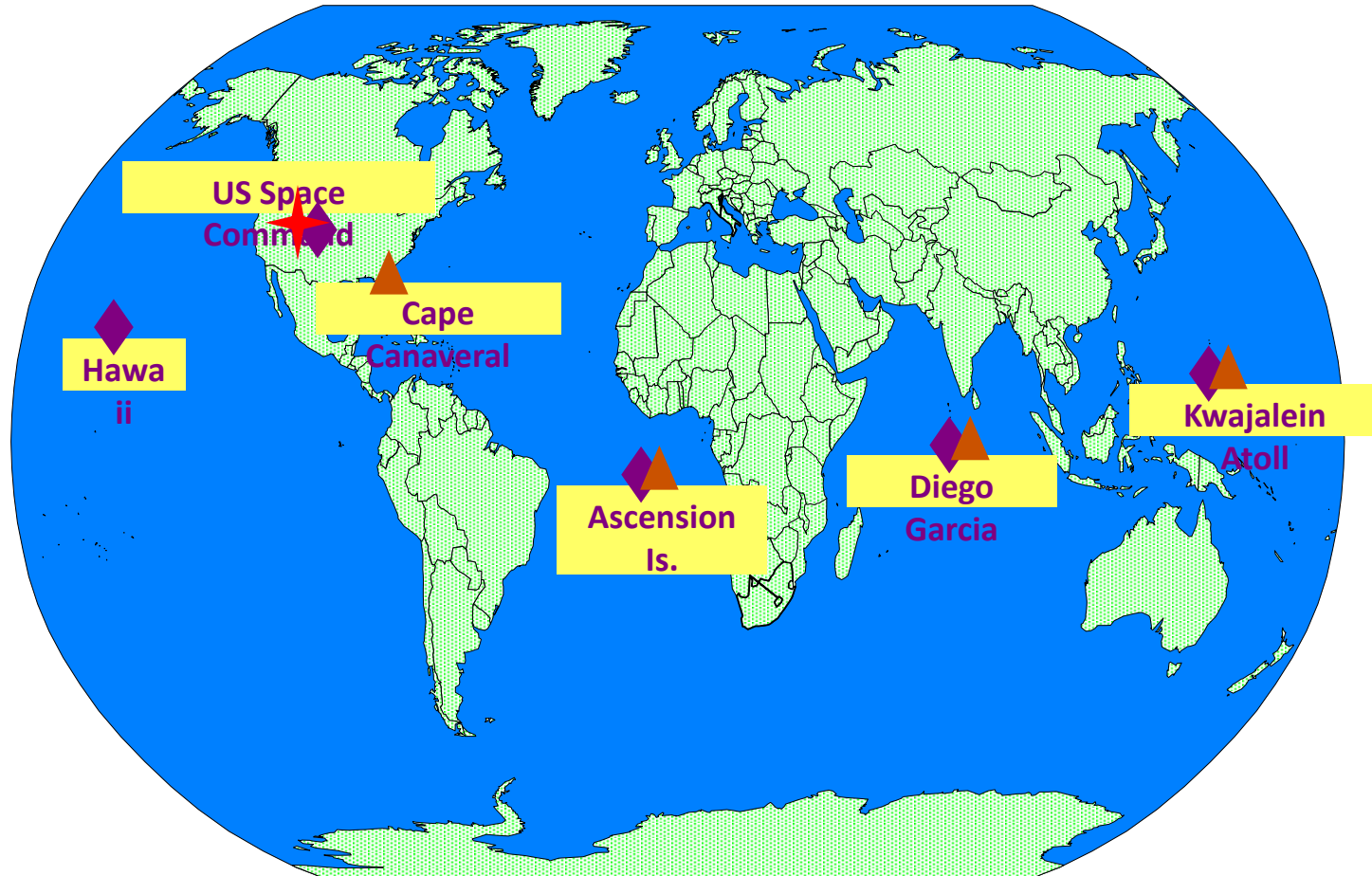
Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network



# Monitor Stations



★ Master Control Station    ◆ Monitor Station    ▲ Ground Antenna

# Monitor Stations και επίγειες κεραιές

- Το control segment χρησιμοποιεί τις μετρήσεις των monitor stations ώστε να προβλέπει την συμπεριφορά των δορυφόρων
- Το master control station επικοινωνεί περιοδικά με τους GPS δορυφόρους μέσω επίγειων κεραιών (ground antennas) (βρίσκονται στα: Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, and Cape Canaveral) στέλνοντας ενημερώσεις (updates).
- Αυτές οι ενημερώσεις έχουν στόχο να συγχρονίσουν τα ατομικά ρολόγια (atomic clocks) των δορυφόρων με απόκλιση μέχρι λίγα nanoseconds ο ένας από τον άλλο.
- Έτσι, το control segment εξασφαλίζει την σωστή συμπεριφορά των δορυφόρων
- Έλεγχος από ένα σταθμό παρακολούθησης
  - μέχρι 11 δορυφόρων
  - 2 φορές την ημέρα

# User Segment

- Ο δέκτης του χρήστη
  - κεραία λήψης
  - συντονισμός στην συχνότητα εκπομπής των δορυφόρων
  - επεξεργαστές (υλικό)
  - ρολόι ακριβείας
- Ένδειξη (προαιρετική)
  - θέσης
  - ταχύτητας
  - χάρτη

**Δεδομένα**



# Τύποι δεδομένων

- Το σήμα που εκπέμπεται (με bit rate μόλις 50 bps) από τους δορυφόρους αποτελείται από
  - Ένδειξη χρόνου ρολογιού του δορυφόρου (satellite clock)
  - Almanac
    - πληροφορίες κατάστασης, error correction
  - Ephemeris
    - Ακριβείς πληροφορίες τροχιάς

# Ασφάλεια

- Ελεύθερης πρόσβασης
  - Standard Positioning Service
  - Coarse / Acquisition code (C/A)
  - 1024 bit
  - pseudo-random code
  - κάθε millisecond
- Περιορισμένης πρόσβασης
  - Precise Position Service
  - Precise code (P-code)
  - δεσμεύεται για στρατιωτικές εφαρμογές

# Συχνότητες

- L1 (1575.42 MHz)
  - Mix of Navigation Message
  - coarse-acquisition (C/A) and encrypted precision P(Y) code
  - Standard Positioning Service
- L2 (1227.60 MHz)
  - P(Y) code, plus the new L2C code on the Block IIR-M and newer satellites
- L3 (1381.05 MHz)
  - Used by the Defense Support Program to signal detection of missile launches, nuclear detonations, and other applications

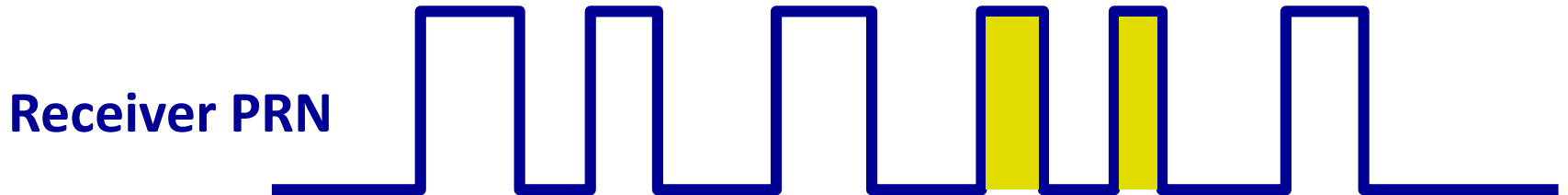
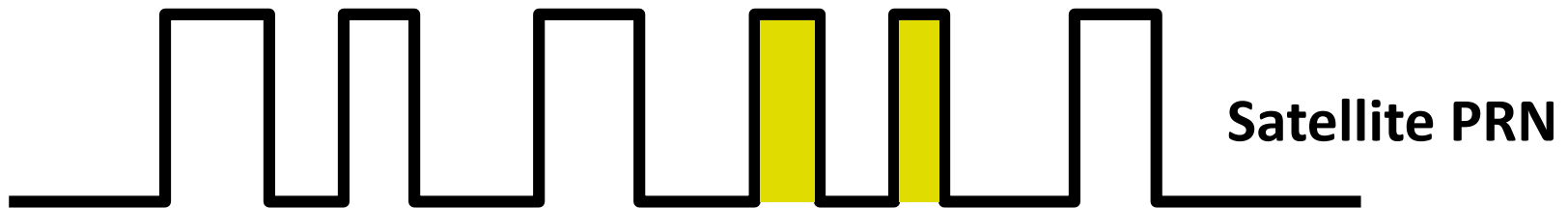
**Υπολογισμός θέσης**

# Υπολογισμός θέσης

- Βάσει World Geodetic System WGS84 συστήματος συντεταγμένων
- Οι δορυφόροι εξοπλίζονται με ατομικά ρολόγια
- Οι δέκτες διαθέτουν εσωτερικά ρολόγια (crystal oscillator)
- Αναγνωρίζεται ο δορυφόρος από το διακριτό C/A code pattern
- Υπολογίζεται η διαφορά χρόνου των δύο ρολογιών
- Αφού η ταχύτητα είναι γνωστή υπολογίζεται η απόσταση από τον δορυφόρο (pseudorange)

# Υπολογισμός θέσης

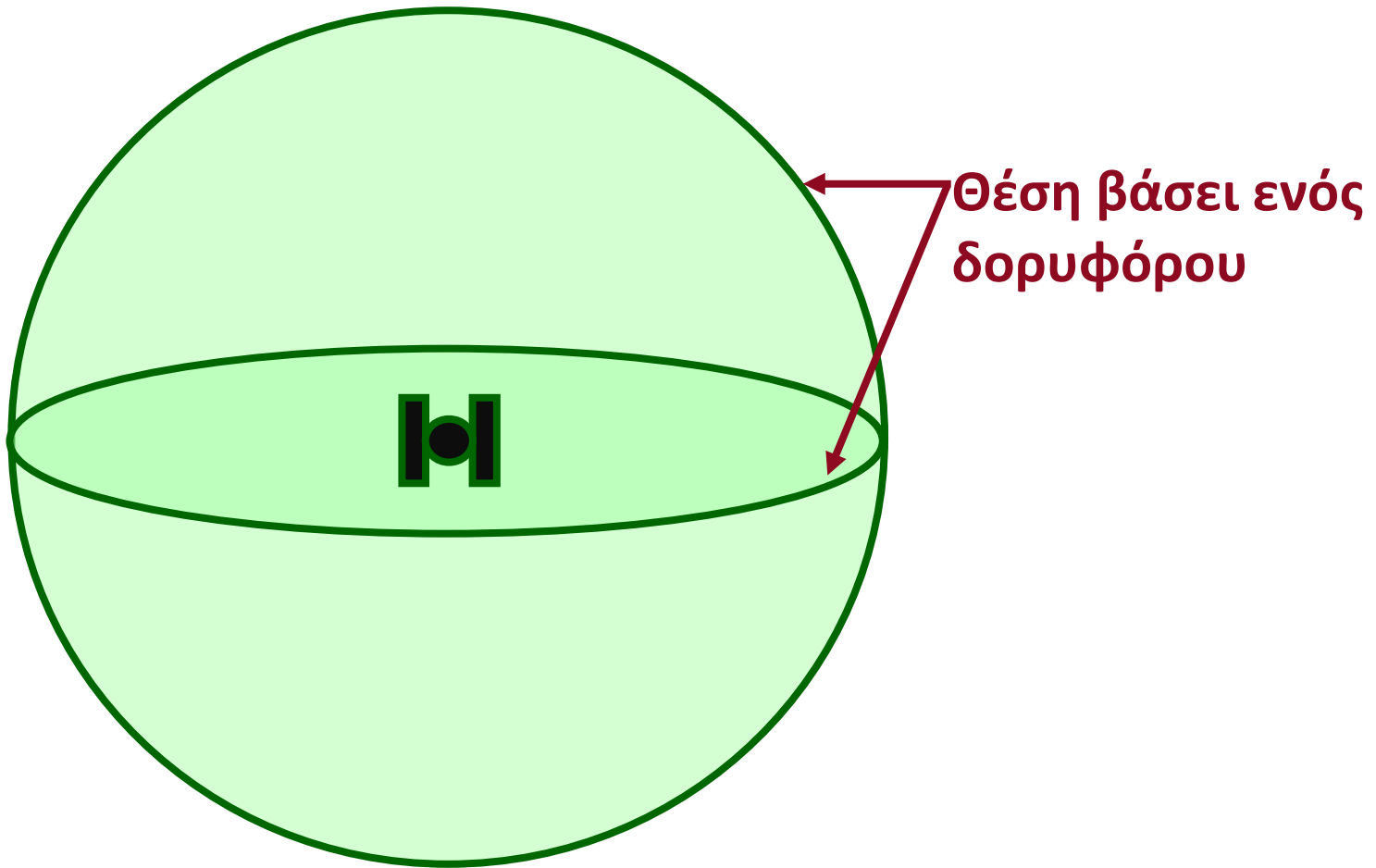
Time  
Difference



# Υπολογισμός θέσης

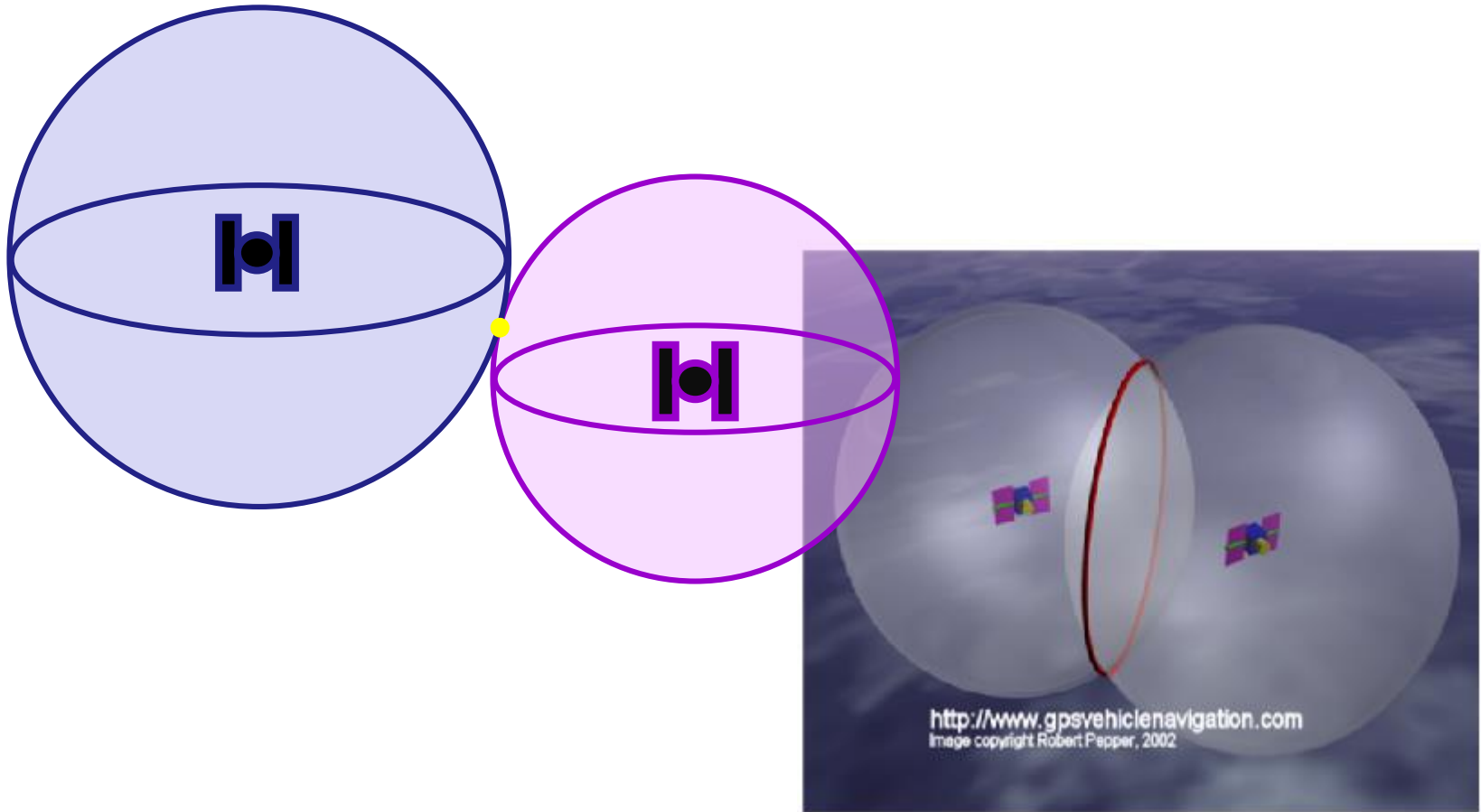
- Η πληροφορία τροχιάς από το περιεχόμενο του μηνύματος συνδυάζεται με την απόσταση και υπολογίζεται η ακριβής θέση
- Η θέση που υπολογίζεται είναι σχετική με την θέση του δορυφόρου
- Βρίσκεται στην νοητή επιφάνεια της σφαίρας με κέντρο τον δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση από τον δέκτη

# Υπολογισμός θέσης – 1 πηγή

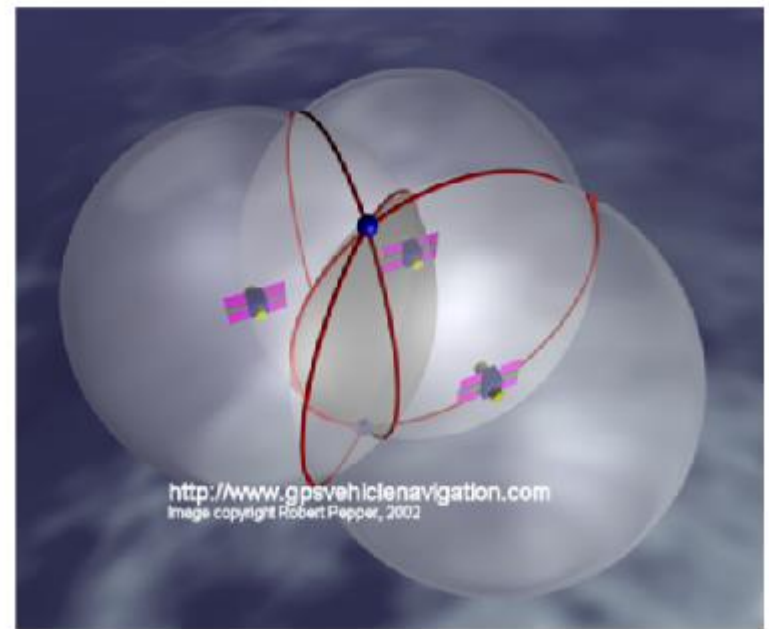
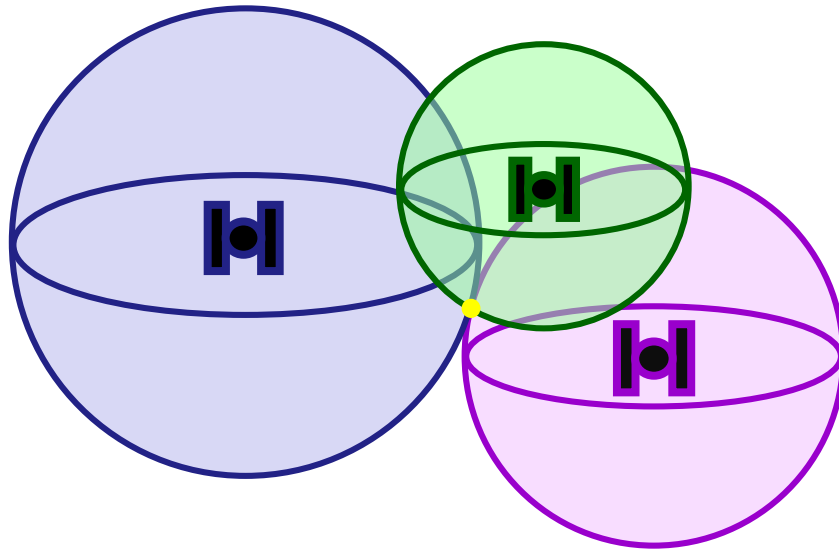




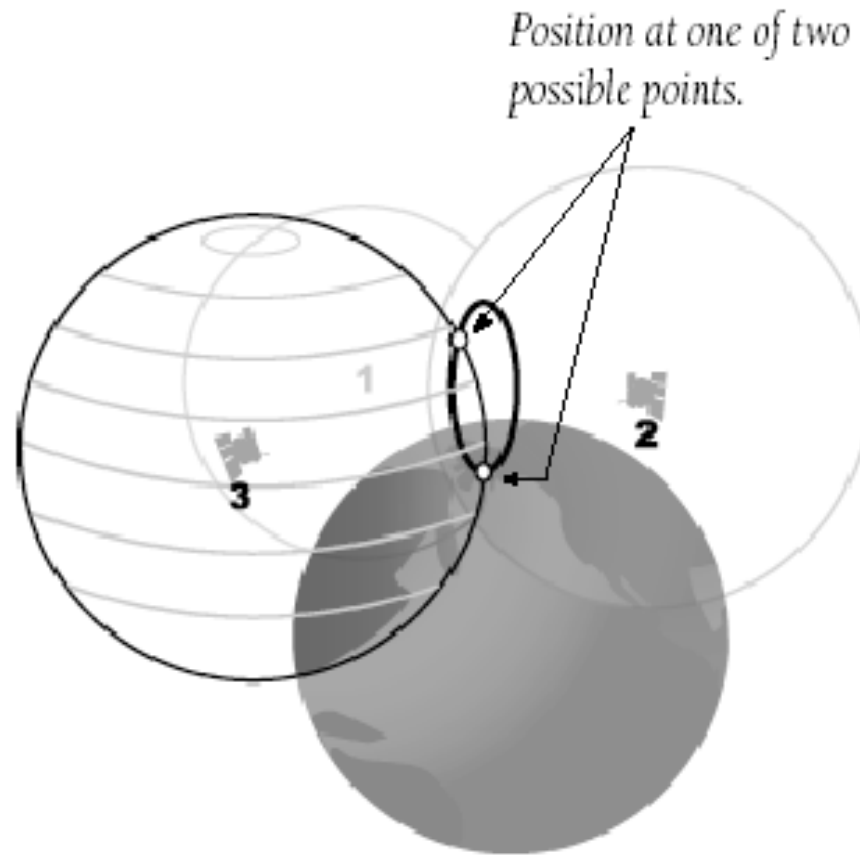
# Υπολογισμός θέσης – 2 πηγές



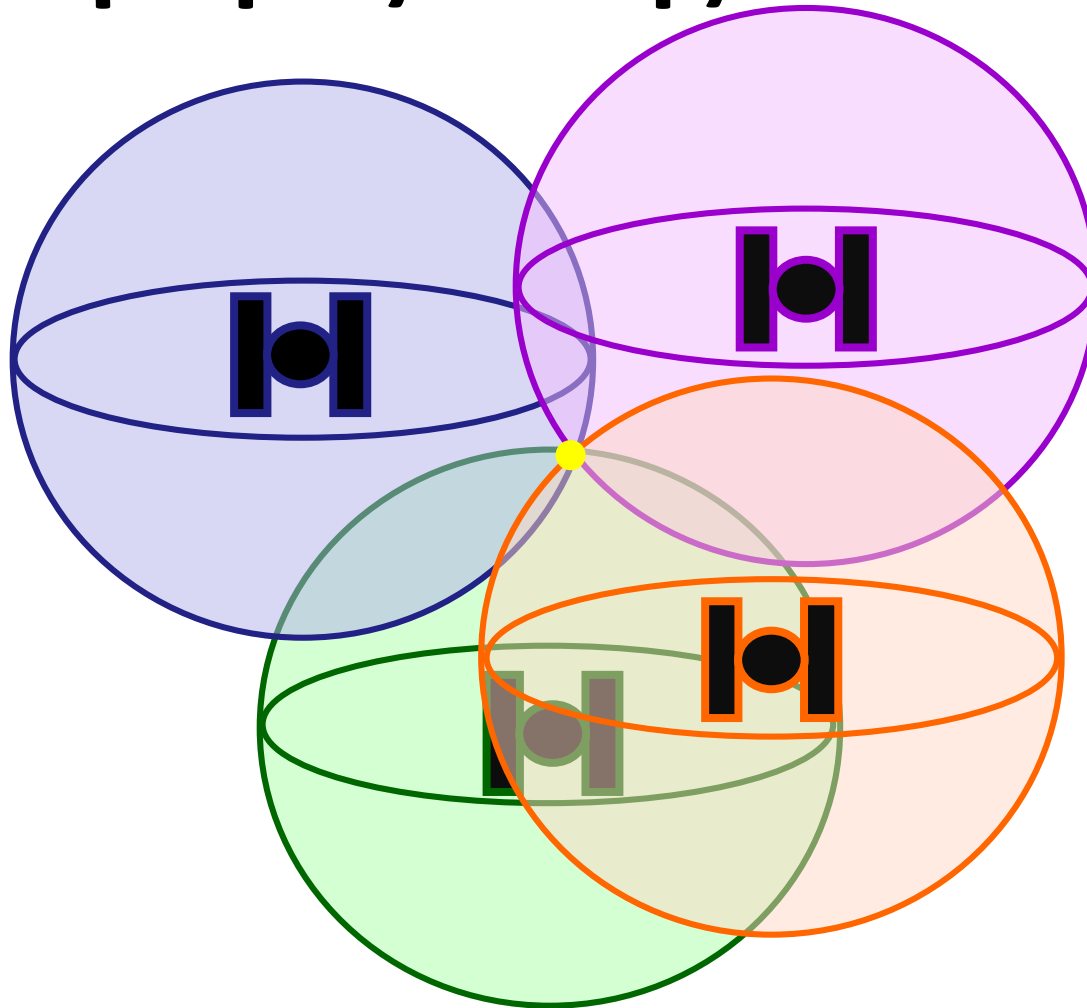
# Υπολογισμός θέσης 2D – 3 πηγές



# Υπολογισμός θέσης



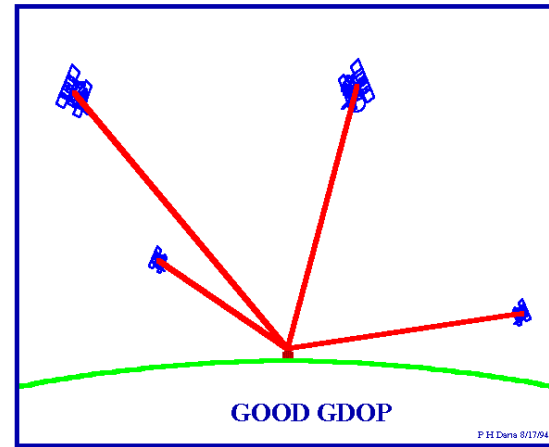
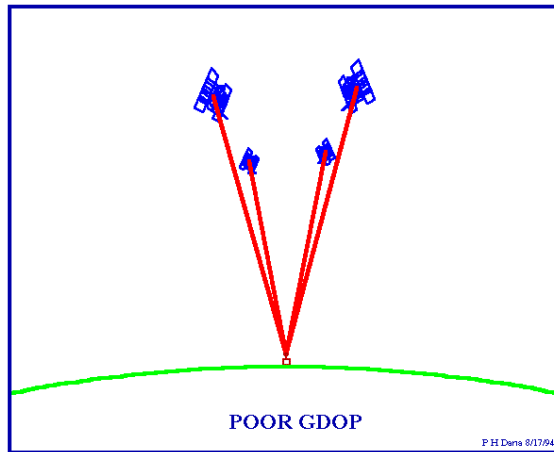
# Υπολογισμός θέσης 3D – 4 πηγές



# Υπολογισμός θέσης

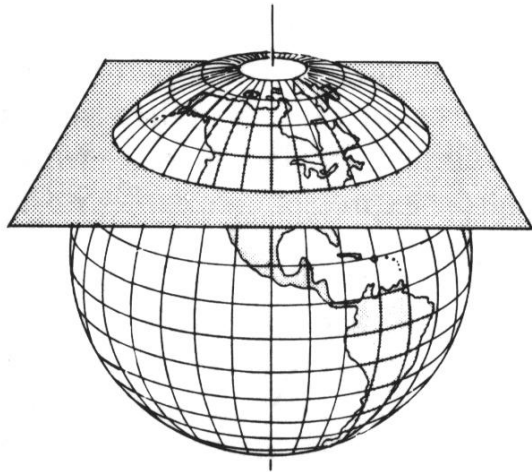
- Η τομή των θέσεων αυτών από περισσότερους δορυφόρους την ίδια στιγμή καταγράφεται ως η απόλυτη θέση του δέκτη
- Όταν η τομή δεν είναι σημείο αλλά περιοχή γίνεται εκτίμηση θέσης

# Θέση δορυφόρων



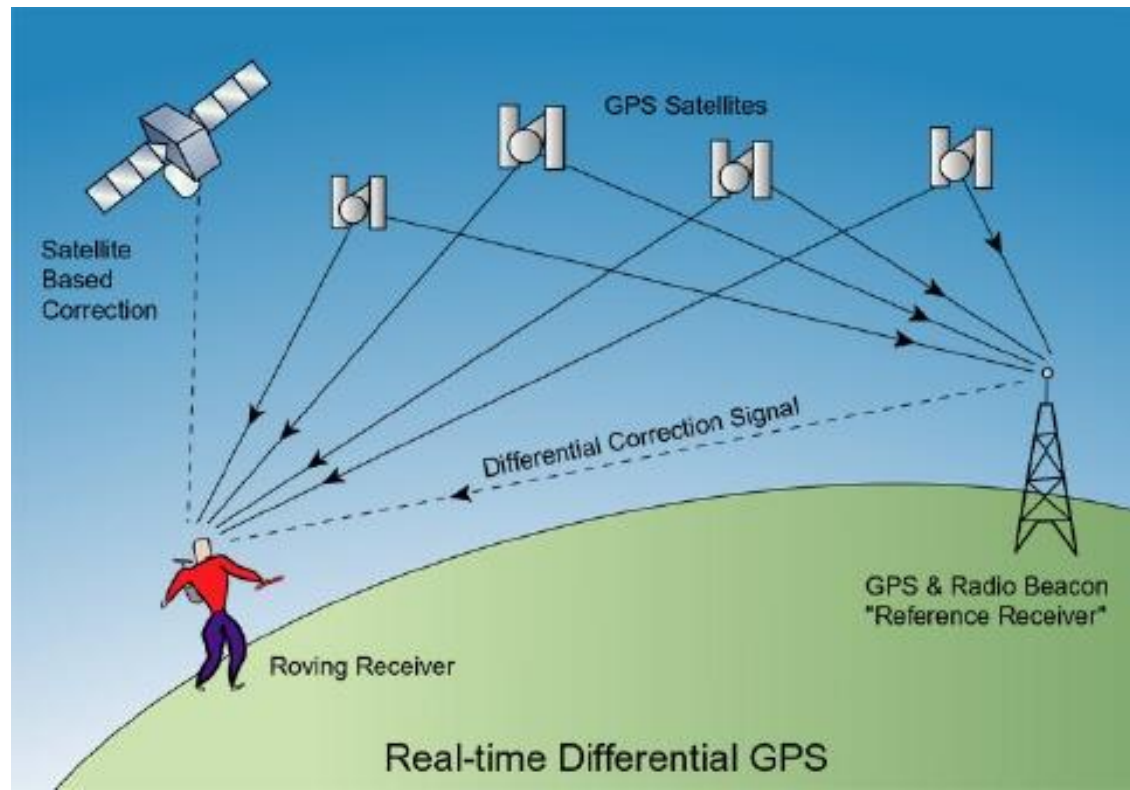
# 3D/2D

- 3D Θέση
  - τουλάχιστον 4 δορυφόροι
- 2D θέση
  - τουλάχιστον 3 δορυφόροι



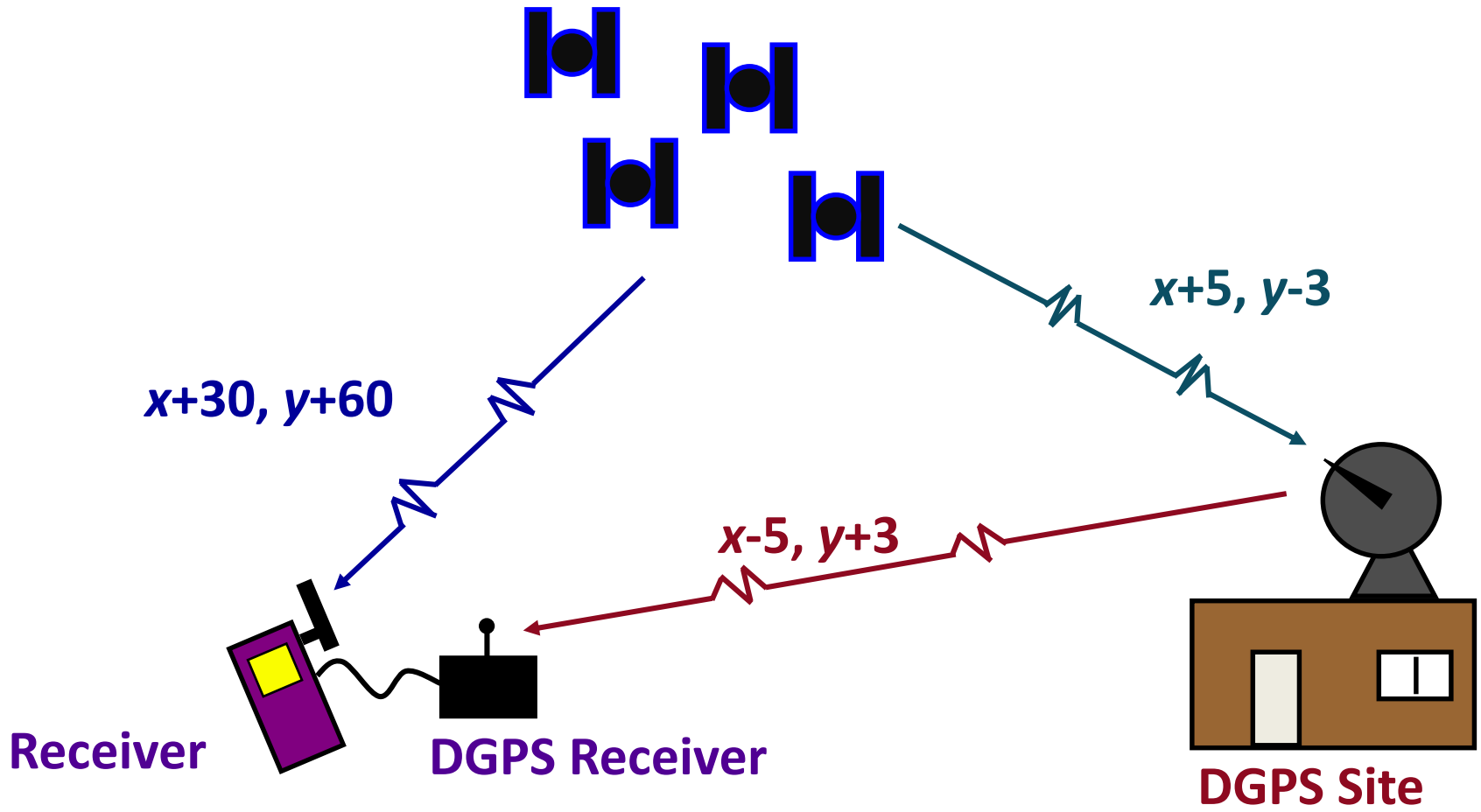
# Differential GPS (DGPS)

- Επικοινωνούν και με σταθμούς βάσης (RTCM-SC 104 )
- Υψηλών επιδόσεων σταθμοί βάσης
- Αυξάνει την ακρίβεια σε 3-5 m από 15m.





# DGPS



# Ακρίβεια υπολογισμού

- Ατμοσφαιρικές συνθήκες
  - μεταβάλλουν την ταχύτητα μετάδοσης του σήματος
  - άρα και τον υπολογισμό της απόστασης
- Ελαχιστοποιείται όταν η θέση του δορυφόρου βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον δέκτη
  - μειώνεται η διαδρομή του σήματος
- Μεγιστοποιείται όταν βρίσκεται στον ορίζοντα
  - αυξάνεται η διαδρομή του σήματος
- Μαθηματικά μοντέλα εξομαλύνουν το σφάλμα

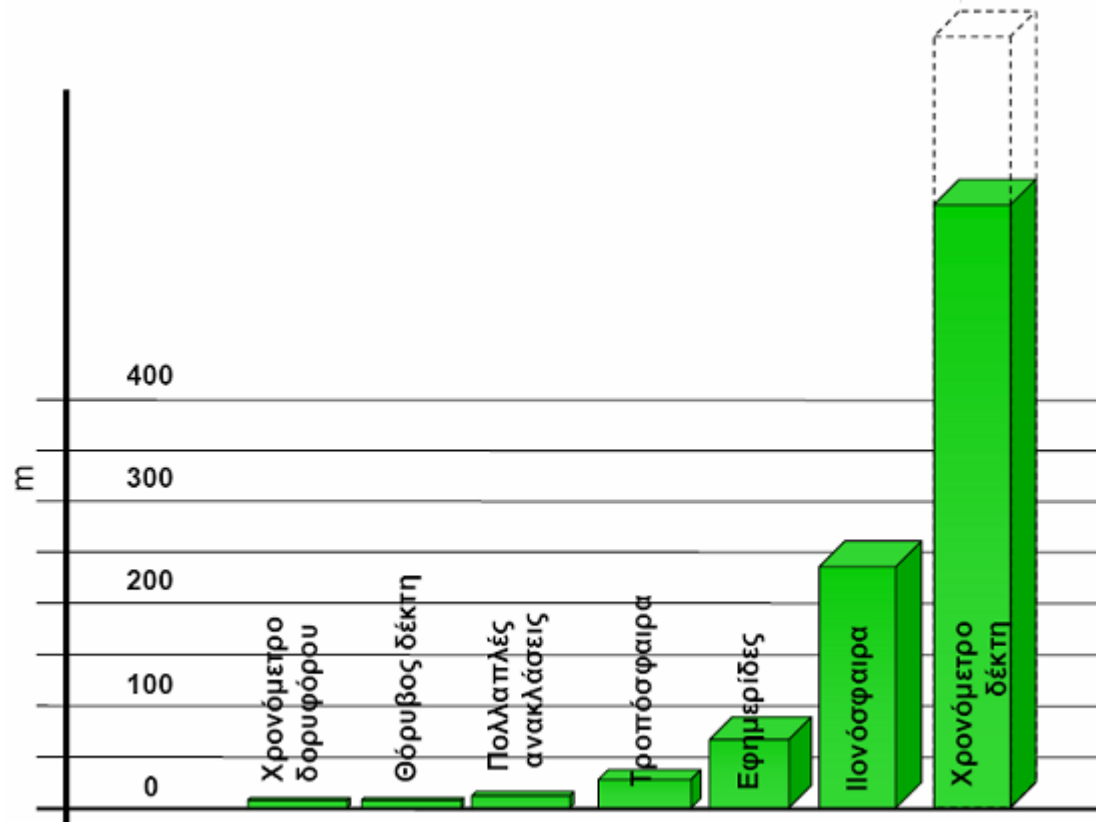
# Ακρίβεια υπολογισμού

- Διόρθωση τροχιάς δορυφόρου
  - μέχρι την ενημέρωση (εφημερίδα) του δέκτη ο υπολογισμός βασίζεται σε outdated εφημερίδα
- Ηθελημένη ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (GPS Jamming)
  - μην ξεχνάτε: ελέγχεται από Η.Π.Α.
  - και μάλιστα από Υπ. Άμυνας
- Θόρυβος
- Αλλοιώσεις μετάδοσης

# Σφάλματα υπολογισμού

- Δορυφορικά σφάλματα
  - Σφάλματα τροχιάς
  - Σφάλματα δορυφορικών χρονομέτρων
- Σφάλματα Παρατηρήσεων
  - Υστέρηση σήματος στην ιονόσφαιρα
  - Υστέρηση σήματος στην τροπόσφαιρα
- Σφάλματα δεκτών
  - Σφάλματα χρονομέτρων δεκτών
  - Σφάλματα “θορύβου” στους δέκτες
- Σφάλματα σταθμού
  - Συντεταγμένες σταθμού
  - Πολλαπλές ανακλάσεις

# Απώλειες



# Επιλεκτική διαθεσιμότητα, **Selective Availability (S/A)**

- Το Υπ. Άμυνας αλλοιώνει το σήμα (χρόνο) μειώνοντας την ακρίβεια
- Το 2000 μειώθηκε το S/A απαλείφοντας την αλλοίωση
- Μπορεί ανά πάσα στιγμή να επαναενεργοποιηθεί

# Σφάλμα υπολογισμού (αθροιστικό)

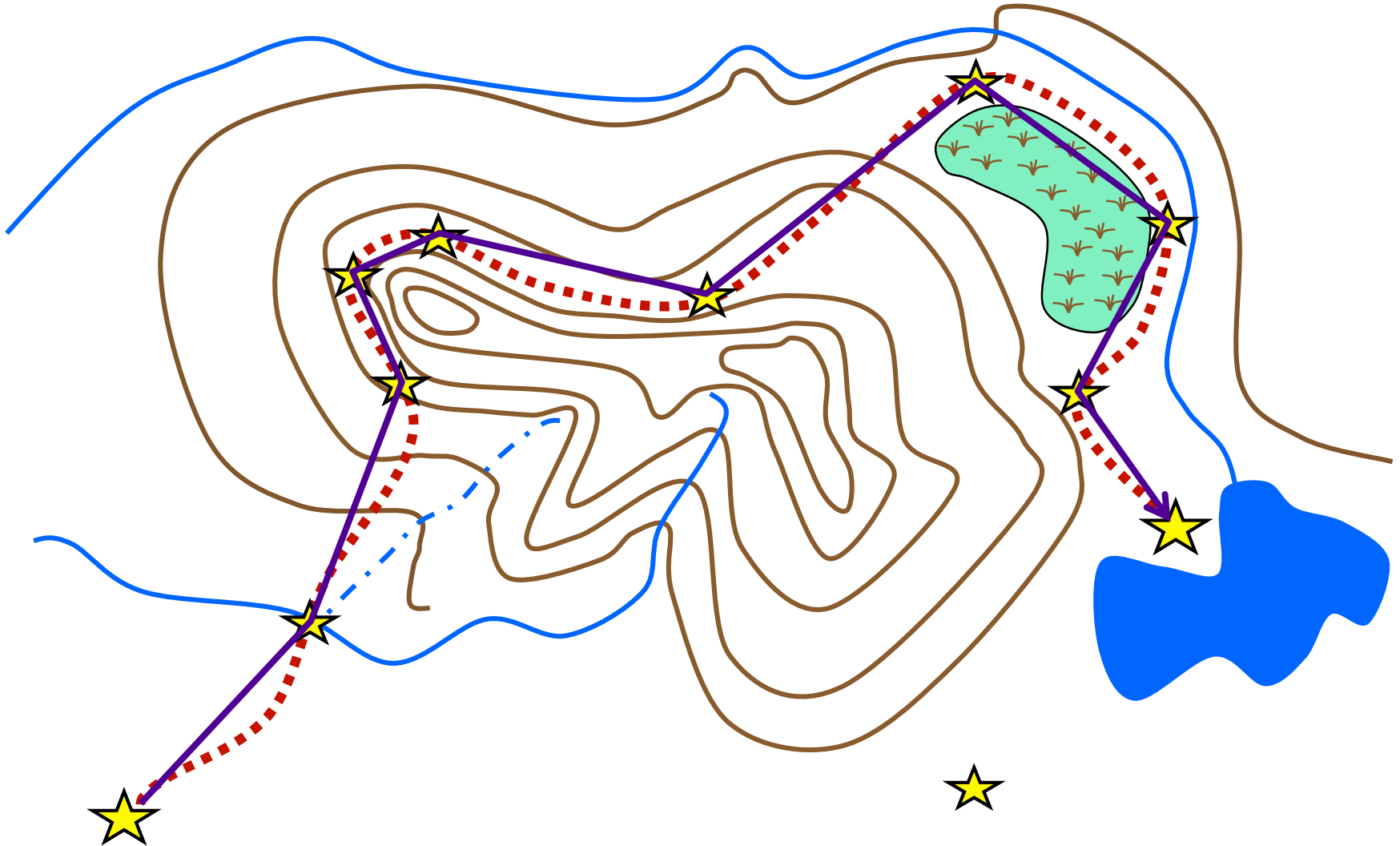
- Satellite clocks: 1.5 to 3.6 meters
- Orbital errors: < 1 meter
- Ionosphere: 5.0 to 7.0 meters
- Troposphere: 0.5 to 0.7 meters
- Receiver noise: 0.3 to 1.5 meters
- Multipath: 0.6 to 1.2 meters
- Selective Availability (see notes)
- User error: Up to a kilometer or more

# Βελτίωση ακρίβειας

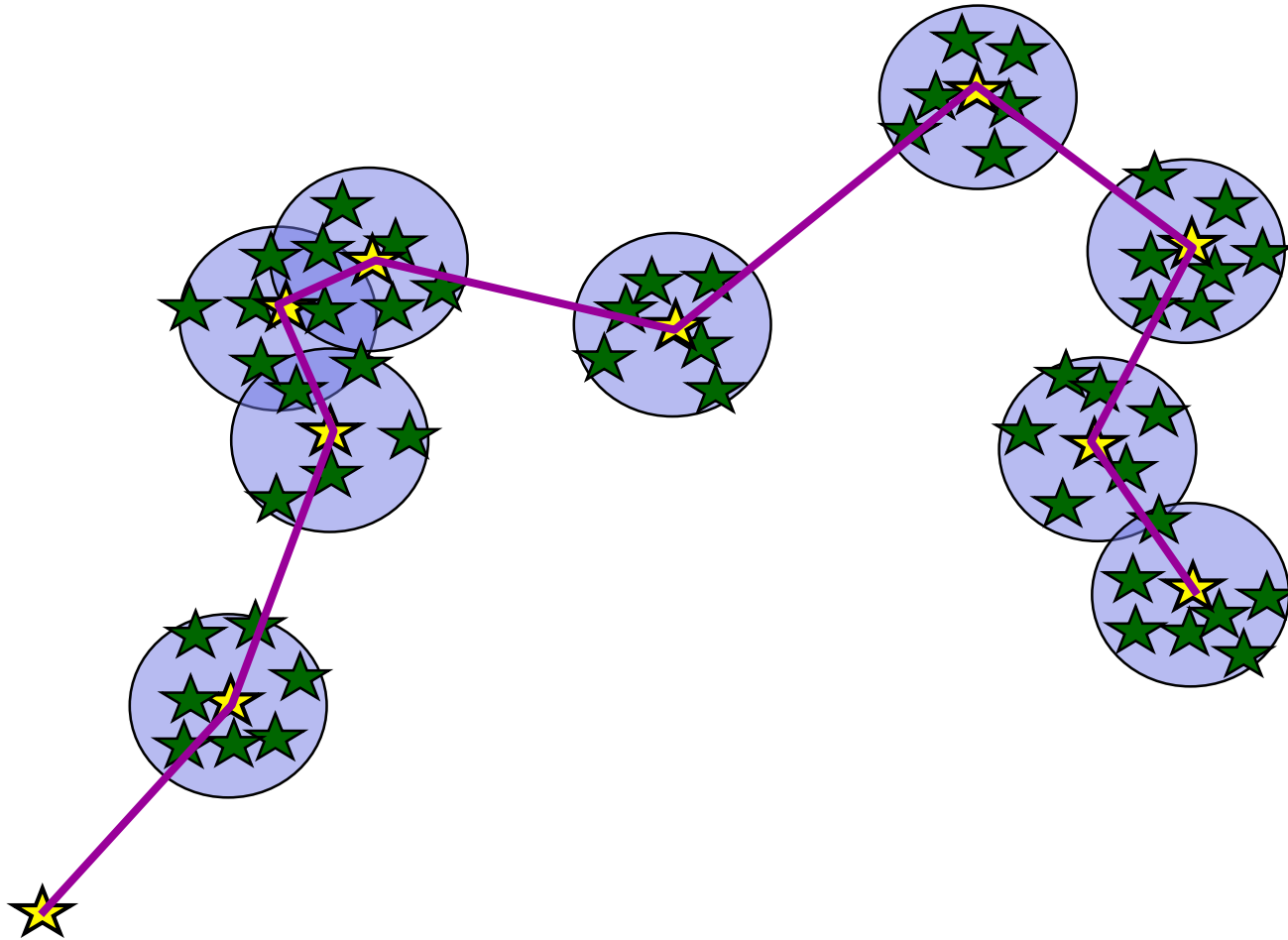
- Dual Frequency Monitoring
- Carrier-Phase Enhancement (CPGPS)
- Relative Kinematic Positioning (RKP)
- ...



# Πρόβλεψη διαδρομής



# Πρόβλεψη διαδρομής



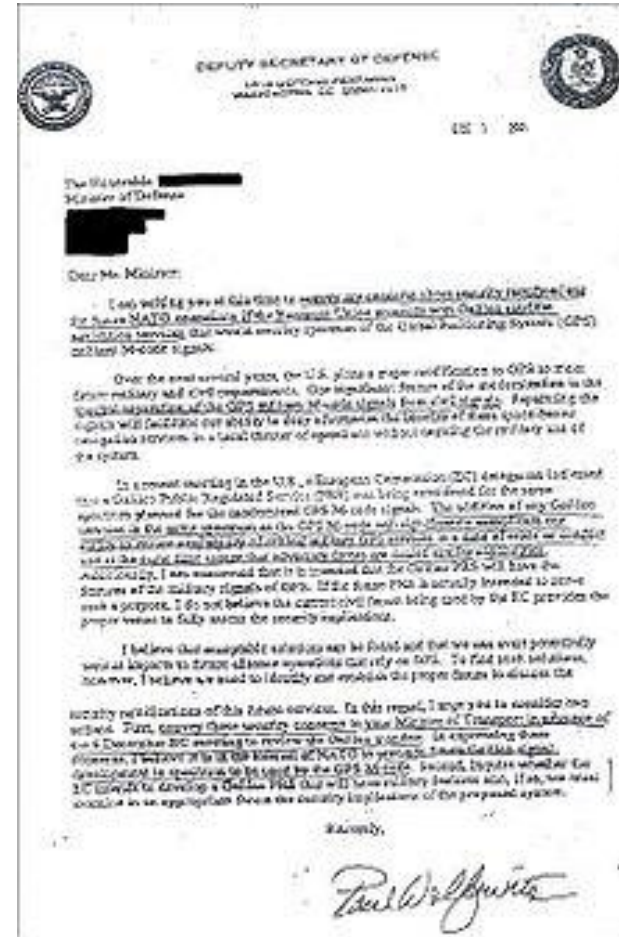
# Άλλα συστήματα

- Σύστημα GLONASS
  - GLObal Navigation Satellite System
  - Ρωσικό σύστημα εντοπισμού θέσης
- Σύστημα GALILEO
  - Ευρωπαϊκό Σύστημα εντοπισμού θέσης



# Galileo vs GPS

- Τον Οκτώβρη του 2012 είχαν εκτοξευτεί οι πρώτοι 4 δορυφόροι
- Το σύστημα θα είναι σε πλήρη λειτουργία του 2019 με 30 δορυφόρους



# Εφαρμογές GPS

# Στρατιωτικές

- Μαχητικά αεροπλάνα
- Ελικόπτερα
- Πλοία
- Τανκς
- Οπλίτες
- Επιπλέον
  - πυραύλους
  - οπλικά συστήματα ακριβείας
  - εντοπισμός πυρηνικών εκτοξεύσεων

# Καθημερινότητα

- Οχήματα
  - πλοήγηση
  - ασφάλεια
- GIS
- Χαρτογράφηση
- Μεταφορές
  - Ναυσιπλοΐα
  - Αεροπλοΐα
  - Σιδηρόδρομοι

# Καθημερινότητα

- Αυτοματοποιημένες αγροτικές εργασίες
  - δειγματοληψία εδάφους
  - ψεκασμός
  - υπό αντίξοες συνθήκες
- Κινητή τηλεφωνία
  - υπηρεσίες με επίγνωση θέσης
- Διασκέδαση
  - ψάρεμα
  - πεζοπορία
  - ...



# Πολιτισμικές εφαρμογές

- Αρχαιολογικές εφαρμογές
  - Δεδομένα χωροχρονικά
  - Ανάλυση
  - Οπτικοποίηση

# Καταγραφή θέσης

Method	GPS	802.11	protocols	cell tower	manual
layer		L2	L2, L3, L7		
accuracy	10m	20-100m	room-level, AP	100 m-2 km	room
advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• privacy</li> <li>• global</li> <li>• accurate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• simple to implement</li> <li>• reasonably accurate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• room-level accuracy</li> <li>• no surveying needed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•no infrastructure cost</li> <li>•client privacy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• no infrastructure</li> <li>• Privacy</li> </ul>
problems	mostly outdoors	<ul style="list-style-type: none"> <li>•only works in urban areas</li> <li>•requires Internet</li> </ul>	mapping IP address to switch port?	<ul style="list-style-type: none"> <li>•low accuracy</li> <li>•cell coverage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•stationary only</li> <li>•doesn't scale</li> </ul>
use	Enterprise & home LANs	Enterprise & home LANs Some ISPs	DSL, cable	backup for other methods	enterprise home PC

# Υπηρεσίες με επίγνωση θέσης (location-based services)

- Διαθέσιμες υπηρεσίες βάσει θέσης
  - Φυσικές (εστιατόρια/κινηματογράφοι, κτλ)
  - Ηλεκτρονικές υπηρεσίες (δίκτυο, εκτυπωτές, κτλ)
- Βελτίωση υπηρεσιών
  - Κυψελωτό δίκτυο
- Πληροφορίες
  - Πολιτισμικές
  - Τουριστικές
  - Διαφημίσεις
- Επίγνωση θέσης «φίλων»
  - Παρουσία
  - Δημοφιλή μέρη
- Ασφάλεια
  - Πρόσβαση βάσει θέσης

**Ανίχνευση θέσης σε εσωτερικούς χώρους  
(indoors location tracking)**

# Ενεργή ετικέτα

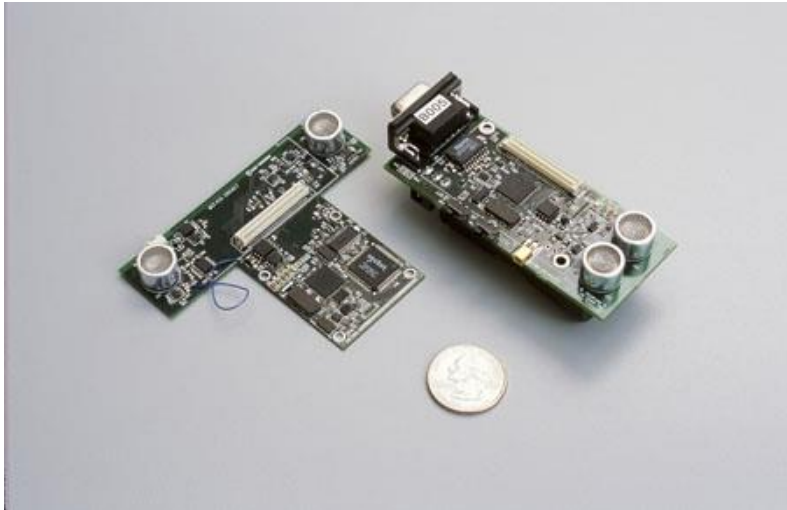
- Οι χρήστες φέρουν **ετικέτα** που εκπέμπει περιοδικά ένα μοναδικό κωδικό
  - χρησιμοποιώντας υπέρυθρο σήμα διαμορφωμένο κατά πλάτος, ανακλώμενο στην οροφή και τους τοίχους (No LOS requirement).
- Το σήμα λαμβάνεται από **δικτυωμένους δέκτες** που έχουν εγκατασταθεί σε διάφορα σημεία του κτηρίου
  - και μεταδίδεται σε μια κεντρική βάση δεδομένων,
  - όπου ταυτοποιείται ο κάτοχος της ετικέτας
  - και εντοπίζεται η θέση της, ανάλογα με τους δέκτες που κατέγραψαν τον κωδικό της.
- Η απόσταση ανάμεσα στην ετικέτα και έναν δέκτη πρέπει να μην ξεπερνά τα 6 μέτρα



# Γρύλλος

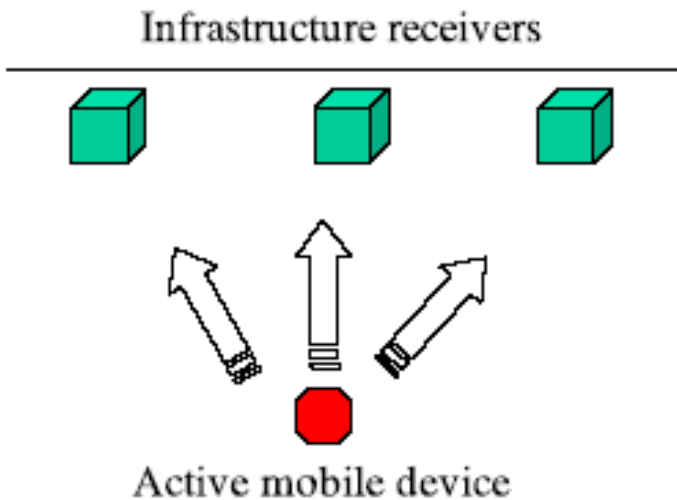
- βασίζεται σε ετικέτες (tags) που καλούνται «Γρύλλοι» (crickets).
  - Κάθε γρύλλος έχει ένα πομποδέκτη ραδιοσυχνοτήτων, ένα μικροελεγκτή και κυκλώματα λήψης υπερήχων.
- Πομποί ραδιοσυχνοτήτων είναι εγκατεστημένοι σε σταθερά σημεία του κτηρίου,
  - οι οποίοι εκπέμπουν περιοδικά ένα μήνυμα σε γνωστή ραδιοσυχνότητα
  - και ταυτόχρονα στέλνουν ένα σύντομο παλμό υπερήχου.
- Με βάση τους παλμούς, μια ετικέτα μπορεί να μετρήσει την απόστασή της από τον πομπό και να υπολογίσει η ίδια τη θέση της σε σχέση με τους πλησιέστερους πομπούς χρησιμοποιώντας τρι-πλευροποίηση.
  - Στη συνέχεια, εξάγει από το ραδιοσήμα των πομπών τη θέση τους και υπολογίζει τη δική της θέση στο χώρο.

# Γρύλλος

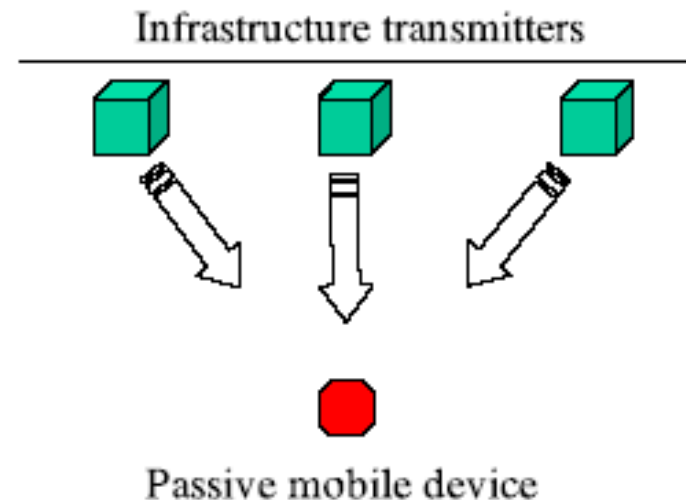


# Γρύλλος vs Ενεργή νυχτερίδα

- Διατήρηση ιδιωτικότητας
- επεκτασιμότητα
- Κόστος client device



***Active Bat***



***Cricket***



# Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης