

Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού



CRETE INNOVATIVE REGION
CRINNO

EMERIC I

Στέλιος Π. Μερτίκας

Καθηγητής

Σεπτέμβριος 2005

L.M.S. - F.O.R.T.H.



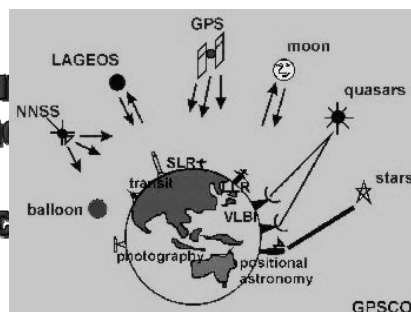
Διαστημικές Τεχνικές Εντοπισμού



- Ουράνια σώματα
- Φυσικοί δορυφόροι
- Τεχνητοί δορυφόροι

CRETE INNOVATIVE REGION
CRINNO

EMERIC



L.M.S. - F.O.R.T.H.



Πλεονεκτήματα Τεχνητών Δορυφόρων



- Διαθέσιμοι για όλους τους χρήστες, οπουδήποτε στην Γη
- Σήματα διαδίδονται σε οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες (μέσω σύννεφων, βροχής κλπ)
- Διαθέσιμοι 24 ώρες την ημέρα
- Δεν έχουν κρατικούς περιορισμούς
- Πολλά κράτη δεν επενδύουν σε υλικό κατασκευής δορυφόρων

ΦΩΤΟ: ΠΑΡΟΧΗ ΤΕΛΕΜΑ

CHINA

ENERGIE I

USA - FORTH



Επιπτώσεις δορυφορικού εντοπισμού



- Τρισδιάστατος εντοπισμός
- Ανεξάρτητο Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς
- Έλεγχος του συστήματος δεν ενδιαφέρει τους χρήστες
- Τεχνολογία που χρησιμοποιείται από μεγάλο εύρος χρηστών
- Χωρίς κόστος χρήσης για τους χρήστες
- Καθιερωμένες τεχνικές συμβατικού εντοπισμού μπορεί να μην ισχύουν
- Απαιτούνται νέες εμπειρίες

ΦΩΤΟ: ΠΑΡΟΧΗ ΤΕΛΕΜΑ

CHINA

ENERGIE I

USA - FORTH



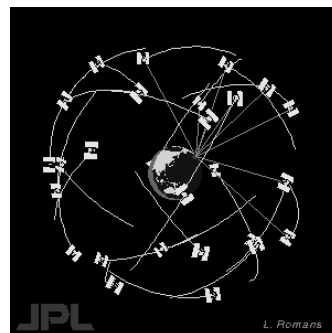
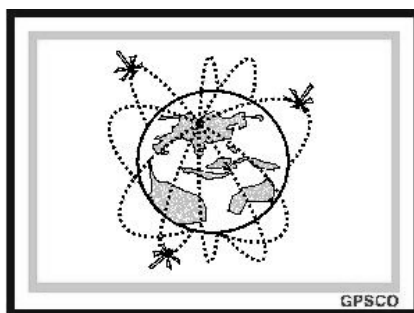
Τεχνολογικά θέματα



- Δορυφορικός σχηματισμός (Πόσοι δορυφόροι;)
- Τεχνολογία δορυφόρων (Δομή σήματος;)
- Όργανα εδάφους (Τύπος μετρήσεων)
- Αρχές εντοπισμού (Στρατηγική για ειδικές εφαρμογές;)
- Θέματα
 - Είδος μετρήσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν
 - Αρχές εντοπισμού που θα χρησιμοποιηθούν
 - Υπολειπόμενα σφάλματα και αποτελεσματικότητα στρατηγικών για βελτίωση της ακρίβειας



Δορυφορικός Σχηματισμός



GRETE INNOVATIVE REGION

GRAND

EMERG I

LILA - NORTH



Οι δορυφόροι ως σταθμοί ελέγχου σε τροχιά



- Ορατότητα και διάθεση σήματος
 - Περίοδος δορυφόρων
 - Ίχνος δορυφορικής τροχιάς και πρότυπο επανάληψης
 - Ορίζοντας ενός σταθμού
- Ορισμός του γεωδαιτικού Datum
- Συνεχής υπολογισμός των συντεταγμένων των δορυφόρων

CREATE INNOVATIVE REGION
GEOHIO

ENERGIC I

LEB - NORTH



Περίοδος τροχιάς δορυφόρων



■ Περίοδος:

- Ο χρόνος που απαιτείται από ένα δορυφόρο να διαγράψει μια πλήρη τροχιά
- Σχετίζεται με τον μεγάλο ημι-άξονα της έλλειψης της τροχιάς σύμφωνα με τον 3ο Νόμο του Kepler:

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{GM_e}{a^3}}, GM_e \approx 3,986 \times 10^{14} m^3 s^{-2}$$

- Όσο υψηλότερα ο δορυφόρος, τόσο μεγαλύτερη η περίοδος

■ Περίοδος τροχιάς δορυφόρων

Κύριος Ημι-άξονας (km)	ύψος (km)	Περίοδος (min)	Σχόλια
6700	300	90	Τηλεπισκόπηση
7200	800	100	
10600	4200	180	
12800	6400	240	
16800	10400	360	
26600	20200	718	GPS Γεωστατικοί
42200	35800	1436	

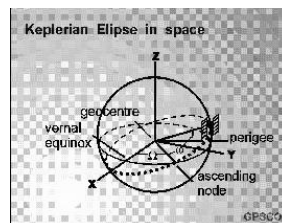
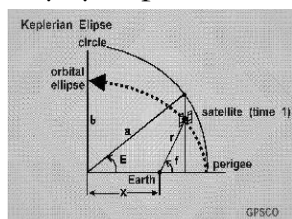
Αστρον. ημέρα



Τροχιά δορυφόρων



■ Κίνηση Kepler

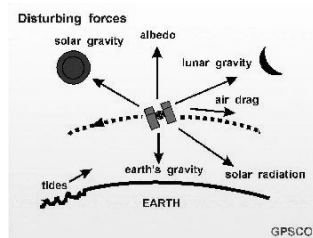


■ Κίνηση με διαταραχές

CREATE INNOVATIVE REGION
GEOGEO

ENERGIC I

IMA - EARTH



Τύποι Μετρήσεων



■ Απόσταση: Μέτρηση του χρόνου διάδοσης σήματος

- Είδη:
 - Laser, μικροκύματα, ραδιοκύματα
 - Ενεργά
 - Παθητικά
- Πλεονεκτήματα:
 - Στιγμιαίος εντοπισμός
 - Δυνατότητα για υψηλή ακρίβεια εντοπισμού

■ Διαφορές αποστάσεων

- Είδη:
 - Μικροκύματα
 - Δέκτης μετρά μεταβολές στην απόσταση μέσω των μεταβολών στη συχνότητα Doppler
- Πλεονεκτήματα:
 - Απαλοιφή των κοινών σφαλμάτων του δέκτη
 - Βάση εντοπισμού με ένα μόνο δορυφόρο

CREATE INNOVATIVE REGION
GEOGEO

ENERGIC I

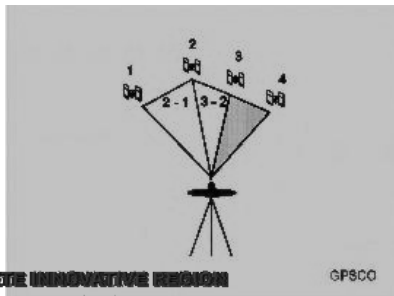
IMA - EARTH



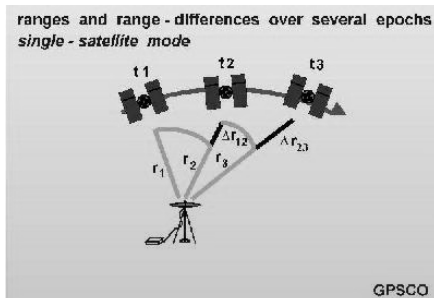
Τύποι Μετρήσεων



Στιγμιαία μέτρηση



Αποστάσεις και Διαφορές αποστάσεων



GRETE INNOVATIVE REGION
GRAND

EMERG I

LLS - FORTH



Στρατηγικές δορυφορικού εντοπισμού



- Τύποι μετρήσεων
 - Απόσταση
 - Διαφορές αποστάσεων
- Συστήματα
 - Μοναδικού δορυφόρου (π.χ. SLR)
 - Πολλαπλών δορυφόρων (π.χ. GPS, GLONASS, κλπ)
- Στρατηγικές εντοπισμού
 - Απόσταση + Μοναδικός δορυφόρος:
 - SLR
 - Απόσταση+ Πολλαπλοί δορυφόροι:
 - GPS (απόλυτος εντοπισμός)
 - Διαφορές αποστάσεων+ Μοναδικός δορυφόρος:
 - TRANSIT
 - Διαφορές αποστάσεων+ Πολλαπλοί δορυφόροι:
 - GPS (Διαφορικός, Σχετικός εντοπισμός)

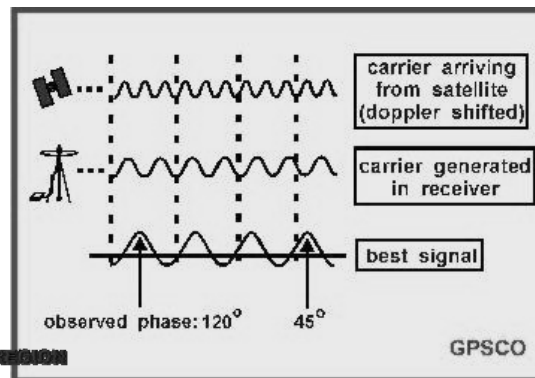
GRETE INNOVATIVE REGION
GRAND

EMERG I

LLS - FORTH



Μετρήσεις φάσης και παλμών



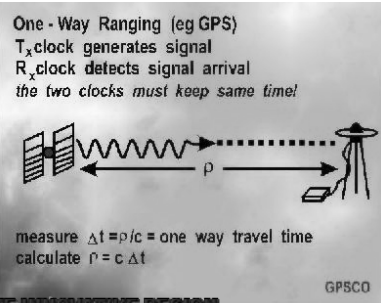
CREATE INNOVATIVE REGION
GRIND

EMERG I

LILA - NORTH



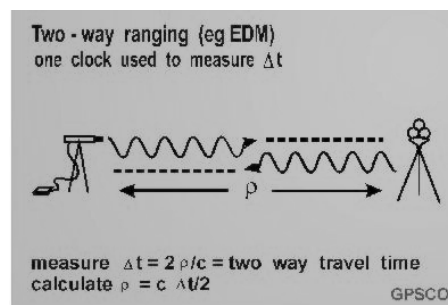
Μετρήσεις μονόδρομων και αμφίδρομων αποστάσεων



CREATE INNOVATIVE REGION
GRIND

EMERG I

LILA - NORTH





Χρονόμετρα και αποστάσεις



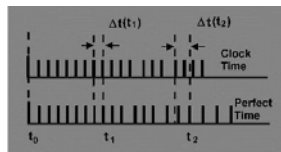
- Χρονόμετρο είναι μηχανισμός για τη μέτρηση ταλαντώσεων ενός στοιχείου (όπως π.χ. εγκιβρωμένους, υπο-ατομικού σωματιδίου κλπ).
- Χρονόμετρα υπολογίζουν:
 - χρονικά διαστήματα (αμφίδρομες αποστάσεις)
 - κλίμακα ως προς την οποία καθορίζεται ο χρόνος εκπομπής και άφιξης σήματος (μονόπλευρες αποστάσεις)
- Τύποι χρονομέτρων
 - Ατομικά χρονόμετρα, καυσίου, ρουβιδίου και maser υδρογόνου
 - κρύσταλλοι χαλαζία
- Σφάλμα χρονομέτρων $1 \text{ nanosec} (10^{-9}) = 30 \text{ cm}$ σφάλμα σε απόσταση
- Πόσο μετατοπίζεται η συχνότητα λειτουργίας τους;
- Πώς τοποθετούνται σε σωστό χρόνο;
- Πώς τα σφάλματα των χρονομέτρων υπεισέρχονται στον δορυφορικό εντοπισμό;



Χρονόμετρα και διασπορά Allan



- Η διασπορά Allan ελέγχει και μετρά την συμπεριφορά των χρονομέτρων



- Καθορίζεται από ελέγχους πραγματικών χρονομέτρων
 - Το ποσό κατά το οποίο το χρονόμετρο “μετατοπίσθηκε” μετά από χρονικό διάστημα τ δίνεται από την τετραγωνική ρίζα της διασποράς (μεταβλητότητα) του Allan: $\sigma_x(\tau) = \tau \sigma_y(\tau)$

Σε χρονική στιγμή k :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta t}{\tau} = y_k$$

GRETE INNOVATIVE REGION
GRAND

EMERG I

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k^2 \quad \begin{matrix} \text{Διασπορά} \\ \text{Allan} \end{matrix}$$

ULS - NORTH



Χρονόμετρα και διασπορά Allan



■ Τρεις περιπτώσεις

- Μικρής περιόδου, όπου η διασπορά Allan ελαττώνεται, καθώς το χρονικό διάστημα τ αυξάνει σύμφωνα:

$$\sigma_X(\tau) = K_1 \tau^{\alpha_1}$$

όπου α_1 θετικός

- =1 για το Maser υδρογόνου, ή κρυσταλικού
- =0,5 για Καισίου, Ρουβιδίου

- Μέσης περιόδου, όπου η διασπορά Allan είναι σταθερή:

$$\sigma_X(\tau) = \text{σταθερή}$$

- Μεγάλης περιόδου όπου η διασπορά Allan:

$$\sigma_X(\tau) = K_2 \tau^{-0.5}$$

CRETE INNOVATIVE REGION
GRIND

EMERG I

LMS - EARTH



Αρχές Εντοπισμού



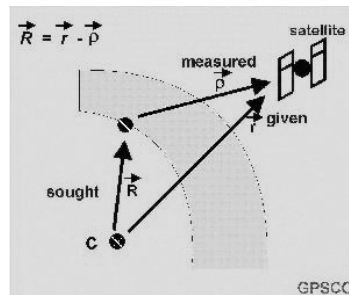
Μέτρηση του διανύσματος προς τον δορυφόρο

+

Γνωστή θέση δορυφόρου

=

Προσδιορισμός θέσης σταθμού εδάφους



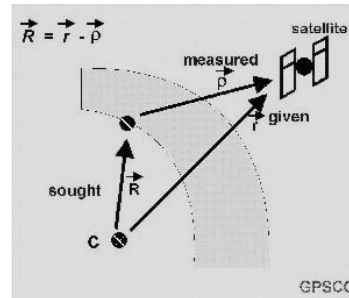
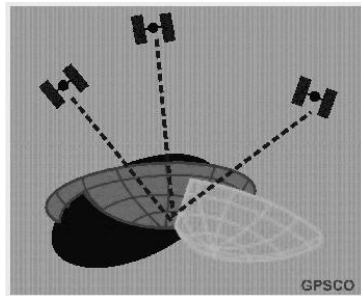
CRETE INNOVATIVE REGION
GRIND

EMERG I

LMS - EARTH



Εντοπισμός με αποστάσεις



- **Πρόβλημα:** Μετρούμε με ακρίβεια την απόσταση και όχι το διάνυσμα σε τρεις διαστάσεις.
- GPS και GLONASS πρώτα συστήματα που υιοθετούν στρατηγική πολλαπλών δορυφόρων.

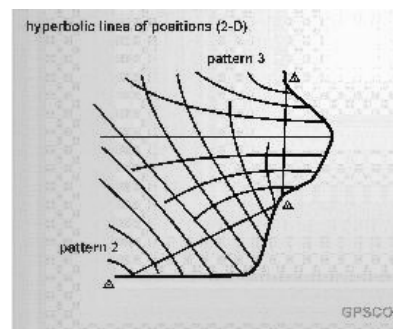
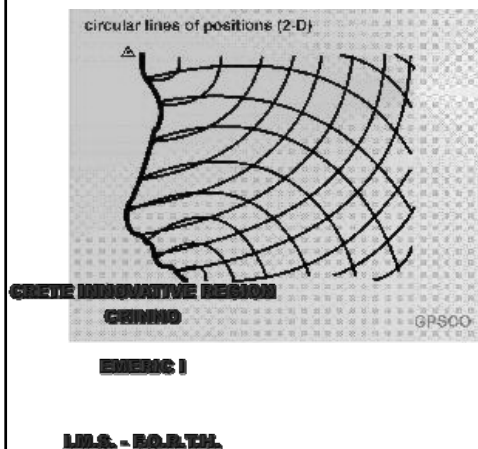


Γραμμές θέσης (Lines Of Position, LOP)



Κυκλικές γραμμές θέσης

Υπερβολικές γραμμές θέσης

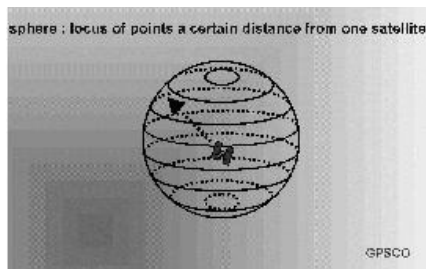




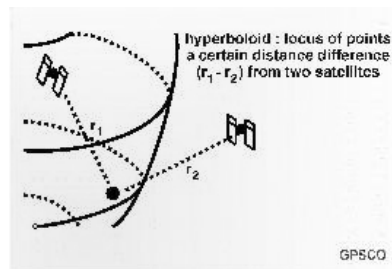
Γεωμετρικοί τόποι



Σφαιρικές



Υπερβολοειδές



CRETE INNOVATIVE REGION
GRINDO

EMERG I

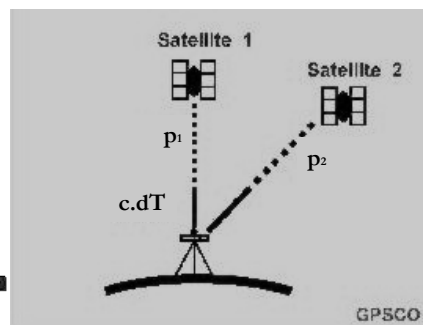
LILA - NORTH



Αποστάσεις με συστηματικά σφάλματα στον δέκτη



Απόσταση δορυφόρου-δέκτη επηρεάζεται από σφάλματα
του ρολογιού του δέκτη (ψευδοαπόσταση)



$$p = \rho(t) + c \cdot dT$$

CRETE INNOVATIVE REGION
GRINDO

EMERG I

LILA - NORTH



Αποστάσεις με συστηματικά σφάλματα στον δέκτη {c dT}



- Εκτίμηση σφαλμάτων χρονομέτρου του δέκτη

$$(x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2 + (z_1 - Z)^2 = (p_1 - cdt)^2$$

$$(x_2 - X)^2 + (y_2 - Y)^2 + (z_2 - Z)^2 = (p_2 - cdt)^2$$

$$(x_3 - X)^2 + (y_3 - Y)^2 + (z_3 - Z)^2 = (p_3 - cdt)^2$$

- Απαλοιφή σφαλμάτων στον δέκτη

$$\sqrt{(x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2 + (z_1 - Z)^2} - \sqrt{(x_2 - X)^2 + (y_2 - Y)^2 + (z_2 - Z)^2} = p_1 - p_2 = \rho_1 - \rho_2$$

ΟΜΕΤΕ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

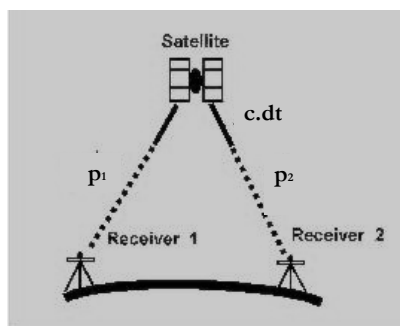
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ



Αποστάσεις με συστηματικά σφάλματα στον δορυφόρο {c dt}



$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \rho_1 - cdt \\ p_2 &= \rho_2 - cdt \\ M & \quad M M \\ p_n &= \rho_n - cdt \end{aligned} \right\}$$

ΟΜΕΤΕ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ



Αποστάσεις με συστηματικά σφάλματα στον δορυφόρο {c dt}



- Εκτίμηση σφαλμάτων χρονομέτρου του δορυφόρου

$$(x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2 + (z_1 - Z_1)^2 = (p_{1,1} - cdt)^2$$

$$(x_2 - X_1)^2 + (y_2 - Y_1)^2 + (z_2 - Z_1)^2 = (p_{1,2} - cdt)^2$$

$$(x_1 - X_2)^2 + (y_1 - Y_2)^2 + (z_1 - Z_2)^2 = (p_{2,1} - cdt)^2$$

$$(x_2 - X_2)^2 + (y_2 - Y_2)^2 + (z_2 - Z_2)^2 = (p_{2,2} - cdt)^2$$

- Αφαιρώντας, καταλήγουμε:

$$\sqrt{(x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2 + (z_1 - Z_1)^2} - \sqrt{(x_1 - X_2)^2 + (y_1 - Y_2)^2 + (z_1 - Z_2)^2} = p_{1,1} - p_{2,1}$$

ΟΜΕΤΕ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΝΕΣΣΩΝ

ΕΠΙΜΕΛΕΤΕΣ

Απαλείφονται τα σφάλματα στον δορυφόρο.

ΕΠΙΜΕΛΕΤΕΣ

Ι.Ι.Σ. - Π.Α.Τ.Α.



Μέθοδοι προσδιορισμού θέσης



- **Απόλυτος ή σημειακός εντοπισμός**

- Μοναδικός δέκτης
- Οπισθοτομία με αποστάσεις
- Μετρήσεις ψευδο-αποστάσεων
- Δεν αποσκοπεί σε υψηλής ακρίβειας εντοπισμό
- Γεωδαιτικό Datum των δορυφόρων

- **Διαφορικός και Σχετικός εντοπισμός**

- Ζεύγος δεκτών για τον καθορισμό του διανύσματος βάσης
- Απαλείφει ή ελαττώνει κατά πολύ κοινά συστηματικά σφάλματα στις αποστάσεις
- Ψευδο-αποστάσεις ή μετρήσεις φάσης
- Μέτρησης ή υψηλής ακρίβειας εντοπισμός
- Γεωδαιτικό Datum καθορίζεται από το τέλος της διανύσματος βάσης, όπου είναι γνωστές οι συντεταγμένες

ΟΜΕΤΕ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΝΕΣΣΩΝ

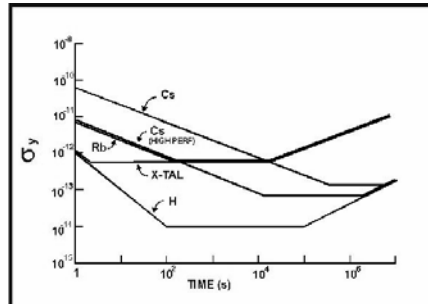
ΕΠΙΜΕΛΕΤΕΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΤΕΣ

Ι.Ι.Σ. - Π.Α.Τ.Α.

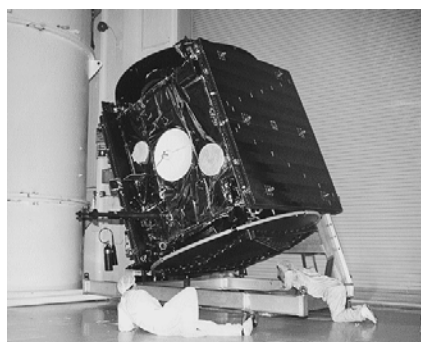


Συμπεριφορά των ρολογιών



	K_1	σ_{yF}	K_2	Drift (sec/sec)
H (active)	$1 \times 10^{-12} \text{ s}$	1×10^{-14}	$3 \times 10^{-17} \sqrt{t}$	10^{-15}
Cs	$5 \times 10^{-11} \sqrt{t}$ $7 \times 10^{-12} \sqrt{t}$	1×10^{-13} 5×10^{-14}	$3 \times 10^{-17} \sqrt{t}$ $3 \times 10^{-17} \sqrt{t}$	10^{-15} 10^{-15} 10^{-14}
Rb	$5 \times 10^{-12} \sqrt{t}$	5×10^{-13}	$3 \times 10^{-15} \sqrt{t}$	10^{-12}
X-tal	$1 \times 10^{-12} \text{ s}$	5×10^{-13}	$3 \times 10^{-15} \sqrt{t}$	10^{-10}

HELLWIG, 1979



Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στο Σύστημα GPS

Στέλιος Π. Μερτίκας
Καθηγητής



Δορυφορικά συστήματα εντοπισμού



- TRANSIT (NNSS)
 - Λειτουργεί από το 1964-1999
 - Περίπου 4-6 δορυφόροι σε ύψος 1075 km
 - Αμερικάνικο σύστημα
- TSIKADA
 - Ρώσικο σύστημα αντίστοιχο του Transit
- NAVSTAR GPS
 - Αντικατέστησε το Transit
 - 24 δορυφόροι σε 20200km ύψος
 - Αμερικάνικο σύστημα
- GLONASS
 - Ρώσικο σύστημα αντίστοιχο του GPS
- STARFIX
 - Εμπορικό σύστημα για την ηπειρωτική ΗΠΑ
- GEOSTAR/LOCSTAR
 - Επικοινωνιακοί δορυφόροι, αμφίδρομη εκπομπή
 - Περιορισμένη κάλυψη για συνδρομητές
 - Συνεργασία ΗΠΑ και Γαλλίας
- ARGOS
 - Σύστημα Doppler από CNES (Γαλλία) και NOAA (ΗΠΑ)
 - Πομπός στο έδαφος, δέκτες σε μετεωρολογικούς δορυφόρους
 - Υπηρεσία συνδρομών σε περιορισμένη έκταση
- GALILEO
- QZSS (Japan)
- Beidou (China)

CHARTERED INFORMATION SERVICES
 CHARTERED
 CHARTERED
 CHARTERED

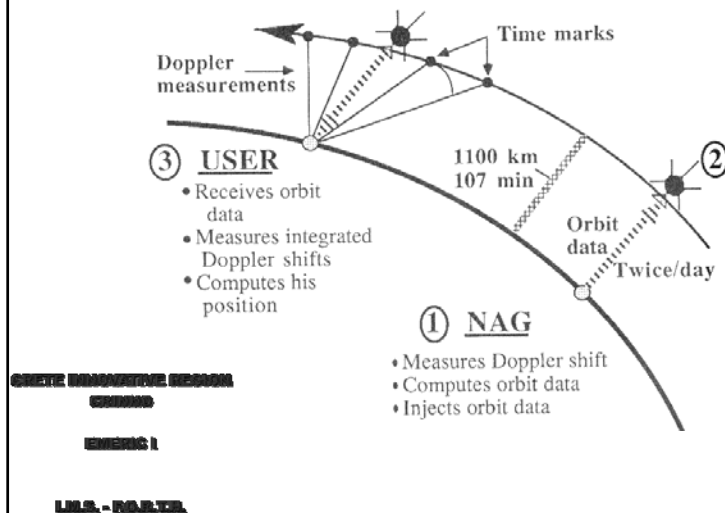


TRANSIT



- Ξεκινά με την απαρχή της Διαστημικής εποχής (4 Οκτ, 1957)
- Εκτόξευση Sputnik I με παρακολούθηση της μετατόπισης Doppler, προσδιορισμός τροχιάς
- Ανάπτυξη Transit το 1959 με πρώτη εκτόξευση δορυφόρου το 1959
- Λειτουργήσε για στρατιωτικές εφαρμογές το 1964 και απελευθερώθηκε για πολιτικές εφαρμογές το 1967
- Δύο συχνότητες εκπομπής 400MHz & 150MHz
- 4-7 δορυφόροι σε 1075Km δεν επιτρέπουν ικανή κάλυψη εδάφους, $T = 107 \text{ min}$
- Αξιόπιστοι δορυφόροι, 20 χρόνια λειτουργίας
- Εντοπισμός 2-3 m με 30-50 περάσματα, ενώ 1 m με ακριβείς δορυφορικές εφημερίδες
- Διαφορικός εντοπισμός < 1 m ακρίβεια

CHARTERED INFORMATION SERVICES
 CHARTERED
 CHARTERED
 CHARTERED



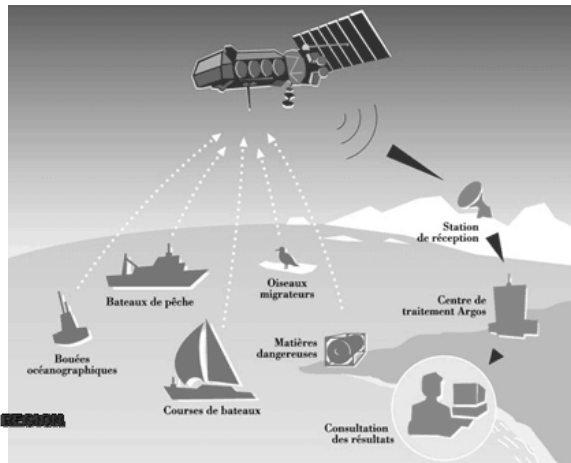
ARGOS



- Χρησιμοποιεί την αρχή Doppler
- Συνεργασία μεταξύ Centre National d'Etudes (CNES, Γαλλία) και National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, ΗΠΑ)
- Πρώτη χρήση το 1978
- Πομποί σε σηματοδότες, ραδιο-φάρους, ζώα κλπ και δέκτες είναι οι δορυφόροι (TIROS, μετεωρολογικός δορυφόρος)
- CNES υπολογίζει θέση και ταχύτητα του χρήστη και στέλνει πληροφορία και λογαριασμό στον χρήστη
- Άλλα συστήματα με συνδρομή
COSPAS-SARSAT αναζήτηση & διάσωση
GEOSTAR



ARGOS



CHATELAIN, 1998

CHATELAIN

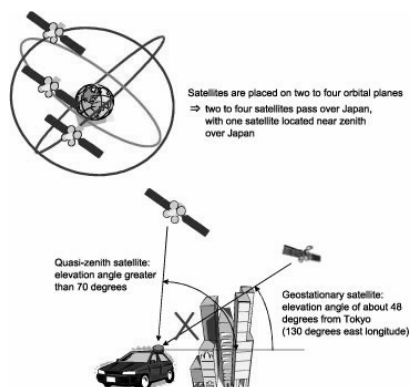
CHATELAIN

CHATELAIN

JIBE, 1998



QZSS



CHATELAIN, 1998

CHATELAIN

CHATELAIN

CHATELAIN

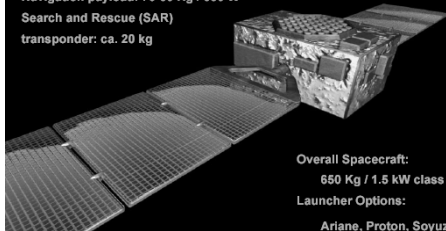


Galileo



GALILEO In Flight Configuration

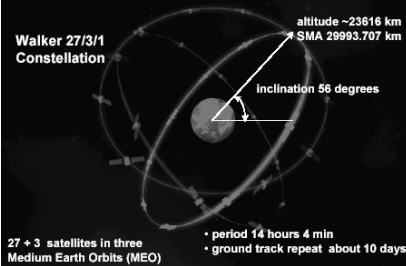
Navigation payload: 70-80 Kg / 850 W
Search and Rescue (SAR)
transponder: ca. 20 kg



Overall Spacecraft:
650 Kg / 1.5 kW class
Launcher Options:
Ariane, Proton, Soyuz,

GALILEO DATA

Walker 27/3/1
Constellation



<http://www.galileo-pgm.org/index.htm>

<http://www.genesis-office.org>

GENESIS INITIATIVE RESEARCH
GENESIS
GENESIS I
U.S. - NATO



NAVSTAR-GPS



- Δορυφορικό σύστημα σχεδιασμένο, χρηματοδοτούμενο και ελεγχόμενο από το Υπουργείο άμυνας, ΗΠΑ
- Πλεονεκτήματα χωρίς προηγούμενο
 - Σχετική ακρίβεια από dm σε mm
 - Διαθέσιμο σε χρήστες σε όλη την υφήλιο, αέρα, θάλασσα, ξηρά, διάστημα
 - Σύστημα παντός καιρού, για όλο το 24ωρο
 - Δυνατότητα στιγμιαίου εντοπισμού
 - Μηδενικό κόστος για τον χρήστη

GENESIS INITIATIVE RESEARCH
GENESIS
GENESIS I
U.S. - NATO



Γεωδαιτικά Datum



■ Δορυφορικά Γεωδαιτικά Datum

- Ορίζονται από τις συντεταγμένες συνόλου σταθμών παρακολούθησης των δορυφόρων
- Υλοποιούνται με τις συντεταγμένες των δορυφόρων (Εφημερίδες)
- Το γεωειδές και το ελλειψοειδές αναφοράς δεν έχουν άμεση επιρροή στον ορισμό του δορυφορικού Datum
- Δορυφορικές τροχιές σχετίζονται με γεώκεντρο, υπολογίζονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες

■ Τοπικά Γεωδαιτικά Datum

- Ορίζεται από συντεταγμένες ενός σταθμού στο πλαίσιο κάποιου δικτύου γεωδαιτικών σταθμών ελέγχου
- Υλοποιείται από τις συντεταγμένες όλων των σταθμών του δικτύου
- Κατά κανόνα δισδιάστατα δίκτυα με συντεταγμένες εκφρασμένες σε ελλειψοειδές αναφοράς
- Ύψος πάνω από το ελλειψοειδές καθορίζεται μόνο εάν το ύψος του γεωειδούς είναι γνωστό
- Η θέση και ο προσανατολισμός του ελλειψοειδούς ορίζεται σε τοπικό επίπεδο.

U.S. - NAD 83



Ελλειψοειδείς και καρτεσιανές συντεταγμένες



■ Ελλειψοειδείς σε καρτεσιανές

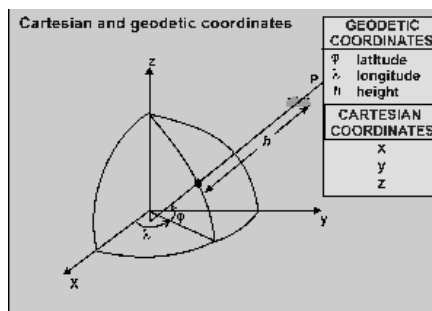
$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h)\cos\varphi\cos\lambda \\ (N+h)\cos\varphi\sin\lambda \\ [(1-e^2)N+h]\sin\varphi \end{bmatrix}$$

όπου:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}} \quad e^2 = 2f - f^2$$

■ Καρτεσιανές σε ελλειψοειδείς

$$\begin{bmatrix} \varphi_p \\ \lambda_p \\ h_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan\left[\frac{z_p + e^2 N \sin\varphi}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}}\right] \\ \arctan\left(\frac{y_p}{x_p}\right) \\ \frac{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}}{\cos\varphi} - N \end{bmatrix}$$



U.S. - NAD 83

U.S. - NAD 83

U.S. - NAD 83

U.S. - NAD 83



Το Γεωδαιτικό Datum WGS-84



- Από 1 Ιαν., 1988 το GPS χρησιμοποιεί το καρτεσιανό γεωδαιτικό σύστημα WGS84
- Ορίστηκε από την Χαρτογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Αμύνης των ΗΠΑ ως παγκόσμιο γεωδαιτικό datum
- Όλοι οι εντοπισμοί με GPS θα πρέπει να αναφέρονται σε αυτό

ΟΡΙΣΜΟΣ

- Αρχή αξόνων το κέντρο μάζας της Γης
- Z-άξονας παράλληλος με τη διεύθυνση του συμβατικού γήινου πόλου CTP (Conventional Terrestrial Pole)
- X-άξονας διέρχεται από την τομή μηδενικού μεσημβρινού WGS-84 και του ισημερινού του CTP
- Y-άξονας συμπληρώνει το δεξιόστροφο, γεωκεντρικό, γεωσταθερό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

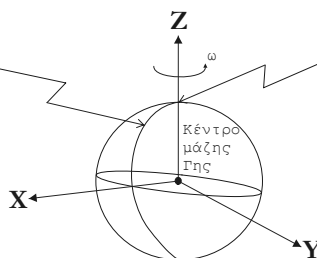
Ι.Ι.Ι. - ΕΠ.Α.Ε.Π.



Σύστημα Αναφοράς WGS-84



Μεσημβρινός του Greenwich για το 1984.0



Βόρειος πόλος όπως ορίζεται από το BIH $\tau=1984.0$

Παράμετροι	Συμβολισμός	Μέγεθος	Ακρίβεια
Ημιάξονας	a	6378137m	± 2 m
Κανονικοποιημένος συντελεστής	$\bar{C}_{2,0}$	$-484,16685 \cdot 10^{-6}$	$\pm 1,30 \cdot 10^{-9}$
$1/f$	$1/f$	298.2572221	
Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης	ω	$7292115 \cdot 10^{-11}$ rad/s	$\pm 0,150 \cdot 10^{-11}$ rad/s
Παγκόσμια βαρυτομετρική σταθερά	$GM=\mu$	$3986005 \cdot 10^8$ m ³ /s ²	$\pm 0,6 \cdot 10^8$ m ³ /s ²

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

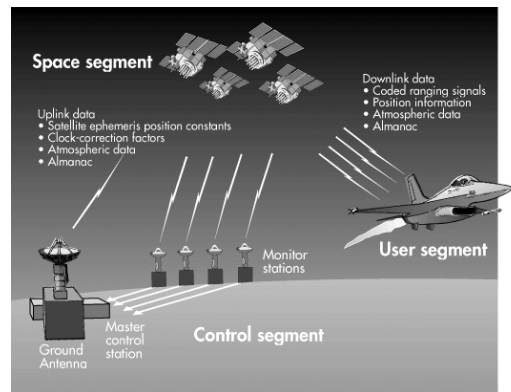
Ι.Ι.Ι. - ΕΠ.Α.Ε.Π.



Τμήματα του GPS



- Δορυφορικό τμήμα
- Τμήμα ελέγχου
- Τμήμα χρηστών



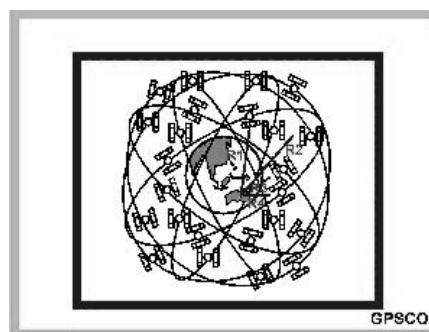
CREATE IMMAGINARY REGION
GEMINO
EMERG I
LIES - NORTH



Το δορυφορικό τμήμα



- 21 δορυφόροι + 3 εφεδρικοί
- 6 τροχιακά επίπεδα
- κλίση 55 μοιρών, περίοδος=12 ώρες
- ύψος 20 000+ km
- Σήματα συγχρονισμένα ως προς συχνότητα και χρόνο
- Ακρίβεια μέτρησης απόστασης
 - 1-3 m (C/A-code)
 - 10-30 cm (P-code)
 - < 1 cm στην φάση



CREATE IMMAGINARY REGION
GEMINO
EMERG I
LIES - NORTH



Η σειρά των δορυφόρων GPS



- **BLOCK-I**
 - Αρίθμηση SV 1- 11
 - Αποσκοπούσαν σε έρευνα και ανάπτυξη του GPS
 - Όχι SA (Selective Availability)
 - Όχι AS (Anti-Spoofing)
 - Εκτόξευση από Φεβ. 1978 έως Οκτ 1985
- **BLOCK-II**
 - SV 12 για έλεγχο στο έδαφος, επιστημονικές εφαρμογές
 - SV 13-21 εκτοξευθέντες δορυφόροι
 - Απαιτούν ακόμη 3 διοχετεύσεις στοιχείων/ημέρα
 - Εκτόξευση από Φεβ, 1989 έως Οκτ, 1990
- **BLOCK-II-A**
 - SV 22-40
 - 1 διοχέτευση στοιχείων/ημέρα
 - Εκτόξευση από τέλος 1990 έως 1994
- **BLOCK-II-R**
 - SV 41-60
 - Μέτρηση αποστάσεων μεταξύ δορυφόρων
 - Εκτόξευση από 1995
- **BLOCK-III**
 - SV 61-??

CREATE IMMAGINATIVE HEADLINE
CHUNK
EMERG 1
LBS - BORTH



GPS-IIR Specifications



GPS IIR	
Specifications	
Customer U.S. Air Force Space and Missile Systems Center	Propulsion Subsystem
Mission Highly Accurate 3-D Position, Velocity and Precise Time	Design Approach Monopropellant N.J.H.
Orbit 6 Orbit Planes at 55° Inclination	Propellant Capacity 280 lbs
Altitude 10,998 Nautical Miles	Thrusters Twelve 0.2 lb. REAs and Four 5.0 lb. REAs
Design Life 10 Years	Structure and Thermal
Launch Weight 6880 lbs	Standard Design
On-Orbit Weight 2720 lbs	Approach Modular, 6 Aluminum Honeycomb Equipment Panels Mounted to Central Aluminum Core
Size 60" W x 26" D x 25" H	Thermal Control
Power 970 Watts	Passive via Blankets, Thermal Coatings and Radiators, Active via Electrically Controlled Heaters
Position Accuracy 6 Meters	Navigation Payload
Autonomy 180 Days	Time Keeping
Launch Vehicle Delta II	Subsystem Multiple Atomic Frequency Standards, Co and Rb Clocks, Red Hard Design, High Stability Timing, Autonomous Integrity Monitoring
Electrical Power Subsystem	Mission Data Unit 1750A Central Processor, ADA HCR, Integral Baseband Processor, Full Message Encoding and Processing, Real-time Kalman Filter
Solar Array 144 sq ft, High Efficiency Silicon Cells, 1150 Watt Capacity (EOL)	Crosslink
Battery System NiH, Rechargeable	Transponder Data RF Receive and Transmit; Precision Inter-satellite Ranging; Frequency Hopped TDMA; Full Frame Modulation and Mode Control
Electronics Central Controller with Redundant Discharge Converters, Mode Control and Battery Chargers	L-Band Subsystem
Attitude Determination and Control	20 to 50 Watt Transmitter; 20 MHz Bandwidth; Space-qualified Radiation Hardened Design; L1 Band: 1575.42 MHz; L2 Band: 1227.60 MHz; L3 Band: 1381.05 MHz
Design Approach Zero Momentum, 3-Axis Stabilized, Earth Oriented, Sun Nadir Pointing	
Attitude Reference Static Earth Sensor, Sun Sensor	
Control Reaction Wheels/Magnetic Coils	
Tracking, Telemetry and Command	
RF Links S-Band, SGLS Transponder	
Security Encrypted Data Links	
Architecture Redundant 1750A Central Processor; Centralized Command Decoding and Telemetry Communication	
Autonomy On-board Power and Key Component Redundancy Management	


Lockheed Martin Astro Space

LOCKHEED MARTIN


PO Box 800
Princeton, New Jersey 08542-0800 USA
Phone: (609) 426-1300

Model 1750A GPS IIR-1

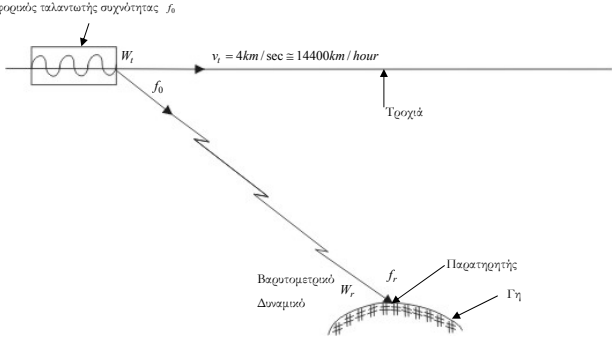
CREATE IMMAGINATIVE HEADLINE
CHUNK
EMERG 1
LBS - BORTH



Μεταβολές στην συχνότητα του δορυφορικού ταλαντωτή



Δορυφορικός ταλαντωτής συχνότητας f_0



$v_t = 4 \text{ km/sec} \approx 14400 \text{ km/hour}$

Τροχή

Βαρυτομετρικό Δυναμικό

Παρατηρητής

Γη

$$\frac{f_r}{f_0} = 1 + \frac{1}{2} \frac{(W_t - W_r)}{c^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_t^2}{c^2} - \frac{V_r^2}{c^2} \right) + \frac{k}{c^2} (V_t - V_r) + \dots =$$

Γενική σχετικότητα Ειδική σχετικότητα Doppler

$$= 1 + \delta \quad \text{όπου} \quad \delta \approx 447,9 \cdot 10^{-12} = \frac{448 \mu\text{sec}}{\text{sec}} = 4,45 \cdot 10^{-10}$$

Σε ύψος $h = 3300 \text{ km}$ οι επιδράσεις της Γενικής και Ειδικής θεωρίας αναιρούνται και το χρονόμετρο με συχνότητα f_0 έχει $f_0 = f_r$.


Ο δορυφορικός ταλαντωτής τοποθετείται σε $f_0 = 10,22999999545 \text{ MHz}$

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑ



Τα δορυφορικά σήματα του GPS



- Κάθε δορυφόρος εκπέμπει δεδομένα σε δύο φέρουσες συχνότητες
 - L1 = 1575,42 MHz L2 = 1227,60 MHz
- Φέροντα σήματα διαμορφώνονται με κώδικες μέτρησης αποστάσεων
- Φέροντα σήματα διαμορφώνονται με μήνυμα ναυσιπλοΐας, περιέχοντας συντεταγμένες δορυφόρων, ...
- Κώδικες αποστάσεων
 - Ο χρόνος είναι ...
- Μήνυμα ναυσιπλοΐας
 - Η θέση των δορυφόρων είναι ...

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑ



Το τμήμα ελέγχου του GPS



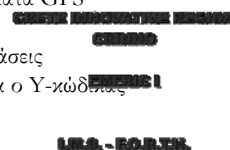
- 5 σταθμοί παρακολούθησης των δορυφόρων εκπέμπουν δεδομένα στον κεντρικό σταθμό ελέγχου
- Κύριος σταθμός ελέγχου (Master Control Station, MCS)
 - Colorado Springs, ΗΠΑ
 - επεξεργασία συγκεντρωμένων στοιχείων
 - Υπολογισμός συντεταγμένων δορυφόρων και διορθώσεων χρονομέτρων
 - μετατοπίσεις δορυφόρων, κρυπτογραφήσεις σημάτων, τήρηση σωστού χρόνου, ...
- Diego Garcia, Ascension Is., Kwajalein, Hawaii
 - διοχέτευση στοιχείων στους δορυφόρους
 - κεραίες εκπομπής



Περιορισμοί στην χρήση του GPS



- **Selective Availability**
 - Πολιτική της εσκεμμένης υποβάθμισης του C/A κώδικα που εισήχθη τον Μάρτιο 1990
 - Παρέχει 100m ακρίβεια, οριζόντια (95%)
 - Παρέχει 170m, κατακόρυφα (99%)
 - Οριζόντια ακρίβεια 300m (99,99%)
 - Απόρρητοι αλγόριθμοι και δομή σημάτων
 - Στρατιωτικοί δέκτες δεν έχουν αυτόν τον περιορισμό
 - Είδη υποβάθμισης
 - Σφάλματα στην τροχιά (Τύπου-ε), 50-150m
 - Σφάλματα χρονομέτρων (Τύπου-δ), $da_1 = 25\text{cm/sec}$
 - Ακρίβεια βελτιώνεται με διαφορικό GPS
 - Η επιλεκτική διαθεσιμότητα στο σήμα σταμάτησε την 1 Μαΐου 2000
- **Anti-Spoofing**
 - Δορυφορικό σήμα σχεδιασμένο, ώστε να αποφεύγει πλαστά σήματα GPS
 - P-κώδικας αντικαθίσταται από Y-κώδικα
 - Μόνο δέκτες με κατάλληλο 'κλειδί' μπορούν να μετρούν αποστάσεις
 - Δέκτες για P-κώδικα δεν λειτουργούν, όταν τίθεται σε λειτουργία ο Y-κώδικας





GPS Info



Satellite Constellation	Satellites	21 satellites + 3 active spares Satellites broadcast signals autonomously
	Orbital Characteristics	6 planes, 4 satellites per plane 55 deg inclination, 12-hour period, 20231 km altitude
Signal structure	Frequencies	Dual L-Band (1575,42 MHz, 1227,6 MHz)
	Digital Signal	Spread spectrum PRN, C/A code @ 1,023 MHz P code @ 10,23 MHz Continuous navigation message @ 50 Hz
	Other	Code Division Multiple Access signal separation
Coverage		Worldwide
Instantaneous Accuracy (SPS, C/A code, 95%) [PDOP ≤ 3]		Selective Availability On Off
	Position	Horiz: 100 m 20 to 30 m Vert: 156 m 30 to 45 m
	Velocity	0,45m·s ⁻¹ 0,3m·s ⁻¹
	Time	300 ns 40 ns
(L1/L2 P code, 95%) [PDOP ≤ 3,0] (Anti-spoofing Off, Civilian receiver)		
	Position	Horiz: 100 m 15 to 25 m Vert: 156 m 20 to 30 m
	Velocity	0,45m·s ⁻¹ 0,1m·s ⁻¹
	Time	300 ns 30 ns

CREATE IMMEDIATE RECORD
CHIRP
EMERG 1
URG - PORTIN

ύψος 50–150m



Επιλογή στη διάθεση σήματος GPS

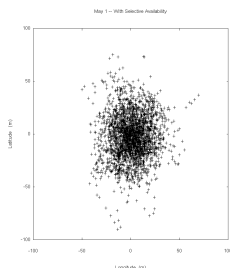


- Δύο είδη
 - Τύπος-ε (τροχιά)
 - Τύπος-δ (ωρολόγια)
- Υποβάθμιση τύπου-ε
 - Διοχέτευση σφαλμάτων στην τροχιά ($d\rho_{SA}$)
 - $d\rho_{SA} = 50-150m$
 - Απότομες μεταβολές στο UERE
- Υποβάθμιση τύπου-δ
 - Διοχέτευση σφαλμάτων στον όρο a_1 του δορυφορικού χρονομέτρου
 - $\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2$
 - $da_1 = 25cm/sec$

CREATE IMMEDIATE RECORD
CHIRP
EMERG 1
URG - PORTIN

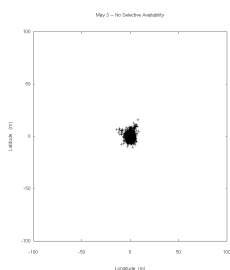


Διαγράμματα Διασκόρπισης με SA on και Off



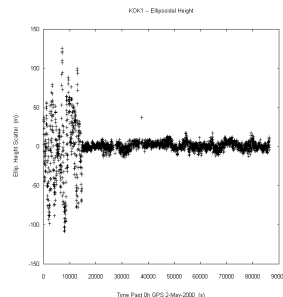
Διάγραμμα διασκόρπισης Γεωγραφικού
πλάτους (24h Δεδομένα) CORS
Erlanger, Kentucky

SA on, May 1, 2000

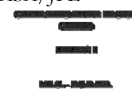


Διάγραμμα διασκόρπισης Γεωγραφικού
πλάτους (24h Δεδομένα) CORS
Erlanger, Kentucky

SA off, May 3, 2000



Διάγραμμα διασκόρπισης
ελλειψοειδούς υψομέτρου για τον
σταθμό Kokee Park, KOK1,
Hawaii, NASA/JPL



Πολιτικές εφαρμογές του GPS



- Στατικός Εντοπισμός
 - Γεωδαιτικά δίκτυα ελέγχου
 - Αποτυπώσεις, χαρτογραφίες
 - Γεωδυναμικές μελέτες
 - Μελέτες παραμορφώσεων
 - Γεωφυσικές διασκοπήσεις
 - Καθορισμός υψών και γεωειδούς
 - Εντοπισμός πλατφορμών πετρελαίου
- Κινηματικός Εντοπισμός
 - Υδρογραφικές αποτυπώσεις
 - Ανίχνευση και εντοπισμός φυσικών διαθεσίμων
 - Αερο-φωτογραμμετρία
 - Βαρυμετρία από αέρος
 - Βαθυμετρία από αέρος με Laser
 - Θαλάσσιες σεισμικές διασκοπήσεις
 - Εντοπισμός διαστημικών σκαφών
- Ναυσιπλοΐα
- Αεροπλοΐα





Θέματα ακρίβειας του GPS



- Λαμβανόμενη ακρίβεια είναι συνάρτηση:
 - Εάν εντοπισμός απαιτείται σε πραγματικό χρόνο ή εκ των υστέρων
 - Το είδος των δεικτών που χρησιμοποιούνται (μετρήσεις)
 - Εάν ο χρήστης κινείται ή είναι στάσιμος
 - Εάν απαιτείται απόλυτος ή σχετικός εντοπισμός
 - Είδος των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των στοιχείων

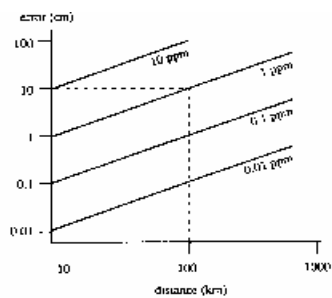
ΟΜΑΔΑ ΜΑΘΗΤΩΝ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΙΣ
ΕΠΙΜΕΛΕΤΗΣ: ΔΡ. ΚΩΣΤΑΣ ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΙΣ
ΛΕΥΚΩΣΙΑ - 2018



Ακρίβεια του GPS



PHASE MEASUREMENTS		CODE MEASUREMENTS	
POINT POS ERROR	Static	SPREADSHEET	1
	Static	GPS MONITOR	1
	Static	GPS MONITOR	1
	Static	GPS MONITOR	1
RELATIVE POS ERROR	Static	SPREADSHEET	1
	Static	GPS MONITOR	1
	Static	GPS MONITOR	1
	Static	GPS MONITOR	1



ΟΜΑΔΑ ΜΑΘΗΤΩΝ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΙΣ
ΕΠΙΜΕΛΕΤΗΣ: ΔΡ. ΚΩΣΤΑΣ ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΙΣ
ΛΕΥΚΩΣΙΑ - 2018



Βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού



- **Σχετικός σε αντιπαράθεση με απόλυτο εντοπισμό**
 - Απαλοιφή σφαλμάτων στις μετρήσεις και στο σύστημα
 - Σχετική ακρίβεια = (γραμμικό σφάλμα)/(μήκος της βάσης)
(parts per million=ppm)
- **Βελτιωμένες τεχνικές γεωδαιτικού εντοπισμού με GPS**
 - Γεωδαιτικός εντοπισμός με GPS χρησιμοποιεί ειδικούς δέκτες, λογισμικό και εργασίες στο πεδίο
- **Ολοκλήρωση των μετρήσεων φάσης**
 - Μόνο η αρχική τιμή των ακέραιων κύκλων είναι άγνωστη
 - Εάν η μέτρηση φάσης διακοπεί, τότε υπάρχει ολίσθηση ακέραιων κύκλων (cycle slips)

U.S. - B.O.R.T.N.



Συστηματικά σφάλματα στη φάση

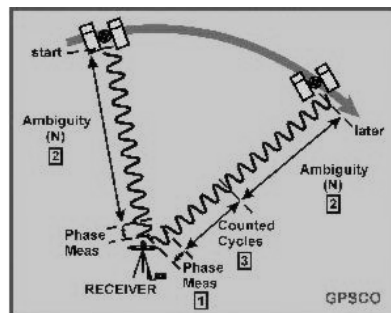


- Ολοκληρωμένη μέτρηση φάσης είναι πολύ ακριβής, αλλά περιπλέκεται λόγω της ολίσθησης των ακέραιων κύκλων
- Πρόβλεψη για τα συστηματικά αυτά σφάλματα σε γεωδαιτικούς εντοπισμούς:
 - Λαμβάνοντας διαφορές μεταξύ δειτών GPS και μεταξύ δεδομένων δορυφόρων
 - Η αβεβαιότητα του αρχικού συστηματικού σφάλματος εκτιμάται με ειδικές επεξεργασίες των μετρήσεων του GPS
 - Μετρήσεις όμως από μερικά λεπτά της ώρας μέχρι μερικές ώρες πρέπει να συγκεντρωθούν, ώστε να εξασφαλισθούν αξιόπιστα αποτελέσματα
- Γεωδαιτικός εντοπισμός με GPS
 - Τα σημεία μέτρησης είναι στάσιμα
 - Μετρήσεις συλλέγονται για κάποια χρονικά διαστήματα
 - Χρησιμοποιείται σχετικός εντοπισμός
 - Μετρήσεις στο φέρον κύμα, άρα ειδικοί δέκτες

U.S. - B.O.R.T.N.



Ο ορισμός της σταθεράς N



CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEMINO
EMERG I
LIES - BORTIN



Γεωδαιτικός εντοπισμός με GPS



■ Πλεονεκτήματα

- Δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σταθμών παρατήρησης
- Ανεξάρτητα από τοπικά γεωδαιτικά δίκτυα
- Διαδικασίες παντός καιρού
- Καθ' όλο το 24-ωρο
- Μεγαλύτερη απόδοση και ταχύτητα στις εργασίες
- Γεωδαιτικές ακρίβειες επιτυγχάνονται εύκολα
- Λαμβάνονται τρισδιάστατες συντεταγμένες

■ Μειονεκτήματα

- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπόγειες εργασίες ή κάτω από φυλλώματα
- Επιτυγχάνονται ακρίβειες πολύ καλύτερες από σημερινά δίκτυα
- Αποτελέσματα σε Datum του GPS
- Υψόμετρα του GPS δεν είναι ορθομετρικά
- Ακριβή τεχνολογία για εξοπλισμό
- Απαιτούνται νέες εμπειρίες και εκπαίδευση

CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEMINO
EMERG I
LIES - BORTIN



Ναυσιπλοΐα με GPS



- Προσδιοριζόμενα σημεία σε κίνηση
- Προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο
- Διαδικασίες απόλυτου, αλλά και σχετικού εντοπισμού
- Μετρήσεις συνήθως σε κώδικες

ΟΡΕΣΤΗΣ ΚΑΡΑΜΑΝΤΙΔΗΣ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝ
ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ



Σημερινές δυνατότητες του GPS

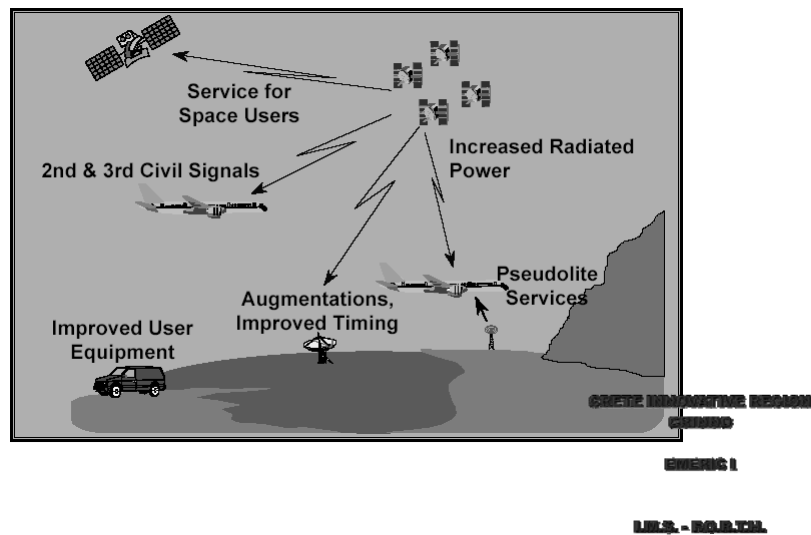


- **Παγκόσμιο επίπεδο**
 - Βοηθά στον καθορισμό των διαστάσεων της Γης
 - Δημιουργεί μοντέλα γεωειδούς
 - Συστήματα αναφοράς
 - Τεκτονικές μετακινήσεις πλακών
 - Ανύψωση ξηράς
 - Μεταβολές επιπέδου θάλασσας
 - Ιονόσφαιρα
- **Εθνικό επίπεδο**
 - Γεωδαιτικά σημεία ελέγχου
 - Φωτογραμμετρία
 - Κτηματολόγιο
 - Χαρτογραφικές αποτυπώσεις
- **Τοπικό επίπεδο**
 - GIS (συλλογή δεδομένων)
 - Ψηφιακή χαρτογραφία
 - Ναυσιπλοΐα (ξηρά, θάλασσα, αέρα, διάστημα)
 - Εντοπισμός οχημάτων, παρακολούθηση
 - Ηλεκτρονικός χάρτης
 - Αυτόματη προσγείωση

ΟΡΕΣΤΗΣ ΚΑΡΑΜΑΝΤΙΔΗΣ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝ
ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ



GPS Modernization



Κεφάλαιο 3: Τα σήματα του GPS

Στέλιος Π. Μερτίκας
Καθηγητής

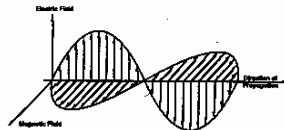
GPS - NAVSTAR
GPS
GPS
GPS - NAVSTAR



Ηλεκτρομαγνητικά κύματα



- Ταλαντευόμενο ηλεκτρικό πεδίο (E) + μαγνητικό πεδίο (M), ταυτόχρονη μετάδοση.
- Επίπεδο ταλάντωσης M κάθετο προς το E .
- Διάδοση σύμφωνα με τους νόμους Maxwell στον χώρο (κενό, ατμόσφαιρα, στερεά).

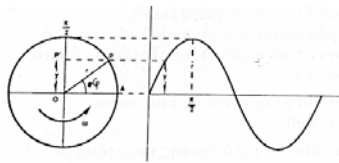


- Επίπεδο ταλάντωσης του E ορίζει το επίπεδο πόλωσης.
- Ακτινοβολία θεωρείται ημιτονοειδής κίνηση (που μπορεί να διαμορφωθεί):
 1. Κεραία εκπομπής: μετατρέπει εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα.
 2. Κεραία λήψης: μετατρέπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε AC.

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΓΕΩΜΑΤΕΛΛΑΡΕΙΑΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
Α.Ε.Α. - Ε.Ο.Ε.Τ.Α.



Παράμετροι Η-Μ κύματος



- φ = γωνία φάσης (μονάδες γωνιών)
 - Σε έναν κύκλο [1 cycle]:
 - η φάση μεταβάλλεται από 0 έως 360 [degrees]
 - μέτρηση κλασματικού μέρους κύκλου [cycles]
 - λ = Μήκος κύματος [meters]
 - $\Phi = \varphi \lambda$ = φάση εκφρασμένη σε μήκος [m]
 - T = περίοδος [seconds]
 - f = συχνότητα [cycles /second]
 - y = πλάτος = $r \sin \varphi$ σε [volts]
- $$c = f \lambda = 2,997\,924\,58 \times 10^8 \text{ [meter/second]}$$
- σε χρόνο t η γωνιακή ταχύτητα είναι $\omega = \varphi / \tau$

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΓΕΩΜΑΤΕΛΛΑΡΕΙΑΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
Α.Ε.Α. - Ε.Ο.Ε.Τ.Α.



Διάδοση Η-Μ ακτινοβολίας



■ Ραδιο-συχνότητα:

- συχνότητα στην οποία Η/Μ ακτινοβολία μπορεί να ανιχνευθεί/ενισχυθεί ως ηλεκτρικό ρεύμα [Volts] στη συχνότητα τους κύματος.

■ Απορρόφηση:

- Μετατροπή της Η/Μ ενέργειας σε άλλο τύπο ενέργειας (π.χ. θερμότητα) ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης με την ύλη.
- Απορρόφηση στην ατμόσφαιρα.

■ Εξασθένηση:

- Ελάττωση της έντασης του πεδίου με την αύξηση της απόστασης από τον πομπό. Εξασθένηση και κέρδος εκφράζονται σε dB (Decibell):

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)$$

- -1dB εξασθένησης σημαίνει 0,79 της αρχικής ισχύος
- -10dB εξασθένησης σημαίνει 0,1 φθάνει στον δέκτη

■ Σκέδαση:

- Διαδικασία όπου ενέργεια κύματος διασκορπίζεται σε διάφορες διευθύνσεις εξαιτίας των αλληλεπιδράσεών του με τις ανομοιογένειες του μέσου διάδοσης

■ Περίθλαση (παράθλαση):

- Απόκλιση της διεύθυνσης της ενεργειακής ροής κύματος, όταν περνάει από εμπόδιο

ΔΙ.Σ. - ΕΘ.Μ.Τ.Η.

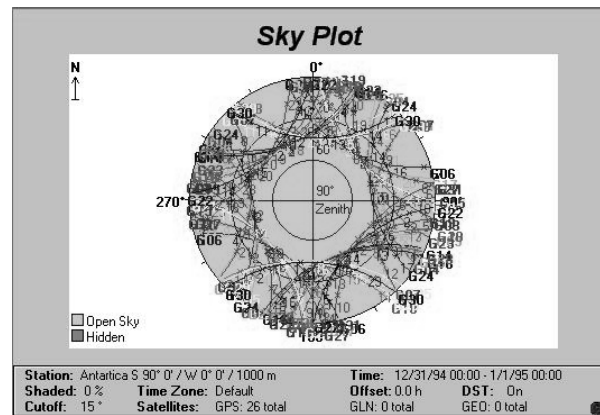


Τι κάνουν οι δορυφόροι GPS;



- Λαμβάνουν και αποθηκεύουν δορυφορικές εφημερίδες, όπως διοχετεύονται από το Τμήμα Ελέγχου.
- Τηρούν σωστό χρόνο με ατομικά χρονόμετρα που φέρουν (2 Ρουβιδίου, 2 κρύσταλλοι Καισίου).
- Εκπέμπουν πληροφορία και σήματα προς τους χρήστες σε δύο (αργότερα 3) φέρουσες συχνότητες.
 - L1=1575,42 MHz (Link-1),
 - L2=1227,60 MHz,
 - L5=1176,45 MHz (Civilian frequency)
- Χαρακτηριστικά δορυφορικών τροχιών
 - Περίοδος T' = 11hour 58 min.
 - Δορυφόρος 2 περιφορές/αστρική ημέρα.
 - Σε 24 hours δορυφόρος ορατός στην ίδια θέση και ύψος 4 min νωρίτερα από την ημέρα.
 - Ίχνος τροχιάς επαναλαμβάνεται κάθε ημέρα.
 - Ορατότητα δορυφόρων συνάρτηση της κρίσιμης γωνίας ύψους (cut-off angle).

ΔΙ.Σ. - ΕΘ.Μ.Τ.Η.



CRETE INNOVATIVE RESEARCH

GROUP

ENERGIC

INS - PORTOL



Περιγραφή του σήματος του GPS



- Συχνότητα χρονόμετρου $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
- Φέρον L1 = 154 $f_0 = 1575,42 \text{ MHz}$
- Φέρον L2 = 120 $f_0 = 1227,60 \text{ MHz}$
- Κώδικας C/A $f_0/10 = 1,023 \text{ MHz}$
 - σειρά ψευδο-τυχαίων αριθμών 1msec
- Κώδικας P $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
 - σειρά ψευδο-τυχαίων αριθμών 267 ημερών
- Κώδικας Y
 - όμοιος κώδικας με τον P, αλλά αλγόριθμοι παραγωγής κώδικα απόρρητοι
- Μήνυμα Ναυσιπλοΐας
1500 bits σε 50 bit/sec

CRETE INNOVATIVE RESEARCH

GROUP

ENERGIC

INS - PORTOL



Γιατί το σήμα τόσο πολύπλοκο;



- Σύστημα πολλαπλών χρηστών
 - Μονόδρομες μετρήσεις αποστάσεων
 - Παθητικό σύστημα (μόνο δέχεται σήματα)
- Εντοπισμός σε πραγματικό χρόνο
 - Ταυτόχρονες μετρήσεις σε πολλούς δορυφόρους απαιτεί αναγνώριση ταυτότητας διαφορετικών σημάτων
 - απαιτείται καθορισμός καθυστερήσεων σημάτων
 - απαιτούνται θέσεις των δορυφόρων
- Εντοπισμός υψηλής ακρίβειας
 - Διαμόρφωση σήματος σε υψηλή συχνότητα (P-κώδικας στα 10MHz)
 - Διπλή συχνότητα για ιονόσφαιρα
 - Φέρων σε μικροκύματα (1,2 μέχρι 1,6 MHz)
- Αντιμετώπιση παρεμβολών
 - τεχνική διασκόρπισης φάσματος (spread spectrum)
- Στρατιωτικές και Πολιτικές εφαρμογές
 - Απαιτούνται δύο κώδικες

ΕΠΕΑΕΚ 2 - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



Κώδικες με ψευδο-τυχαίους θορύβους



- Αλληλουχία δυαδικών τιμών (1,0 ή +1, -1)
- Παράγεται από γνωστό μαθηματικό αλγόριθμο
- Μοιάζει με θόρυβο αλλά δεν είναι
- Μέγιστη συσχέτιση σε μηδενική μετατόπιση κωδικών για απόλυτη ταύτιση κωδικών & μέτρηση αποστάσεων
- Μοναδικός κώδικας για διαφορετικούς δορυφόρους, ενώ ίδια συχνότητα εκπομπής
- Διαφορετική ένταση και διαχωριστική ικανότητα για L1, L2A και P-κώδικα

ΕΠΕΑΕΚ 2 - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



Παραγωγή κωδικών PRN



$$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$$

ΦΕΡΟΝΤΑ

$$L1 = 154 * f_0 = 1575,42 \text{ MHz}$$

ΚΥΜΑΤΑ

$$L2 = 120 * f_0 = 1227,60 \text{ MHz}$$

C/A-κώδικας

PRN στα 1,023 MHz

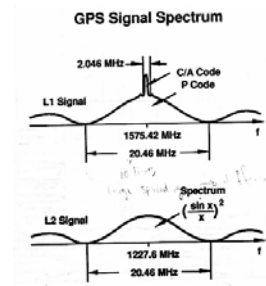
P-κώδικας

PRN στα 10,23 MHz

Δεδομένα

1.500 bits στα 50bits/sec

ΦΑΣΜΑ ΤΟΥ GPS ΣΗΜΑΤΟΣ



CREATE IMMEDIATE RECORD

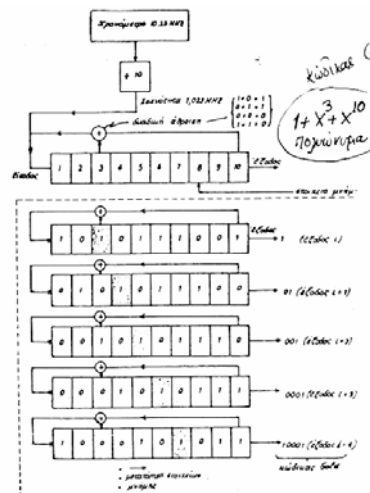
CHARGE

EMERG I

URG - R.O.B.T.M.



Παραγωγή κωδικών PRN



CREATE IMMEDIATE RECORD

CHARGE

EMERG I

URG - R.O.B.T.M.



Τεχνική διαμόρφωσης των κωδίκων



- Δυαδική δι-φασική διαμόρφωση
- Αλλαγή φάσης κατά 180 μοίρες, όταν μεταβάλλονται τα διακριτικά στοιχεία του κώδικα

$$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$$

Carriers:

C/A Code:

P Code:

Message:

$$L1=154, f_0 = 1575,42 \text{ MHz}$$

$$L2=120, f_0 = 1227,60 \text{ MHz}$$

Pseudo Random Noise (PRN)

10-bit tapped feedback shift registers

Number of bits: $2^{10} - 1 = 1023 \text{ bits}$

Chipping rate: $f_0 / 10 = 1,023 \times 10^6 \text{ bps (bits / s)}$

Duration/length=1ms/300km

Chipping rate: $f_0 = 10,23 \times 10^6 \text{ bps}$

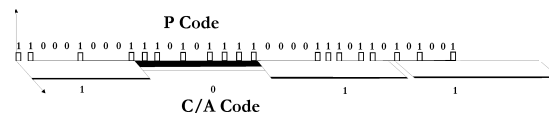
Duration=267 days

1500 bits at 50 bps

SECRET INFORMATION RESEARCH
CINCPAC
SECURITY I
REF - 100.10.10

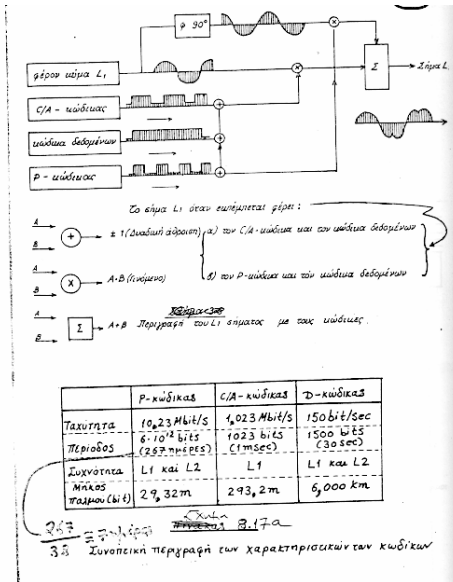


Το σύνθετο δορυφορικό σήμα

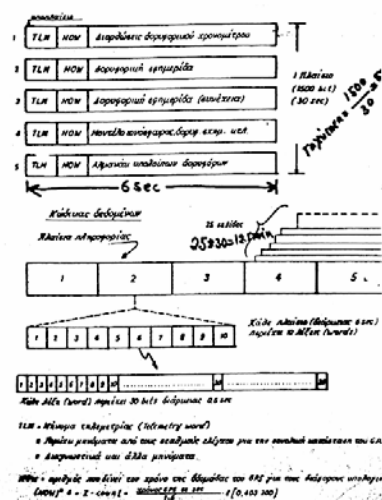
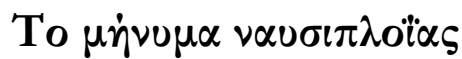


Parameter	C/A code	P code	Data
CHIPPING RATE	$1,023 \times 10^6 \text{ bits/sec}$	$10,23 \times 10^6 \text{ bits/sec}$	50 bits/sec
SPATIAL LENGTH (PER BIT)	960 ft	96 ft	3720 miles
REPETITION INTERVAL	0,001 sec	7 days	Not applicable
CODE TYPE	Gold code	280 day pseudorandom code	Not applicable
TOTAL NO. OF CODES	37 unique Gold codes	37 seven-day sections	Not applicable
SPECIAL PROPERTIES	Easy to acquire	Slightly more accurate nav. Resistant to jamming and spoofing. Rejection of multipath	Provides handover from C/A to P code. Ephemeris data and clock correction. Rejection of multipath.

SECRET INFORMATION RESEARCH
CINCPAC
SECURITY I
REF - 100.10.10



CHIEF INNOVATIVE REGION
CHIEF
EMERGENCY
U.S. - NORTH



**CHIEF INNOVATIVE REGION
GRAND
EMERIS I
U.S.-FORTH.**



GPS ψευδο-τυχαίοι κώδικες



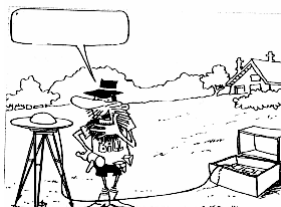
Παράμετρος	C/A-κώδικας	P-κώδικας	Δεδομένα
Ταχύτητα μετάδοσης κώδικα (Chipping rate)	$1,023 \times 10^6$ bits/sec	$10,23 \times 10^6$ bits/sec	50 bits/sec
Μήκος Παλμού (Bit)	290 m	29 m	6.000 km
Περίοδος	0,001 sec	7 ημέρες	~
Τύπος κώδικα	GOLD	280 day PRN	~
Ολικός αριθμός κωδίκων	37 GOLD κώδικες	37*(7-day)	~
Παρατηρήσεις	Εύκολο στη λήψη	Ανθεκτικό σε παρεμβολές και πλάνες	



Οι μετρήσεις του GPS



- Μετρήσεις ψευδο-αποστάσεων
- μετρήσεις φάσης φέροντος κύματος
- μετρήσεις Doppler



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΩΜΑΤΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
Λ.Σ.Σ. - ΕΡΕΥΝΑ

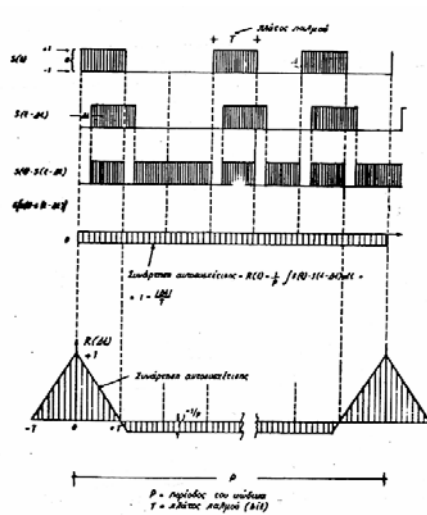


U.S. - NORTH





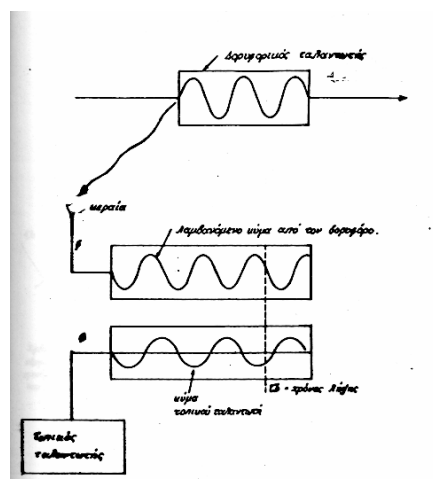
Συνάρτηση αυτο-συσχέτισης



ΟΡΙΣΤΕ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
 ΓΕΝΙΚΑ
 ΕΙΔΙΚΑ I
 ΜΕΣ. - ΕΡΕΥΝΑ



Μετρήσεις στη φάση



ΟΡΙΣΤΕ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
 ΓΕΝΙΚΑ
 ΕΙΔΙΚΑ I
 ΜΕΣ. - ΕΡΕΥΝΑ





Εγγραφές Μετρήσεων



MEASUREMENT RECORDS

3.13

Time tag	Satellite ID	L1 pseudorange (seconds)	L2 pseudorange (seconds)	L1 carrier phase (cycles)	L2 carrier phase (cycles)	L1 signal to noise L2 signal to noise
157619.08	6	.0683367030	.0683367130	-10620903.83078	10909489.48015	43 42
157619.08	9	.0693880658	.0693880789	-228107.51804	186566.94386	43 40
157619.08	11	.0716697164	.0716697323	-211556.40923	135179.98273	43 42
157634.08	6	.0683470602	.0683470602	-10637208.25757	10896784.74268	42 42
157634.08	9	.0693692132	.0693692214	-198401.61842	209714.37741	41 42
157634.08	11	.0716480786	.0716481012	-177472.21822	161739.05031	43 41
157649.08	6	.0683574813	.0683574918	-10653635.29137	10883984.46950	43 43
157649.08	9	.0693504187	.0693504301	-168796.17232	232783.52612	43 40
157649.08	11	.0716265231	.0716265440	-143509.83525	188203.20531	43 42
157664.08	6	.0683679859	.0683679949	-10670185.16849	10871088.47507	42 42
157664.08	9	.0693316925	.0693316999	-139291.06856	255774.49915	43 41
157664.08	11	.0716050425	.0716050609	-109669.43498	214572.30907	41

CREATE IMMEDIATE RECORD

CHIRP

EMERG 1

URG - NORTH



GPS Almanac (1/2)



- Used for satellite acquisition (real-time) and mission planning (post-mission)
- Broadcast as part of satellite navigation message
- Contains orbital information for all satellites
- Subset of broadcast ephemeris
- Computation of satellite position is same as ephemeris with certain terms set to zero
- Updated at least every 6 days
- Can be used for several months (with decreasing accuracy)
- Must account for end of week crossovers when using almanac outside given week
- Estimated $URE = \frac{c}{3} \sqrt{2^{-34} + 2^{-70} t_k^2}$ meters, where
 - c = speed of light (299792457 m/s)
 - $t_k = t - t_{oa}$ sec (corrected for end of week crossovers)

CREATE IMMEDIATE RECORD

CHIRP

EMERG 1

URG - NORTH



GPS Almanac (2/2)



GPS ALMANAC (2/2)

UNIT	PARAMETER	DESCRIPTION
e	eccentricity	--
t_{0a}	time of almanac	sec
δi^*	inclination	semicircles
$\dot{\Omega}$	rate of ascending node	semicircles/sec
\sqrt{a}	square root of semi-major axis	\sqrt{m}
Ω_0	longitude of ascending node	semicircles
ω	argument of perigee	semicircles
M_0	mean anomaly	semicircles
$a f_0$	satellite clock error (constant)	sec
$a f_1$	satellite clock error (drift)	sec/sec

* relative to $t_0 = 0.30$ semicircles

Transformation of orbital coordinates to ECEF:

$$x_k = x_{orb} \cos \Omega_k - y_{orb} \cos i_k \sin \Omega_k$$

$$y_k = x_{orb} \sin \Omega_k + y_{orb} \cos i_k \cos \Omega_k$$

$$z_k = y_{orb} \sin i_k$$

where: x_k, y_k, z_k ...ECEF coordinates (WGS-84)
 x_{orb}, y_{orb} ...Orbital coordinates

CREATE IMMEDIATE RECORD

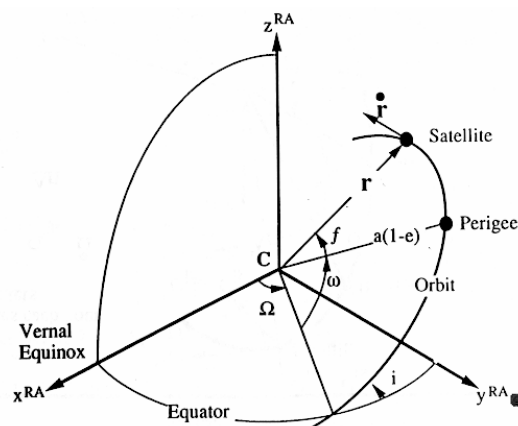
CHARGE

EMERG 1

URG - NORTH



Στοιχεία τροχιάς Kepler



CREATE IMMEDIATE RECORD

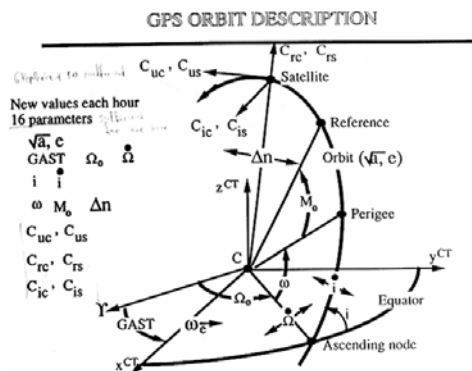
CHARGE

EMERG 1

URG - NORTH



Περιγραφή της τροχιάς GPS



CREATE IMMEDIATE RECORD
CHARGE
EMERG I
L.S.S. - R.D.B.T.H.



Υπολογισμός συντεταγμένων δορυφόρου



CONSTANTS	<ul style="list-style-type: none"> gravitation constant $\mu = 3.986008 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ sec}^{-2}$ mean earth rotation rate $\omega_e = 7.292115147 \times 10^{-5} \text{ rad/sec}$
TRUE ANOMALY f_k	<ul style="list-style-type: none"> time since reference epoch $t_k = t - t_{oc}$ mean anomaly at t_k $M_k = M_o + (\sqrt{1 - e^2} \sqrt{a^3} + \Delta n) t_k$ solve iteratively for E_k $M_k = E_k - e \sin E_k$ true anomaly f_k $f_k = \arctan \left[\frac{\sqrt{1 - e^2} \sin E_k}{\cos E_k - e} \right]$
ARGUMENT OF φ	$u_k = \omega + f_k + C_{uc} \cos 2(\omega + f_k) + C_{us} \sin 2(\omega + f_k)$
ORBIT RADIUS	$r_k = a(1 - e \cos E_k) + C_{rc} \cos 2(\omega + f_k) + C_{rs} \sin 2(\omega + f_k)$
INCLINATION	$i_k = i_o + i_1 t_k + C_{ic} \cos 2(\omega + f_k) + C_{is} \sin 2(\omega + f_k)$
ASCENDING NODE λ	$\lambda_k = \Omega_o + (\Omega - \omega_e) t_k - \omega_e t_{oc}$
CT-SYSTEM COORDINATES	$\begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} = T_3 \begin{bmatrix} -\lambda_k \\ -i_k \\ -u_k \end{bmatrix} T_1 \begin{bmatrix} -i_k \\ -u_k \\ 0 \end{bmatrix} T_2 \begin{bmatrix} r_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

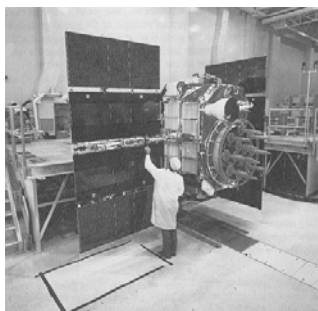
CREATE IMMEDIATE RECORD
CHARGE
EMERG I
L.S.S. - R.D.B.T.H.



Εγγραφή εφημερίδας



EPHEMERIS RECORD	
6	Satellite ID
497	Number of GPS week
0	+User range accuracy +
0	Satellite health
6	Ephemeris fit interval
1849344.00	Age of ephemeris
154800.00	Ephemeris reference time
-3.159465268254280D-04	a0 satellite clock coefficient
-1.750777300912890D-11	a1 satellite clock coefficient
0.000000000000000D-01	a2 satellite clock coefficient
-1.813510054258740D-01	M0 M0 at ephemeris reference time
1.179691996049670D-09	Correction to mean motion
5.886447965167462D-03	Orbital eccentricity
5.153707811355590D+03	Square root of semimajor axis
2.059061254703283D+00	Argument of perigee
1.117925513924910D+00	Inclination at ephemeris reference time
4.039453973757720D-10	Rate of inclination
7.568865351794060D-01	Right ascension at ephemeris reference time
-6.417410168035250D-09	Rate of right ascension
5.794689059257510D-06	Cos correction to argument of latitude
5.587935447692871D-06	Cus Sin correction to argument of latitude
3.469375000000000D+02	Crc Cos correction to orbital radius
1.184062500000000D+02	Crs Sin correction to orbital radius
-9.313225746154790D-08	Cic Cos correction to inclination
-5.587935447692871D-08	Cis Sin correction to inclination
0.000000000000000D-01	Group delay differential within satellite



Κεφάλαιο 4: Κεραίες και δέκτες GPS

Στέλιος Μερτίκας
Καθηγητής



Πρότυπο μοντέλο δέκτη GPS



- κεραία και προ-ενισχυτής
- μονάδα ραδιοσυχνότητας
- μικρο-επεξεργαστής
- μονάδα ελέγχου και εμφάνισης στοιχείων
- σύστημα καταγραφής στοιχείων
- μονάδα παροχής ισχύος

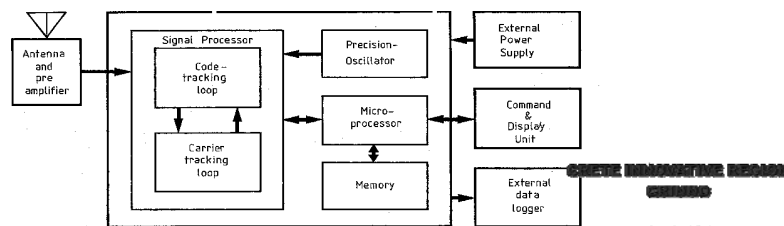


Fig. 7.14: Major components of a GPS receiver

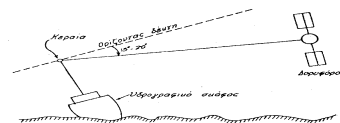
U.S. - B.O.T.N.



Κεραίες GPS

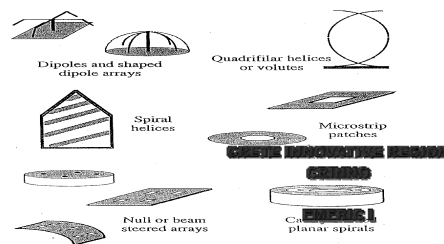


- Πολυ-κατευθυντήριες
- Ανταπόκριση πεδίου λήψης και για γωνίες κάτω της κρίσιμης γωνίας ύψους



Είδη κεραιών

- μονοπολικές (monopole)
- τετράφυλλες (quadrafilar)
- επίπεδες (microstrips)
- σπειροειδείς (spiral)



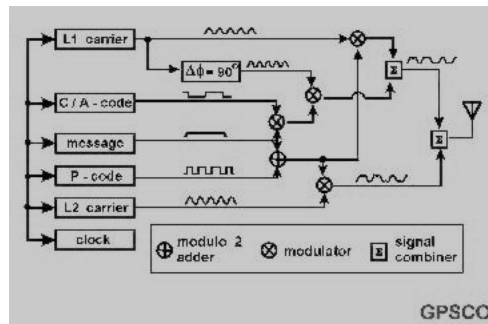
U.S. - B.O.T.N.



Συνιστώσες του σήματος GPS



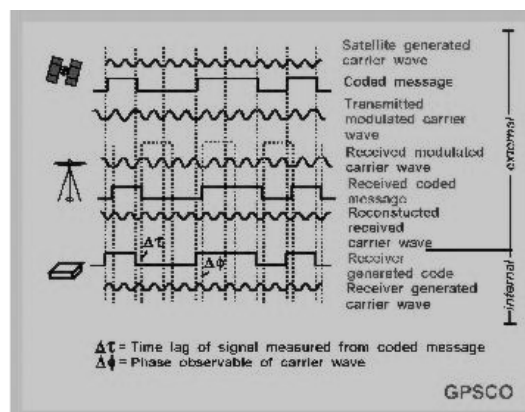
- Συχνότητα L1:
 - Φέρον L1 + P-κώδικας + C/A-κώδικας + Μήνυμα ναυσιπλοΐας
- Συχνότητα L2:
 - Φέρον L2 + P-κώδικας + Μήνυμα ναυσιπλοΐας



CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEOGRAPHY
ENGINEERING
UNIVERSITY OF NORTH



Σήματα GPS;



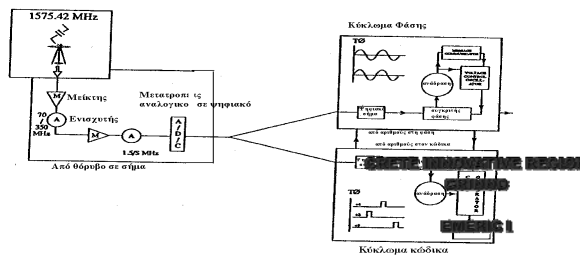
CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEOGRAPHY
ENGINEERING
UNIVERSITY OF NORTH



Βρόχοι μετρήσεων στον δέκτη GPS



- Βρόχος παρακολούθησης του κώδικα επιτρέπει μέτρηση ψευδο-αποστάσεων
 - γεννήτρια κώδικα
 - τοπικό χρονόμετρο
 - συσχετιστής κώδικα
- Βρόχος παρακολούθησης του κώδικα επιτρέπει μέτρηση καθυστέρησης στη φάση
 - γεννήτρια σήματος μεταβλητής συχνότητας
 - τοπικό χρονόμετρο
 - συγκριτής φάσης



URS - PORTUL



Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός καναλιών



- Τάση σε ψηφιακά κανάλια
 - ελάττωση μεγέθους και κόστους
- Αποκλειστικά κανάλια σε υλικό
 - Πολυκάναλους ή μονοκάναλους δέκτες
- Βελτιώσεις στη μέτρηση φάσης
 - ψευδο-αποστάσεις στον C/A-κώδικα υψηλής ακρίβειας
- Εναλλακτικές τεχνικές μέτρησης φάσης
 - βελτιώσεις για να ξεπεραστεί το AS
 - διπλές συχνότητες μέτρησης
- Ολοκλήρωση του ατέραιου αριθμού κύκλων στην φάση για γεωδαιτικές εφαρμογές

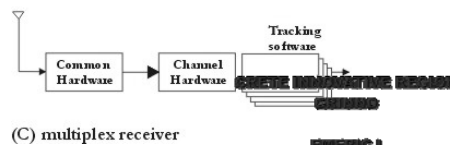
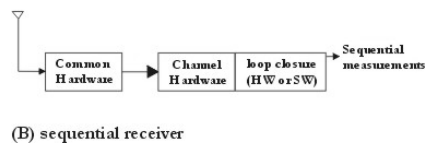
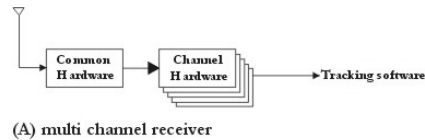
URS - PORTUL



Πολλά ή ένα κανάλι στον δέκτη GPS;



- Προτιμούνται πολλά κανάλια σε γεωδαιτικούς δέκτες
- Δέκτες ναυσιπλοΐας ποικίλουν
 - Πολυκάναλους
 - Πολυπλέκτες
 - Ακολουθιακούς (σπανίζουν σήμερα)
 - Υβριδικούς



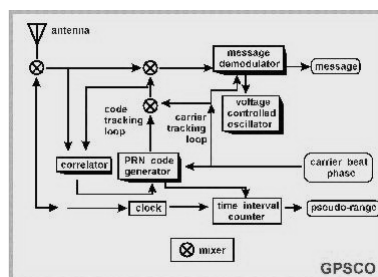
U.S. - PORTN



Κανάλι με κώδικα συσχετισμού



- Δέκτες συσχετισμού κώδικα μετρούν ψευδο-αποστάσεις και φάση φέροντος και αποσπούν μήνυμα ναυσιπλοΐας
- Αναστρέφουν τη διαδικασία κωδικοποίησης με διφασική δυαδική διαμόρφωση για ανασχηματισμό φέροντος
- Μετρήσεις P-κώδικα και στις δύο συχνότητες, αλλά C/A-κώδικας μόνο στη L1



U.S. - PORTN

U.S. - PORTN



Αγορά δέκτη GPS;



- μετρήσεις σε κώδικα ή φάση;
- αρχιτεκτονική δομή δέκτη;
- αριθμός δορυφόρων που ενδέχεται να παρακολουθεί ταυτόχρονα;
- λειτουργικότητα και φιλικότητα προς χρήστη;
- εντοπισμός σε πραγματικό χρόνο για ναυσιπλοΐα;
- Γεωδαιτικός δέκτης;
- Διπλή συχνότητα;
- Αποθήκευση στοιχείων;
- Απαιτήσεις για ποσό ισχύος;
- Είδος κεραίας και απόσταση διαχωρισμού από δέκτη;
- Ετοιμότητα για πεδίο;
- Διάθεση λογισμικού;

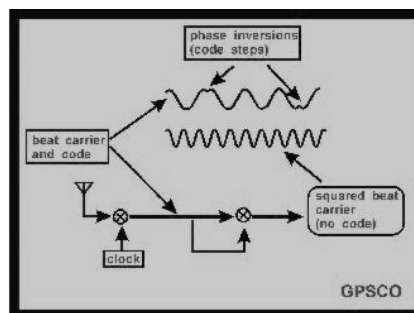
CREATE INNOVATIVE RESEARCH
GEOINFORM
ENGINEERING
UNIVERSITY OF NORTH



Δέκτες τετραγωνισμού



- Αδύνατη η μέτρηση ψευδο-αποστάσεων
- Δεν αποσπάται το μήνυμα ναυσιπλοΐας
- Τετραγωνισμός οδηγεί σε διπλασιασμό συχνότητας ($\lambda_1=8,6\text{cm}$ $\lambda_2=12\text{ cm}$)
- Θορυβώδεις μετρήσεις



CREATE INNOVATIVE RESEARCH
GEOINFORM
ENGINEERING
UNIVERSITY OF NORTH



Θέματα υλικού δεκτών GPS



- Δέκτες συσχετισμού μετρούν και αποστάσεις με κώδικα, αλλά και φάση
- Δέκτες συσχετισμού δίνουν καλύτερες μετρήσεις στη φάση
- Τετραγωνισμός επιτρέπει μετρήσεις στην L1 και L2, ενώ συσχετισμός μόνο στην L1 και τον C/A-κώδικα
- Συσχέτιση P-κώδικα επιτρέπει μετρήσεις και στις δύο συχνότητες
- AS (*προστασία εναντίον πλαστών σημάτων*) επιδρά στη συσχέτιση και μέτρηση P-κώδικα αλλά όχι C/A-κώδικα

ΟΡΓΑΝΟ ΓΕΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΜΕΡΟΣ I
ΛΕΩ. - ΕΘ.Ε.Τ.Η.



Μονή ή διπλή συχνότητα;



- Όργανα διπλής συχνότητας απαλείφουν ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις
- Για μικρές αποστάσεις με γεωδαιτικούς δέκτες επαρκής η μία συχνότητα
- Όργανα διπλής συχνότητας πολύ ακριβά
- Μετρήσεις σε δύο συχνότητες
 - Υβριδικοί δέκτες (συσχέτιση στην L1, τετραγωνισμός στην L2)
 - Ειδικοί δέκτες που μετασχηματίζονται από δέκτες συσχετισμού στον P-κώδικα σε τετραγωνισμό αν επιβληθεί AS
- Υπό ανάπτυξη δέκτες για μετρήσεις στην L2 σε φάση, όταν AS ενεργό
- Διπλή συχνότητα για μεγάλες βάσεις και σύγχρονες τεχνικές

ΟΡΓΑΝΟ ΓΕΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΜΕΡΟΣ I
ΛΕΩ. - ΕΘ.Ε.Τ.Η.



Θέματα διάθεσης P-κώδικα



- Μετρήσεις με συσχέτιση στον P-κώδικα επιτρέπει μετρήσεις ψευδο-αποστάσεων σε L1& L2, αλλά και φάσης στην L2
 - C/A-κώδικας για μετρήσεις φάσης στην L1
- Μετρήσεις φάσης στην L2 με τον P-κώδικα
 - Δέκτες συσχέτισμού στον P-κώδικα κυρίως γεωδαιτικοί
 - Μετρήσεις στη φάση της L2 διατηρεί ακέραιο το μήκος κύματος (24 cm)
 - Πλεονεκτήματα για ειδικές γεωδαιτικές εφαρμογές (στατική μέθοδος ταχείας επεξεργασίας *Rapid Static*, κινηματικές)
- Αυτόνομες μετρήσεις P-κώδικα ή σε συνδυασμό με φάση
 - Μικρότερος θόρυβος από τον C/A-κώδικα
 - Βελτίωση ακρίβειας, όταν συνδυαστούν
- Κανένας δέκτης δεν μετρά P-κώδικα, όταν AS εν ενεργεία.
- Νέες τεχνολογίες για AS
 - W-code
 - μετρήσεις P1-P2
 - διατηρούν άθικτο το μήκος κύματος L2

CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
LBS - BOLDLY



Μετρήσεις στη φάση της L2 με AS



- Καμία τεχνική δεν αντικαθιστά την ακρίβεια της μέτρησης με P-κώδικα στον δέκτη συσχέτισμού

Technique	Input	Operation	Output
Squaring	Y-code on L2		$\Phi_{L2}(\lambda_{L2}/2)$ no code fringe
Cross correlation	Y-code on L1 Y-code on L2		$\Phi_{L2} - \Phi_{L1}$ $R_{L2,Y} - R_{L1,Y}$
Code correlation plus squaring	Y-code on L2 P-code replica		$\Phi_{L2}(\lambda_{L2}/2)$ $R_{L2,P}$
Z-tracking	Y-code on L1 P-code replica Y-code on L2 P-code replica		Φ_{L2} $R_{L2,Y}$ Φ_{L2} $R_{L2,Y}$

CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
LBS - BOLDLY

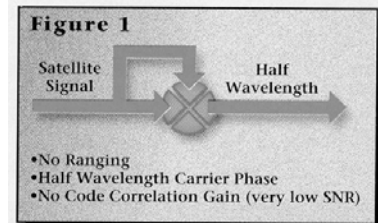


Συγκρίσεις τεχνικών μέτρησης GPS



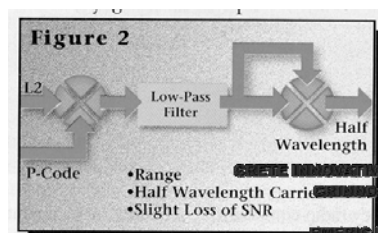
■ Τετραγωνισμός σήματος GPS

- δημιουργεί σήμα με $\lambda/2$ και διπλάσια συχνότητα
- μικρό (SNR) περίπου 30 dB



■ Συσχετισμός και τετραγωνισμός

- L2 Υ-κώδικας με τοπικώς παραγόμενο αντίγραφο P-κώδικα και εν συνεχεία τετραγωνισμός
- δημιουργεί σήμα με $\lambda/2$ και διπλάσια συχνότητα
- μικρό (SNR) περίπου 17 dB μικρότερο από μετρήσεις P-κώδικα με συσχετισμό



URS - BORTH

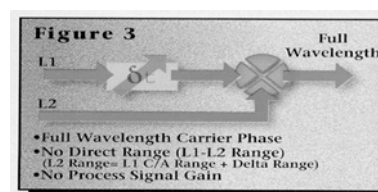


Συγκρίσεις τεχνικών μέτρησης GPS



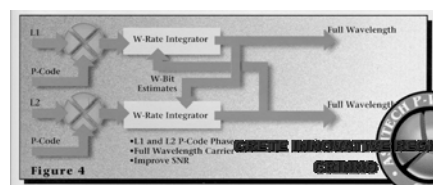
■ Ετερο-συσχέτιση σημάτων GPS

- ετεροσυσχέτιση με μεταβλητή καθυστέρηση δt
- Διαφορά αποστάσεων (L1 & L2) στον κώδικα και μέτρηση φάσης
- L2-απόσταση = L1 C/A-απόσταση + ΔR (φάση)
- μικρό (SNR) περίπου 30 dB μικρότερο από μετρήσεις P-κώδικα με συσχετισμό



■ Τεχνική μέτρησης P-W (Ashtech)

- συσχέτιση με τοπικώς παραγόμενο αντίγραφο P-κώδικα και μετά ολοκλήρωση με W-κώδικα
- Υ-κώδικας = P-κώδικας + W-κώδικας (modulo-2)
- μετρήσεις κώδικα και φάσης L1 & L2



URS - BORTH



Συγκρίσεις τεχνικών μέτρησης GPS



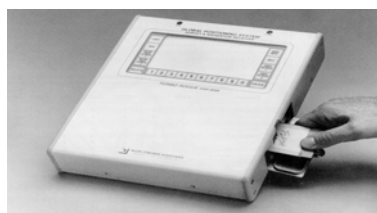
Συγκριτικός πίνακας

Παράμετροι	Τετραγωνισμός	Συσχετισμός κώδικα + τετραγωνισμός	Ετερο συσχέτιση	P-W Τεχνική
Κώδικας C/A	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι
Κώδικας Y	Όχι	Y2	(Y2-Y1)	Y1&Y2
Μήκος κύματος λ	Μισό	Μισό	Πλήρες	Πλήρες
SNR	-16 dB	-3dB	-13dB	0dB

CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEOGRAPHY
ENGINEERING
L.S. - R.O.T.H.



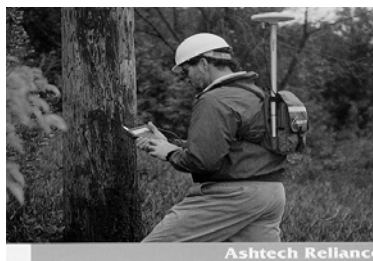
Δέκτες Rogue



CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEOGRAPHY
ENGINEERING
L.S. - R.O.T.H.



Δέκτες Ashtech



U.S. - BORTH



ASHTECH Z-12



Manufacturer: Magellan, Santa Clara, California, USA.
Applications: Geodesy, all survey & precise navigation applications.
Components: Antenna, tripod-mounted.
Receiver box with LCD display and internal memory.
Features:

- **Precision:** $\pm(5\text{mm} + 1\text{ppm})$ for static GPS, $\pm(10\text{mm} + 1\text{ppm})$ for kinematic GPS, cm-dm accuracies for baselines $<100\text{km}$ for kinematic (resolved ambiguities).
- Tracks up to 12 satellites, L1 & L2 phase, P1 & P2 pseudo-range measurements.
- Size: 99x203x216mm, 3.9kg.
- Microstrip antenna (with ground plane 292mm dia.), 1.7kg.
- **Power consumption:** 18W, external batteries (10-32V DC), & other power sources.
- Four RS232 ports for data communication.
- Optional RTCM or Ashtech format DGPS I/O messages.
- 8x40 character LCD display.
- Internal RAM memory (expandable).

Comment: The Z-12 model is especially versatile even when AS is on (full P1, P2, L1 & L2 observables using Ashtech proprietary codeless technology). Also available in configuration the Z-12 Surveyor and the real-time version known as the Z-SuperStation.

Software: GPPS post-processing software (old), or WinPRISM processing software (new) integrated within the Ashtech Office Suite for Survey (AOSS), plus several software packages for kinematic survey (PNAV), real-time DGPS, real-time surveying, etc.

U.S. - BORTH



Δέκτες Trimble

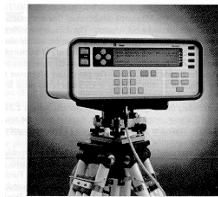
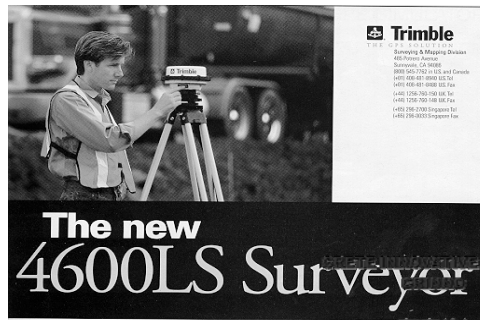


Fig. 7.22: Trimble Geodetic Surveyor



U.S. - BORTH



TRIMBLE 4000SSi



Manufacturer: Trimble Navigation, Sunnyvale, California, USA.

Applications: Geodesy, all survey & precise navigation applications.

Components: Separate pole-mounted kinematic antenna with backpack receiver, & optional handheld data logger/controller.

Features: Alternative products include receiver box with LCD display & internal memory, with tripod-mounted geodetic microstrip antenna, or fully integrated "in-one-box" receiver.

■ **Precision:** $\pm(5-20\text{mm} + 1\text{ppm})$ phase baseline solution, static or kinematic positioning mode. Supports "stop & go", "fast static", etc., modes.

■ **12 channels tracking both L1 & L2.** P1 & P2 pseudo-ranges (AS off), P1-P2 (AS on). L1 phase tracked by reconstructing carrier using C/A code. L2 phase tracked by: (a) reconstructing carrier via P code (when AS off), or (b) Trimble proprietary codeless technique (when AS on).

■ **RTCM capability,** time-mark output, event mark input. RTCM I/O for real-time DGPS operations.

■ **Internal RAM memory,** or optional handheld data logger/controller.

■ **Power consumption:** external camcorder batteries (10.5-35V DC), & other power sources.

■ **Otherwise physical characteristics and options are similar to earlier Trimble 4000 products** (the "yellow box").

Comments: This is an improved dual-frequency Trimble receiver able to measure L2 carrier phase when AS is on, boasting Everest signal processing technology to suppress multipath, and allow low noise tracking. Several of the latest products are based on this core technology.

Software: GPSurvey suite, TRIMNET-plus network adjustment software, TRIMMAP topographic mapping software, other specialised software for real-time operations, etc.

Options: Trimble 4400 can operate as a base station, the Trimble 4700 and Trimble 4800 are the latest generations of field surveying systems. The Trimble MS750 is intended for machine guidance/control applications.

U.S. - BORTH



Δέκτες Leica



LEICA - GPS SYSTEM 500



LEICA GPS System 500



Manufacturer: LEICA, Heerbrugg, Switzerland, and Torrance, California, USA.

Applications: All survey and geodesy applications.

Components: Modular design with SR510, 520 or 530 sensor, TR500 terminal, coms unit, and single or dual-frequency (including choke ring) antennas.

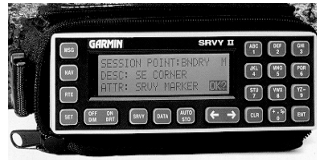
Features:

- **Precision:** $\pm(3\text{mm} + 0.5\text{ppm})$ for static GPS, $\pm(5\text{mm} + 1\text{ppm})$ for "rapid static" solutions, $\pm(10\text{mm} + 1\text{ppm})$ for "stop & go" & "kinematic" solutions, decimetre level code-based DGPS accuracy.
- Tracks up to 12 satellites on both L1 & L2 frequencies (12 channels each). C/A (narrow-correlator technology), P1 & P2 pseudo-ranges. L1 phase tracked by reconstructing carrier via C/A code. L2 phase tracked by: (a) P code-correlation (when AS off), or (b) Leica proprietary codeless technique (when AS on).
- Can support post-processing as well as RTK (the SR530), as well as RTCM-based DGPS.
- Modes and applications are static, rapid static, kinematic, OTF kinematic, DGPS.
- TR500 terminal displays 12 lines of 32 characters, QWERTY keyboard, weight 0.4kg (1.15kg when connected to the SR5x0 directly or by cable).
- Camcorder batteries, each 3.6Ah/6V, powering the SR520 & TR500 for about 7.5 hours.
- **Software:** SKI-Pro post-processing software.
- Hardware and software can be seamlessly upgraded from the SR510, to the SR520, to the SR530.

LEICA - GPS SYSTEM 500



Δέκτες GPS χειρός



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ

U.S. - B.O.T.H.



Δέκτες καρτών GPS



Features

- L1 C/A code and L2 P-code – carrier and pseudorange tracking
- full wavelength L2 phase measurements
- supports RTCM SC104 Rev. 2.0 and RTCM SC159 real-time DGPS data input/output for reference and remote differential operation
- enhanced signal-to-noise performance through encrypted P-code tracking
- 24 channels, configurable for L1 and L2 tracking (12 L1 & 12 L2 nominal configuration)
- wide area GPS integrity channel (GEO's) tracking
- patented NovAtel Narrow Correlator™ and P-code delay correlation technology
- 2.5 bit sampling for substantial interference immunity
- upgrade path for increased memory and processing
- ionospheric corrections in position calculations
- hooks for INS integration and GLONASS

Specifications

- Eurocard PCB format for ease of integration
- acceleration 6 g
- position accuracy (stand alone)
 - 15 meters CEP (SA off, GDOP <2)
 - 40 meters CEP (SA on)
 - code differential
 - < 0.75 meter CEP
 - < 1 meter SEP (carrier phase differential)
 - 5 mm 4.1 ppm
- time to first fix < 70 seconds (typical)
- reacquisition 3 seconds (L1, typical)
- 1 Hz position/5 Hz pseudorange outputs
- 64 pin 0.1" DIN 41612 type B
- RS input DPA female
- power consumption 7 watts

Physical

- 16.7 cm x 10.0 cm x 1.8 cm
- 175 grams

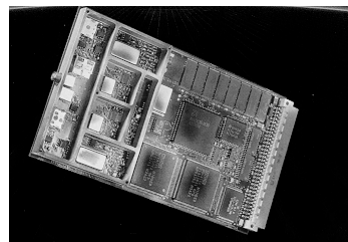
Environmental

- altitude 5,000 meters
- temperature -40°C to +85°C (operating), -45°C to +95°C (storage)

For detailed product technical specifications, please call NovAtel's GPS Hotline (403) 295-4900.

Specifications are subject to change without notice. Performance specifications are subject to GPS system characteristics & L2, DGPS operational degradation. Export licensing restrictions apply to all GPS products and 1,000 nautical mile/aircraft receivers.

Printed in Canada



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ

U.S. - B.O.T.H.



Λογισμικό Επεξεργασίας Στοιχείων GPS



- Ελάχιστοι υπολογισμοί κατά την αναγωγή μετρήσεων για απλές γεωδαιτικές βάσεις
- Δίκτυα GPS
 - Λύση για μετρήσεις μιας περιόδου (Session) και εν συνεχεία συνδυασμό βάσεων
 - Ταυτόχρονος υπολογισμός βάσεων που αποτελούν δίκτυο GPS
 - Θέση ενός σταθμού συνήθως σταθερή στη λύση
- Λογισμικό επεξεργασίας στοιχείων
 - Φίλικα προς τους χρήστες
 - Απροθυμία για εισαγωγή στοιχείων σε RINEX
 - Αποσκοπούν κυρίως σε κινηματικές γεωδαιτικές εφαρμογές
 - Δεν υπάρχει λογισμικό σχεδιασμού δικτύου GPS, αλλά σχεδιασμού “ορατότητας” δορυφόρων
 - Δεν υπάρχει ανάλυση ποιοτικού ελέγχου μετρήσεων και αποτελεσμάτων
 - Δεν υπάρχει επεξεργασία ψευδο-αποστάσεων
 - Πρόβλεψη για εισαγωγή στοιχείων εφημερίδων ακριβείας
 - Μερικά ppm της απόστασης διαχωρισμού των σταθμών
 - Δεν σκοπεύεται να βελτιωθεί ακρίβεια, αλλά μόνο παραγωγικότητα

CREATE IMMEDIATE RECORD
 CHARGE
 EMERG I
 LBS - PORTIN



Λογισμικό επεξεργασίας στοιχείων



GPS PROCESSING SOFTWARE CARRIER PHASE MEASUREMENTS ONLY		
PROGRAM NAME	DEVELOPED BY	PROCESS DATA FOR
AIMS	AERO SERVICES	MACROMETER V1000/L T14100
DIPOP	U. OF NEW BRUNSWICK	T14100, MACROMETER V1000, WM-101, 225 TRIMBLE 4000-SL/ST
GEODASE	MOTOROLA	EAGLE
GPFS	ASHTECH	ASHTECH XII S/L
GPS-WISDOM	BERGEL	BERGEL NRES
MAGNET	MAGNAVOX and GSI	T14100 & WM-101/102

0714

GPS PROCESSING SOFTWARE CARRIER PHASE MEASUREMENTS ONLY		
PROGRAM NAME	DEVELOPED BY	PROCESS DATA FOR
NOVAS	NORSTAR	T14100, NORSTAR 1000 TRIMBLE 4000-SL/ST
GNSS (GPS22)	NATIONAL GEODETIC SURVEY	T14100, MAC-V1000-B WM-101/102, TRIM4000 SL/ST, ASH-XI
FOR S	WILD-MAGNAVOX	WM-101/102
SONAP	AERO SERVICES	MACROMETER V1000/L T14100
TRIMVED	TRIMBLE	TRIMBLE 4000-SL/ST WM-101

* ALSO HAS ORBITAL ADJUSTMENT CAPABILITIES.

0714

CREATE IMMEDIATE RECORD
 CHARGE
 EMERG I
 LBS - PORTIN

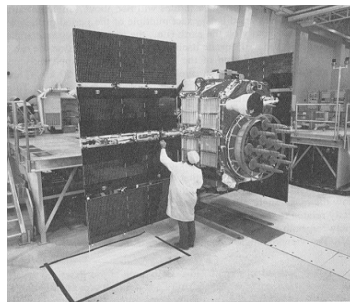


Βήματα στην επεξεργασία



- Μεταφορά και αρχειοθέτηση δεδομένων GPS από δέκτες σε υπολογιστές
- Προετοιμασία στοιχείων
 - δημιουργία κοινού αρχείου εφημερίδων από μήνυμα ναυσιπλοΐας
 - αρχεία δεδομένων μπορεί αν απαιτούνται σε διαφορετικό Format
- Έλεγχος δεδομένων
 - έλεγχος και διορθώσεις σύμφωνα με ποιότητα, γωνία ύψους του δορυφόρου, άνισες περιόδους μέτρησης
- Προκαταρκτική λύση σημειακού εντοπισμού από ψευδο-αποστάσεις
 - για προσωρινές συντεταγμένες σταθμού
 - και συγχρονισμό χρονομέτρων δεκτών για χρόνο-αντιστοιχία (time-tagging)
- Προσεγγιστικές λύσεις για γεωδαιτικές βάσεις από **τοίπλες** διαφορές
- Εντοπισμός και διορθώσεις ολίσθησης ακέραιων κύκλων **ΕΠΙΣΤΑΣΙ**
- Λύσεις από διπλές διαφορές **ΕΠΙΣΤΑΣΙ**

U.S. - B.O.T.H.



Κεφάλαιο 5: Εξισώσεις μετρήσεων GPS

Στέλιος Π. Μερτίκας
Καθηγητής

U.S. - B.O.T.H.

ΕΠΙΣΤΑΣΙ

ΕΠΙΣΤΑΣΙ

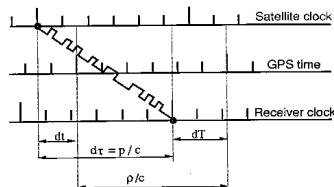
U.S. - B.O.T.H.



Εξίσωση ψευδο-απόστασης GPS



- Σφάλματα δορυφορικού χρονομέτρου dt και δέκτη dT σε σχέση με GPS Time
- Μεταβάλλονται με τον χρόνο



$$\rho = \rho + d\rho + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(p)$$

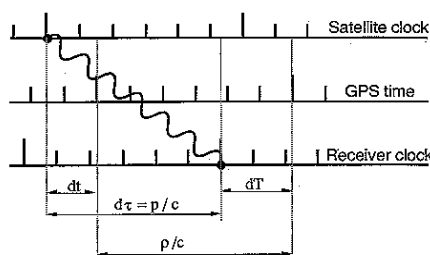
$$\rho = \|\mathbf{r} - \mathbf{R}\| = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2}$$

- $d\rho$ = σφάλματα τροχιάς (SA + 5-25 m)
- dt, dT = σφάλματα χρονομέτρων
- d_{ion}, d_{trop} = σφάλματα ατμόσφαιρας
- $\varepsilon(p) = f[\varepsilon(Rx, random) + \varepsilon(multipath)]$
 - $\varepsilon(Rx, random) = 1-3$ m (C/A-code), 10-30cm (P-code)
 - $\varepsilon(multipath) < 1$ chip (non-Gaussian)

CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEMINO
EMERGENT
LIES - FORTUN



Εξίσωση παρατήρησης φάσης GPS



$$\Phi = \rho + d\rho + c(dt - dT) + \lambda N - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(\Phi)$$

$$\rho = \|\mathbf{r} - \mathbf{R}\| = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2}$$

- $\Phi = -\lambda \varphi$ (cycles)
- N = αβεβαιότητα κύκλων
- $d\rho$ = σφάλματα τροχιάς (SA + 5-25 m)
- dt, dT = σφάλματα χρονομέτρων
- d_{ion}, d_{trop} = σφάλματα ατμόσφαιρας
- $\varepsilon(\Phi) = f[\varepsilon(Rx, random) + \varepsilon(multipath)]$
 - $\varepsilon(Rx, random) = \Delta \epsilon \kappa \tau \eta \varsigma + \epsilon \upsilon \rho \omicron \varsigma \zeta \omega \nu \eta \varsigma \lambda \eta \psi \eta \varsigma < 5$ mm
 - $\varepsilon(multipath) < 0,25 \lambda$

CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEMINO
EMERGENT
LIES - FORTUN



Αβεβαιότητα κύκλων



■ Μέγεθος των αβεβαιοτήτων

- Ένας ακέραιος N πολλαπλάσιο του μήκους κύματος λ
 - N λ cm για συσχετισμό στον κώδικα
 - N (λ/2) για τετραγωνισμό στον κώδικα
- Αν δέκτης διατηρεί εγκλωβισμό φάσης
 - ίδια τιμή N για όλες τις χρονικές στιγμές
 - διαφορετική τιμή δια κάθε ζευγάρι δέκτη-δορυφόρου

■ Μαθηματικά μοντέλα για αβεβαιότητες

- Προσδιορίζεται ως πραγματικός αριθμός N
- Συνδυάζονται μετρήσεις κώδικα και φάσης για τον προσδιορισμό του N
- Ερευνάται και προσδιορίζεται ο πιο πιθανός ακέραιος N για ~~κάθε υπομονή και~~
- Διαφορές μετρήσεων σε διαφορετικούς χρόνους, ώστε να εξαλειφθεί ο N.

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

U.S. - PORTIN



Μετρήσεις Doppler στο GPS



- Μέτρηση της στιγμιαίας ταχύτητας φάσης $d\Phi/dt$
- Μέτρηση στον βρόχο παρακολούθησης κώδικα
- Διατίθεται συνήθως κάθε 1 sec
- Δεν επηρεάζεται από ολίσθηση ακέραιων κύκλων στη φάση

$$\Phi = \rho + d\Phi \cdot dt - \delta_{ion} + \delta_{trop} + \epsilon(\Phi)$$

$$\Phi(mm/sec) = -\lambda \Phi(cycles/sec)$$

- $d\Phi(\dot{\Phi})$ = σφάλματα μετακίνησης τροχιάς
- $dt, dT(\dot{\Phi})$ = σφάλματα μετατόπισης χρονομέτρων
- $\epsilon(\Phi(\dot{\Phi})) = f[\epsilon(Rx, random) + \epsilon(multipath)]$
 - $\epsilon(Rx, random)$ = Δέκτης, εύρος ζώνης λήψης < 5mm/sec
 - $\epsilon(multipath)$ = μικρό και αμελητέο
- Χρησιμοποιείται για προσδιορισμό ολίσθησης ακέραιων κύκλων και υποβοήθηση στον προσδιορισμό ταχύτητας

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

U.S. - PORTIN



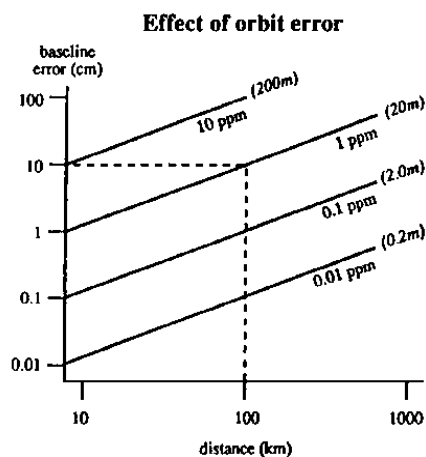
Σφάλματα στους δορυφόρους GPS



- Σφάλματα στα χρονόμετρα dt
 - φθάνουν μέχρι 1 msec (300 km)
 - ελαττώνονται στα μερικά nsec (8m) μετά την εφαρμογή του μοντέλου διόρθωσης
- Σφάλματα στην πρόβλεψη τροχιάς
 - 10-25 m
 - 50-100m με Selective Availability
- Επιδράσεις αβεβαιοτήτων σε εντοπισμό
 - Απόλυτος Εντοπισμός
 - Σφάλμα θέσης = PDOP (σφάλμα τροχιάς)
 - Αν PDOP=2, $\sigma(\text{τροχιάς}) = 20\text{m}$, τότε $\sigma = 40\text{m}$
 - Σχετικός Εντοπισμός
 - $\sigma(\text{base}) = \frac{\text{Length(Km)}}{20.000\text{Km}} \sigma(\text{orbit})$
 - Αν length=10Km, $\sigma(\text{base}) = 1\text{cm}$ (1ppm)
- Εναλλακτικές λύσεις
 - Μην κάνετε τίποτα. Χρησιμοποιείτε την Δορυφορική Εφημερίδα όπως στέλνεται μέσω του σήματος ναυσιπλοΐας
 - Χρησιμοποιείτε τις Εφημερίδες ακριβείας εκ των υστέρων
 - Προσδιορίστε μόνοι σας τα στοιχεία της τροχιάς
 - Χρησιμοποιείτε διαφορές μετρήσεων, ώστε να απαλειφθούν σφάλματα



Επιδράσεις σφαλμάτων στην τροχιά

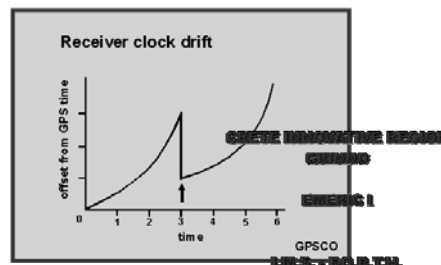
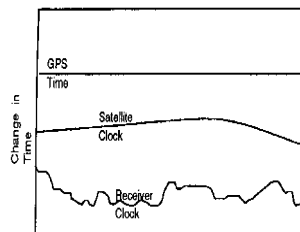




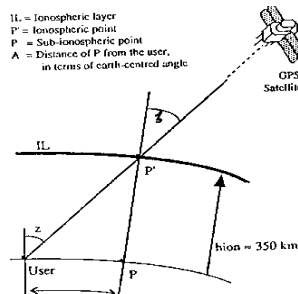
Σφάλματα στα χρονόμετρα



- Η απρόβλεπτη συμπεριφορά χρονόμετρων είναι συνάρτηση του είδους του ταλαντωτή στον δορυφόρο και στον δέκτη
- Υπολειπόμενο σφάλμα δορυφορικών χρονόμετρων μετά την εφαρμογή των διορθώσεων είναι μερικά m
- Υπολειπόμενο σφάλμα χρονόμετρων δεκτών μετά τον συντονισμό με τον χρόνο GPS από λύση μερικών εκατοντάδων m
- Εναλλακτικές λύσεις
 - Προσδιορίσατε την παράμετρο του χρονόμετρου ως τυχαία διαδικασία με στοχαστικά μοντέλα



Ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις σήματος



$$d_{ion}(m) = \frac{40,28}{f^2} N_T \left(\frac{1}{\cos \zeta} \right)$$

- N_T = συνολικός αριθμός ηλεκτρονίων ανά μέτρο (el/m) (1-200)
- f = συχνότητα (Hz)
- ζ = ζενιθια γωνία στο P'

$$d_{ion}(L1) = 0,162 N_T \left(\frac{1}{\cos \zeta} \right) \quad d_{ion}(L2) = 0,267 N_T \left(\frac{1}{\cos \zeta} \right)$$

GREEK INSTITUTE FOR RESEARCH
 GEOMATICS
 ERETRIA
 I.R.S. - I.R.T.N.



Ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις σήματος



■ Μέγεθος καθυστερήσεων

- μέγιστη τιμή στο ζενίθ _____ 50m
- μέγιστη τιμή στον ορίζοντα _____ 3X 50m
- μέγιστη τιμή την ημέρα _____ 5X(νυκτερινή)
- Μεταβολές ετήσιες και με ηλιακό κύκλο (11 έτη)

■ Εναλλακτικές λύσεις

- Μετρήσατε κατά τη διάρκεια της νύχτας
- Χρησιμοποιήσατε το μοντέλο πρόβλεψης από το μήνυμα ναυσιπλοΐας (ακρίβεια < 50%)
- Διαφορικός εντοπισμός ελαχιστοποιεί σφάλματα
- Απαλείψατε επίδραση με χρήση δύο συχνοτήτων και δημιουργήσατε μετρήσεις φάσης στη συχνότητα L3

$$\varphi(L3) = \frac{1}{[1 - \kappa^2]} [\varphi(L1) - \kappa \varphi(L2)] \quad \kappa = \frac{f_2}{f_1}$$

$$\varphi(L3) = 2,546\varphi(L1) - 1,984\varphi(L2)$$

- Αβεβαιότητα στους κύκλους φάσης δεν είναι πλέον αγόρευτος αριθμός

CHARTERED SURVEYING SOCIETY
MEMBER
SINCE 1981
I.S.T. - B.O.B.T.M.



Τροποσφαιρικές καθυστερήσεις



■ Τροποσφαιρική καθυστέρηση σήματος

- γωνία ύψους του δορυφόρου
- δείκτης ατμοσφαιρικής διάθλασης
 - πίεση
 - θερμοκρασία
 - υγρασία
- διάθλαση της ουδέτερης ατμόσφαιρας

■ Μέγεθος

- μέγιστη τιμή στο ζενίθ _____ 2,3m
- μέγιστη τιμή στον ορίζοντα _____ 20m
- 90% οφείλεται στην ξηρή ατμόσφαιρα
- 10% οφείλεται στην υγρή ατμόσφαιρα (δύσκολη η πρόβλεψη)
- Μεταβολές από εποχή σε εποχή

■ Εναλλακτικές λύσεις

- Αμελήσατε την καθυστέρηση αποφεύγοντας δορυφόρους σε χαμηλό ύψος
- Χρησιμοποιήσατε τυπικά μοντέλα διάθλασης (Saastamoinen, Hopfield, Black, κλπ)
- Διορθώστε με διαθέσιμο λογισμικό σε κάθε θέση
- Διαφορικός εντοπισμός
- Μετρήστε τη συνιστώσα της υγρής ατμόσφαιρας με ραδιόμετρα μέτρησης υδρατμών (πολύ ακριβή)

CHARTERED SURVEYING SOCIETY
MEMBER
SINCE 1981
I.S.T. - B.O.B.T.M.



Αβεβαιότητες κύκλων στο GPS

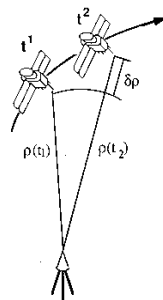


- Ακέραιος αριθμός
- Διαφορετικός για L1 και L2 φάσεις
- Διαφορετικός για κάθε ζευγάρι δέκτη-δορυφόρου
- Εναλλακτικές λύσεις
 - Μπορεί να απαλειφθεί παίρνοντας διαφορές μετρήσεων σε διαφορετικούς χρόνους
 - Μπορεί να εκτιμηθεί στατιστικώς ως παράμετρος
- Άλλες αβεβαιότητες στο GPS
 - μετακίνηση του ηλεκτρικού κέντρου της κεραίας
 - Αγνοείστε το πρόβλημα (<1 cm)
 - Χρησιμοποιείτε πιο σταθερές κεραίες
 - Διατηρήστε το ίδιο ζευγάρι δέκτη-κεραία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και προσανατολίσατε την κεραία προς ίδια διεύθυνση πάντα
 - Πολυπλοκές παρεμβολές
 - Αποφύγετε χώρο που δημιουργεί ανακλάσεις
 - Μετρήσατε για τουλάχιστον 15min (μέσος όρος εξαλείφει επίδραση)
 - Χρησιμοποιήσατε συστήματα αποφυγής ανακλάσεων στις κεραίες GPS

ΟΡΙΣΤΕ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕ ΚΕΡΑΙΕΣ
 ΟΡΙΣΤΕ
 ΟΡΙΣΤΕ
 IAG - IAG



Απλές διαφορές μετρήσεων (δ)



$$\delta(X) = X(t_2) - X(t_1)$$

$$\delta p = \delta \rho + \delta(d\rho) + c(\delta(dt) - \delta(dT)) + \delta d_{ion} + \delta d_{trop} + \delta \epsilon(p)$$

$$\delta \Phi = \delta \rho + \delta \epsilon(p) + c(\delta(dt) - \delta(dT)) - \delta d_{ion} + \delta d_{trop} + \delta \epsilon(\Phi)$$

- Αβεβαιότητες στη φάση εξαλείφονται
- Ελαττώνονται σφάλματα ατμόσφαιρας και τροχιάς
- Δεν ελαττώνονται όμως το $\epsilon(p)$ και $\epsilon(\Phi)$ (ασυσχέτιστες ποσότητες)

ΟΡΙΣΤΕ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕ ΚΕΡΑΙΕΣ
 ΟΡΙΣΤΕ
 ΟΡΙΣΤΕ
 IAG - IAG



Απλές διαφορές μετρήσεων σε χρόνο

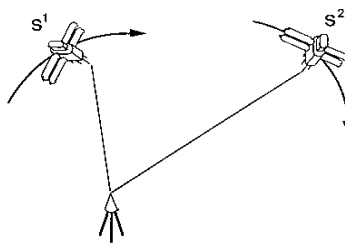


- Απλές διαφορές σε χρόνο υπολογίζουν διαφορές αποστάσεων (μετρήσεις Doppler)
- Στη μέτρηση φάσης οι αβεβαιότητες κύκλων απαλείφονται και η διαφορά αποστάσεων δεν περιέχει τέτοια σφάλματα
- Άλλα σφάλματα (τροχιάς, ιονόσφαιρας, τροπόσφαιρας) ελαττώνονται σημαντικά και το υπολειπόμενο ποσό συνάρτηση των διαδοχικών χρόνων μέτρησης
- Χρήση για εξομάλυνση των μετρήσεων κώδικα με φάση
(ψευδο-αποστάσεις)+ ΔR (φάση)

ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



Απλές διαφορές μετρήσεων μεταξύ δορυφόρων (∇)



$$\nabla(X) = X(\text{sat}_2) - X(\text{sat}_1)$$

$$\nabla p = \nabla p + \nabla(dp) + c\nabla(dt) + \nabla d_{ion} + \nabla d_{trop} + \nabla \varepsilon(p)$$

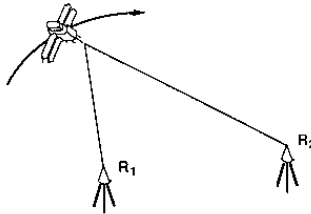
$$\nabla \Phi = \nabla p + \nabla(dp) + c\nabla(dt) - \nabla d_{ion} + \nabla d_{trop} + \nabla \varepsilon(\Phi)$$

- Εξαλείφει καθυστερήσεις στο χρονόμετρο του δέκτη
- Δεν ελαττώνει γενικώς τα σφάλματα $\varepsilon(p)$ και $\varepsilon(\Phi)$. Κατά κανόνα αυξάνονται κατά $(\sqrt{2})$

ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



Απλές διαφορές μετρήσεων μεταξύ δεκτών (Δ)



$$\Delta(X) = X(Rx_2) - X(Rx_1)$$

$$\Delta p = \Delta \rho + \Delta(d\rho) - c\Delta(dT) + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \Delta \epsilon(p)$$

$$\Delta \Phi = \Delta \rho + \Delta(d\phi) + c\Delta(dT) - \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \Delta \epsilon(\Phi)$$

- Ελαττώνει σφάλματα τροχιάς και ατμόσφαιρας
- Εξαλείφει σφάλματα χρονομέτρου δορυφόρου dt
- Δεν ελαττώνει τυχαία σφάλματα μετρήσεων. Αυξάνονται κατά $(\sqrt{2})$

URS - PORTIN



Απλές διαφορές μετρήσεων μεταξύ δεκτών (Δ) (2)



- Φάση χρησιμοποιείται για διαφορές μεταξύ δεκτών σε ακριβείς στατικές γεωδαιτικές εφαρμογές
- Ψευδο-αποστάσεις χρησιμοποιούνται σε διαφορές για κινηματικές εφαρμογές
- Για ακριβείς στατικές εφαρμογές με επεξεργασία απλών διαφορών το σφάλμα του χρονομέτρου dT του δέκτη είναι παρόν. Επειδή μεταβάλλεται με χρόνο, πρέπει να προστεθεί κάθε φορά ως νέα παράμετρος cΔ(dT).
- Αριθμός αγνώστων σε απλές διαφορές δεκτών:
 - 3 για συντεταγμένες (ΔX, ΔY, ΔZ)
 - N αθέρηαιες αβεβαιότητες σε κάθε δορυφόρο
 - M όροι dT για κάθε χρονικό διάστημα μετρήσεων
 - Π.χ. Αν 6 δορυφόροι υπό παρατήρηση για 1 hour ανά 15 sec απαιτούνται $(3 + 6 + (3600/15)) = 249$ άγνωστοι. Μεγάλος αριθμός κανονικών εξισώσεων. Αριθμός μετρήσεων $N \times M = 6 \times 240 = 1440$.
 - Αβεβαιότητες στους αθέρηαιους κύκλους παρούσες και πρέπει να διορθωθούν.

URS - PORTIN



Απλές διαφορές μετρήσεων μεταξύ δεκτών

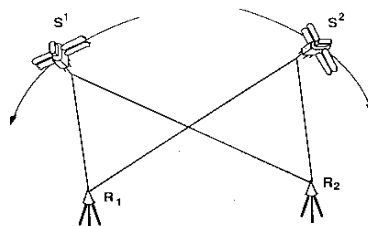


- Σταθερότητα χρονομέτρων 10^{-10} sec/sec
- Συγχρονισμός μετρήσεων
 - Σε διάστημα 1sec χρονόμετρο δορυφόρου μεταβάλλεται κατά 0,1nsec (3cm σε απόσταση)
 - Διατήρηση ακρίβειας mm οι “ταυτόχρονες” μετρήσεις μεταξύ δεκτών δεν θα πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 30msec
- Μεταβολές στον χρόνο διάδοσης
 - Ταυτόχρονες μετρήσεις για δύο δέκτες προς κοινό δορυφόρο σημαίνει χρόνοι εκπομπής σημάτων διαφορετικοί
 - Μέγιστος διαχωρισμός σε χρόνο για αποστάσεις σταθμών 1000Km περίπου 3msec

U.S. - B.O.R.T.N.



Δορυφόρος-Δέκτης: Διπλές διαφορές ($\Delta\nabla$)



$$\Delta\nabla(X) = \{X(sat_2) - X(sat_1)\}_{Rx1} - \{X(sat_2) - X(sat_1)\}_{Rx2}$$

$$\Delta\nabla p = \Delta\nabla\rho + \Delta\nabla(dp) + \Delta\nabla d_{ion} + \Delta\nabla d_{trop} + \Delta\nabla\varepsilon(p)$$

$$\Delta\nabla\Phi = \Delta\nabla\rho + \Delta\nabla(dp) + \lambda\Delta\nabla N - \Delta\nabla d_{ion} + \Delta\nabla d_{trop} + \Delta\nabla\varepsilon(\Phi)$$

- Ελαττώνονται τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα
- Εξαιρείονται καθυστερήσεις χρονομέτρων dt, dT
- Δεν ελαττώνονται τυχαία σφάλματα
- Χρήση κυρίως για γεωδαιτικές εφαρμογές

U.S. - B.O.R.T.N.



Δορυφόρος-Δέκτης: Διπλές διαφορές ($\Delta\nabla$)



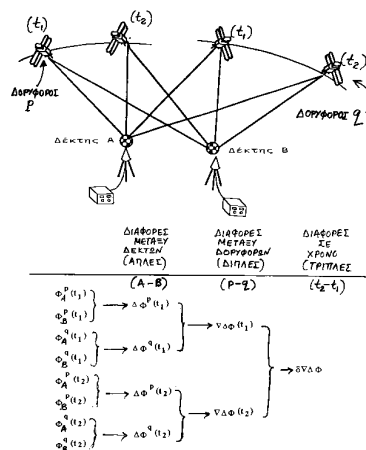
- Κύρια χρήση σε στατικό σχετικό γεωδαιτικό εντοπισμό με μετρήσεις φάσης (επαγγελματικά προγράμματα)
- Για βάσεις <25 km σφάλματα εξαλείφονται και επομένως προσδιορίζονται ακέραιοι κύκλοι. Όχι όμως σε μεγάλες βάσεις
- Αριθμός αγνώστων
 - 3 για συντεταγμένες ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
 - (N-1) αβεβαιότητες (N= αριθμός δορυφόρων)
 - Π.χ. Αν 6 δορυφόροι υπό παρατήρηση για 1 hour ανά 15 sec απαιτούνται $(3 + (6-1)) = 8$ άγνωστοι. Λογικός αριθμός κανονικών εξισώσεων. Αριθμός μετρήσεων $(N-1) \times M = (6-1) \times 240 = 1200$.
 - Περισσότερα προγράμματα λογισμικού εφαρμόζουν:
 - προσδιορισμό αβεβαιοτήτων με N=πραγματικό αριθμό(float solution), κατόπιν
 - προσδιορισμό αβεβαιοτήτων με N=ακέραιο αριθμό (fixed solution).
 - Ολίσθηση ακέραιων κύκλων επιδρά στην λύση και πρέπει να διορθώνεται όταν υπάρχει

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ



Τριπλές διαφορές ($\delta\Delta\nabla$)



- Εξαλείφεται ο όρος των αβεβαιοτήτων
- Δεν ελαττώνει τυχαία σφάλματα

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ



Τριπλές διαφορές (δΔV)



- Κύρια χρήση σε στατικό σχετικό γεωδαιτικό εντοπισμό με μετρήσεις φάσης (επαγγελματικά προγράμματα)
- Κύριο πλεονέκτημα ότι αβεβαιότητες στη φάση εξαλείφονται με διαφορές στο χρόνο
- Όχι τόσο ακριβής, όσο οι διπλές διαφορές
- Αριθμός αγνώστων
 - 3 για συντεταγμένες ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
 - Αν 6 δορυφόροι υπό παρατήρηση για 1 hour ανά 15 sec απαιτούνται 3 άγνωστοι. Αριθμός μετρήσεων $(N-1) \times (M-1) = (6-1) \times (240-1) = 1195$.
 - Ολίσθηση ακέραιων κύκλων επιδρά σε μία μόνο παρατήρηση και εύκολα ανιχνεύσιμη.
- Τριπλές διαφορές είναι συσχετισμένες
- Δεν χρησιμοποιούνται για κινηματικές εφαρμογές

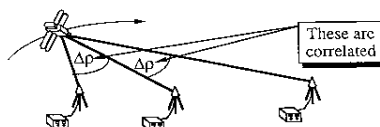
CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
LBS - BOSTON



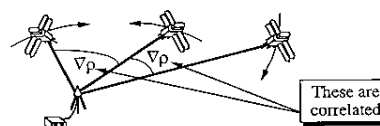
Συσχέτιση διαφορών μετρήσεων



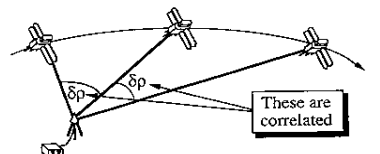
BETWEEN-RECEIVERS DIFFERENCE OBSERVATIONS



BETWEEN-SATELLITE DIFFERENCE OBSERVATIONS



BETWEEN-EPOCH DIFFERENCE OBSERVATIONS



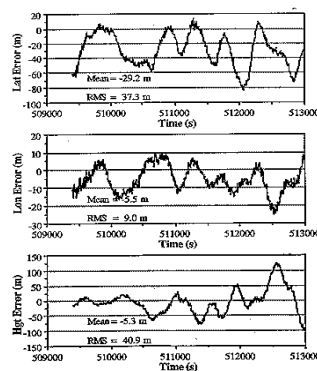
CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
LBS - BOSTON



Απόλυτος εντοπισμός με κώδικα



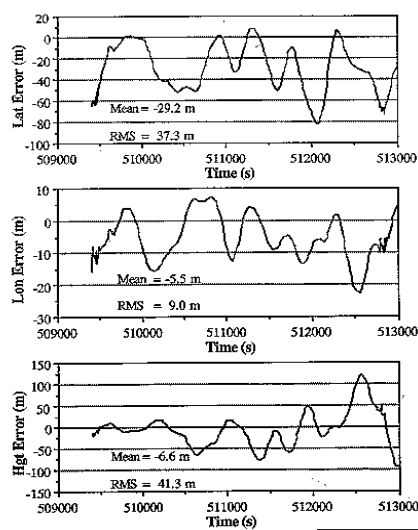
- 5-6 δορυφόροι PDOP=3
- Μετρήσεις κώδικα με Selective Availability
- Μικρής περιόδου μεταβολές στον θόρυβο μέτρησης του κώδικα, μεγάλης περιόδου στις πολυκλαδικές ανακλάσεις



CRETE UNIVERSITY HERRING
CHANN
ENERG I
L.A.S. - PORTIN



Εξομάλυνση κώδικα με μετρήσεις φάσης



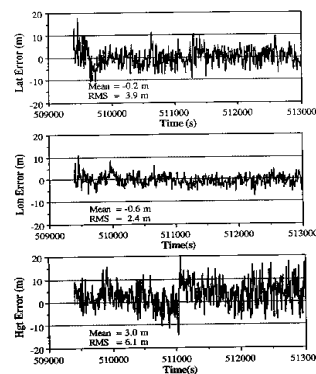
CRETE UNIVERSITY HERRING
CHANN
ENERG I
L.A.S. - PORTIN



Διαφορές δεκτών: απλές διαφορές



- Δέκτες απέχουν 10m
- Απλές διαφορές μεταξύ μετρήσεων δεκτών στους κώδικες
- Υπολειπόμενο σφάλμα οφείλεται στον κώδικα και στις πολυκλαδικές ανακλάσεις



CRETE UNIVERSITY HERAKLON
 GEOMATICS
 ENGINEERING
 URS - PORTAL



Μετρήσεις απαλλαγμένες ιονόσφαιρας



$$\Phi(L3) = \lambda_1 [\kappa_1 \phi(L1) + \kappa_2 \phi(L2)]$$

$$\Phi(L3) = \rho + c(dT - dt) + \lambda_1 [\kappa_1 N(L1) + \kappa_2 N(L2)] + d_{trop}$$

$$\kappa_1 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} = 2.546, \kappa_2 = \frac{-f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} = -1.984$$

- μετρήσεις απαλλαγμένες από ιονοσφαιρικές επιδράσεις
- Δεν υπάρχει αβεβαιότητα στη φάση με μορφή ακεραίων
- Τα συστηματικά σφάλματα που δεν εξαρτώνται από τη συχνότητα μεταβάλλονται
- Θόρυβος τριπλασιάζεται

CRETE UNIVERSITY HERAKLON
 GEOMATICS
 ENGINEERING
 URS - PORTAL



Μετρήσεις απαλλαγμένες γεωμετρίας



$$\begin{aligned}\Phi(L4) &= \Phi(L1) - \Phi(L2) = \\ &= \lambda_1 N(L1) - \lambda_2 N(L2) - [d_{\text{geo}}(L1) - d_{\text{geo}}(L2)]\end{aligned}$$

- Διαφορές παρατηρήσεων σε L1 και L2 σε μονάδες μήκους
- Συστηματικά σφάλματα που δεν εξαρτώνται από συχνότητα απαλείφονται
- Γεωμετρική απόσταση εξαλείφεται
- Χρήσιμη για παρατήρηση ιονόσφαιρας και ποιοτικό έλεγχο μετρήσεων για ανίχνευση ολίσθησης κύκλων

CREATE IMMAGINARY RECORD
CERN
EURESC I
IERS - BONTM



Συνδυασμοί ευρέος και στενού πλέγματος (wide and narrow lane)



- Ευρύ πλέγμα (Wide Laning)

$$\begin{aligned}\Phi(L5) &= \lambda_3 [\varphi(L1) - \varphi(L2)] = \\ &= \rho + c(dT - dt) + \lambda_3 [N(L1) - N(L2)] - \\ &\quad - \lambda_3 \left[\frac{d_{\text{geo}}(L1)}{\lambda_1} - \frac{d_{\text{geo}}(L2)}{\lambda_2} \right] - \\ &\quad - \lambda_3 \left[\frac{d_{\text{trop}}}{\lambda_1} - \frac{d_{\text{trop}}}{\lambda_2} \right]\end{aligned}$$

- όπου

$$\lambda_3 = \frac{c}{f_1 - f_2} \cong 0,86 \text{ cm}$$

- Στενό πλέγμα (narrow Laning)

$$\begin{aligned}\Phi(L6) &= \lambda_6 [\varphi(L1) + \varphi(L2)] = \\ &= \rho + c(dT - dt) + \lambda_6 [N(L1) + N(L2)] - \\ &\quad - \lambda_6 \left[\frac{d_{\text{geo}}(L1)}{\lambda_1} + \frac{d_{\text{geo}}(L2)}{\lambda_2} \right] - \\ &\quad - \lambda_6 \left[\frac{d_{\text{trop}}}{\lambda_1} + \frac{d_{\text{trop}}}{\lambda_2} \right]\end{aligned}$$

- όπου

$$\lambda_6 = \frac{c}{f_1 + f_2} \cong 0,11 \text{ cm}$$

CREATE IMMAGINARY RECORD
CERN
EURESC I
IERS - BONTM



Κεφάλαιο 6: Επεξεργασία μετρήσεων GPS

Στέλιος Π. Μερτίκας
Καθηγητής

ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ



Δεδομένα από GPS



- Τα δεδομένα από GPS θα πρέπει να μεταφερθούν, αρχειοθετηθούν από δέκτες σε υπολογιστή.
- Επεξεργασία αρχίζει με μετρήσεις σε περιόδους (sessions), όταν στοιχεία από διαφορετικούς δέκτες συλλέγονται σε κεντρική μονάδα επεξεργασίας.
- Διαφορετικοί δέκτες δημιουργούν ένα ή πολλά αρχεία ανά περίοδο μετρήσεων σε συγκεκριμένο format (RINEX)
- Επεξεργασία σε δεδομένα φάσης δεν ξεκινά αμέσως. Πρώτα προ-επεξεργασία (απαλοιφή ολίσθησης κύκλων) και εν συνεχεία διαφορές μεταξύ δεδομένων.

ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΟ ΜΕΤΡΩΝ



RINEX Format



- Receiver INdependent EXchange, RINEX
- Format ανταλλαγής δεδομένων για γεωδαιτικές εφαρμογές. Συλλογή στοιχείων σε διεθνή κλίμακα από διαφορετικές εργασίες με διαφορετικούς δέκτες.
- Υιοθετημένο ως πρότυπο format.
- Περισσότεροι δέκτες δημιουργούν δεδομένα στο Format RINEX.
- Περισσότερα επαγγελματικά προγράμματα λογισμικού εισάγουν στοιχεία σε RINEX.
- Επεξεργασία δεδομένα από διαφορετικές εργασίες πεδίου με διαφορετικούς δέκτες σε ένα λογισμικό.

CREATE IMMEDIATE RECORD

COMMENT

ENDMSG 1

MSG - NORTH



RINEX Format



- Observation File

```
-----110-----210-----310-----410-----510-----610-----710-----810
PASADENA CA 91109 USA 1 LOGOS:JPLGPS COMMENT
TIDB JET PROPULSION LABORATORY OBSERVER / AGENCY
DSN DSN ROGUE DSN ROGUE SOFTWARE REC # / TYPE / VERS
2 D. AND M. C146-6-1 ANT # / TYPE
-4460853.8350 2682467.2310 -3674736.3630 APPROX POSITION XYZ
0.00000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
5 C1 L1 L2 P1 P2 # / TYPES OF OBSERV
30 INTERVAL
92 7 26 6 52 30.000000 TIME OF FIRST OBS
92 7 26 23 59 30.000000 TIME OF LAST OBS
22333042.96600 -12176065.17700 -9487835.16600 22333025.72200 22333027.39100
22934353.22700 -7227959.70200 -5632169.61500 22934338.21900 22934340.52000
20485466.29600 -23339757.04000 -18186808.56800 20485447.35300 20485447.55500
20609091.79300 -20568272.40900 -16027208.73300 20609081.52200 20609081.81200
23894196.98000 154816.73100 120640.79300 23894184.83300 23894185.36800
92 7 26 6 53 0.000000 0 6 2 11 16 18 19 28
22315737.73400 -12267004.73700 -9558697.09700 22315720.51000 22315722.15200
22922104.35200 -7292336.30500 -5682333.14300 22922087.79100 22922090.09510
23641617.41410 -3724083.52810 -2901879.61310 23641605.66310 23641608.09510
20491946.68000 -23305701.79300 -181460272.01900 20491927.79600 20491927.80600
20609475.02700 -20566263.57700 -16025643.39900 20609463.71700 20609463.99400
23903831.76500 205446.05300 160092.21000 23903819.21500 23903820.15300
-----110-----210-----310-----410-----510-----610-----710-----810
ENDMSG 1
```

MSG - NORTH



RINEX Format



Navigation Message File

```

-----110-----210-----310-----410-----510-----610-----710-----810
1
NAVIGATION DATA
RINEX VERSION / TYPE
DMD_TO_RINEX v1.5 JET PROPULSION LAB, 92-07-27 16:50:22 PGM / RUN BY / DATE
FILES OBTAINED FROM THIRD PARTIES MAY NOT BE IDENTICAL TO COMMENT
THE LATEST AVAILABLE FROM JPL. FOR INFORMATION CONTACT: COMMENT
THOMAS G. LOCKHART | PHONE (818)354-6102 COMMENT
NASA/JPL M/S 238-625 | FAX (818)393-4965 COMMENT
4800 OAK GROVE DRIVE | EMAIL jplgps@logos.dnet.nasa.gov COMMENT
PASADENA CA 91109 USA | LOGOS::JPLGPS COMMENT
26 92 7 26 8 51 44.0 1.635868102312D-06-3.410605131648D-13 0.000000000000D+00
2.170000000000D+02 1.128125000000D+01 4.738768932810D-09 5.863412966114D-02
4.898756742477D-07 6.141674217768D-03 9.039416909218D-06 5.153610269547D+03
3.190400000000D+04 -7.636845111847D-08 -1.371976967685D+00 -4.470348358154D-08
9.603279283700D-01 2.067812500000D+02 -1.491259472097D+00 -8.059264366977D-09
-4.760912775126D-10 1.000000000000D+00 6.550000000000D+02 0.000000000000D+00
3.200000000000D+01 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 2.170000000000D+02
15 92 7 26 8 51 44.0 -2.961605787277D-07 -4.547473508865D-13 0.000000000000D+00
3.000000000000D+01 -5.693750000000D+01 4.155887189938D-09 1.478679355308D+00
-2.870336174965D-06 7.184803485870D-03 1.033581793308D-05 5.153687067032D+03
3.190400000000D+04 1.918524503708D-07 2.862619155647D+00 5.215406417847D-08
9.620121289009D-01 1.818437500000D+02 1.902453767716D+00 -7.588887740440D-08
4.989493818108D-10 1.000000000000D+00 6.550000000000D+02 0.000000000000D+00
3.200000000000D+01 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 3.000000000000D+01
-----110-----210-----310-----410-----510-----610-----710-----810

```

END - RINEX



Παρατηρήσεις διπλών διαφορών



$$\begin{aligned}
 \nabla \Delta \Phi(T) &= \Phi_{12}^{8,9}(T) = \nabla \Phi_2(T) - \nabla \Phi_1(T) = \\
 &= \{\Phi_2^9(T) - \Phi_2^8(T)\} - \{\Phi_1^9(T) - \Phi_1^8(T)\} = \\
 &= (\rho_1^8 - \rho_1^9 - \rho_2^8 + \rho_2^9) + \\
 &+ \lambda(N_1^8 - N_1^9 - N_2^8 + N_2^9)
 \end{aligned}$$

- Παράδειγμα ανάλυσης παρατήρησης

$$\Phi_2^9(T) = \rho_2^9(\tau^9) + d\rho + c(dt(\tau^9) - dT) + \lambda N_2^9 - d_{ion}^9 + d_{trop}^9 + \varepsilon(\Phi)$$

$$\Phi_2^8(T) = \rho_2^8(\tau^8) + d\rho + c(dt(\tau^8) - dT) + \lambda N_2^8 - d_{ion}^8 + d_{trop}^8 + \varepsilon(\Phi)$$

- Εξίσωση αντιστοιχεί σε βάση 1-2 και δορυφόρους 8-9.
- Ατμοσφαιρικά, δορυφορικά κλπ. σφάλματα έχουν ελαττωθεί με διαφορές μεταξύ δεκτών 1 και 2.
- Σφάλματα χρονόμετρων εξαλήφθησαν.
- “Οχληρές” παράμετροι (nuisance parameters) είναι οι διπλές διαφορές ακεραίων στις αβεβαιότητες.

END - RINEX

END - RINEX



Παράδειγμα διπλών διαφορών



- R=2 δέκτες
- s = 4 δορυφόροι
- t = 60 εποχές
- Υπάρχουν 480 μονόδρομες παρατηρήσεις στην περίοδο των μετρήσεων.
- Σε κάθε εποχή υπάρχουν:
 - R s = (2X4)=8 παρατηρήσεις
 - [R (R-1) s (s-1)]/4 πιθανές διπλές διαφορές (6 εδώ)
 - (R-1)(s-1) ανεξάρτητες παρατηρήσεις διπλών διαφορών (3, εδώ)
 - Οι διπλές διαφορές είναι συσχετισμένες
- Παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν:
 - 6 συνιστώσες συντεταγμένων (X₁, Y₁, Z₁, X₂, Y₂, Z₂)
 - 3 παράμετροι αβεβαιότητας (N,N,N)
 - (6+3)=9 συνολικές παραμετροί αλλά επειδή οι συντεταγμένες (X₁, Y₁, Z₁) ενός σταθμού είναι σταθερές έχουμε μόνο 6 παραμέτρους που πρέπει να προσδιοριστούν.

ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΕΑ

ΕΠΙΛΥΣΗ

ΕΠΙΛΥΣΗ

Α.Σ. - Ε.Ε.Τ.Κ.



Παρατηρήσεις τριπλών διαφορών



$$\begin{aligned}
 \delta \nabla \Delta \Phi &= \nabla \Delta \Phi(T + \delta T) - \nabla \Delta \Phi(T) = \\
 &= [\{\Phi_2^9(T') - \Phi_2^8(T')\} - \{\Phi_1^9(T') - \Phi_1^8(T')\}] - \\
 &= [\{\Phi_2^9(T) - \Phi_2^8(T)\} - \{\Phi_1^9(T) - \Phi_1^8(T)\}] = \\
 &= \{\rho_1^8(T') - \rho_1^9(T') - \rho_2^8(T') + \rho_2^9(T')\} - \\
 &= \{\rho_1^8(T) - \rho_1^9(T) - \rho_2^8(T) + \rho_2^9(T)\}.
 \end{aligned}$$

$$T' = T + \delta T$$

- Εξίσωση αντιστοιχεί σε βάση 1-2 και δορυφόρους 8-9 για χρονικές στιγμές T και T + δT.
- Όλες οι αβεβαιότητες έχουν απαλειφθεί

ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΕΑ

ΕΠΙΛΥΣΗ

ΕΠΙΛΥΣΗ

Α.Σ. - Ε.Ε.Τ.Κ.



Παράδειγμα τριπλών διαφορών



- $R=2$ δέκτες
- $s = 4$ δορυφόροι
- $t = 60$ εποχές
- Υπάρχουν 480 μονόδρομες παρατηρήσεις στην περίοδο των μετρήσεων.
- Σε κάθε εποχή υπάρχουν:
 - $R \cdot s = (2 \times 4) = 8$ παρατηρήσεις
 - $[R(R-1) \cdot s(s-1)]/4$ πιθανές διπλές διαφορές (6 εδώ)
 - $(R-1)(s-1)$ ανεξάρτητες παρατηρήσεις διπλών διαφορών (3, εδώ).
 - Οι τριπλές διαφορές είναι συσχετισμένες.
 - 179 ανεξάρτητες παρατηρήσεις τριπλών διαφορών.
- Παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν:
 - 3 συνιστώσες συντεταγμένων ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$).

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ L3 ΑΝΑΤΑΛΛΗΛΗ ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ (N ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΚΕΡΑΙΟΙ).



Παράμετροι και παρατηρήσεις



- Οι τριπλές διαφορές δεν είναι ίσως η καλύτερη μέθοδος επεξεργασίας. Πολλαπλές διαφορές αυξάνουν τα σφάλματα των εξισώσεων παρατήρησης.
- Αξιόπιστος προσδιορισμός παραμέτρων μετά από “παρατεταμένη” διάρκεια μετρήσεων, ώστε να διαχωρίζονται οι αβεβαιότητες N από τις συντεταγμένες.
- Επεξεργασία με την L3 ανατάλληλη για μικρές γεωδαιτικές βάσεις (N δεν είναι ακέραιοι).
- Επαγγελματικά προγράμματα εφαρμόζουν διπλές διαφορές

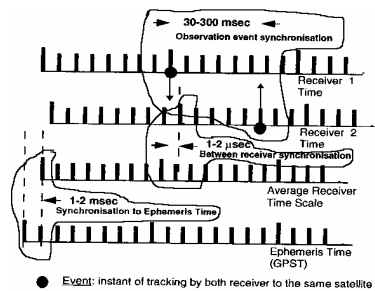
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ L3 ΑΝΑΤΑΛΛΗΛΗ ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ (N ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΚΕΡΑΙΟΙ).



Ταυτόχρονες μετρήσεις;



- Οι μετρήσεις θα πρέπει να συγχρονίζονται με ακρίβεια 30msec ώστε οι παρατηρήσεις προς τους ιδίους δορυφόρους να μπορούν να εξαλείφονται με διαφορές μεταξύ εποχών.
- Οι μετρήσεις θα πρέπει να συγχρονίζονται με ακρίβεια msec ώστε οι παρατηρήσεις να είναι συμβατές μεταξύ δεικτών.
- Οι μετρήσεις θα πρέπει να συγχρονίζονται με ακρίβεια msec ώστε οι παρατηρήσεις να είναι συμβατές με τον χρόνο των δορυφορικών εφημερίδων.



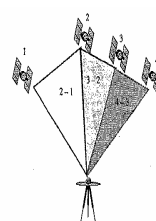
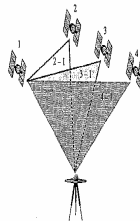
CRETE INNOVATIVE RESEARCH
GROUP
ENGINEERING
LABS - PORTOL



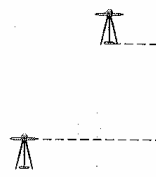
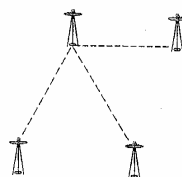
Τεχνικές παρατήρησης



- Διαφορές μεταξύ δορυφόρων



- Διαφορές μεταξύ δεικτών



CRETE INNOVATIVE RESEARCH
GROUP
ENGINEERING
LABS - PORTOL



Μαθηματική συσχέτιση



- Διαφορές παρατηρήσεων δημιουργούν μαθηματικές συσχετίσεις:

- Μεταξύ δορυφόρων

$$\begin{bmatrix} \varphi_2 - \varphi_1 \\ \varphi_3 - \varphi_2 \\ \varphi_4 - \varphi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix}$$

- μεταξύ δορυφόρων με αναφορά τον 1

$$\begin{bmatrix} \varphi_2 - \varphi_1 \\ \varphi_3 - \varphi_1 \\ \varphi_4 - \varphi_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix}$$

- Σφάλματα

$$\Sigma (\nabla \varphi) = D \text{Cov}(\varphi) D^T = \sigma^2 \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

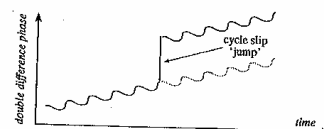
CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
LIFE - BETTER



Επίδραση ολίσθησης κύκλων



One-way Phase Receiver I				Double-Difference
$\phi_1^I(e-2)$	$\phi_2^I(e-2)$	$\phi_1^I(e-2)$	$\phi_1^I(e-2)$	$\Delta \nabla \phi_{12}^{IK}(e-2)$
$\phi_1^I(e-1)$	$\phi_2^I(e-1)$	$\phi_1^I(e-1)$	$\phi_1^I(e-1)$	$\Delta \nabla \phi_{12}^{IK}(e-1)$
$\phi_1^I(e)+S$	$\phi_2^I(e)$	$\phi_1^I(e)$	$\phi_1^I(e)$	$\Delta \nabla \phi_{12}^{IK}(e)+S$
$\phi_1^I(e+1)+S$	$\phi_2^I(e+1)$	$\phi_1^I(e+1)$	$\phi_1^I(e+1)$	$\Delta \nabla \phi_{12}^{IK}(e+1)+S$
$\phi_1^I(e+2)+S$	$\phi_2^I(e+2)$	$\phi_1^I(e+2)$	$\phi_1^I(e+2)$	$\Delta \nabla \phi_{12}^{IK}(e+2)+S$



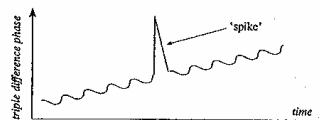
CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
LIFE - BETTER



Επίδραση ολίσθησης κύκλων



One-way Phase Receiver j Receiver i				Double- Difference	Triple- Difference
$\phi_j^{(e-2)}$	$\phi_i^{(e-2)}$	$\phi_j^{(e-2)}$	$\phi_i^{(e-2)}$	$\Delta \nabla \phi_{ji}^{(e-2)}$	
$\phi_j^{(e-1)}$	$\phi_i^{(e-1)}$	$\phi_j^{(e-1)}$	$\phi_i^{(e-1)}$	$\Delta \nabla \phi_{ji}^{(e-1)}$	$\delta \Delta \nabla \phi_{ji}^{(e-2, e-1)}$
$\phi_j^{(e)} + S$	$\phi_i^{(e)}$	$\phi_j^{(e)}$	$\phi_i^{(e)}$	$\Delta \nabla \phi_{ji}^{(e)} + S$	$\delta \Delta \nabla \phi_{ji}^{(e-1, e)} - S$
$\phi_j^{(e+1)} + S$	$\phi_i^{(e+1)}$	$\phi_j^{(e+1)}$	$\phi_i^{(e+1)}$	$\Delta \nabla \phi_{ji}^{(e+1)} + S$	$\delta \Delta \nabla \phi_{ji}^{(e, e+1)}$
$\phi_j^{(e+2)} + S$	$\phi_i^{(e+2)}$	$\phi_j^{(e+2)}$	$\phi_i^{(e+2)}$	$\Delta \nabla \phi_{ji}^{(e+2)} + S$	$\delta \Delta \nabla \phi_{ji}^{(e+1, e+2)}$



CREATE IMMEDIATE RECORD
CERRNO
CERRNO I
LRS - PORTIN



Προ-επεξεργασία για αβεβαιότητες κύκλων



■ Μεθοδολογία

- Ξεχωρίστε τη γραμμή γεωδαιτικής βάσης υπό εξέταση.
- Προσδιορίστε καλές συντεταγμένες (εκ των προτέρων) για τους σταθμούς της βάσης (χρησιμοποιείτε τριπλές διαφορές που ανήχονται άλλοι στους ακέραιους κύκλους)
- Χρησιμοποιείτε μοντέλο της μεταβολής της φάσης σε σχέση με τον χρόνο, ώστε να ανιχνεύσετε τα πιθανά άλματα στους κύκλους.
- Διορθώστε τα. Τριπλές διαφορές προβλέπονται και συγκρίνονται με τα υπολειπόμενα σφάλματα των τριπλών διαφορών.

■ Πιθανές δυσκολίες

- Η διαδικασία πρέπει να γίνεται στην L1, L2 και L3, ανεξάρτητα η μία από την άλλη.
- Περισσότερα άλματα στους κύκλους στην L2.
- Δύσκολη αντιμετώπιση για μεγάλες βάσεις.
- Διόρθωση διπλών διαφορών και όχι πρωτογενών δεδομένων GPS.

CREATE IMMEDIATE RECORD
CERRNO
CERRNO I
LRS - PORTIN



Λύσεις από μετρήσεις φάσης



■ Λύσεις από τριπλές διαφορές:

- Λύση αδύνατη εξαιτίας της συσχέτισης των παρατηρήσεων και τον υψηλό θόρυβο
- Λύση σχετικά απρόσβλητη από άλματα στους ακέραιους κύκλους.
- Παρέχει καλές λύσεις για τις συντεταγμένες.

■ Λύσεις από διπλές διαφορές (χωρίς άλματα στους κύκλους)

- αποτελεί το πρότυπο λύσεων εφόσον πιθανά άλματα ακέραιων κύκλων έχουν διορθωθεί.

- Οι αβεβαιότητες στις διπλές διαφορές θα πρέπει να είναι ακέραιοι αριθμοί N. Από λύση λαμβάνονται οι πιο πιθανοί ακέραιοι και οι συνεχεία διατηρούνται σταθεροί για τις επόμενες λύσεις.

LEA - PORTIN



Πίνακες συµμεταβλητότητας



Vector covariance matrix (m**2):
dx dy dz
dx .524024881196D-04
dy -.309367212090D-04 .273157915704D-04
dz .161871600998D-04 -.159494130893D-04 .166436307607D-04

Correlations:

	dx	dy	dz	trop	bias 1	bias 2	bias 3	bias 4	bias 5
dx	1.000								
dy	-.818	1.000							
dz	-.548	-.748	1.000						
trop	.000	.000	.000	1.000					
bias 1	.000	.000	.000	.000	1.000				
bias 2	.000	.000	.000	.000	.000	1.000			
bias 3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.000		
bias 4	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.000	
bias 5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.000

Note the relation:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

where σ_x = the standard deviation of x
 σ_y = the standard deviation of y
 σ_{xy} = the covariance of x and y

LEA - PORTIN

LEA - PORTIN

LEA - PORTIN

LEA - PORTIN



- Οργάνωση

- Προετοιμασία
 - Συντεταγμένες “εκ των προτέρων”
 - Αρχείο εφημερίδων που θα χρησιμοποιηθεί
 - Στρατηγική επεξεργασίας γραμμής βάσης
- Επιλογή δυνατοτήτων
 - τυπικές αποκλίσεις σ για παραμέτρους και μετρήσεις
 - κριτήρια για απόρριψη δεδομένων
 - μαθηματική αυστηρότητα
 - κρίσιμη γωνία ύψους δορυφόρων (mask angle)

- Επεξεργασία

- Σχηματίσατε εξισώσεις παρατήρησης και κανονικές εξισώσεις
- Αντιστρέψτε πίνακα κανονικών εξισώσεων
- Επαναλάβετε διαδοχικές προσεγγίσεις;
- Προσδιορίσατε αβεβαιότητας κύλων;
- επανάληψη λύσης;

- Παραδοτέα

- Καρτεσιανές συνταγμένες (X,Y,Z) ή (φ,λ,h) στο WGS-84
- συνιστώσες γεωδαιτικής βάσης (ΔX, ΔY, ΔZ)
- πίνακες συμμεταβλητότητας αποτελεσμάτων

CHIEF INNOVATIVE REGION
CHUNG
EMERIC I
LEE - NORTH



Ο πίνακας A ($Ax = 1$)



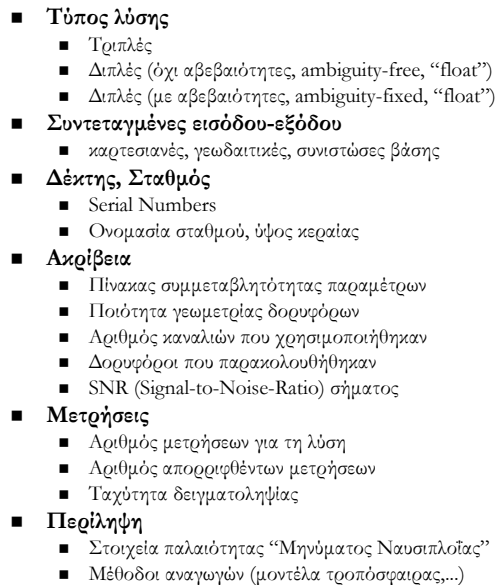
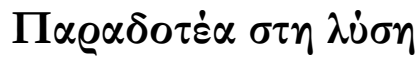
Example:

For one epoch $\rightarrow r = 3, s = 5$

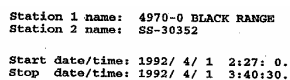
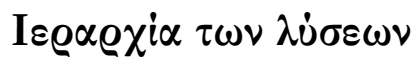
$$K_{12}^{6-9} = N_1^6 - N_1^9 - N_2^6 + N_2^9$$

[illegible]

**CHIEF INNOVATIVE REGION
CHINA
EMERIS
U.S. - FORTH**



**CHIEF INNOVATIVE REGION
COUNCIL
EMERG 1
U.S. - NORTH**



Triple-difference solution:

	<i>Solution</i>	<i>Sigma</i>
dx (m)	-56.248	.102
dy (m)	-1570.040	.041
dz (m)	-652.773	.036
distance (m)	1701.2645	.038

Double-difference ambiguity-free solution:

	<i>Solution</i>	<i>Sigma</i>
dx (m)	-56.458	.027
dy (m)	-1569.974	.011
dz (m)	-652.843	.008
amb 1 (cyc)	.041	.046
amb 2 (cyc)	.002	.031
amb 3 (cyc)	.934	.058
distance (m)	1701.2371	.010

Double-difference ambiguity-fixed solution:

	<i>Solution</i>	<i>Sigma</i>
dx (m)	-56.484	.007
dy (m)	-1569.973	.005
dz (m)	-652.851	.004
distance (m)	1701.2410	.004

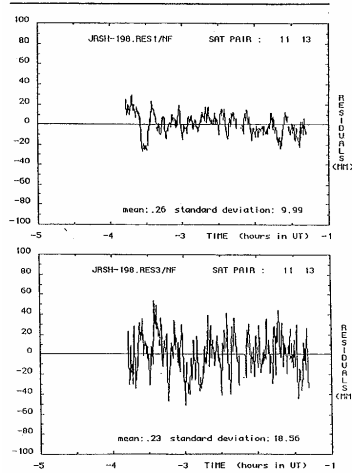
**CHIEF EXECUTIVE OFFICER
CHINA
ENEMY
U.S. SOUTH**



Σύγκριση λύσεων για 16 km βάση



L1 VERSUS L3 RESIDUALS



16 km baseline
Allan Kousberg, University of New Brunswick, May 1990

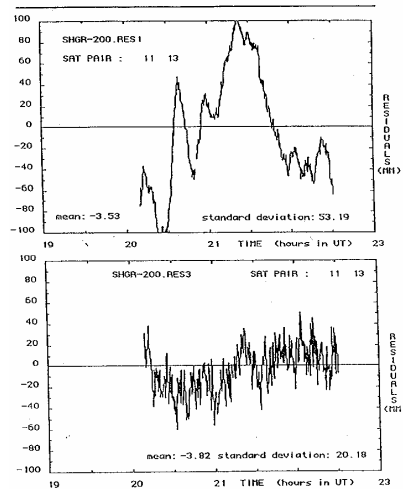
CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CENTERS
EMERGENT
LEADS - FORTH



Σύγκριση λύσεων για 120 km βάση



L1 VERSUS L3 RESIDUALS



CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CENTERS
EMERGENT
LEADS - FORTH



Κεφάλαιο 7: Προσδιορισμός αβεβαιοτήτων στο GPS

Στέλιος Π. Μερτίκας
Καθηγητής

ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ
ΕΠΙΛΟΓΗΣ
ΕΠΙΛΟΓΗΣ I
ΕΠΙΛΟΓΗΣ II



Τι είναι ανάλυση αβεβαιότητας



- Η μαθηματική διαδικασία της μετατροπής των αβέβαιων αποστάσεων (μετρήσεις φάσης με ολοκλήρωση) σε σαφείς μετρήσεις αποστάσεων ακρίβειας mm.
- Σε συμβατικό γεωδαιτικό GPS αντιστοιχεί στη μετατροπή των παραμέτρων αβεβαιότητας στους κύκλους στη φάση (πραγματικοί αριθμοί) στους πιθανούς ακέραιους αριθμούς.
- Σε σύγχρονο γεωδαιτικό εντοπισμό με GPS αντιστοιχεί στον προσδιορισμό του πιο πιθανού συνόλου ακεραίων τιμών πολλών εναλλακτικών λύσεων.
- Τρόπος;
 - Τιμές για τις παραμέτρους των αβεβαιοτήτων δίνονται εκ των προτέρων.
 - Αλγόριθμοι προσδιορισμού των πιο πιθανών ακεραίων τιμών
 - Αλγόριθμοι επιλογής του καλύτερου συνδυασμού ακεραίων τιμών.

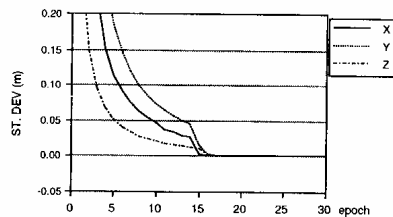
ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ
ΕΠΙΛΟΓΗΣ
ΕΠΙΛΟΓΗΣ I
ΕΠΙΛΟΓΗΣ II



Γιατί να προσδιοριστούν οι αβεβαιότητες;



- Βελτιώνουν την ακρίβεια των εκτιμώμενων γεωδαιτικών παραμέτρων



- Ακολουθιακή εκτίμηση
- Δοκιμές για τον προσδιορισμό αβεβαιοτήτων σε κάθε εποχή
- Μετά από 15 εποχές επιτυγχάνεται προσδιορισμός

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΓΕΩΜΑΤ



Παράμετροι αβεβαιοτήτων εκ των προτέρων



- Παρέχονται από λύση διπλών διαφορών στη φάση
 - Πραγματικές τιμές + πίνακας μεταβλητότητας
 - Αξιοπιστία ανάλογη του μήκους της βάσης, γεωμετρίας δορυφόρων-δέκτη, διάρκεια της περιόδου μέτρησης
 - Επηρεάζεται από πολυκλαδικές επιδράσεις, συστηματικά σφάλματα και άλματα στους αέριους κύκλους.
- Σύγχρονες τεχνικές και εναλλακτικές λύσεις
 - Προσδιορίζονται οι αβεβαιότητες με μετρήσεις ψευδο-αποστάσεων

$$\nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(T) - \nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(T) = \lambda(N_1^8 - N_1^9 - N_2^8 + N_2^9)$$

- Χρησιμοποιήσατε άλλα στοιχεία όπως γνωστό μήκος βάσης:

$$\nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(T) - [\rho_1^8(t_1) - \rho_1^9(t_1) - \rho_2^8(t_2) + \rho_2^9(t_2)] = \lambda(N_1^8 - N_1^9 - N_2^8 + N_2^9)$$

$$N_{1,2}^{8,9} \equiv (N_1^8 - N_1^9 - N_2^8 + N_2^9)$$

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΓΕΩΜΑΤ



Σχέσεις διπλών συχνοτήτων στη φάση



- Διπλές διαφορές σε L1 & L2

$$\nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L1; T) = \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \lambda_1 N_{1,2}^{8,9}(L1) - \nabla \Delta d_{ion}(L1)$$

$$\nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L2; T) = \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \lambda_2 N_{1,2}^{8,9}(L2) - \nabla \Delta d_{ion}(L2)$$

$$\lambda_1 = 19,03 \text{ cm και } \lambda_2 = 24,04 \text{ cm}$$

- Συχνότητα L3 (όχι ιονόσφαιρα)

$$\nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L3; T) = \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \lambda_1 [\kappa_1 N_{1,2}^{8,9}(L1) + \kappa_2 N_{1,2}^{8,9}(L2)]$$

$$\Phi(L3) = \lambda_1 [\kappa_1 \varphi(L1) + \kappa_2 \varphi(L2)]$$

$$\Phi(L3) = \rho + c(dT - dt) + \lambda_1 [\kappa_1 N(L1) + \kappa_2 N(L2)] + d_{trop}$$

$$\kappa_1 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} = 2,546; \kappa_2 = \frac{-f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} = -1,984$$

CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
UNIVERSITY OF BATH



Σχέσεις διπλών συχνοτήτων στη φάση



- Ευρύ πλέγμα (Wide Laning $\lambda_5 = 0,86\text{m}$)

$$\begin{aligned} \nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L5; T) &= \lambda_5 [\nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L1; T) - \nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L2; T)] = \\ &= \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \lambda_5 [N_{1,2}^{8,9}(L1) - N_{1,2}^{8,9}(L2)] - \\ &- \lambda_5 \left[\frac{\nabla \Delta d_{ion}(L1)}{\lambda_1} - \frac{\nabla \Delta d_{ion}(L2)}{\lambda_2} \right] \end{aligned}$$

$$\lambda_5 = \frac{c}{f_1 - f_2} \cong 0,86\text{m}$$

- Στενό πλέγμα (Narrow lane $\lambda_6 = 0,11\text{m}$)

$$\begin{aligned} \nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L6; T) &= \lambda_6 [\nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L1; T) + \nabla \Delta \Phi_{1,2}^{8,9}(L2; T)] = \\ &= \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \lambda_6 [N_{1,2}^{8,9}(L1) + N_{1,2}^{8,9}(L2)] - \\ &- \lambda_6 \left[\frac{\nabla \Delta d_{ion}(L1)}{\lambda_1} + \frac{\nabla \Delta d_{ion}(L2)}{\lambda_2} \right] \end{aligned}$$

$$\lambda_6 = \frac{c}{f_1 + f_2} \cong 0,11\text{m}$$

CREATE INNOVATIVE RESEARCH
CHANGING
ENGINEERING
UNIVERSITY OF BATH



Σχέσεις διπλών συχνοτήτων στην απόσταση



- Διπλές διαφορές σε L1 & L2

$$\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L1;T) = \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \nabla \Delta d_{ion}(L1)$$

$$\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L2;T) = \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \nabla \Delta d_{ion}(L2)$$

- Συχνότητα L3

$$\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L3;T) = \kappa_1 \nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L1;T) + \kappa_2 \nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L2;T) = \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T)$$

$$\kappa_1 = 2,546; \quad \kappa_2 = -1,984$$

- Συχνότητα L4:

$$\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L4;T) = \nabla \Delta d_{ion}(L1) - \nabla \Delta d_{ion}(L2)$$

- Ευρύ πλέγμα (Wide Laning $\lambda_5 = 0,86\text{m}$)

$$\begin{aligned} \nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L5;T) &= \lambda_5 \left[\frac{\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L1;T)}{\lambda_1} - \frac{\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L2;T)}{\lambda_2} \right] = \\ &= \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \lambda_5 \left[\frac{\nabla \Delta d_{ion}(L1)}{\lambda_1} - \frac{\nabla \Delta d_{ion}(L2)}{\lambda_2} \right] \end{aligned}$$

CREATE INNOVATIVE RESEARCH
 CHAIR
 ENGINEERING
 U.S. - PORTUGAL



Σχέσεις διπλών συχνοτήτων στην απόσταση



- Στενό πλέγμα (Narrow lane $\lambda_6 = 0,11\text{m}$)

$$\begin{aligned} \nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L6;T) &= \lambda_6 \left[\frac{\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L1;T)}{\lambda_1} + \frac{\nabla \Delta P_{1,2}^{8,9}(L2;T)}{\lambda_2} \right] = \\ &= \nabla \Delta \rho_{1,2}^{8,9}(T) + \lambda_6 \left[\frac{\nabla \Delta d_{ion}(L1)}{\lambda_1} + \frac{\nabla \Delta d_{ion}(L2)}{\lambda_2} \right] \end{aligned}$$

CREATE INNOVATIVE RESEARCH
 CHAIR
 ENGINEERING
 U.S. - PORTUGAL

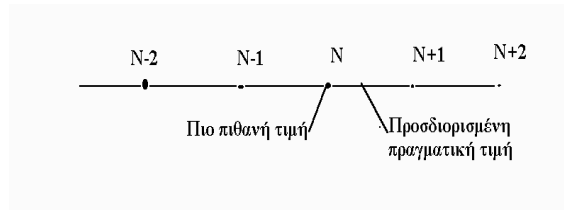


Αναζήτηση συνόλου ακέραιων αβεβαιοτήτων



- Υποθέτοντας πραγματικούς αριθμούς, όπως προκύπτουν από διπλές διαφορές

- Υιοθετήσατε τιμή προς πλησιέστερο ακέραιο.
- Παίρνετε ακέραιους και από τις δύο πλευρές.



- Παράδειγμα

- Αριθμός N αβεβαιοτήτων από διπλές διαφορές (π.χ. 5)
- Αριθμός r ακέραιων υποψηφίων αριθμών για κάθε αβεβαιότητα
- Απαιτούνται

$$P = n(n-1) \dots (n-r+1) = \frac{n!}{(n-r)!}$$

URS - PORTIN



Συνδυαστική Ανάλυση



- Μετάθεση

- Αν 5 διακεκριμένα αντικείμενα

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$$

Ορίζουμε μετάθεση των 5 ($=n$) αντικειμένων κάθε διατεταγμένη πεντάδα σε κάθε μία των οποίων κάθε αντικείμενο λαμβάνεται μία φορά.

$$M=5!$$

- Διάταξη

- Αν 5 ($=n$) διακεκριμένα αντικείμενα

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$$

Ορίζουμε διάταξη των 5 ($=n$) αντικειμένων ανά 3 ($=r$), κάθε διατεταγμένη τριάδα από 3 διακεκριμένα αντικείμενα ληφθέντων εκ των 5.

- Διατάξεις των 5 ανά 3.

$$P=n(n-1) \dots (n-r+1) = \frac{n!}{(n-r)!}$$

URS - PORTIN



CHIEF INNOVATIVE REGION
CHUNG
EMERIC I
LEE - NORTH



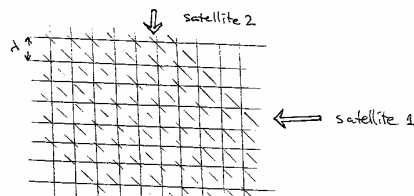
**CHIEF INNOVATIVE RESEARCH
GRANTS
SERIES I
U.S. EARTH**



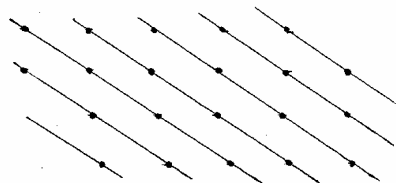
Μέτωπα κύματος σε αβεβαιότητες



- Παράδειγμα αβεβαιότητας: Μέτωπα κύματος αβεβαιοτήτων από δορυφόρους 8 & 9.



- Αβεβαιότητες από διπλές διαφορές των δορυφόρων 1&2



CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEMINO
EMERG 1
LBS - NORTH



Συνδυασμοί μετώπων κύματος



- Το σωστό ζεύγος των ακέραιων αβεβαιοτήτων αντιστοιχεί στην τομή των πλεγμάτων



CREATE IMMAGINARY RESEARCH
GEMINO
EMERG 1
LBS - NORTH



Επιλογή του καλύτερου συνόλου ακεραίων της αβεβαιότητας



- Το καλύτερο σύνολο ακεραίων επιλέγεται εκείνο που προσεγγίζει καλύτερα τα δεδομένα:

$$\nabla \Delta \Phi_{i,j}^{k,l}(T) - \nabla \Delta \rho_{i,j}^{k,l}(T) - \lambda N_{i,j}^{k,l} = v_{i,j}^{k,l}(T)$$

- κριτήριο επιλογής είναι το ελάχιστο σφάλμα RSS (root-sum-of-squares)

$$\min(RSS) = \min(\sqrt{\sum v^T P v})$$

- Απαιτείται υπολογισμός των υπολειπόμενων σφαλμάτων $\{v\}$ για κάθε αέριο που εξετάζεται.
- Προϋποθέτει ότι δεν υπάρχουν συστηματικά σφάλματα (ατμόσφαιρα, άλματα στους αέριους κύλινδρους, πολυκλαδικές επιδράσεις...)
- Οι μετρήσεις θα πρέπει να είναι κάποιας διάρκειας ώστε να προκύψουν αξιόπιστες λύσεις.

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Α.Ε.Α. - Ε.Ο.Ε.Τ.Α.



Διατηρώντας τις αβεβαιότητες σταθερές στη λύση



- Συμβατική λύση για τον προσδιορισμό αβεβαιοτήτων είναι λύση του “όλα ή τίποτα”.
- Ο προσδιορισμός αβεβαιότητας μπορεί να είναι μια διαδοχική προσέγγιση:
 - εξασφάλιση και προσδιορισμός των προφανών αβεβαιοτήτων πρώτα και κατόπιν υπολογισμοί για τις υπολειπόμενες αβεβαιότητες
- Συμβατική λύση για τον προσδιορισμό αβεβαιοτήτων δεν χρησιμοποιεί τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας και προφανώς όχι την υπάρχουσα συσχέτιση.
- Διαφορές στις συντεταγμένες μεταξύ λύσεων με σταθερές (fixed) και με μεταβλητές (floated) αβεβαιότητες δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 10cm.
- Πληροφορία ακρίβειας λύσης (VCV-matrix) καλύτερη από τη λύση με σταθερές αβεβαιότητες

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Α.Ε.Α. - Ε.Ο.Ε.Τ.Α.

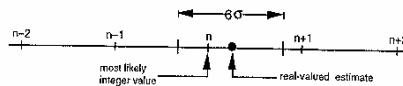


Έλεγχος τιμών με τυπικές αποκλίσεις



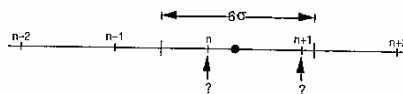
CASE 1: Looks good!

All ambiguities well determined and close to integers:



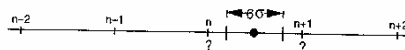
CASE 2: Not so good!

Session not long enough? Poor geometry?



CASE 3: Not so good!

Biased data? Long baseline?



CREATE IMMEDIATE RECORD

CHIRP

CHIRP 1

URS - BOSTON



Προσδιορισμός αβεβαιοτήτων



■ Παράγοντες δυσκολίας

- Αδυναμία διαχωρισμού μεταξύ γεωδαιτικών παραμέτρων και παραμέτρων αβεβαιότητας κύκλων.
- Μη διόρθωση με μοντέλα των συστηματικών σφαλμάτων στα δεδομένα.
- Κακή ποιότητα δεδομένων.
- Κακή γεωμετρία δορυφόρων-δέκτη.
- Κακοί αλγόριθμοι επίλυσης.

■ Μεγαλύτερες πιθανότητες για ανάλυση της αβεβαιότητας όταν:

- Παρατηρήσεις μονής συχνότητας για μικρές βάσεις (10-30 km) (Ιονόσφαιρα).
- Επαρκής διάρκεια μετρήσεων (0,5 - 2 hours).
- Ελαχιστοποίηση παρεμβολών (πολυκλαδικές επιδράσεις, ιονόσφαιρα, κλπ.) Καλές θέσεις παρατήρησης, παρατηρήσεις τη νύχτα;
- Παρατηρήσατε όσο πιο πολλούς δορυφόρους μπορείτε. Καλύτερη γεωμετρία δορυφόρων-δέκτη.
- Παρατηρήσεις σε διπλή συχνότητα για μεγάλες βάσεις.

CREATE IMMEDIATE RECORD

CHIRP

CHIRP 1

URS - BOSTON



Αβεβαιότητες: Να είστε συντηρητικοί



- Δεν μπορείτε να είστε βέβαιοι ποτέ για σωστή λύση. Αλλά, αν έχετε:
 - >1 hour παρατηρήσεις,
 - >4 δορυφόρους
 - μήκος βάσης <20 km
 - και όχι απότομες μεταβολές στο PDOPτότε λύσεις για προσδιορισμό αβεβαιοτήτων αξιόπιστες.
- Όταν αμφιβάλλετε μην εξαναγκάζεται τις αβεβαιότητες να πάρουν ακέραιες τιμές.
- Σε συμβατικό γεωδαιτικό εντοπισμό με GPS η λύση με μεταβλητές αβεβαιότητες επαρκής.
- Σύγχρονες τεχνικές:
 - “rapid static” (Στατικές ταχείας επεξεργασίας),
 - “kinematic” (Κινηματικές)απαιτούν λύση με σταθερές ακέραιες τιμές στις αβεβαιότητες.

ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ

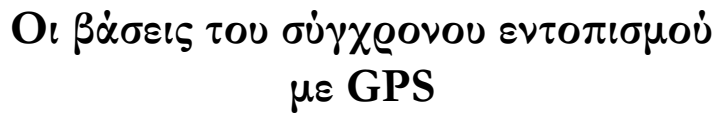


Συμβατικός και σύγχρονος εντοπισμός με GPS

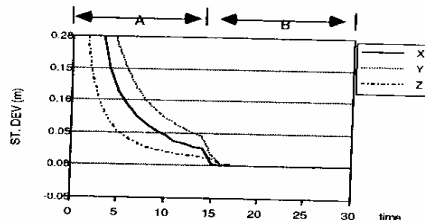


- Συμβατικός εντοπισμός με GPS
 - Τα σημεία, τα οποία πρόκειται να προσδιοριστούν δεν μετακινούνται.
 - Τα δεδομένα GPS που συλλέγονται αντιστοιχούν στην περίοδο παρατήρησης και διαρκούν από 30 min έως ώρες έως ημέρες.
 - Εφαρμόζεται η διαδικασία του σχετικού εντοπισμού.
 - Η αναγωγή των μετρήσεων γίνεται από τα στοιχεία που μεταδίδονται από τους δορυφόρους.
 - Αλγόριθμοι επεξεργασίας ποικίλουν από τριπλές, διπλές διαφορές,...
 - Κυρίως σχετίζονται με χαρτογραφικές και παραδοσιακές γεωδαιτικές εφαρμογές
- Προς το τέλος του 1980 ζητήθηκε:
 - Αν οι κεραίες ήταν σε κίνηση κατά τη διάρκεια των μετρήσεων
 - Αν η διάρκεια των μετρήσεων ήταν πάρα πολύ μικρήτότε απαιτούταν ανάπτυξη νέας τεχνολογίας (σύγχρονος εντοπισμός με GPS)

ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ



- Διαφορετική συμπεριφορά των λύσεων με μεταβλητές και σταθερές αβεβαιότητες και βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού των.



- **Περίπτωση Α**
 - Πώς μπορούμε να κάνουμε τον χρόνο μέχρι τον προσδιορισμό των αβεβαιοτήτων, όσο πιο μικρό γίνεται;
 - Μπορεί η “απόδοση” των αλγορίθμων να βελτιωθεί;
- **Περίπτωση Β**
 - Πώς μπορούμε να συνεχίσουμε τον εντοπισμό με φάση μετά τον προσδιορισμό των αβεβαιοτήτων;
 - Μπορεί ο προσδιορισμός των αβεβαιοτήτων να γίνει εν κινήσει και αυτόματα;



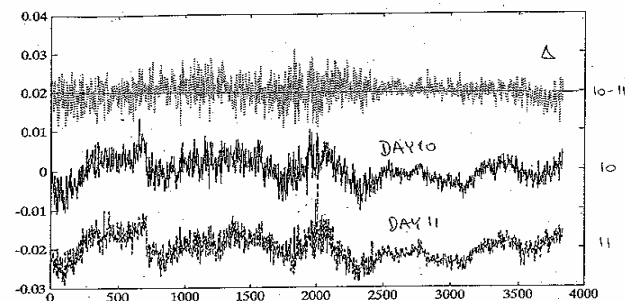
Βελτίωση αλγορίθμων



- Βελτίωση της μεθοδολογίας αναζήτησης αβεβαιοτήτων με στατιστικό έλεγχο, πρωταρχική εξασφάλιση ...
- Διατηρείτε τις βάσεις μικρές.
- Παρακολουθήσατε, όσο πιο πολλούς δορυφόρους μπορείτε.
- Χρησιμοποιήσατε πληροφορία για το διάνυσμα βάσης (ΔX , ΔY , ΔZ) εκ των προτέρων.
- Χρησιμοποιήσατε ακριβή δεδομένα ψευδο-απόστασης (P, C/A κώδικα).
- Χρησιμοποιήσατε L1&L2 και το ευρύ πλέγμα L1/L2 για πρώτο προσδιορισμό αβεβαιοτήτων.



Στατικός σχετικός εντοπισμός



- Μεταβολή του μήκους της βάσης σε m
- Μετρήσεις φάσης
- Επίδραση των πολυκλαδικών επιδράσεων προφανής
- Αλλαγή στους δορυφόρους συνεπάγεται “άλματα” στη λύση
- Λύση με διπλές διαφορές των μετρήσεων φάσης, εφόσον δεν υπάρχουν άλματα στους ακέραιους κύκλους

ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

ΕΠΙΛΥΣΗ

ΕΠΙΛΥΣΗ I

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ



Σύγχρονος εντοπισμός με GPS



- Ταχύς στατικός εντοπισμός (Rapid Static)
- Εντοπισμός “Στάσης-Αναχώρησης” (Stop and Go)
- Ψευδο-κινηματικός εντοπισμός (Pseudo-kinematic)
- Κινηματικός εντοπισμός (Kinematic)

ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

ΕΠΙΛΥΣΗ

ΕΠΙΛΥΣΗ I

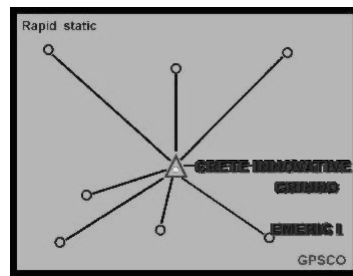
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ



Ταχύς στατικός εντοπισμός



- Στατικός εντοπισμός
 - σε μικρό χρονικό διάστημα μετρήσεων (2-10 min σε σχέση με 0,5 -2 hours) και
 - με ακρίβεια cm (5-10 ppm)
- Ταχύς προσδιορισμός αβεβαιοτήτων N
 - με διπλή συχνότητα στη φάση, αλλά και μετρήσεις κώδικα
 - μικρές βάσεις 20 km
- Δέκτης αναφοράς μετρά συνεχώς, περιπλανώμενος δέκτης μετακινείται από σημείο σε σημείο και “μετρά”.
- Απαιτήση για καλές συνθήκες μέτρησης
 - Χαμηλό GDOP (> 4 δορυφόρους)
 - Μικρές πολυκλαδικές ανακλάσεις
 - Ήσυχη ιονοσφαιρική δραστηριότητα
- Δεν απαιτείται ασφάλιση της φάσης.



U.S. - B.O.R.T.N.



Συμβατικός και ταχύς στατικός εντοπισμός



- Μεγαλύτερη παραγωγικότητα.
- Απαιτείται πολύπλοκο λογισμικό και δέκτες τελευταίας γενιάς.
- Ευαίσθητος σε περιβαλλοντικά και συστηματικά σφάλματα:
 - πολυκλαδικές ανακλάσεις, ατμόσφαιρα
- Λιγότερο ευέλικτος επειδή πρέπει να εξασφαλιστεί ο προσδιορισμός των αβεβαιοτήτων.
- Καλύτερη μεθοδολογία ο συνδυασμός συμβατικού και ταχύ στατικού εντοπισμού

U.S. - B.O.R.T.N.



Διάρκεια μετρήσεων



■ TRIMBLE

- Χρησιμοποιεί ελάχιστα τετράγωνα για τον προσδιορισμό των αβεβαιοτήτων στους ανέριαιους κύκλους N στην φάση
- με μετρήσεις διπλής συχνότητας.
- Για βάσεις <20 km και PDOP <7
 - 4 δορυφόροι για 20+ min
 - 5 δορυφόροι για 10-20 min
 - 4 δορυφόροι για 5-10 min

■ LEICA

- Αλγόριθμος FARA (Fast Ambiguity Resolution Approach)
- Μονής ή διπλής συχνότητας δεδομένα
- Για 4 δορυφόρους και GDOP < 8 συνιστούν:

■ 30 min	10-15Km
■ 10-20min	5-10Km
■ 5-10min	<5Km

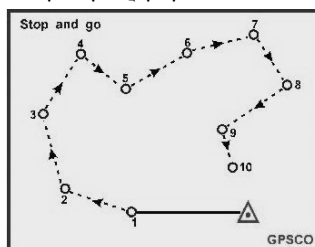
CREATE IMMEDIATE RECORD
CHUNK
ENDMSG I
MSG - R0.0.0.0



Εντοπισμός “Στάσης και αναχώρησης”



- Ακρίβεια cm για <1min
- Δέκτης μετακινείται προσεκτικά από σημείο σε σημείο
- Προσδιορισμός αβεβαιοτήτων στην εκκίνηση
 - ανταλλαγή κεραίων (Antenna swap) ή ταχύ στατικό εντοπισμό για τον προσδιορισμό των αβεβαιοτήτων.
- Κύριο ενδιαφέρον σε στάσιμα σημεία (τροχιά του δέκτη δεν προσδιορίζεται)
- Δέκτης αναφοράς μετρά συνεχώς.
- Περιπλανώμενος δέκτης μετακινείται από σημείο σε σημείο, αλλά πρέπει να διατηρεί ασφάλιση φάσης (phase lock).
- Απαιτούνται καλές συνθήκες μέτρησης.



CREATE IMMEDIATE RECORD
CHUNK
ENDMSG I
MSG - R0.0.0.0



Τεχνικές εκκίνησης



- Προσδιορίσατε τη βάση με συμβατικό στατικό εντοπισμό για $>30\text{min}$
 - χρησιμοποιήσατε τη λύση με προσδιορισμένες σταθερές αβεβαιότητες
- Εναλλαγή κεραίων (antenna swap) (5 min)
 - Οι δύο κεραίες εναλλάσσονται για το ίδιο σταθερό σημείο.
- Παρατήρηση γνωστής βάσης ($<2\text{ min}$)
 - Ευέλικτη και χρήσιμη τεχνική για επανεκκίνηση, όταν υπάρχουν άλματα στη μέτρηση φάσης
- Κινηματικός γεωδαιτικός εντοπισμός χωρίς στατική λύση
 - Προσδιορισμός αβεβαιοτήτων “εν πτήσει” (On-the-fly Ambiguity Resolution)

© 2008 KINEMATIC RESEARCH

U.S. - B.O.T.N.



Μέθοδος εναλλαγής κεραίων (Antenna swap)



- Τοποθετήστε δύο δέκτες τον ένα δίπλα στον άλλο ($<10\text{m}$) και μετρήστε φάση:
 - Διπλές διαφορές

$$\nabla \Delta \Phi_{A,B}^{k,l}(T_1) = \nabla \Delta \rho_{A,B}^{k,l}(T_1) + \lambda N_{A,B}^{k,l}$$
- Εναλλάσσετε τις κεραίες μεταξύ των δύο σημείων A και B, διατηρώντας ασφάλιση στη φάση:

$$\nabla \Delta \Phi_{A,B}^{k,l}(T_2) = \nabla \Delta \rho_{A,B}^{k,l}(T_2) + \lambda N_{A,B}^{k,l}$$
- Αφαιρέστε τις δύο εξισώσεις, για να απαλειφθούν οι αβεβαιότητες:

$$\nabla \Delta \Phi_{A,B}^{k,l}(T_1) - \nabla \Delta \Phi_{A,B}^{k,l}(T_2) = \nabla \Delta \rho_{A,B}^{k,l}(T_1) - \nabla \Delta \rho_{A,B}^{k,l}(T_2)$$
- Προσδιορίσατε τη βάση και χρησιμοποιήστε τη μέθοδο της γνωστής βάσης για τον καθορισμό του λN

© 2008 KINEMATIC RESEARCH

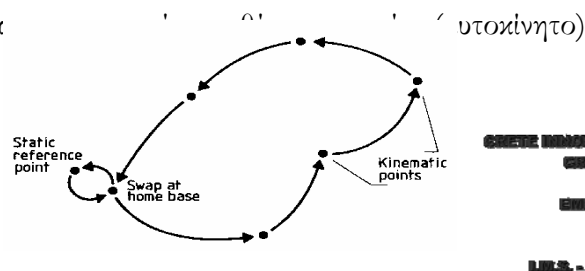
U.S. - B.O.T.N.



Μετακινήσεις μεταξύ σημείων



- Απαιτείται ασφάλιση του σήματος της φάσης καθ' όλη τη διαδρομή.
- Τουλάχιστον 4 δορυφόροι.
- Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός
 - προσδιορισμός παρακάμψεων ώστε να αποφευχθούν δέντρα, γέφυρες, μεγάλα κτήρια,...
- Προσδιορισμός ενδιάμεσων σημείων ελέγχου για πιθανή επανεκκίνηση.
- Κατάλληλη κ



CREATE KINEMATIC CHAINS
 CHAIN
 CHAIN
 CHAIN - BORTON



Μέθοδος “ γνωστής βάσης”



- Αριστερό μέλος της εξίσωσης μόνο γνωστά μεγέθη:

$$\nabla \Phi_{A,B}^k(T) - [\rho_A^k(\tau_A) - \rho_A^j(\tau_A) - \rho_B^k(\tau_B) + \rho_B^j(\tau_B)] = \lambda N_{A,B}^{k,l}$$

- Συνιστώσες της βάσης γνωστές με ακρίβειες καλύτερες από μισό μήκος κύματος ($\sigma < 10$ cm).
- Για να απαλειφθεί ο “θόρυβος” στις μετρήσεις φάσεις συνιστάται παραμονή στη βάση μερικά min.
- Πρέπει πάντα να διατηρείται ασφάλιση του σήματος φάσης (όχι άλματα κύκλων φάσης), καθώς μετακινείται ο δέκτης.
- Αν άλματα κύκλων, όταν σε κίνηση και δορυφόροι > 4 τότε ο δέκτης με το λογισμικό του διορθώνει το σφάλμα.

CREATE KINEMATIC CHAINS
 CHAIN
 CHAIN
 CHAIN - BORTON



Μέθοδος “στάσης και αναχώρησης” (Stop & go)



- Καθορίζονται συντεταγμένες των σταθμών και όχι της τροχιάς του δέκτη.
- Σημεία εδάφους προς εντοπισμό προσδιορίζονται εκ των προτέρων
- Προληπτικά μέτρα
 - ακριβείς μετρήσεις ύψους κεραίας
 - προφυλάξεις με καλώδια κεραίας όταν κινείται ο δέκτης
 - καλές σημειώσεις πεδίου
- Αιολογηθείστε πιστά οδηγίες οργάνου ώστε να καταγράφεται κατάληψη σταθμού, όνομα σταθμού, κλπ.
- Ελέγξατε γεωμετρία δορυφόρων-δέκτη, επειδή επιδρά στον προσδιορισμό συντεταγμένων

ΟΡΓΑΝΟ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ
Λ.Σ. - Ε.Ο.Ε.Τ.Χ.



Μέθοδος “κινηματικού γεωδαιτικού εντοπισμού”



- Real-Time-Kinematic (RTK). Δεδομένα φάσεις που συλλέγονται στον σταθμό αναφοράς μεταδίδονται με πομπό στον περιπλανώμενο σταθμό.
- Μετά την εκκίνηση, αβεβαιότητες υπολογίζονται στο περιπλανώμενο δέκτη χωρίς καθυστέρηση.
- Υπολογισμοί εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο.
- Παραγωγικότητα αυξάνεται, επειδή δεν απαιτείται επεξεργασία εκ των υστέρων.
- Ραδιο-επικοινωνία αρκετά πολύπλοκη.
- Εύκολη και αποτελεσματική διαδικασία.
- Μήκος βάσεων < 20Km.
- Μέτριες ακρίβειες (5-10ppm).
- Απαιτείται ειδικός εξοπλισμός οργάνων και λογισμικό.

ΟΡΓΑΝΟ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ
Λ.Σ. - Ε.Ο.Ε.Τ.Χ.



Όργανα GPS



- Οποιοσδήποτε δέκτης έχει τη δυνατότητα μέτρησης σε “στάση & αναχώρηση”.
- Δέκτες διπλής συχνότητας, κυρίως για μεγάλες βάσεις.
- Εκκίνηση εν πτήση (on-the-fly) απαιτεί ειδικά όργανα και λογισμικό (L1&L2).
- Δέκτες πρέπει να έχουν δυνατότητα για καταγραφή γεγονότων:
 - Πότε δέκτης σε στάση ή κίνηση
 - Ποιο το όνομα του σταθμού, κλπ.
- Πιο σημαντικό στην ποιότητα των δεδομένων
 - στοιχεία χωρίς πολυκλαδικές ανακλάσεις
 - με τον ελάχιστο αριθμό αλμάτων στους κύκλους.
- Καλά σχεδιασμένη η εργασία πεδίου (αναγνώριση απαραίτητη)

ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΕΝΤΡΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

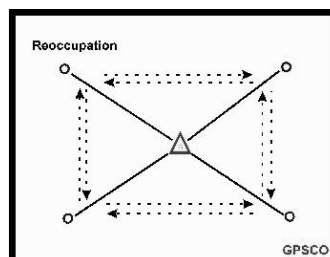
ΔΕΣ. - ΕΡΕΥΝΑ



Ψευδο-κινηματικός εντοπισμός (Re-occupation)



- Ακρίβεια εντοπισμού σε cm με δύο στάσεις ανά σταθμό σε μερικά min.
- Προσδιορισμός αβεβαιοτήτων δυνατός από δύο περιόδους παρατήρησης που απέχουν 1 hour (αλλαγή γεωμετρίας).
- Προσδιορισμός θέσης σταθμών, όχι τροχιάς δέκτη.
- Δέκτης αναφοράς μετρά συνεχώς, ενώ περιπλανώμενος κινείται χωρίς άλματα στους ακέραιους στη μέτρηση φάσης.



ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΕΝΤΡΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ

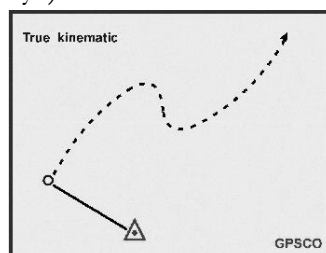
ΔΕΣ. - ΕΡΕΥΝΑ



Κινηματικός εντοπισμός



- Ακρίβεια cm της κινούμενης κεραίας.
- Ξεκινήστε κινηματικό εντοπισμό, αφότου έγινε εκκίνηση με στατικό εντοπισμό, ώστε να προσδιοριστούν αβεβαιότητες ή τεχνικές “εν πτήσει” (“on-the-fly”).
- Προσδιορίζεται η τροχιά του κινητού δέκτη.
- Δέκτης αναφοράς μετρά συνεχώς.
- Δεν απαιτείται ασφάλιση της μέτρησης φάσης για τεχνικές “εν πτήσει” (“on-the-fly”).



CREATE KINEMATIC RECORD
STARTING
ENDING
L.S. - R.O.T.N.



“Στάση & αναχώρηση” σε σχέση με “κινηματικό εντοπισμό”



- **Διαφορές (στον κινηματικό)**
 - Σημεία ενδιαφέροντος σε κίνηση.
 - Απαιτούν τεχνικές επαναπροσδιορισμού των αβεβαιοτήτων χωρίς στάση (O-T-F).
 - Μετρήσεις σε φάση (L1&L2) ή/και κώδικα.
 - Τροχιά κεραίας προβλέπεται με φίλτρα Kalman ή άλλες τεχνικές
 - Στιγμάτα εντοπισμού τουλάχιστον κάθε 1 sec.
 - Μετακινούμενοι δέκτες μπορούν να συνδυαστούν με άλλους αισθητήρες.
- **Ομοιότητες**
 - Προσδιορισμός αβεβαιοτήτων ουσιαστικός
 - Δεν απαιτείται ασφάλιση της μέτρησης φάσης αν αλγόριθμοι για “εν πτήσει” προσδιορισμό αβεβαιοτήτων είναι ευσταθείς.
 - Σταθμός αναφοράς μετρά συνεχώς.

CREATE KINEMATIC RECORD
STARTING
ENDING
L.S. - R.O.T.N.



Σύγχρονες τάσεις στον εντοπισμό



- **Κινηματικός γεωδαιτικός εντοπισμός με GPS χωρίς στατική εκκίνηση.**
 - Ανάλυση της αβεβαιότητας με αλγόριθμους “εν πτήση” (On-The-Fly OTF algorithms)
- **Μεγαλύτερη χρήση των ψευδο-αποστάσεων ακριβείας ως πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα στοιχεία**
 - Κάτι σαν P-κώδικας ή κώδικας C/A ακριβείας
- **Μεγαλύτερη προσοχή στις εφαρμογές της τάξης μικρότερης του m**
 - Ναυσιπλοΐα και γεωδαιτικούς εντοπισμούς με GPS
- **Εντοπισμός με μετρήσεις φάσης σε πραγματικό χρόνο**
 - GPS για GIS , αποτυπώσεις ακριβείας

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ
Λ.Σ. - ΠΟΡΤΟ



Παραδείγματα εντοπισμού

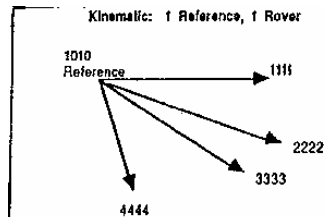


Static - 2 Receivers		Static - 3 Receivers (2 Reference)	
Observation 1010 - 1111	45 min	Observation 1010, 1111, 1011	45 min
Move from 1010 to 2222 (setup)	13 min	Move time and setup	23 min
Observation 1111 - 2222	45 min	Observation 1111, 2222, 3333	45 min
Move from 1111 to 3333 (setup)	16 min	Move time and setup	16 min
Observation 2222 to 3333	45 min	Observation 4444, 3333, 1011	45 min
Move from 2222 to 4444 (setup)	14 min	Move time and setup	22 min
Observation 3333 - 4444	45 min	Observation 1010, 4444, 2222	45 min
Move from 3333 to 1010 (setup)	16 min		
Observation 1010 - 4444	45 min		
	284 min		241 min
Total time: 4 h 44 minutes		Total time: 4 h 01 minutes	

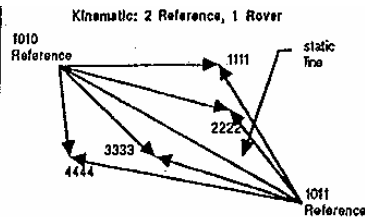
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΓΕΩΜΑΤ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ
Λ.Σ. - ΠΟΡΤΟ



Παραδείγματα



Initialize survey (antenna swap @ station 1010; 4 satellites)	13 min
Move to 1111 (setup)	11 min
Observation 1010 - 1111	1 min
Move to 2222 (setup)	12 min
Observation 1010 - 2222	1 min
Move to 3333 (setup)	11 min
Observation 1010 - 3333	1 min
Move to 4444 (setup)	9 min
Observation 1010 - 4444	1 min
Move to 1111 (setup)	18 min
Reobserve 1111 (as a check)	1 min
	79 min



This method takes less time than the first configuration:

79 minutes - 19 minutes (last reobservation of station 1111) =

68 minutes

Checks: Repeatability. Allows for Free Least Square Adjustment

CHOOSE INSTRUMENTS HERE

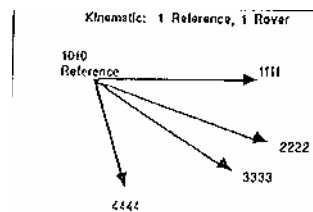
CHOOSE

CHOOSE 1

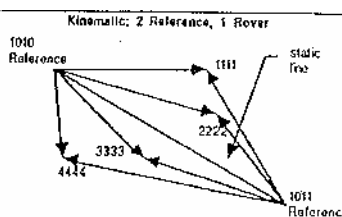
URS - PORTAL



Παραδείγματα



Initialize survey (antenna swap @ station 1010; 4 satellites)	13 min
Move to 1111 (setup)	11 min
Observation 1010 - 1111	1 min
Move to 2222 (setup)	12 min
Observation 1010 - 2222	1 min
Move to 3333 (setup)	11 min
Observation 1010 - 3333	1 min
Move to 4444 (setup)	9 min
Observation 1010 - 4444	1 min
Move to 1111 (setup)	18 min
Reobserve 1111 (as a check)	1 min
	79 min



This method takes less time than the first configuration:

79 minutes - 19 minutes (last reobservation of station 1111) =

68 minutes

Checks: Repeatability. Allows for Free Least Square Adjustment

CHOOSE INSTRUMENTS HERE

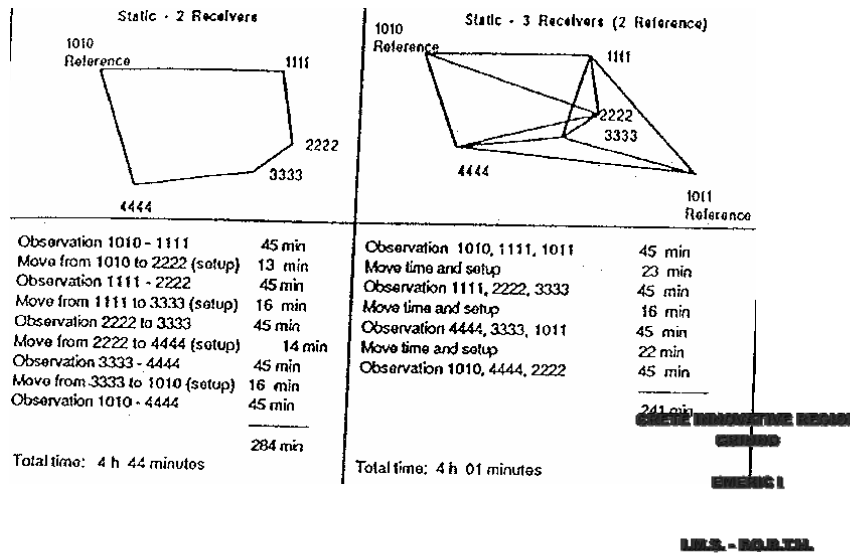
CHOOSE

CHOOSE 1

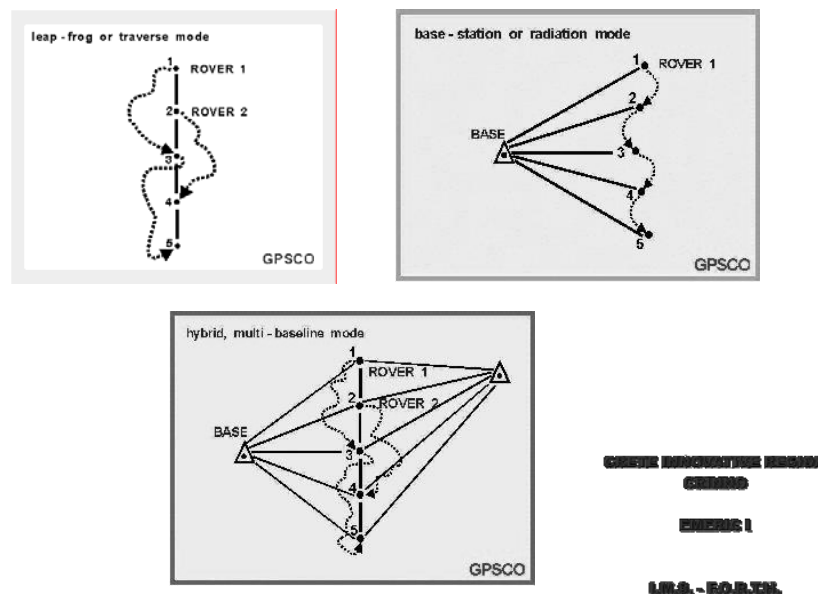
URS - PORTAL



Παραδείγματα



Τεχνικές εργασιών πεδίου με GPS





Κεφάλαιο 8:

Προσδιορισμός αβεβαιοτήτων στη φάση του GPS

Στέλιος Π. Μερτίκας
Καθηγητής

CREATE IMMAGINARY HEADERS
CHAPTER
CHAPTER 1
L1 & L2



Ανάλυση αβεβαιότητας



- **Δύο τεχνικές προσδιορισμού αβεβαιότητας**
 - Μέθοδος της συνάρτησης αβεβαιότητας (Ambiguity Function Method)
 - Αναζήτηση όγκου της πιθανή θέσης που μεγιστοποιεί την τιμή της συνάρτησης αβεβαιότητας
 - Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων
 - Ελάχιστα τετράγωνα στον χώρο της αβεβαιότητας
 - Ελάχιστα τετράγωνα στον χώρο των συντεταγμένων
- **Και οι δύο τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν**
 - Σε πραγματικό χρόνο
 - Στατικό ή κινηματικό εντοπισμό (On-The-Fly)
- **Ρόλος της διπλής συχνότητας στη φάση ή και στις ψευδο-αποστάσεις**
 - Υποβοηθούν στον προσδιορισμό εκ των προτέρων τιμών προς έλεγχο στην L1 & L2.
 - Υποβοηθούν στον προσδιορισμό με γραμμικούς συνδυασμούς L1 & L2.

CREATE IMMAGINARY HEADERS
CHAPTER
CHAPTER 1
L1 & L2



Αναζήτηση αβεβαιοτήτων στον χώρο των μετρήσεων



■ Με μετρήσεις από C-ή P-κώδικα

- Από το ευρύ πλέγμα (Wide-Lane)
 $[\Phi(L1)-\Phi(L2)]$ όπου $\lambda = 86$ cm
- Από το στενό πλέγμα (Narrow-Lane)
 $[\Phi(L1)+\Phi(L2)]$ όπου $\lambda = 11$ cm
- Από το υπέρ-ευρύ πλέγμα (Extra-Wide-Lane)
 $[-3\Phi(L1)+4\Phi(L2)]$ όπου $\lambda = 163$ cm
- Από το μέγιστο πλέγμα (Longest-Wavelength)
 $[-7\Phi(L1)+9\Phi(L2)]$ όπου $\lambda = 14,65$ m
- Αν η βάση είναι μικρή τότε η διαφορική ιονοσφαιρική καθυστέρηση αμελείται και με τον P-κώδικα προσδιορίζονται οι αρχικές αβεβαιότητες των παραπάνω συνδυασμών, εν συνεχεία των αβεβαιοτήτων στα L1 και L2.

■ Με συνδυασμό μετρήσεων απαλλαγμένες ιονόσφαιρας

$$\nabla\Delta(N_{i-1}) = \nabla\Delta\Phi(L1) - \nabla\Delta\Phi(L2) - \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2} \left(\frac{\nabla\Delta R_1}{\lambda_1} + \frac{\nabla\Delta R_2}{\lambda_2} \right)$$

- Απαιτεί ακριβείς μετρήσεις στο P-κώδικα σε L1 & L2
- Στατικός εντοπισμός, post-processing
- Διάρκεια μετρήσεων τουλάχιστον 2 με 3 hours
- Ακρίβεια μπορεί να φτάσει 0,01 pm, όταν συλλεχθούν μετρήσεις μερικών ημερών.

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΕΡΕΥΝΑ

ΕΡΕΥΝΑ

ΕΡΕΥΝΑ - ΕΡΕΥΝΑ



Διαδικασία προσδιορισμού αβεβαιοτήτων



■ Παράμετροι αβεβαιοτήτων «εκ των προτέρων»

- Μπορεί να υπάρχει μόνο ένα σύνολο ή μερικά σύνολα για έλεγχο

■ Μέθοδοι αναζήτησης πιθανών ακεραίων

- Όχι πολύπλοκες, ώστε να μην είναι υπολογιστικά χρονοβόρες
- Όχι υπερβολικά απλές, ώστε να διακινδυνεύεται αξιοπιστία λύσης

■ Μέθοδοι επιλογής και στατιστικού ελέγχου για τον «βέλτιστο» σύνολο ακεραίων

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΕΡΕΥΝΑ

ΕΡΕΥΝΑ

ΕΡΕΥΝΑ - ΕΡΕΥΝΑ



Αβεβαιότητες εκ των προτέρων



■ Μέθοδος “γνωστής βάσης”

- Αριστερό μέλος της εξίσωσης μόνο γνωστά μεγέθη:

$$\nabla \Delta \Phi_{A,B}^{k,l}(T) - [\rho_A^k(\tau_A) - \rho_A^l(\tau_A) - \rho_B^k(\tau_B) + \rho_B^l(\tau_B)] = \lambda N_{A,B}^{k,l}$$

- Συνιστώσες της βάσης γνωστές με ακρίβειες καλύτερες από m (5-10 λ).
- Διπλές διαφορές σε ψευδο-αποστάσεις, για να προσδιοριστεί προσεγγιστικά η βάση.

■ Μέθοδος “ψευδο-αποστάσεων”

$$\nabla \Delta \Phi_{A,B}^{k,l}(T) - \nabla \Delta P_{A,B}^{k,l}(T) = \lambda N_{A,B}^{k,l}$$

- Απαλοιφή “θορύβου” στις ψευδο-αποστάσεις (P-κώδικας ή αξιόπιστα δεδομένα με C/A κώδικα)
- Πολυκλαδικές ανακλάσεις δεν απαλείφονται αν δεν περάσουν 10-15 min.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν γραμμικοί συνδυασμοί L1 & L2 στις ψευδο-αποστάσεις.

CHARTER UNIVERSITY HERIOT-WATT

CHARTER

CHARTER

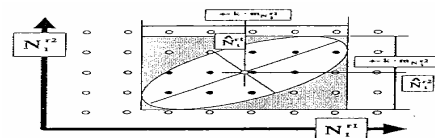
U.S. - NORTH



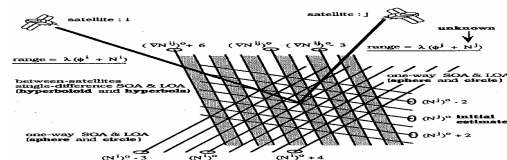
Στρατηγικές αναζήτησης αβεβαιοτήτων



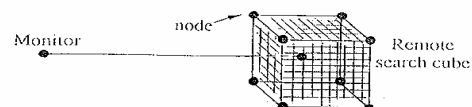
- Στον “χώρο των αβεβαιοτήτων” (Fast Ambiguity Resolution Approach, FARA)



Στον “φυσικό χώρο”



Στον “χώρο της συνάρτησης αβεβαιοτήτων”



CHARTER UNIVERSITY HERIOT-WATT

CHARTER

CHARTER

U.S. - NORTH



Μεθοδολογία αναζήτησης



- Με VCV πίνακα από λύση χωρίς αβεβαιότητες προσδιορίστε το σχήμα της περιοχής έρευνας
- Χρησιμοποιείστε
 - Διπλή συχνότητα της φάσης (ολόκληρο ή μισό L2 σε περίπτωση AS, L5)
 - C/A-κώδικας (L1)
 - P1-P2 (παρατηρήσεις ψευδο-αποστάσεων ελεύθερες γεωμετρίας)
 - P1&P2
- Για να ελαττωθεί η περιοχή έρευνας και ο αριθμός των υποψηφίων τομών για λύση
 - Γεωμετρία δορυφόρων βελτιώνει τη γεωμετρία τομής και/ή ελαττώνει αριθμό τομών
 - Αριθμός δορυφόρων ελαττώνει τον αριθμό των τομών
 - Κριτήρια ελέγχου (είναι οι σωστές τιμές οι καθορισμένες;)
 - Παράγοντες διαταραχών
 - πολυκλαδικές ανακλάσεις
 - ιονόσφαιρα
 - άλματα κύκλων
 - σφάλματα παρατηρήσεων

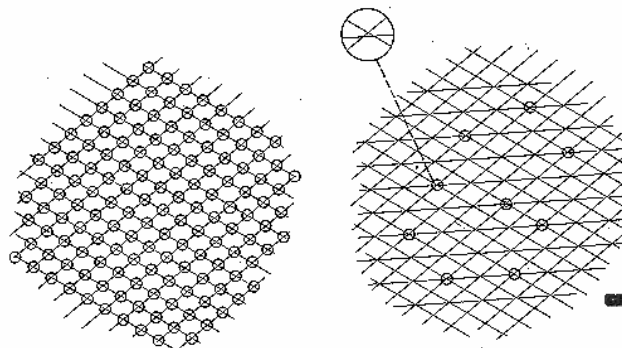
ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ
Ι.Τ.Υ. - Ι.Ε.Π.Τ.Υ.



Μέθοδοι αναζήτησης αβεβαιοτήτων



- Όσο πιο πολλοί δορυφόροι, τόσο καλύτερα δουλεύει η μέθοδος.
- Κάθε επιπλέον δορυφόρος περιορίζει τον αριθμό των πιθανών λύσεων.



○ possible solutions (selection)
⊙ final solution

ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ
Ι.Τ.Υ. - Ι.Ε.Π.Τ.Υ.



Γραμμικοί συνδυασμοί μετρήσεων



- Αν φ_1 και φ_2 μετρήσεις φάσης σε cycles στην L1 και L2:

$$\Phi_{n,m} = n \Phi_1 + m \Phi_2$$

- Η αβεβαιότητα του γραμμικού συνδυασμού

$$N_{n,m} = n N_1 + m N_2$$

- Συχνότητα και μήκος κύματος

$$f_{n,m} = n f_1 + m f_2 \quad \frac{1}{\lambda_{n,m}} = \frac{n}{\lambda_1} + \frac{m}{\lambda_2}$$

- Η εξίσωση της φάσης σε m θα είναι:

$$\Phi_{n,m}[\text{meter}] = \lambda_{n,m} \Phi_{n,m}(\text{cycles}) = \frac{n f_1 \Phi_1 + m f_2 \Phi_2}{n f_1 + m f_2}$$



Γραμμικοί συνδυασμοί μετρήσεων



- Για τις ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις

$$d_{ion(n,m)} = \frac{n f_1 d_{ion(1)} + m f_2 d_{ion(2)}}{n f_1 + m f_2}$$

- Υποθέτοντας ότι

$$d_{ion(i)} \cong \frac{A}{f_i^2}$$

προκύπτει

$$d_{ion(n,m)} = \frac{A}{f_1 f_2} \frac{n f_2 + m f_1}{n f_1 + m f_2}$$

- Συντελεστής κλίμακας της ιονόσφαιρας (ionosphere scale factor, ISF)

$$d_{ion(n,m)} = (ISF) d_{ion(1)} \quad ISF = \frac{f_1}{f_2} \frac{n f_2 + m f_1}{n f_1 + m f_2}$$





Γραμμικοί συνδυασμοί μετρήσεων



- Σφάλμα στο γραμμικό συνδυασμό φάσης

$$\sigma[\Phi_{n,m}] = \lambda_{n,m} \sqrt{n^2 + m^2} \sigma_\phi \text{ (cycles)}$$

$$\sigma[\Phi_{n,m}] = (NSF) \cdot (n L_1 + m L_2) \quad (NSF) = \frac{\lambda_2 \sqrt{n^2 + m^2}}{n \lambda_2 + m \lambda_1}$$

n	m	$\lambda_{n,m}$ in cm	isf	nsf	note
-14	18	732.6	350.4	877.9	very long wavelength
-7	9	1465.3	350.4	877.9	very long wavelength
-3	4	162.8	18.2	42.8	double wide-lane signal
-2	3	56.4	5.5	10.7	
-1	2	34.1	2.8	4.0	semi wide-lane
0	1	24.4	1.6	1.3	L2 signal
1	-1	86.2	-1.3	6.4	wide-lane signal
1	0	19.0	1.0	1.0	L1 signal
1	1	10.7	1.3	0.8	narrow-lane
2	-2	43.1	-1.3	6.4	half wide-lane
4	-3	11.4	0.09	3.0	low ionospheric effects
5	-4	10.1	-0.07	3.4	low ionospheric effects

GEOTECHNICAL ENGINEERING
 GEOMATICS
 GEOMATIC ENGINEERING
 L.S. - R.D.T.



Συνδυασμοί ευρού και στενού πλέγματος



- Wide-lane carrier phase

$$\varphi_\Delta = \varphi_1 - \varphi_2 \text{ (cycles)} \quad N_\Delta = N_1 - N_2$$

- Narrow-lane carrier phase

$$\varphi_\Sigma = \varphi_1 + \varphi_2 \text{ (cycles)} \quad N_\Sigma = N_1 + N_2$$

- Σχέση περιττού και άρτιου αριθμού

$$\text{Av} \quad N_\Delta = (2\kappa) \rightarrow N_\Sigma = (2\nu)$$

$$\text{Av} \quad N_\Delta = (2\kappa+1) \rightarrow N_\Sigma = (2\nu+1)$$

- Αν προσδιοριστεί μία από τις δύο αβεβαιότητες τότε το “χρήσιμο” μήκος κύματος για τον άλλο συνδυασμό διπλασιάζεται:
 ■ Αν $N_\Sigma = N$ προσδιοριστεί τότε το “χρήσιμο μήκος κύματος για τον ευρύ πλέγμα είναι $2\lambda(86,2 \text{ cm}) = 172,4 \text{ cm}$

GEOTECHNICAL ENGINEERING
 GEOMATICS
 GEOMATIC ENGINEERING
 L.S. - R.D.T.



Συνδυασμοί ευρύ και στενού πλέγματος



- Αριθμητικές τιμές στον συνδυασμό φάσης

$$\Phi_A[m] = \lambda_A \varphi_A = \frac{f_1 \Phi_1 - f_2 \Phi_2}{f_1 - f_2} = \frac{154}{34} \Phi_1 - \frac{120}{34} \Phi_2$$

$$\Phi_\Sigma[m] = \lambda_\Sigma \varphi_\Sigma = \frac{f_1 \Phi_1 + f_2 \Phi_2}{f_1 + f_2} = \frac{154}{274} \Phi_1 + \frac{120}{274} \Phi_2$$

- Συνδυασμός ψευδο-αποστάσεων

$$P_A = \frac{f_1 P_1 - f_2 P_2}{f_1 - f_2} = \frac{154}{34} P_1 - \frac{120}{34} P_2$$

$$P_\Sigma = \frac{f_1 P_1 + f_2 P_2}{f_1 + f_2} = \frac{154}{274} P_1 + \frac{120}{274} P_2$$

- Παρατηρήσεις

- Σφάλματα που δεν εξαρτώνται από τη συχνότητα (χρονόμετρα, τροπόσφαιρας, εφημερίδων) είναι ίσα και στη φάση, αλλά και στον κώδικα
- Σφάλματα που εξαρτώνται από τη συχνότητα (ιονόσφαιρας, πολυπλάδια, παρατηρήσεων) τροποποιούνται.

ΟΡΙΣΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΘΕΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΙ

154.2 - 120.274



Ιονοσφαιρικό σήμα



- Εξισώσεις παρατήρησης για ευρύ και στενό πλέγμα:

$$P_A = \rho + d\rho + d_{trop} - d_{ion(A/\Sigma)} + c(dt - dT) + \varepsilon_{mult}(P_A) + \varepsilon(P_A)$$

$$P_\Sigma = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion(A/\Sigma)} + c(dt - dT) + \varepsilon_{mult}(P_\Sigma) + \varepsilon(P_\Sigma)$$

$$\Phi_A = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion(A/\Sigma)} + c(dt - dT) + \lambda_A N_A + \varepsilon_{mult}(\Phi_A) + \varepsilon(\Phi_A)$$

$$\Phi_\Sigma = \rho + d\rho + d_{trop} - d_{ion(A/\Sigma)} + c(dt - dT) + \lambda_\Sigma N_\Sigma + \varepsilon_{mult}(\Phi_\Sigma) + \varepsilon(\Phi_\Sigma)$$

- Ιονοσφαιρικό σήμα

$$\Phi_{ion}[m] = \Phi_\Sigma - \Phi_A$$

$$\Phi_{ion} = -d_{ion(A/\Sigma)} + \lambda_\Sigma N_\Sigma - \lambda_A N_A + \{\varepsilon_{mult}(\Phi_\Sigma) - \varepsilon_{mult}(\Phi_A)\} + \varepsilon$$

$$\Phi_{ion} = -\frac{2f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \{d_{ion(1)} - d_{ion(2)}\} + \lambda_\Sigma N_\Sigma - \lambda_A N_A + \{\varepsilon_{mult}(\Phi_\Sigma) - \varepsilon_{mult}(\Phi_A)\} + \varepsilon$$

ΟΡΙΣΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΘΕΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΙ






ΕΠΙΣΤΑΣΕΙΣ

154.2 - 120.274



Μέθοδοι γεωδαιτικού εντοπισμού



Rapid Static <i>The new technique</i> <i>Short observation times for baselines up to about 15km</i>		<p>Δ Temporary reference station tracks continuously.</p> <p>○ Moving receiver moves from point to point. Short observation times for 5 to 10 min. 1 ppm baseline rms. with 4 or more satellites, good GDOP and favourable ionospheric conditions.</p> <p>Applications</p> <p>Control surveys, densification</p> <p>Replaces traversing and local triangulation.</p> <p>Boundary and detail surveys</p> <p>Any job where many points have to be surveyed quickly</p> <p>Advantages</p> <p>Easy, quick, efficient</p> <p>Only need to maintain lock</p> <p>Switch off and move</p> <p>Conserves battery power</p> <p>GPS for short range survey</p>
Static <i>The classical method</i> <i>For long lines and the highest accuracy</i>		<p>Classical GPS baseline measurement</p> <p>For the highest accuracy</p> <p>And for long lines</p> <p>300m + 1ppm baseline rms</p> <p>Long observation times</p> <p>Standard method for lines over about 20km</p> <p>Applications</p> <p>Geostatic control over large areas</p> <p>National and continental networks</p> <p>Monitoring tectonic movements</p> <p>Advantages</p> <p>More accurate, more efficient and more economical than traditional geodetic methods</p> <p>The only solution for large areas</p>
Stop and Go <i>The fast approach</i> <i>For detail survey</i>		<p>Δ Temporary reference station tracks continuously</p> <p>○ Moving receiver: a few minutes on point 1 for re-densification</p> <p>Then move, maintaining lock on satellites</p> <p>Stop for a few epochs only on detail points 2, 3, 4, ...</p> <p>Accuracy: 1 to 20m + 1ppm baseline rms</p> <p>Applications</p> <p>Detail and engineering surveys in open areas</p> <p>Surveying points that are close together</p> <p>Advantages</p> <p>Fast and economical</p> <p>Checklist way to survey detail points with GPS</p> <p>Lock must be maintained</p>
Reoccupation <i>The reserve mode</i> <i>Combines site occupations</i>		<p>Δ Temporary reference station tracks continuously</p> <p>○ Moving receiver: a few minutes per point</p> <p>Reoccupation after at least one hour</p> <p>Accuracy: 5 to 10mm + 1ppm baseline rms</p> <p>Applications</p> <p>Similar to rapid static</p> <p>Advantages</p> <p>Satellite constellation less critical than with rapid static</p> <p>Results with 4 satellites per site occupation</p> <p>Best method when conditions not suitable for rapid static</p>
True Kinematic <i>The dynamic system</i> <i>For moving platforms</i>		<p>Δ Temporary reference station tracks continuously</p> <p>○ Moving receiver on boat, vehicle etc.</p> <p>A few minutes on starting point for rapid-static fix</p> <p>Then continuous movement</p> <p>Then stop/reoccupation at</p> <p>Applications</p> <p>Measuring trajectory of moving objects</p> <p>Surveying road center lines</p> <p>Hydrographic survey</p> <p>Advantages</p> <p>Fast and economical</p> <p>Continuous movement</p>

CREATE INNOVATIVE RESEARCH
 CHANGING
 ENGINEERING
 LBS - BOLD.TM