



Πανεπιστήμιο
Αιγαίου

Ανοικτά
Ακαδημαϊκά
Μαθήματα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

Διευθυντής: καθηγητής Ι. Ν. Χατζόπουλος



Εισαγωγή στην Τοπογραφία & ΓΣΠ

Καθηγητής Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος

ihat@aegean.gr

http://www.env.aegean.gr/labs/Remote_sensing/Remote_sensing.htm



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ανάπτυξη στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Διάλεξη-10
Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης
GPS

Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης GPS

- **Η θεωρία περιλαμβάνει:**
- Συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης – GPS: NAVSTAR, GLONASS, GALILEO, BEIDOU. Σκοπός και στόχοι: Θέση, ταχύτητα, χρόνος.
- Μέρη από τα οποία αποτελείται το GPS. Υπηρεσία Ακριβούς Εντοπισμού - Precise Positioning Service (PPS). Υπηρεσία Στάνταρ Εντοπισμού - Standard Positioning Service (SPS).
- Τα σήματα των δορυφόρων του GPS και οι πληροφορίες που τα διαμορφώνουν. Τα δεδομένα του GPS εφημερίδας και αλμανάκ. Εντοπισμός και Χρόνος από το GPS.
- Διαμόρφωση συχνότητας με προσθήκη δυαδικού κώδικα. Παρακολούθηση της φάσης του κώδικα (πλοήγηση).
- Πλοήγηση με ψευτοαπόσταση (Pseudo-Range Navigation), αριθμητικό παράδειγμα. GDOP, PDOP, TDOP. Πηγές συστηματικών σφαλμάτων (Bias).
- Διαφορικές τεχνικές GPS (DGPS) με τη φάση του κώδικα - πλοήγηση WAAS/EGNOS. Το σύστημα HEPOS (Hellenic Positioning System). Παρακολούθηση της φέρουσας φάσης (Μετρήσεις), Απλές διαφορές, Διπλές διαφορές, Τριπλές διαφορές.
- Συνήθεις Τοπογραφικές μετρήσεις με τη φέρουσα φάση του GPS. Κινηματική πραγματικού χρόνου (Real Time Kinematic - RTK). Πηγές σφαλμάτων στο GPS. Γεωμετρική ισχύς της ακρίβειας (Geometric Dilution of Precision - GDOP). Ισχυρό και ασθενές GDOP. Κοινός τρόπος μεταφοράς χρόνου.
- **Το εργαστήριο περιλαμβάνει:** Μετρήσεις με GPS.
- **Λέξεις κλειδιά:** GPS, NAVSTAR, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, Θέση, ταχύτητα, χρόνος, PPS, SPS, εφημερίδα, αλμανάκ, διαμόρφωση συχνότητας, φάση κώδικα, πλοήγηση, ψευτοαπόσταση, Pseudo-Range, Navigation, GDOP, PDOP, TDOP, DGPS, WAAS, EGNOS, HEPOS, φέρουσας φάση. Απλές, Διπλές, Τριπλές διαφορές. Real Time Kinematic, RTK.

Τοπογραφία και GPS (Global Positioning System)

- Παρατηρώντας μια μέλισσα εκπλήσσεται κανείς από το γεγονός ότι είναι σε θέση χιλιόμετρα μακριά από την κυψέλη να εντοπίσει άνθη και χρησιμοποιώντας ένα σύστημα πλοήγησης άγνωστο σε μας μπορεί και βρίσκει το δρόμο επιστροφής στην κυψέλη καθώς και τον δρόμο προς τα άνθη που έχει εντοπίσει.
- Ο άνθρωπος μπορεί να μη διαθέτει το σύστημα πλοήγησης που έχει η μέλισσα έχει όμως ένα πολύ εξελιγμένο εγκέφαλο που τον βοηθάει να χρησιμοποιεί και να καταγράφει «σημάδια» στη μνήμη του για την πλοήγηση καθώς και να δημιουργεί τεχνολογικά εργαλεία με τα οποία κάνει πλοήγηση και μετρά το χρόνο με πολύ μεγάλη ακρίβεια.
- Θα πρέπει να τονισθεί ότι πλοήγηση και χρόνος είναι αλληλένδετα διότι πλοήγηση σημαίνει κίνηση και κίνηση σημαίνει ταχύτητα δηλαδή διάστημα ανά μονάδα χρόνου.

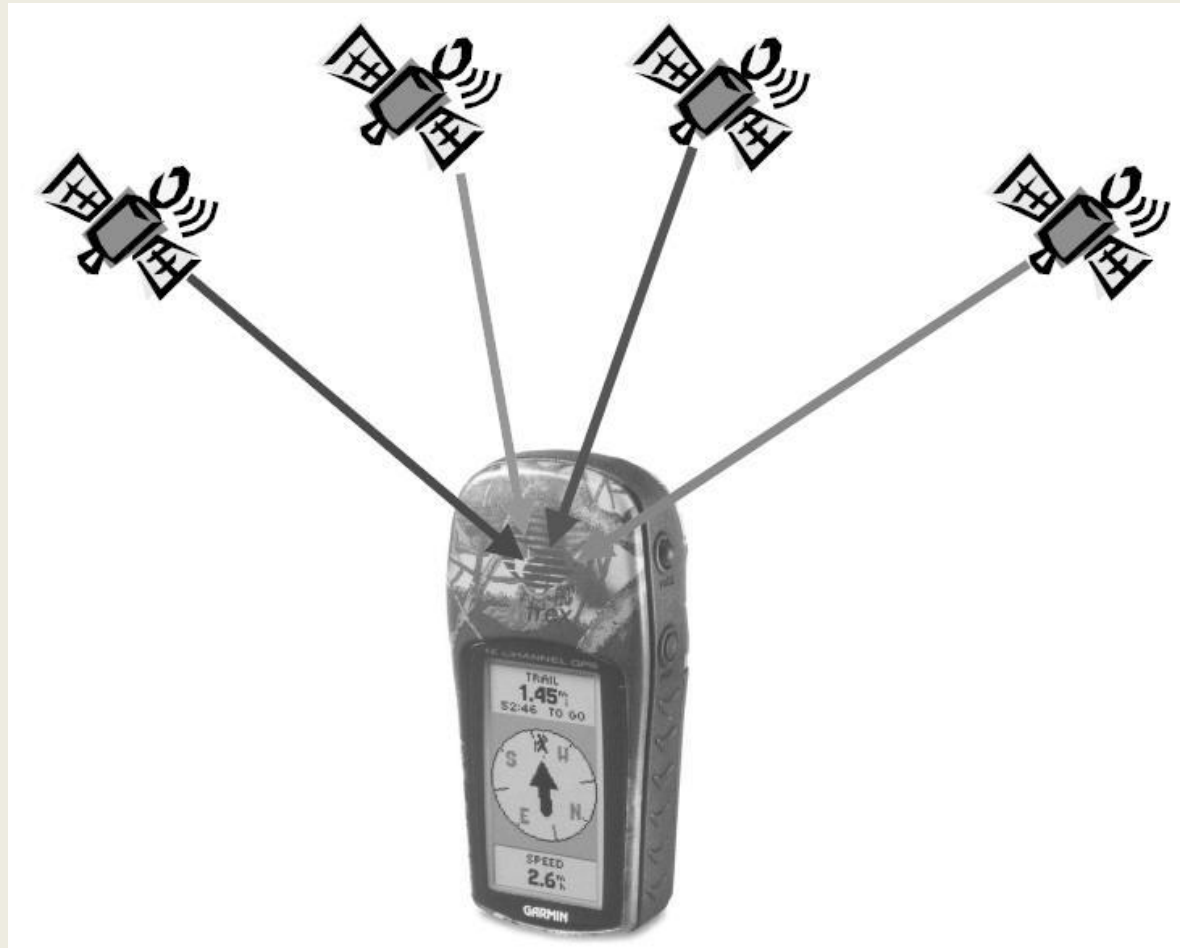
Συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης - GPS

- Υπάρχουν δύο συστήματα GPS
 - το NAVSTAR των ΗΠΑ
 - το GLONASS από τη Ρωσία παρόμοιο με NAVSTAR
- Χρησιμοποιούν 24 δορυφόρους με παραπλήσια διάταξη.
- τρίτο σύστημα GALILEO, (ΕΕ - ESA) θα χρησιμοποιεί 22 δορυφόρους και θα αλληλοσυμπληρώνει τα άλλα δύο.
 - Το Galileo ήδη έχει θέσει σε τροχιά από το 2006 το πρώτο διαστημικό του όχημα και το 2008 το δεύτερο.
- Παρόμοια συστήματα σχεδιάζονται να αναπτυχθούν από Ιαπωνία και Κίνα ([Beidou](#) με δύο οχήματα).

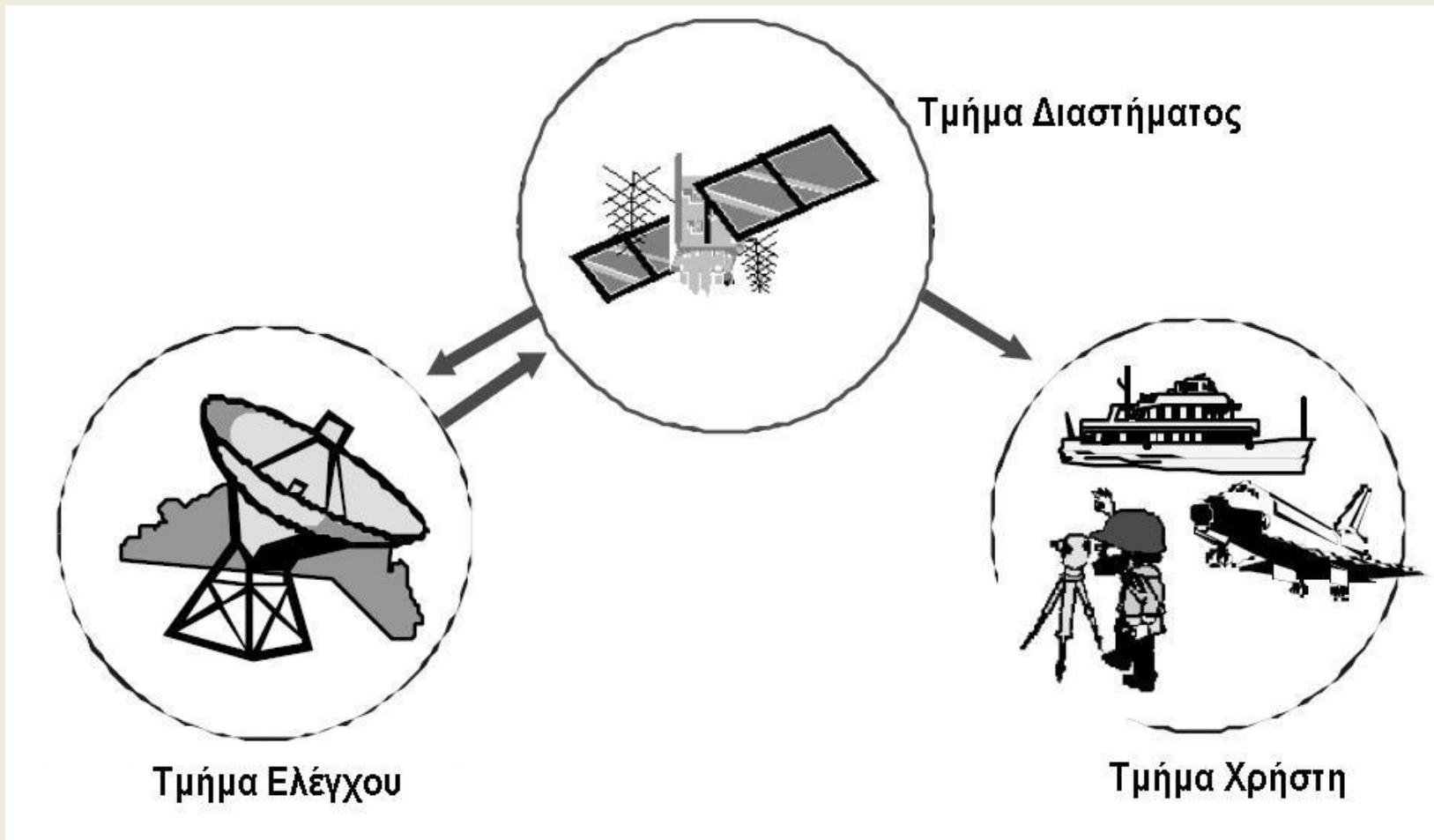
Σκοπός και στόχοι

- *(α) Θέση,*
- *(β) Ταχύτητα και*
- *(γ) χρόνο*

Το σύστημα GPS. Μετρήσεις του χρόνου άφιξης της φάσης του κώδικα από τουλάχιστον 4 δορυφόρους χρησιμοποιούνται με στόχο τον υπολογισμό τεσσάρων ποσοτήτων: Τρισδιάστατες συντεταγμένες X, Y, Z, και



Μέρη από τα οποία αποτελείται το GPS

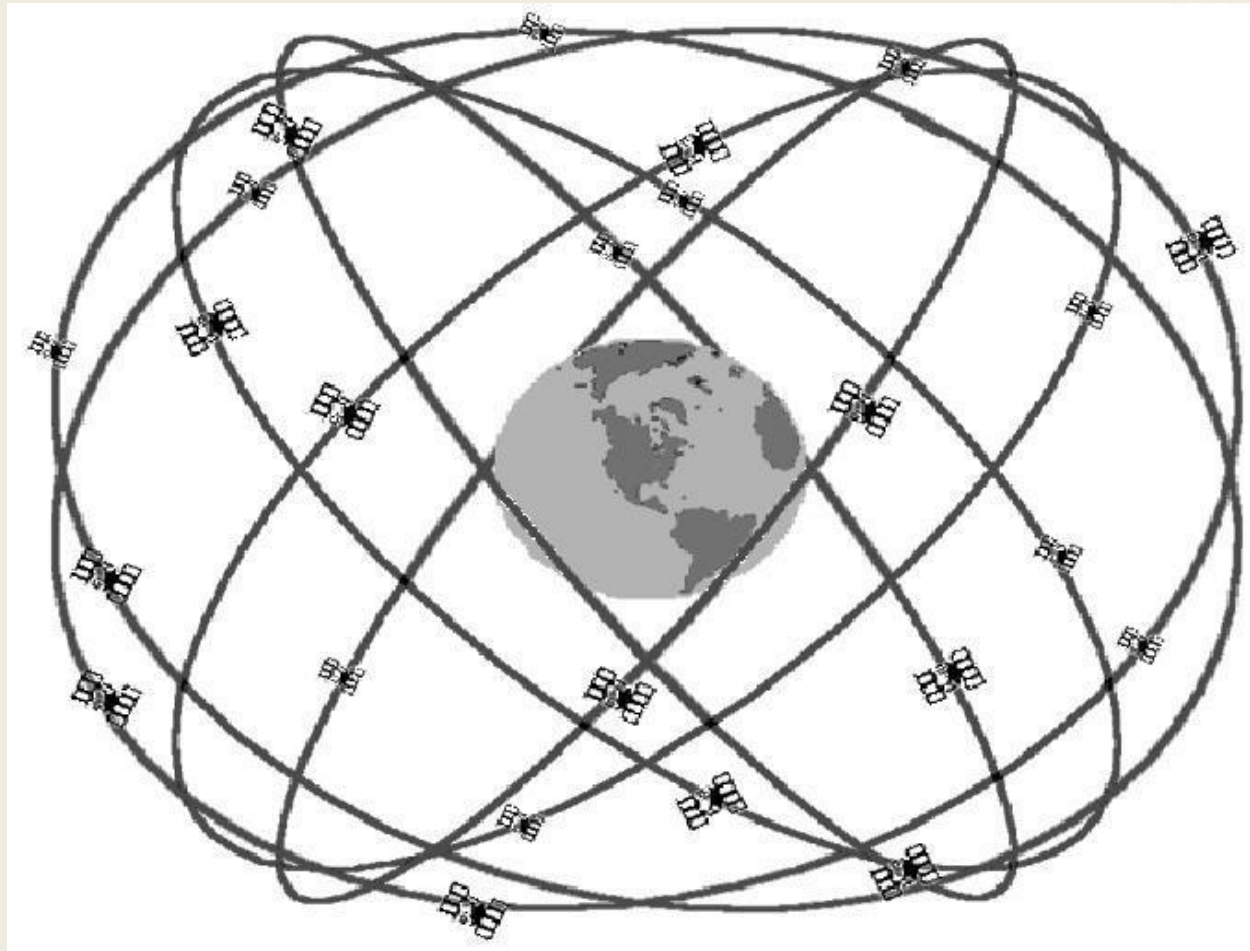


Το Τμήμα του διαστήματος

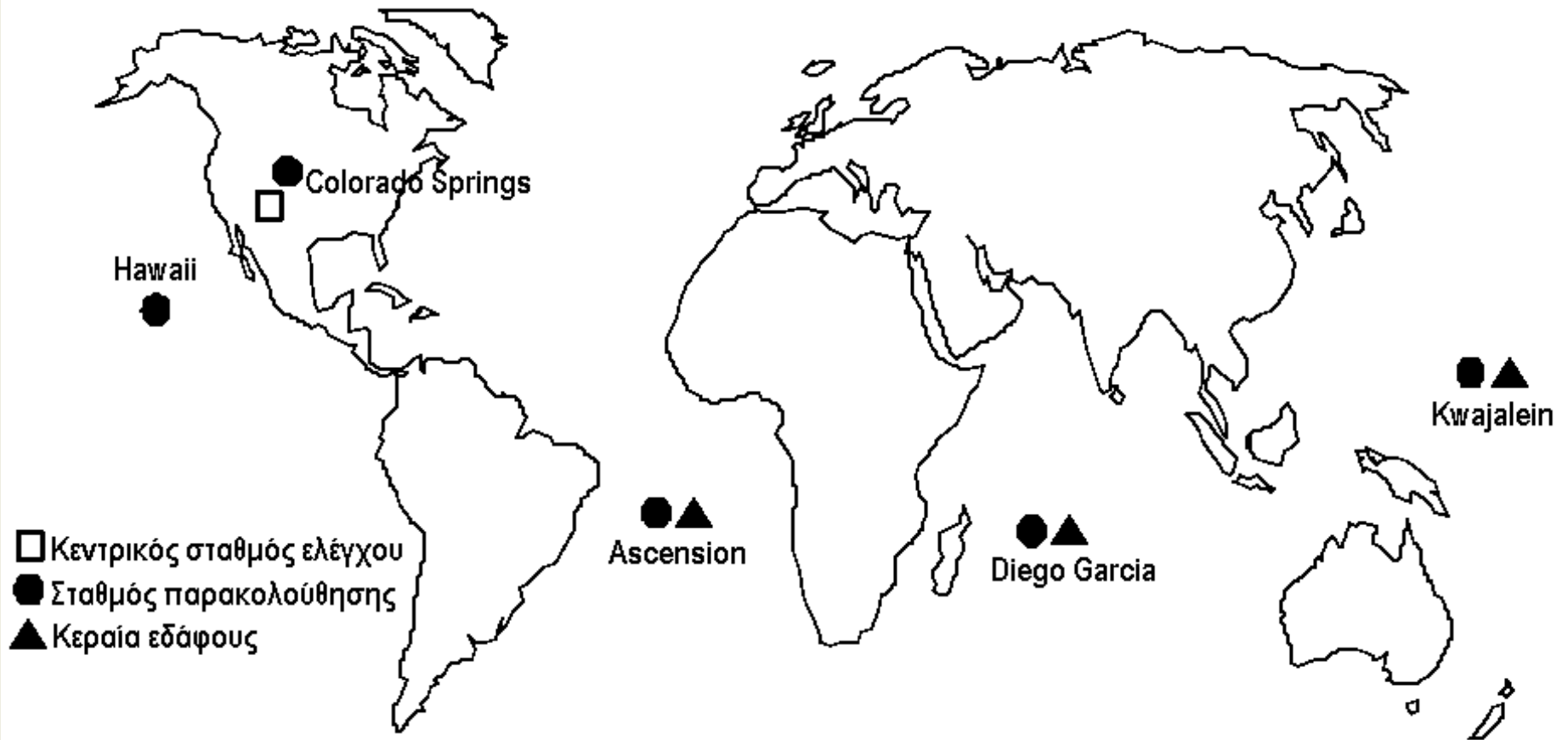


Η διάταξη των 24 δορυφόρων GPS σε 6 τροχιακά επίπεδα με 4 δορυφόρους ανά τροχιακό επίπεδο σε 20200 Km ύψος και 55° κλίση

επιπέδου



Το Τμήμα ελέγχου



Το Τμήμα του χρήστη

- Το GPS τμήμα του χρήστη αποτελείται
 - από τους δέκτες GPS
 - την κοινότητα των χρηστών.
- Οι δέκτες GPS μετατρέπουν τα σήματα από το SV σε
 - θέση,
 - ταχύτητα και
 - εκτίμηση χρόνου.
- Τουλάχιστο τέσσερις δορυφόροι απαιτούνται για τον υπολογισμό των τεσσάρων διαστάσεων X, Y, Z (θέσης) και T (χρόνου).
- Οι δέκτες GPS χρησιμοποιούνται για πλοήγηση, εντοπισμό, διανομή χρόνου και άλλης έρευνας.
- Η πρωταρχική λειτουργία του GPS είναι πλοήγηση στις τρεις διαστάσεις.
- Δέκτες πλοήγησης κατασκευάζονται για αεροπλάνα, πλοία, οχήματα εδάφους και χειρός τα οποία χρησιμοποιούνται από μεμονωμένα άτομα.

Υπηρεσία Ακριβούς Εντοπισμού - Precise Positioning Service (PPS)

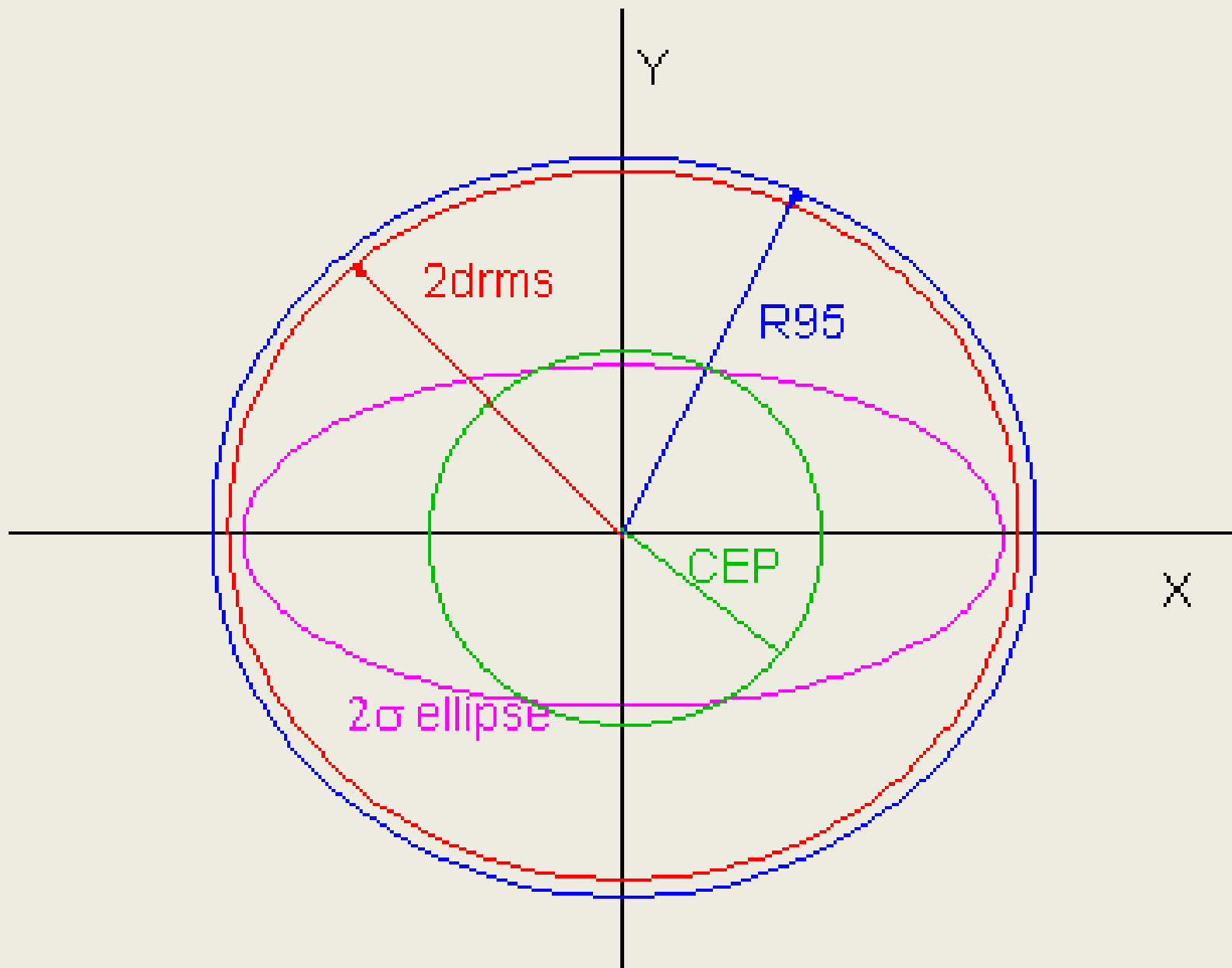
- Η υπηρεσία αυτή προϋποθέτει ότι οι χρήστες με άδεια, κρυπτογραφικά σύνεργα και κλειδιά, καθώς και με ειδικά εφοδιασμένους δέκτες χρησιμοποιούν το σύστημα ακριβούς εντοπισμού (PPS).
- Ο στρατός ΗΠΑ και συμμαχών καθώς και συγκεκριμένες δημόσιες υπηρεσίες των ΗΠΑ και επιλεγμένοι πολίτες που έχουν ειδική άδεια από την κυβέρνηση των ΗΠΑ μπορούν να χρησιμοποιήσουν PPS.
- Η προβλεπόμενη ακρίβεια του PPS (Predictable Accuracy) είναι:
 - (α) 22 μέτρα οριζοντιογραφική ακρίβεια
 - (β) 27.7 μέτρα υψομετρική ακρίβεια
 - (γ) 200 νανοδευτερόλεπτα ακρίβεια χρόνου (UTC)

Υπηρεσία Στάνταρ Εντοπισμού - Standard Positioning Service (SPS)

- Η υπηρεσία αυτή προορίζεται για όλους τους πολίτες χρήστες ανά τον κόσμο οι οποίοι επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν το GPS χωρίς χρηματική επιβάρυνση ή άλλους περιορισμούς.
- οι περισσότεροι δέκτες έχουν τη δυνατότητα λήψης και χρήσης του σήματος SPS.
- Αρχικά η ακρίβεια του σήματος SPS ήταν υποβαθμισμένη με πρόθεση του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ (DOD) με τη χρήση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (Selective Availability) η οποία στη συνέχεια καταργήθηκε το Μάιο του 2000.
- Η επιλεκτική διαθεσιμότητα πρόσθετε πάνω στον κώδικα του σήματος ένα ψευδοτυχαίο θόρυβο ο οποίος υποβάθμιζε την οριζοντιογραφική ακρίβεια από 30 μέτρα σε 100 μέτρα. Η αρχικά προβλεπόμενη ακρίβεια του SPS (Predictable Accuracy) είναι:
 - (α) 100 μέτρα οριζοντιογραφική ακρίβεια
 - (β) 156 μέτρα υψομετρική ακρίβεια
 - (γ) 340 νανοδευτερόλεπτα ακρίβεια χρόνου (UTC)

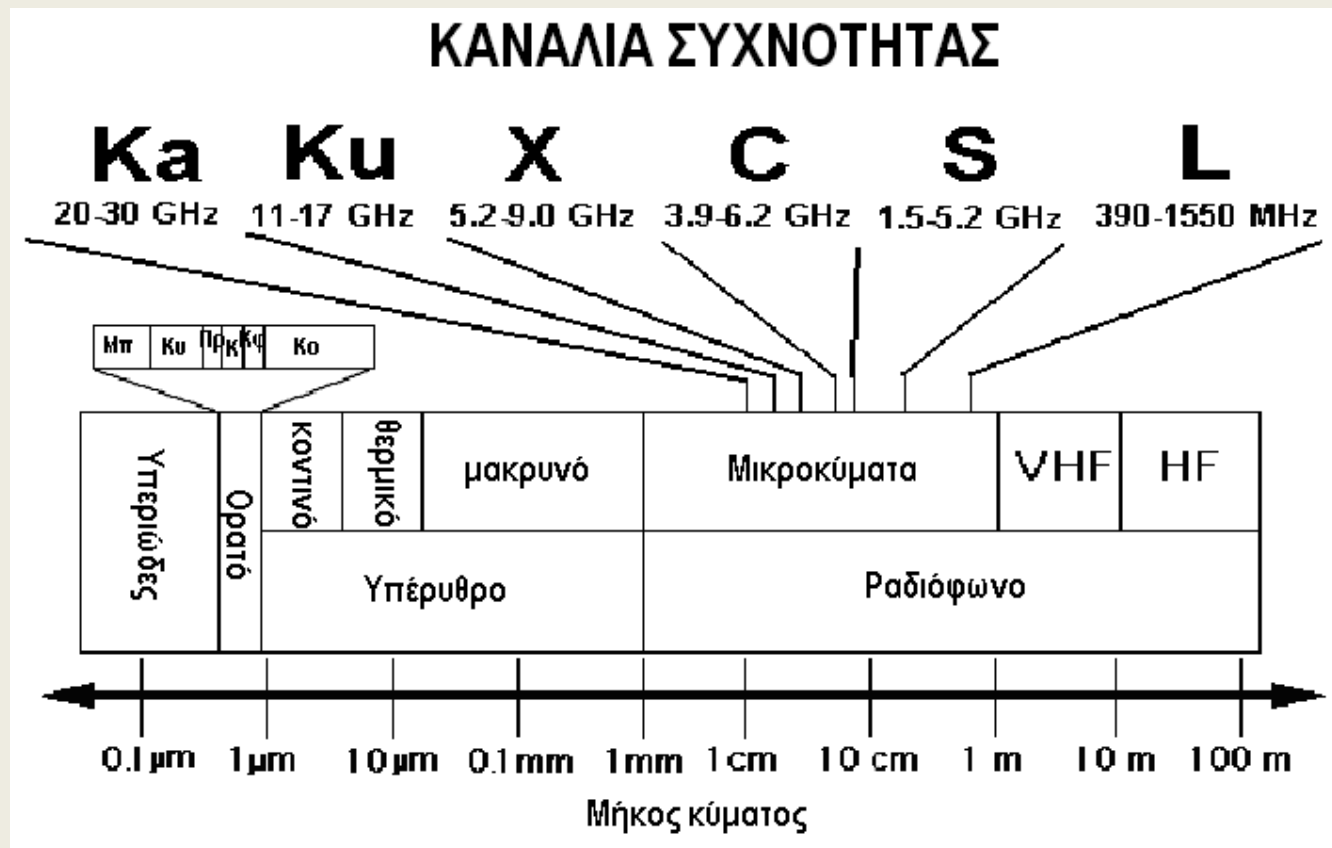
- Οι ακρίβειες αυτές του GPS είναι από το 1999 Federal Radionavigation Plan.
- Είναι 95% ακρίβειες, και εκφράζουν 95% κύκλο ασάφειας γύρω από το σημείο που τοποθετείται η κεραία του δέκτη, με ακτίνα δύο τυπικών αποκλίσεων με παρατηρήσεις που γίνονται σε ύψος δορυφόρου μεγαλύτερο ή ίσο με 5 μοίρες και PDOP < 6.
- Το PDOP εκφράζει τη γεωμετρική ισχύ (1 = άριστη, 8 = χειρότερη).
- Για οριζοντιογραφική ακρίβεια 95% είναι το ισοδύναμο του 2drms (two-distance root-mean-squared), ή δύο φορές το ακτινικό σφάλμα τυπικής απόκλισης.
- Για τα σφάλματα υψομέτρου και χρόνου, 95% είναι η τιμή δύο τυπικών αποκλίσεων αντίστοιχα. Οι κατασκευαστές των δεκτών χρησιμοποιούν συνήθως άλλες μεθόδους μέτρησης ακρίβειας όπως:

- (α) Μέσο τετραγωνικό σφάλμα – Root mean square error (RMS) είναι η τιμή σφάλματος μιας τυπικής απόκλισης (68%) σε μία δύο ή τρεις διαστάσεις.
- (β) Πιθανό κυκλικό σφάλμα - Circular Error Probable (CEP) είναι η τιμή της ακτίνας κύκλου, εντός του οποίου έχει 50% πιθανότητα να βρεθεί το μετρηθέν σημείο.
-
- (γ) Πιθανό σφαιρικό σφάλμα - Spherical Error Probable (SEP) είναι το ισοδύναμο σφαιρικό του CEP, είναι η τιμή της ακτίνας σφαίρας, εντός της οποίας έχει 50% πιθανότητα να βρεθεί το μετρηθέν σημείο.

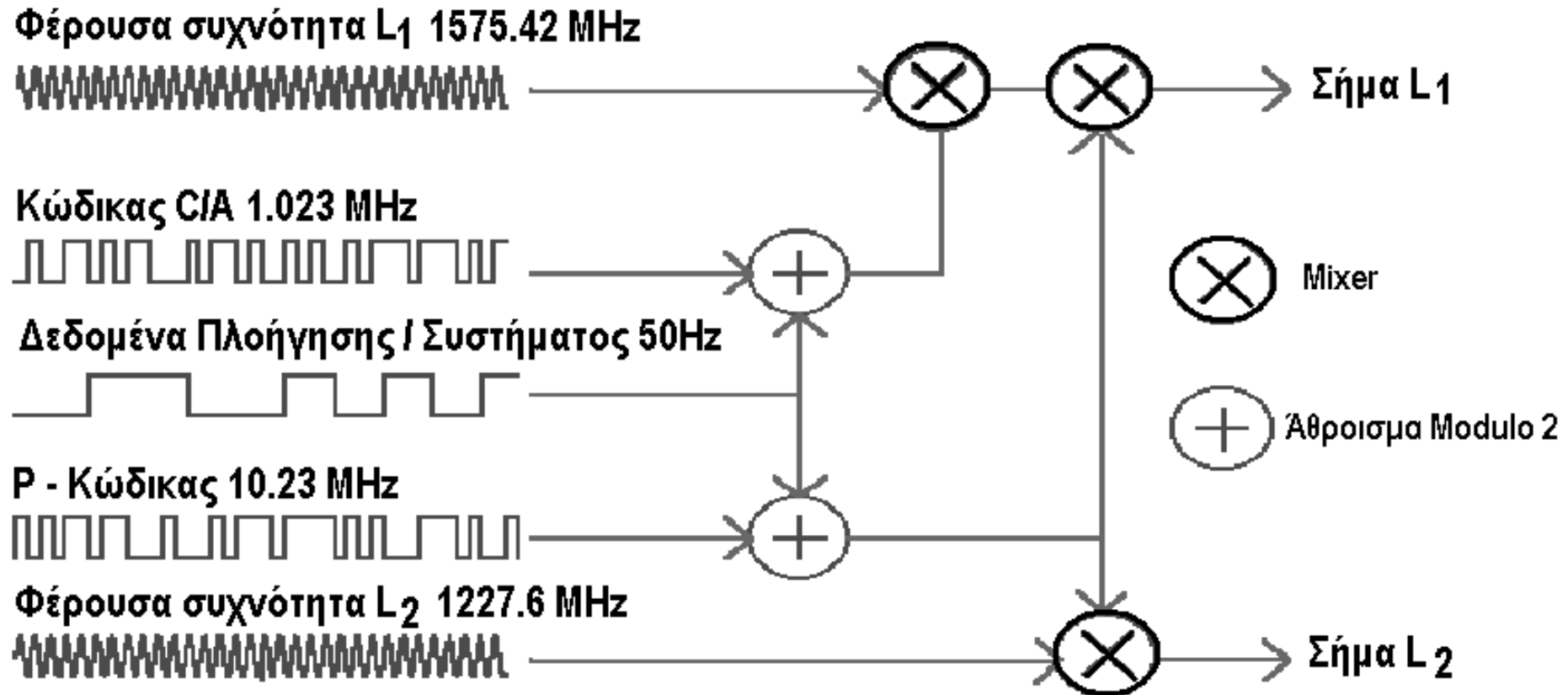


Σήματα Εντοπισμού GPS

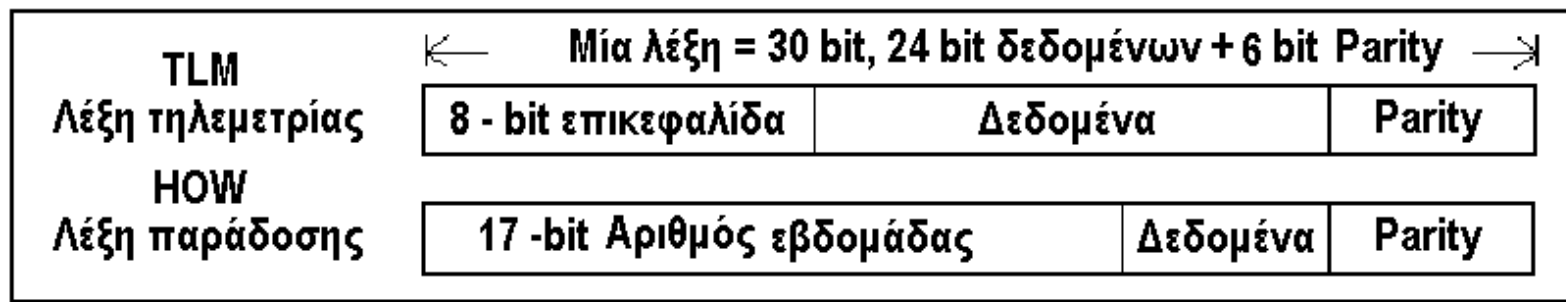
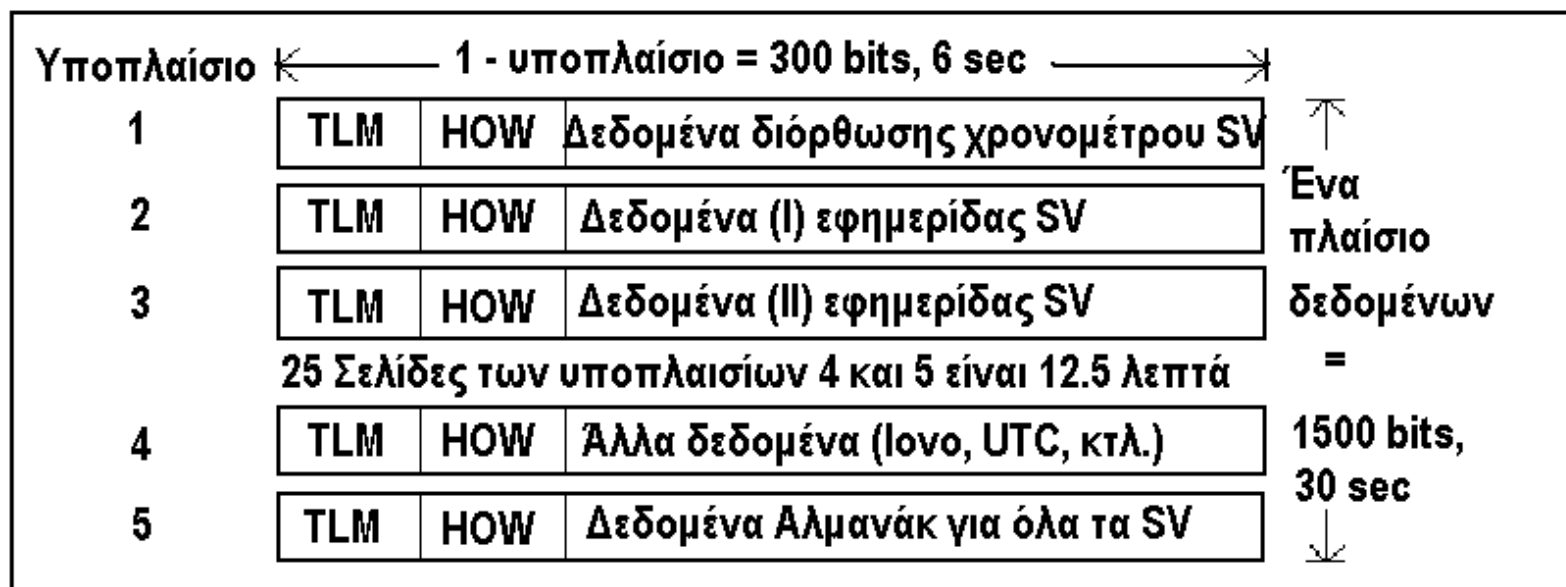
- Σήμα
 - L1
 - L2
- | Συχνότητα (MHz) | Μήκος κύματος (cm) |
|--------------------|--------------------|
| $154f_0 = 1575.42$ | ~ 19 |
| $120f_0 = 1227.60$ | ~ 24 |



Τα σήματα των δορυφόρων του GPS και οι πληροφορίες που τα διαμορφώνουν



Τα δεδομένα του GPS



Δεδομένα εφημερίδας

<p>EPHEMERIS FOR SATELLITE 4 : PRN number for data 4 Issue of ephemeris data 157 Semi-Major Axis (meters) 2.65616E+07 C(ic) (rad) 3.72529E-08 C(is) (rad) -5.96046E-08 C(rc) (meters) 175.406 C(rs) (meters) -60.2188 C(uc) (rad) -3.33972E-06 C(us) (rad) 1.06301E-05 Mean motion difference (rad/sec)4.1616E-09 Eccentricity (dimensionless) 0.00354898 Rate of inclination angle(rad/sec)7.64318E-11 Inclination angle @ ref. time (rad) .. 0.96687 Mean Anomaly at reference time (rad)1.41596 Corrected Mean Motion (rad/sec)0.000145848 Computed Mean Motion(rad/sec)0.000145844</p>	<p>Argument of perigee (rad) -2.56865 Rate of right ascension (rad/sec) -8.43857E-09 Right ascension @ ref time (rad) 1.75048 Sqrt (1 - e^2) 0.999903 Sqr root semi-major axis, (m^1/2) 5153.67 Reference time ephemeris (sec) 240704 CLOCK FOR SATELLITE 4 : PRN number for data 4 Week number..... 797 Predicted user range accuracy 32 Health of satellite 0 L1 - L2 Correction term 1.39698E-09 Issue of clock data 669 Time of clock data 252000 Clock offset 2.19094E-05 Clock drift 1.81899E-12 Rate of clock drift 0</p>
--	--

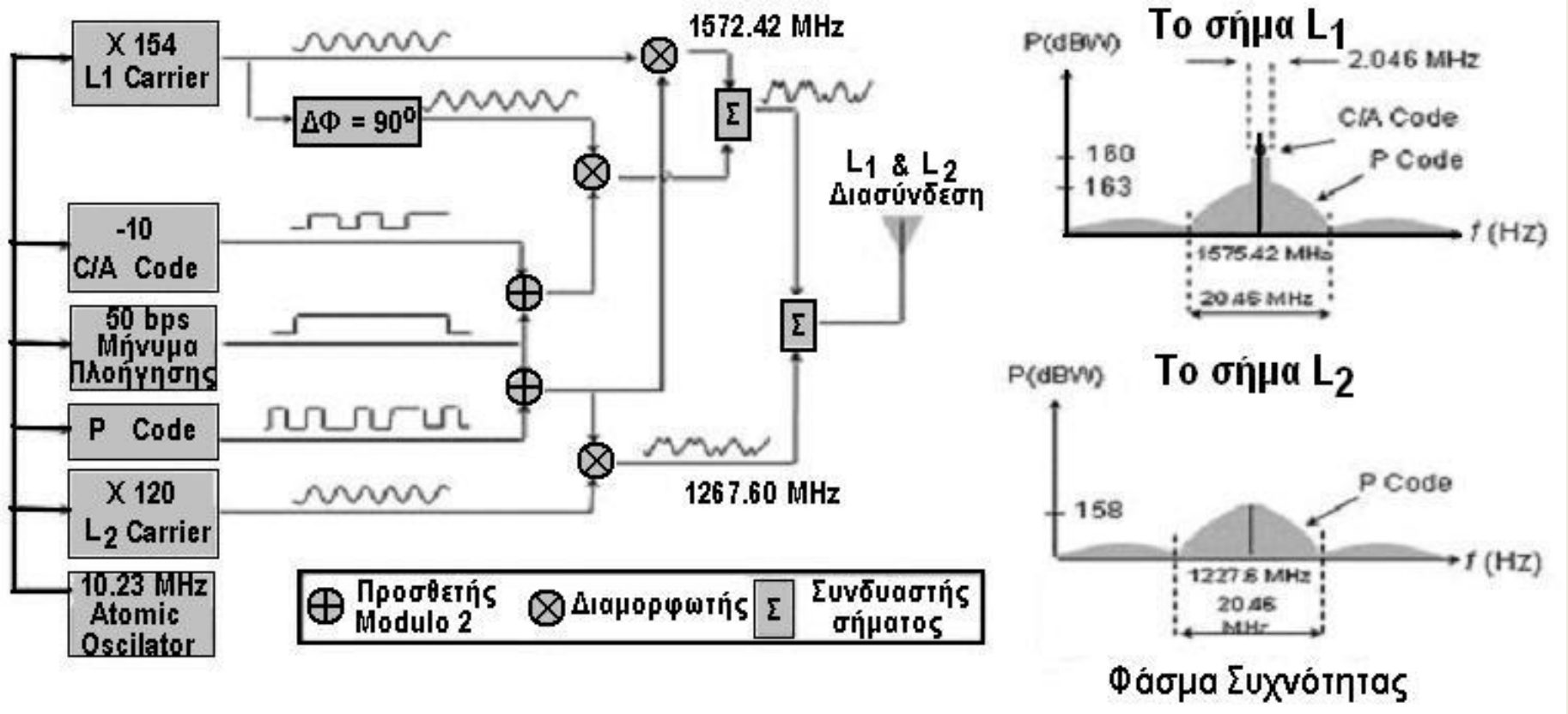
Δεδομένα Αλμανάκ

ALMANAC FOR SATELLITE 7 :

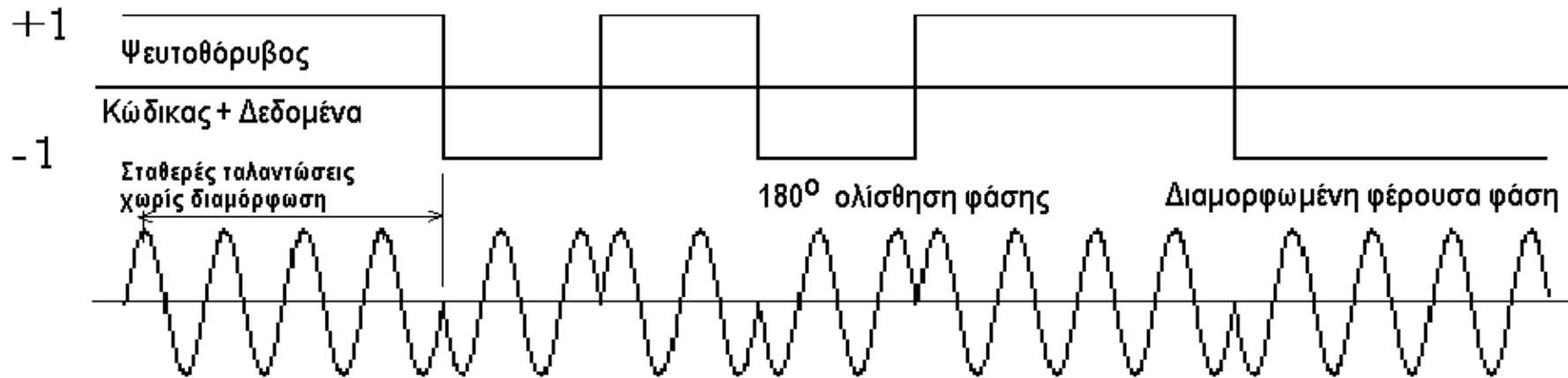
PRN number for data 7
Health of SV 0
Reference Week of Almanac 797
Eccentricity 0.00693846
Corr: inclination angle (rad) ... 0.00688171
Mean Anomaly @ ref time (rad) ... -2.17981
Argument of Perigee (rad) -2.56891
Rate right ascension (rad/sec) .. -8.17177E-09

Right ascension @ ref time (rad) 2.81654
Sqrt semi-major axis (m^{1/2}) 5153.58
Clock correction term 1 0.000703812
Clock correction term 2 0
Reference time almanac 380928
Semi-Major Axis (meters) 2.65594E+07
Corrected Mean Motion (rad/sec) . 0.000145862
Inclination angle (rad) 0.964097

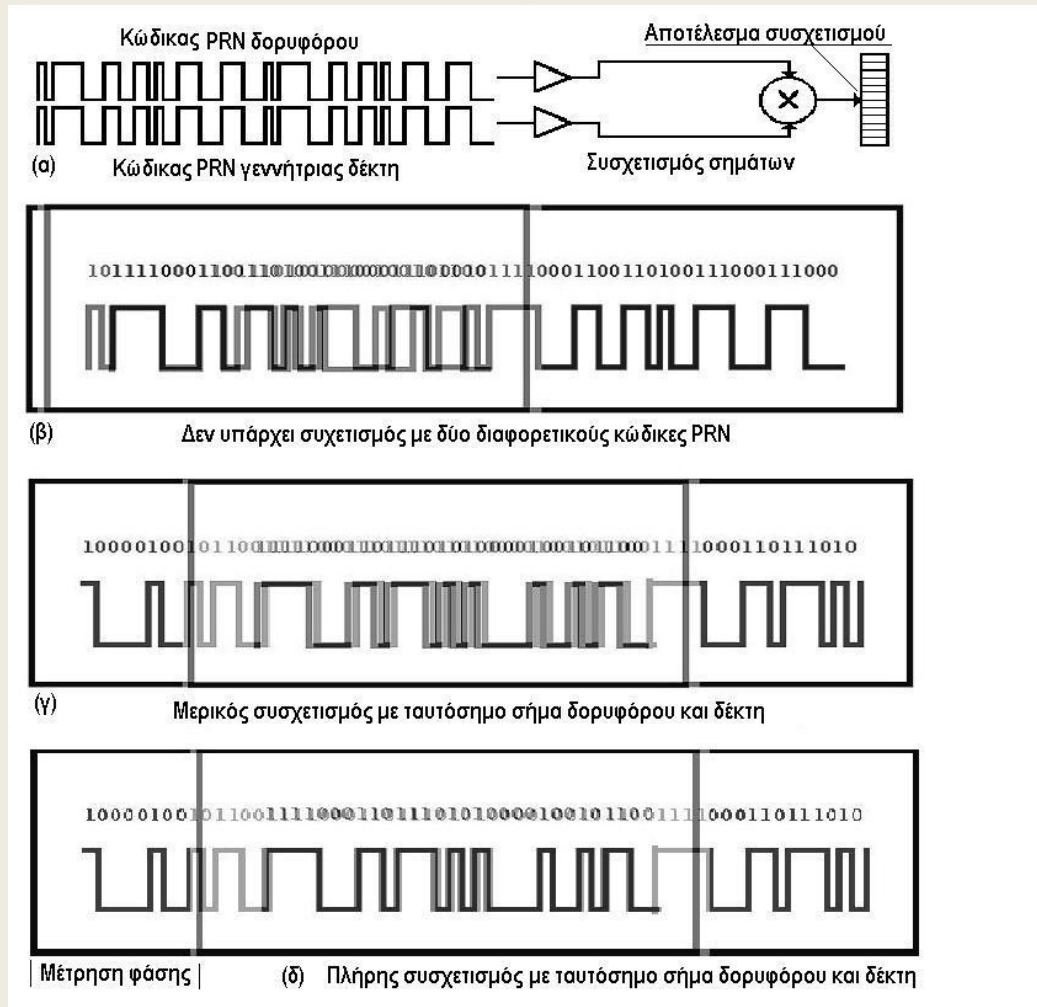
Εντοπισμός και Χρόνος από το GPS



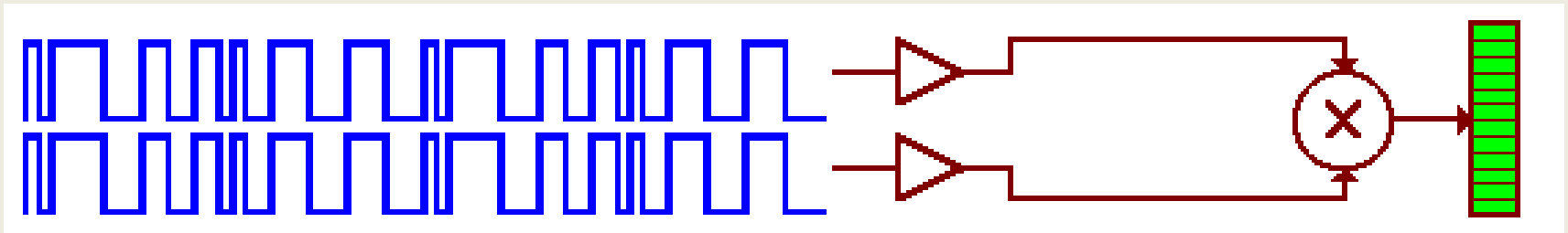
Διαμόρφωση συχνότητας με προσθήκη δυαδικού κώδικα



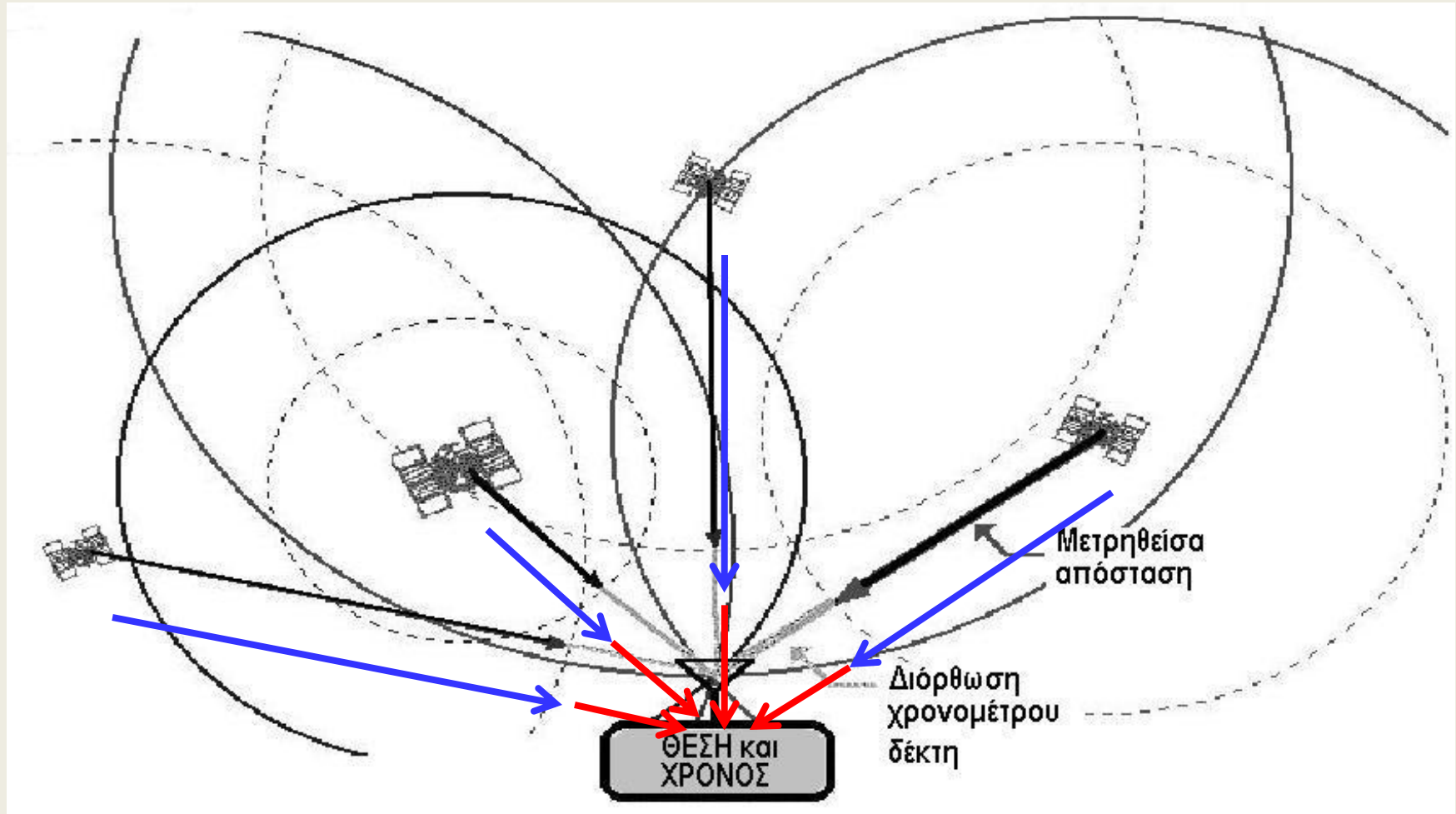
Παρακολούθηση της φάσης του κώδικα (πλοήγηση)



Συσχετισμός της φάσης του κώδικα



Πλοήγηση με ψευδοαπόσταση (Pseudo-Range Navigation)



Παράδειγμα

- Δίνονται οι συντεταγμένες τεσσάρων δορυφόρων 1, 2, 3, 4 ως εξής:

$$X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2, \dots, X_4, Y_4, Z_4$$

- Δίνονται επίσης οι ψευτοαποστάσεις που αντιστοιχούν στη μέτρηση φάσης του κώδικα στους τέσσερις δορυφόρους και είναι αντίστοιχα οι εξής:

$$R_1, R_2, R_3, R_4$$

- Οι ποσότητες αυτές θεωρούνται μετρήσεις χρόνου πολλαπλασιασμένες με την ταχύτητα του φωτός. Κάθε μία από αυτές έχει ένα σταθερό σφάλμα t που είναι το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη.
- Ζητούνται οι συντεταγμένες X, Y, Z του σημείου που έγινε η μέτρηση και η διόρθωση του χρόνου t στο χρονόμετρο του δέκτη.

Λύση

- Η εξίσωση παρατήρησης έχει τη μορφή:

$$(R_i + t) + v_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2}$$

- Όπου v_i είναι μια διόρθωση στην φάση της ψευτοαπόστασης που μετρήθηκε.
- t είναι η διόρθωση στο χρονόμετρο του δέκτη πολλαπλασιασμένο με την ταχύτητα του φωτός. Όλες οι ποσότητες μετρούνται σε απόσταση μέτρων.
- Η εξίσωση αυτή δεν είναι γραμμική και για να γραμμικοποιηθεί θα πρέπει να λάβουμε προσεγγιστικές τιμές X_0, Y_0, Z_0 για το σημείο οπότε ορίζονται οι ποσότητες:

- $$\Delta X = X - X_0 \quad \Delta Y = Y - Y_0 \quad \Delta Z = Z - Z_0$$

- Με βάση τις προσεγγιστικές αυτές τιμές υπολογίζονται αντίστοιχα οι προσεγγιστικές αποστάσεις P_1, P_2, P_3, P_4 :

$$P_i = \text{mod} \left[\sqrt{(X_0 - X_i)^2 + (Y_0 - Y_i)^2 + (Z_0 - Z_i)^2}, 299792.458 \right]$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial X} = \frac{X_0 - X_i}{R_i} = bx_i, \quad \frac{\partial R_i}{\partial Y} = \frac{Y_0 - Y_i}{R_i} = by_i, \quad \frac{\partial R_i}{\partial Z} = \frac{Z_0 - Z_i}{R_i} = bz_i$$

- Στη σχέση 8.3 παίρνουμε το Μόντουλο του προσεγγιστικού μήκους ώστε να είναι αυτό συμβατό ≤ 299792.458 του μήκους της φάσης του κώδικα C/A το οποίο αντιπροσωπεύεται από τη μέτρηση του R_i .
 - Η ποσότητα 299792.458 αντιπροσωπεύει την ταχύτητα της HMA σε 1 – msec.
- Για να γίνει η γραμμικοποίηση της σχέσης αυτής χρησιμοποιούνται οι σειρές Taylor όπου απορρίπτονται οι παράγωγοι δευτέρου και ανωτέρου βαθμού.

$$R_i + t_i = P_i + \frac{\partial R_i}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial R_i}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial R_i}{\partial Z} \Delta Z =$$

$$R_i = P_i - t_i + \frac{\partial R_i}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial R_i}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial R_i}{\partial Z} \Delta Z$$

- $v_i = bx_i\Delta X + by_i\Delta Y + bz_i\Delta Z - t - R_i + P_i$
- Η εξίσωση αυτή έχει τη μορφή:

$$V = B\Delta - L$$

- και η λύση του συστήματος προκύπτει από την ελαχιστοτετραγωνική συνόρθωση

$$\Delta = (B^t B)^{-1} B^t L$$

$$\text{όπου: } L = R - P$$

$$B = \begin{bmatrix} bx_1 & by_1 & bz_1 & -1 \\ bx_2 & by_2 & bz_2 & -1 \\ bx_3 & by_3 & bz_3 & -1 \\ bx_0 & by_0 & bz_0 & -1 \end{bmatrix}; \Delta = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ t \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} R_1 - P_1 \\ R_2 - P_2 \\ R_3 - P_3 \\ R_4 - P_4 \end{bmatrix}$$

Αριθμητικό Παράδειγμα: Πλοήγηση με ψευτοαπόσταση – Υπολογισμός GDOP

SV	X	Y	Z	R
15	15524471.175	-16649826.222	13512272.387	89491.971
27	-2304058.534	-23287906.465	11917038.105	133930.500
31	16680243.357	-3069625.561	20378551.047	283098.754
7	-14799931.395	-21425358.24	60699.47.224	205961.742
K_0	-730000	-5440000	3230000	-

Λύση

Εφαρμόζουμε τους τύπους και υπολογίζουμε τα P_i :

$$22261921.807 \quad 19912058.067 \quad 24552149.635 \quad 21483946.279$$

εφαρμόζουμε επίσης τους τύπους και υπολογίζουμε τους πίνακες B , L :

$$B = \begin{bmatrix} 0.73014680 & -0.50354261 & 0.46187712 & -1 \\ -7.90505194E-02 & -0.89633660 & 0.43627022 & -1 \\ 0.70911279 & 9.65444767E-02 & 0.69845415 & -1 \\ -0.65490442 & -0.74406061 & 0.13218927 & -1 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -12212.055869165 \\ -8174.66034739837 \\ -14138.2161210247 \\ -7279.98013214525 \end{bmatrix} \quad \Delta = \begin{bmatrix} -3186.49582 \\ -3791.93168 \\ 1193.28646 \\ 12345.99701 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} -733186.496 \\ -5443791.932 \\ 3231193.286 \end{bmatrix}$$

Η διόρθωση του χρονομέτρου του δέκτη είναι:

$$t = 12345.997 \text{ μέτρα } \dot{\eta}$$

$$12345.997 / 299792.458 = 0.041182 \text{ msec } \dot{\eta} \text{ 41.182 } \mu\text{sec.}$$

GDOP, PDOP, TDOP

$$\Sigma_{\Delta\Delta} = \begin{bmatrix} 3.14599 & -0.52936 & -7.15304 & -2.26585 \\ -0.52936 & 4.18651 & -4.62959 & -4.23710 \\ -7.15304 & -4.62959 & 30.74881 & 14.39795 \\ -2.26585 & -4.23710 & 14.39795 & 8.24198 \end{bmatrix}$$

$$GDOP = \sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33} + q_{44}} = \sqrt{3.14599 + 4.18651 + 30.74881 + 8.24198} = 6.806$$

$$PDOP = \sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33}} = \sqrt{3.14599 + 4.18651 + 30.74881} = 6.171$$

$$TDOP = \sqrt{q_{44}} = \sqrt{8.24198} = 2.871$$

Ταχύτητα και χρόνος με GPS

Ο χρόνος υπολογίζεται σε:

- χρόνο SV,
- χρόνο GPS,
- χρόνο UTC.
- Απόσταση (SV – Δέκτη) = Κύκλοι ασάφειας C/A + φάση κώδικα + T
- Ψευδοαπόσταση (SV – Δέκτη) = Κύκλοι ασάφειας C/A + φάση κώδικα

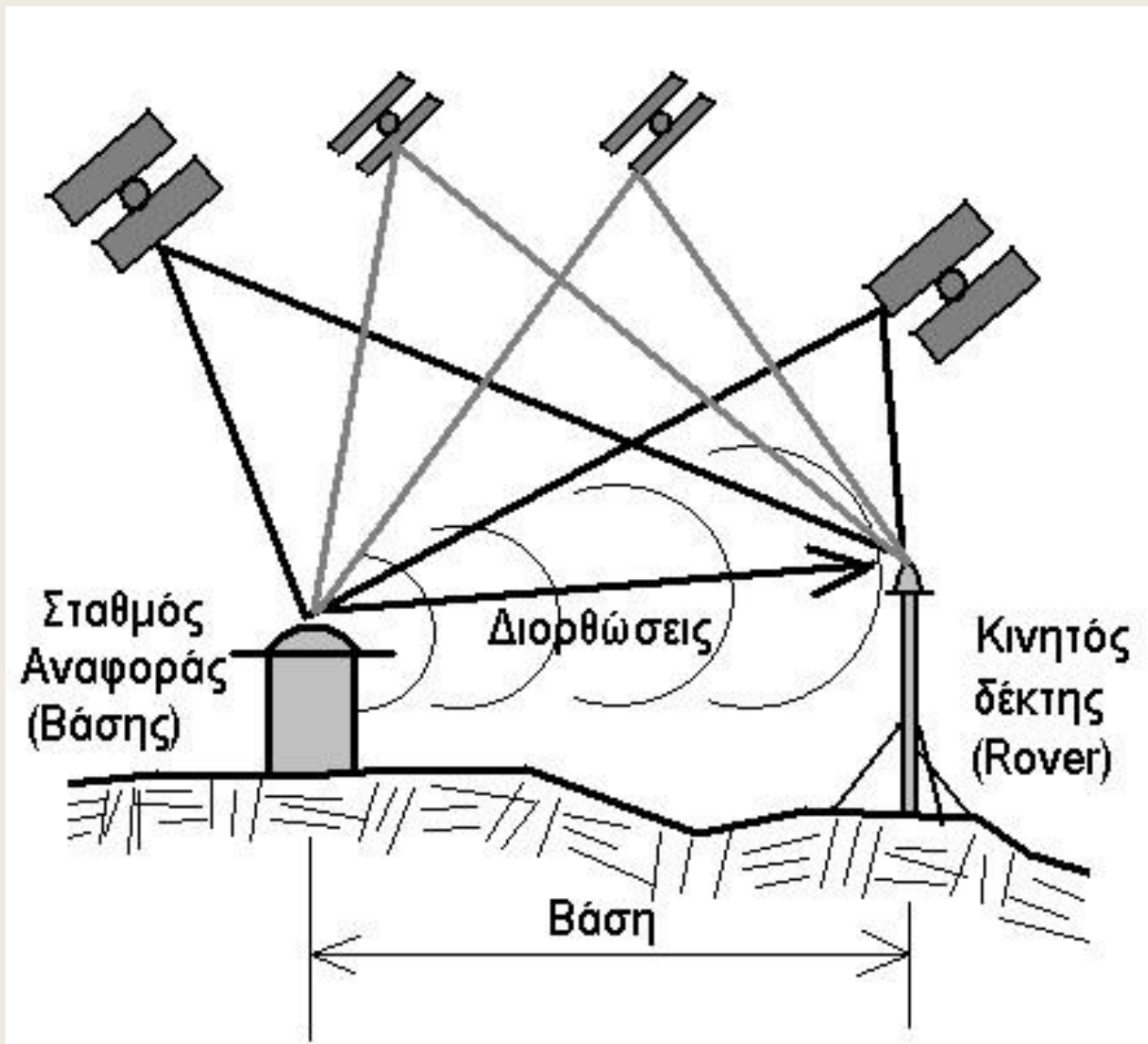
γεωμετρική απόσταση

- $\rho = \rho + d\rho + dt_{\text{trop}} - d_{\text{ion}} + c(dt - dT) + MP + \epsilon\rho$
- Όπου ρ είναι η γεωμετρική απόσταση μεταξύ δορυφόρου δέκτη [μέτρα - m]
- c είναι η ταχύτητα της ΗΜΑ στο κενό [μέτρα ανά δευτερόλεπτο - m/s]
- $d\rho$ είναι το σφάλμα στην απόσταση που οφείλεται σε σφάλμα της δορυφορικής εφημερίδας,
- dt_{trop} είναι το σφάλμα καθυστέρησης του σήματος στην τροπόσφαιρα [m],
- d_{ion} είναι το σφάλμα καθυστέρησης του σήματος στην ιονόσφαιρα [m],
- dt και dT είναι σφάλματα που οφείλονται στο χρονόμετρο του δέκτη και του δορυφόρου αντίστοιχα [δευτερόλεπτα - s],
- MP είναι πολλαπλές διαδρομές (multipath) [m],
- $\epsilon\rho$ είναι τυχαίο σφάλμα στη μέτρηση [m]

πηγές συστηματικών σφαλμάτων (Bias)

- (α) Τα σφάλματα των χρονομέτρων SV που δεν έχουν διορθωθεί από το Τμήμα Ελέγχου μπορούν να φθάσουν σε σφάλμα ενός μέτρου.
- (β) Σφάλματα δεδομένων εφημερίδας: 1 μέτρο
- (γ) Καθυστερήσεις στην τροπόσφαιρα: 1 μέτρο
- Η τροπόσφαιρα είναι το χαμηλότερο μέρος (από το έδαφος μέχρι 8 - 13 km) της ατμόσφαιρας όπου λαβαίνουν χώρα αλλαγές στην θερμοκρασία, πίεση, και υγρασία συνοδευόμενες από καιρικές αλλαγές. Πολύπλοκα μοντέλα τροποσφαιρικής καθυστέρησης απαιτούν εκτιμήσεις των παραμέτρων αυτών.
- (δ) Μη μοντελοποιημένες καθυστερήσεις στην ιονόσφαιρα: 10 μέτρα
- Η ιονόσφαιρα είναι ένα στρώμα της ατμόσφαιρας από 50 – 100 km το οποίο αποτελείται από ιονισμένο αέρα. Το διαβιβαζόμενο μοντέλο μπορεί να διορθώσει μόνο τη μισή από την πιθανή 70 ns ιονοσφαιρική καθυστέρηση αφήνοντας ένα μη μοντελοποιημένο υπόλοιπο 10 μέτρων.
- (ε) Πολλαπλές διαδρομές: 0.5 μέτρο.

Διαφορικές τεχνικές GPS (DGPS)



Διαφορικός κώδικας GPS (Πλοήγηση)

- Το DGPS αφαιρεί κοινού είδους σφάλματα, τα σφάλματα αυτά είναι κοινά σε αμφοτέρους τους δέκτες αναφοράς και μέτρησης (όχι σφάλματα πολλαπλής διαδρομής ή θόρυβου δέκτη). Τα σφάλματα είναι πιο κοινά όσο πιο κοντά βρίσκονται μεταξύ τους οι δέκτες (λιγότερο από 100 km). Ακρίβειες διαφορικού εντοπισμού της τάξης 1-10 μέτρα είναι εφικτές με DGPS το οποίο βασίζεται σε κώδικα C/A του σήματος SPS.

WAAS/EGNOS

- Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί δορυφορικά συστήματα με γεωστατικούς δορυφόρους οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα σταθμού αναφοράς (βάσης) και τα εκπέμπουν με σήματα τα οποία μπορούν να λαμβάνουν οι κοινοί GPS δέκτες. Τα σήματα αυτά έχουν συνεχή ροή και καλύπτουν μεγάλο μέρος της υδρογείου.
- Τα συστήματα αυτά είναι ελεύθερα για χρήση και βελτιώνουν το σφάλμα στους κοινούς GPS δέκτες σε λιγότερο από 3 μέτρα για το 95% των μετρημένων σημείων.
- Ένα τέτοιο σύστημα είναι το WAAS (Wide Area Augmentation System) που εκπέμπει στη Βόρεια Αμερική.
- Στην Ευρώπη υπάρχει αντίστοιχο σύστημα που ονομάζεται [EGNOS](#) ([European Geostationary Navigation Overlay Service](#)). Τα δύο αυτά συστήματα WAAS/[EGNOS](#) χρησιμοποιούν τα ίδια σήματα και για το λόγο αυτό θα πρέπει όταν προμηθεύεται κάποιος ένα κοινό GPS δέκτη να εξετάζει κατά πόσο έχει ικανότητα να συλλαμβάνει και να επεξεργάζεται σήματα WAAS/[EGNOS](#).
- Θα πρέπει επίσης ο χειριστής ενός τέτοιου δέκτη να ενεργοποιήσει την ικανότητα αυτή από το αντίστοιχο μενού του δέκτη.

το σύστημα HEPOS (Hellenic Positioning System)

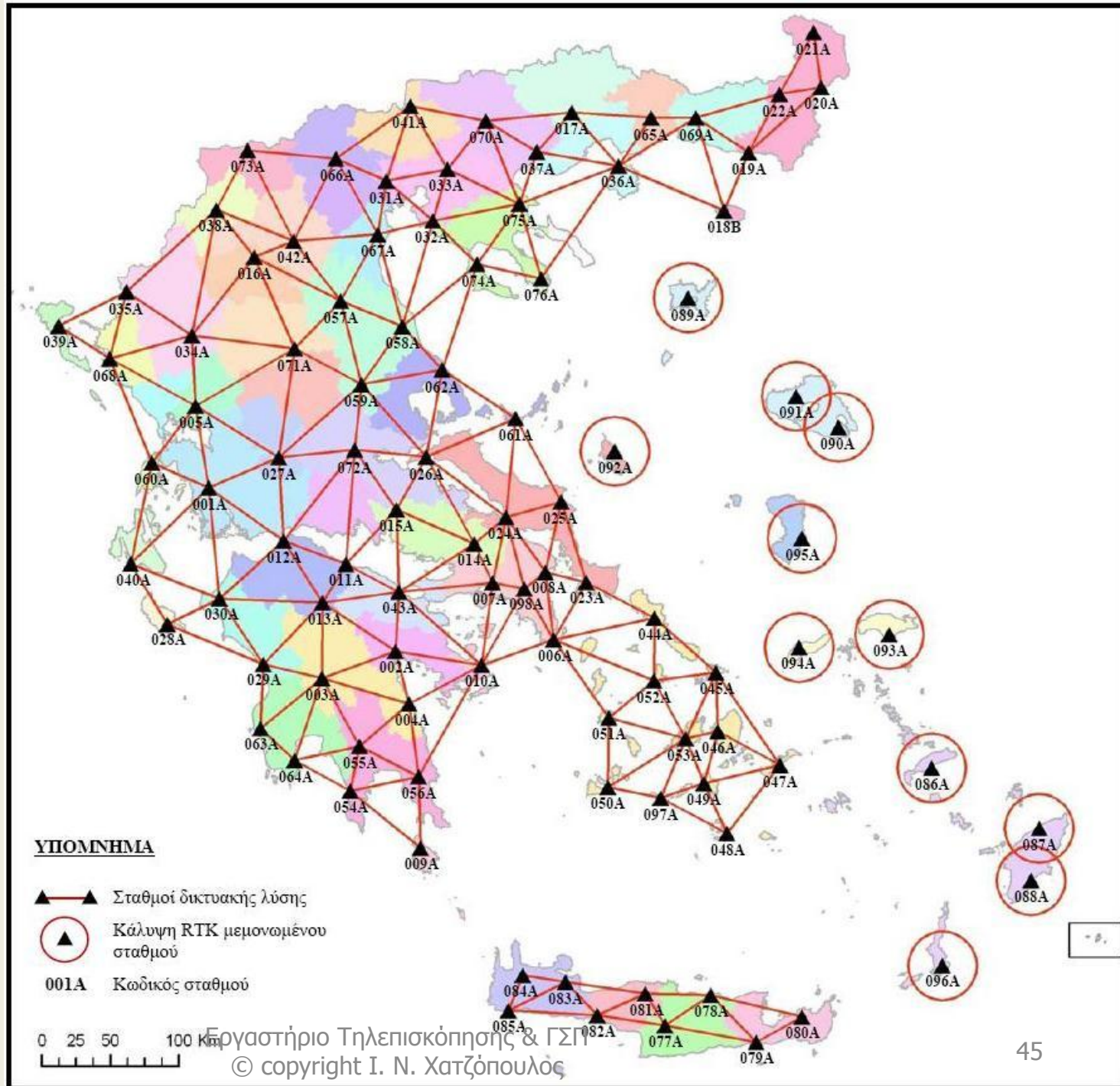
- Όπως ειπώθηκε στο Κεφ. 2.4.2.5, στον Ελλαδικό χώρο αναπτύχθηκε το σύστημα HEPOS (Hellenic Positioning System). Το σύστημα HEPOS επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης στον Ελλαδικό χώρο με υψηλή ακρίβεια αξιοποιώντας το σύστημα GPS. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε από την Κτηματολόγιο Α. Ε. σε συνεργασία με το Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ.
- Το σύστημα αποτελείται από 98 μόνιμους σταθμούς αναφοράς GPS κατανομημένους σε ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο (βλέπε Πίνακα 8.3 και Σχ. 8.14α).
- Να σημειωθεί ότι οι επίσημες συντεταγμένες των 98 αυτών μόνιμων σταθμών αναφέρονται στη χρονική στιγμή $t = 2007.5$. Οι μετρήσεις GPS των σταθμών αυτών συγκεντρώνονται σε πραγματικό χρόνο στο κέντρο ελέγχου του συστήματος, όπου γίνεται επεξεργασία, αρχειοθέτηση, διάθεση και αποστολή των στοιχείων προς τους DGPS χρήστες.

Πίνακας 8.3. Μέρος από τους 98 μόνιμους σταθμούς HEPOS. Πηγή: HEPOS_Reference_Stations_v1_0_gr Ιανουάριος 2008, Κτηματολόγιο ΑΕ.

Κωδικός ¹	Όνομασία	Νομός	Συντεταγμένες στη βάση της κεραίας ^{2,3}		
			(bottom of antenna mount)		
			X	Z	
088A	Ρόδος-Γεννάδι	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	4563275.8400	2418284.3782	3730428.0461
089A	Λήμνος	ΛΕΣΒΟΥ	4433023.4058	2086105.9291	4070183.0815
090A	Λέσβος-Παπάδος	ΛΕΣΒΟΥ	4441307.8403	2210069.0827	3995625.6858
091A	Λέσβος-Ανεμώτια	ΛΕΣΒΟΥ	4441648.7593	2176471.6172	4013982.1626
092A	Σκύρος	ΕΥΒΟΙΑΣ	4520187.9738	2066263.5223	3984160.5678
093A	Σάμος	ΣΑΜΟΥ	4510706.7539	2281819.6410	3876825.4758
094A	Ικαρία	ΣΑΜΟΥ	4544715.9212	2224736.8667	3870709.2865
095A	Χίος	ΧΙΟΥ	4498771.2221	2206503.3886	3933149.5301
096A	Κάρπαθος	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	4625233.1907	2375202.5365	3682027.9946
097A	Φολέγανδρος	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	4647712.5914	2159623.5073	3784450.9834
098A	Κτηματολόγιο ΑΕ	ΑΤΤΙΚΗΣ	4604061.5837	2030937.3396	3906256.4120

1. Το τελευταίο ψηφίο του κωδικού κάθε Σταθμού Αναφοράς (ΣΑ) χρησιμοποιείται για να γίνεται από το χρήστη άμεσα αντιληπτή, πιθανή αλλαγή θέσης της κεραίας ενός ΣΑ. Για παράδειγμα εάν ο χρήστης διαπιστώσει ότι το τελευταίο ψηφίο του τετραψήφιου κωδικού ενός ΣΑ μεταβλήθηκε από «Α» σε «Β», θα πρέπει να χρησιμοποιήσει τις νέες συντεταγμένες που αντιστοιχούν στην καινούργια θέση της κεραίας. Οι ενημερωμένες αυτές συντεταγμένες θα δίνονται σε νέα έκδοση του παρόντος αρχείου η οποία θα αναρτάται στον ιστοχώρο του HEPOS (www.hepos.gr).
2. Οι συντεταγμένες των Σταθμών Αναφοράς δίνονται στο σύστημα ETRS'89 (European Terrestrial Reference System '89). Οι συντεταγμένες είναι γεωκεντρικές καρτεσιανές (στα λογισμικά συνήθως αναφέρονται ως ECEF: Earth-Centered Earth-Fixed). Ο χρήστης του HEPOS πρέπει να θεωρεί τις συντεταγμένες του πίνακα σταθερές ανεξάρτητα από την εποχή στην οποία μετράει. Για λόγους πληρότητας και μόνο, αναφέρεται ότι ο υπολογισμός τους έγινε στο πλέον πρόσφατο πλαίσιο υλοποίησης του ETRS'89, δηλαδή στο ETRF2005 (European Terrestrial Reference Frame 2005) και στην εποχή 2007.5.
3. Όλοι οι σταθμοί αναφοράς διαθέτουν κεραία «Trimble Zephyr Geodetic» με θόλο προστασίας «Trimble Hemispherical Dome for Zephyr Geodetic» (IGS code: "TRM41249.00 TZGD"). Το μοντέλο της κεραίας του σταθμού αναφοράς πρέπει να δηλώνεται στο λογισμικό μετεπεξεργασίας (post-processing office software) προκειμένου να αποφεύγονται σφάλματα στον προσδιορισμό των υψομέτρων αλλά και να επιτυγχάνεται η μέγιστη οριζοντιογραφική ακρίβεια.

Σχήμα 8.14α. Η κατανομή των σταθμών HEPOS σε ολόκληρη την Ελλάδα. Πηγή: HEPOS_map_v1_0_gr Μάρτιος 2008, Κτηματολόγιο ΑΕ.

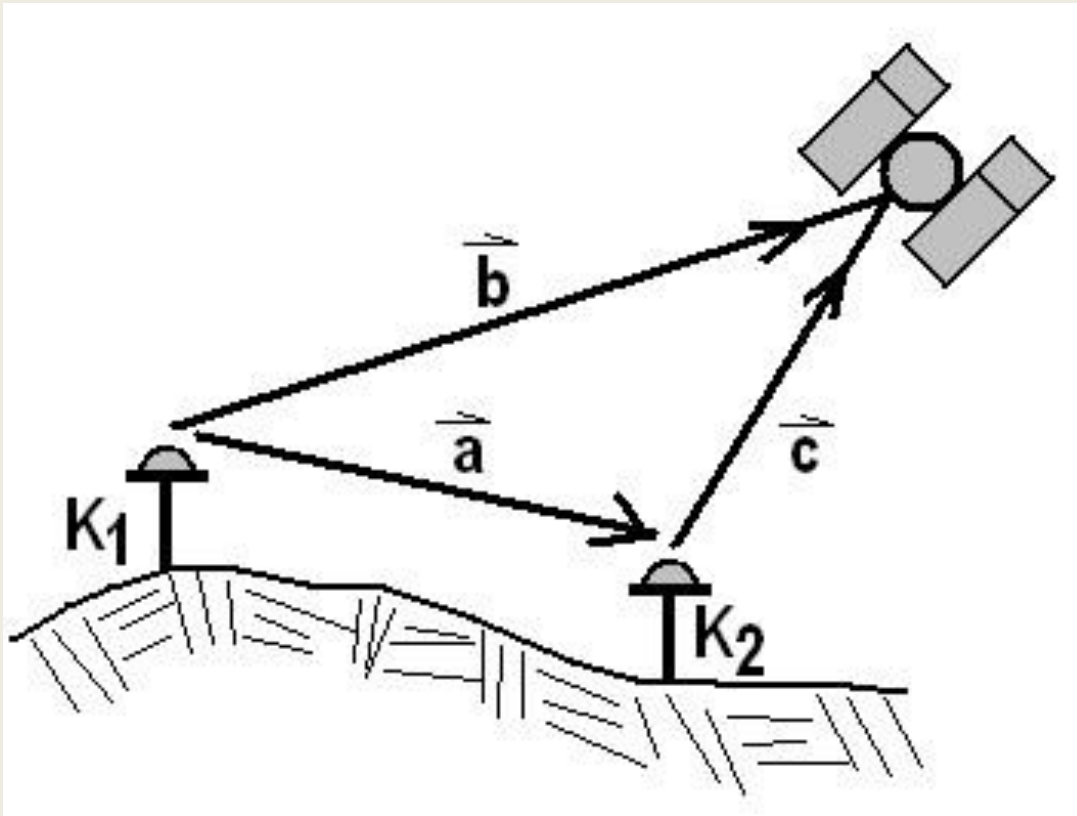


Παρακολούθηση της φέρουσας φάσης (Μετρήσεις)

- Τα φέροντα σήματα της L1 ή/και της L2 χρησιμοποιούνται στη τοπογράφιση με φέρουσα φάση.
- Οι φέροντες κύκλοι της L1 έχουν ένα μήκος κύματος 19 εκατοστά ή 0.13 νανοδευτερόλεπτα (συγκρίνετε με 300 μέτρα που έχει το μπιτ του κώδικα C/A ή 1 μικροδευτερόλεπτο)
 - άρα η μισή περίοδος πάνω στην οποία μετρείται η φάση είναι 9.5 cm και
 - άρα εκτιμώντας το 2 – 3% της ποσότητας αυτής μετρώντας τη φάση έχουμε ακρίβεια της τάξης των 2 - 3 χιλιοστών.

- Η φέρουσα φάση παρακολουθείται και στους δύο δέκτες και οι αλλαγές στην παρακολουθούμενη φάση καταγράφονται ανά τον χρόνο σε αμφότερους τους δέκτες.
- Όλη η παρακολούθηση της φέρουσας φάσης είναι διαφορική, και απαιτεί ο δέκτης αναφοράς και ο δέκτης μέτρησης να παρακολουθούν τη φέρουσα φάση ταυτόχρονα.
- Εκτός αν οι δύο δέκτες χρησιμοποιούν L1 - L2 διαφορές για να μετρήσουν την ιονοσφαιρική καθυστέρηση, θα πρέπει να είναι αρκετά κοντά ώστε να διασφαλισθεί ότι η ιονοσφαιρική καθυστέρηση είναι λιγότερη από το μήκος κύματος της φέρουσας φάσης.

Τοπογραφία με διαφορικό GPS



$$\vec{a} = \vec{b} - \vec{c}$$

Τοπογραφία με διαφορικό GPS

$$\Phi_k^P(t) = \phi_k^P(t) - \phi^P(t) + N_k^P + S_k + f(\tau_P + \tau_k) - \beta_{iono} + \delta_{tropo}$$

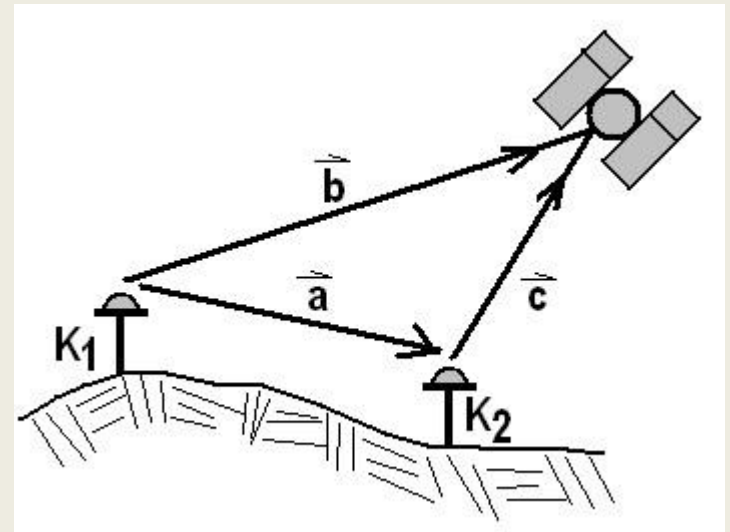
Όπου $\Phi_k^P(t)$ είναι το μήκος της διαδρομής ανάμεσα στο δορυφόρο P και το δέκτη k σε χρόνο t εκφρασμένη σε κύκλους (αριθμός κύκλων ακέραιοι + κλάσμα)
 $\phi_k^P(t)$ είναι η φάση που μετράται στο δέκτη k από το δορυφόρο P σε χρόνο t
 $\phi^P(t)$ είναι η φάση που διαβιβάζεται από το δορυφόρο
 N_k^P είναι ακέραιος αριθμός κύκλων ασάφειας (integer ambiguity)
 S_k είναι ο μετρούμενος θόρυβος στο δέκτη (πολλαπλές διαδρομές, άλλα σφάλματα)
f είναι η φέρουσα συχνότητα [Hz],
 τ_P είναι συστηματικό σφάλμα στο χρονόμετρο του δορυφόρου
 τ_k είναι συστηματικό σφάλμα στο χρονόμετρο του δέκτη
 β_{iono} είναι το σφάλμα προώθησης του σήματος στην ιονόσφαιρα
 δ_{tropo} είναι το σφάλμα υστέρησης του σήματος στην τροπόσφαιρα

(α) Απλές διαφορές

- φαίνονται στο Σχήμα όπου υπάρχουν δύο δέκτες που κάνουν ταυτόχρονες μετρήσεις στο ίδιο SV.
- Η απλή διαφορά δίνεται από τη διανυσματική εξίσωση

$$\vec{a} = \vec{b} - \vec{c}$$

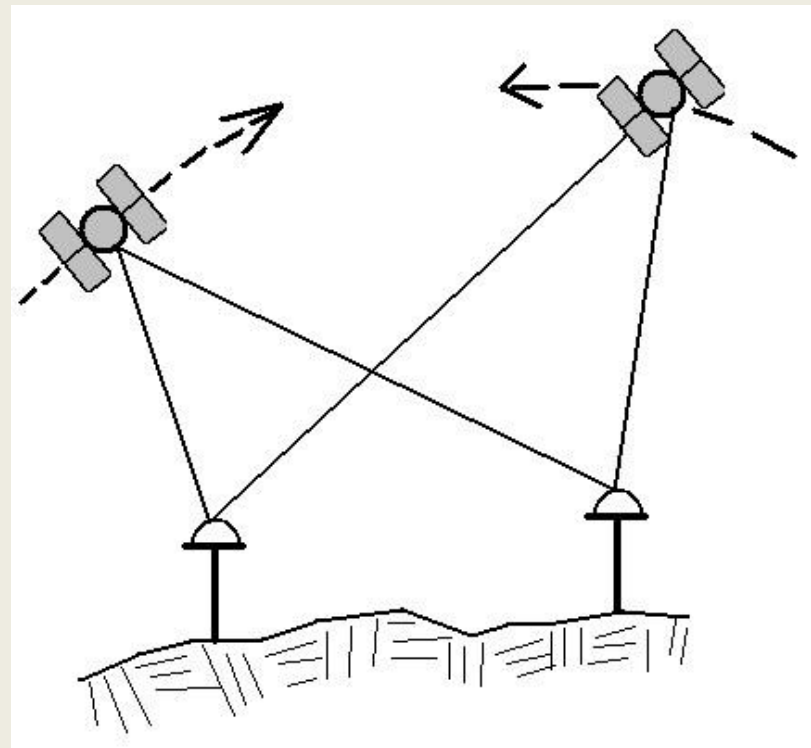
- Οι μετρήσεις αυτές σχεδόν εξαλείφουν το σφάλμα του χρονόμετρου του δορυφόρου.
- Οι απλές διαφορές συνήθως συμβολίζονται με το σύμβολο Δ .



(β) Διπλές διαφορές

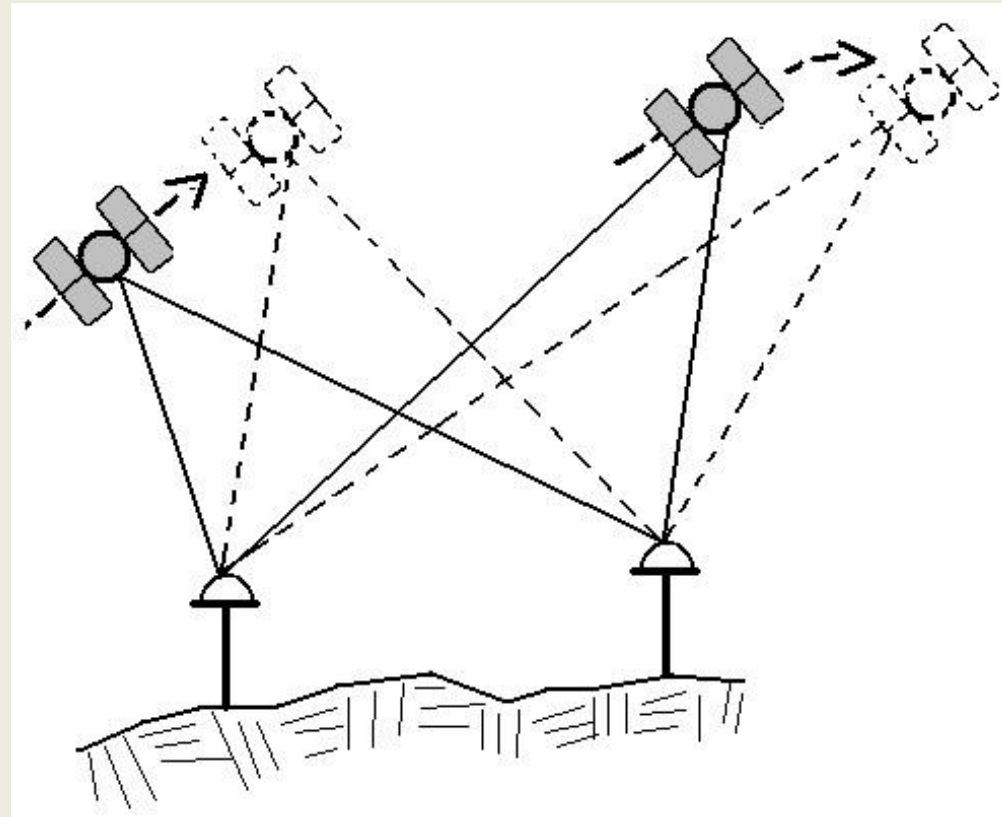
- όπου χρησιμοποιούνται δύο δέκτες με ταυτόχρονες μετρήσεις σε δύο SV.
- Μπορεί να θεωρηθεί η διαφορά δύο απλών διαφορών.
- Η μέθοδος αυτή εξαλείφει σχεδόν όλα τα σφάλματα χρονομέτρων στο δορυφόρο και στο δέκτη ενώ παραμένει άγνωστη η ασάφεια των κύκλων.
- Οι διπλές διαφορές συνήθως συμβολίζονται με το σύμβολο

∇



(γ) Τριπλές διαφορές

- είναι διαφορές ανάμεσα σε διπλές διαφορές παρμένες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (epochs)
- πέραν όλων των συστηματικών σφαλμάτων που περιορίζονται στο ελάχιστο λύνεται επίσης το πρόβλημα της ασάφειας των κύκλων.
- Οι τριπλές διαφορές συνήθως συμβολίζονται με το σύμβολο δ .



Συνήθεις Τοπογραφικές μετρήσεις με GPS

- (α) Στατική είναι οι περισσότερο διαδεδομένη διαφορική μέθοδος για τον προσδιορισμό σημείων ελέγχου με μεγάλη ακρίβεια. Απαιτεί αυξημένο χρόνο παρατήρησης 30' μέχρι 6 ώρες κάτι που εξαρτάται από τον αριθμό των ορατών δορυφόρων, το μήκος της βάσης, την ακρίβεια κτλ., για να επιλυθεί η ασάφεια των αέριων κύκλων ανάμεσα στον δορυφόρο και το δέκτη. Η μέθοδος αυτή πετυχαίνει ακρίβειες κλάσματος του εκατοστού. Χρησιμοποιούνται δέκτες είτε μονής είτε διπλής συχνότητας.

(β) Ταχεία Στατική

- είναι παρόμοια με τη ψευδοκινηματική που περιγράφεται πιο κάτω.
- Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση βάσεων και προσδιορισμού θέσης με ακρίβεια εκατοστού με σύντομες στατικές μετρήσεις των 5 έως 20 λεπτών.
- Ο χρόνος παρατήρησης εξαρτάται από το μήκος της βάσης και τον αριθμό των ορατών δορυφόρων.
- Κατά τη μετακίνηση από το ένα σημείο στο άλλο μπορεί να χαθεί το κλείδωμα της φάσης επειδή κάθε βάση επεξεργάζεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες.
- Σε αντίθεση με τη ψευδοκινηματική μέθοδο, εδώ ο δέκτης τοποθετείται μόνο μια φορά πάνω στα σημεία.
- Απαιτούνται δέκτες διπλής συχνότητας.

(γ) Κινηματική

- είναι ταχύτερη μέθοδος με μεγάλη ακρίβεια όπου μετρούνται βάσεις στις οποίες ο κινητός δέκτης μπορεί να βρίσκεται σε κινούμενο όχημα αυτοκίνητο, πλοίο, αεροπλάνο, κτλ.
- Ο δέκτης αναφοράς τοποθετείται σταθερά σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες και ο κινητός δέκτης (rover) μετακινείται ανάμεσα στα σημεία που πρέπει να μετρηθούν.
- Τα δεδομένα συλλέγονται και επεξεργάζονται είτε σε πραγματικό χρόνο είτε αργότερα στο γραφείο.
- Η ακρίβεια που πετυχαίνεται είναι της τάξης του εκατοστού.
- Οι κινηματικές μέθοδοι απαιτούν ένα είδος αρχικής εκκίνησης της διαδικασίας για την επίλυση της ασάφειας των ακέραιων κύκλων της φέρουσας φάσης.
- Αυτό πετυχαίνεται με την τοποθέτηση του κινητού δέκτη σε γνωστό σημείο σχετικά με το δέκτη αναφοράς και χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως εναλλαγή κεραίας (antenna swap), «πάνω στην κίνηση» (On the fly – OTF).

(δ) Άφιξη & Αναχώρηση Κινηματική (Stop & Go Kinematic)

- απαιτεί τη συλλογή στατικών δεδομένων για αρκετά λεπτά (10 – 30 λεπτά) σε κάθε σταθμό της βάσης για ένα διάστημα εκκίνησης ώστε να προσδιορίσει τους ακέραιους κύκλους ασάφειας.
- Η μέθοδος αυτή δεν επιτρέπει την απώλεια κλειδώματος της φάσης των δορυφόρων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- Αν κάτι τέτοιο συμβεί θα πρέπει να επαναληφθεί εκ νέου η διαδικασία εκκίνησης.
- Η μέθοδος αυτή είναι καλό να εφαρμόζεται σε δύο σταθερές γνωστές στάσεις ώστε να υπάρχουν αυξημένοι βαθμοί ελευθερίας για τη βελτίωση της ακρίβειας.

(ε) Ψευδοκινηματική

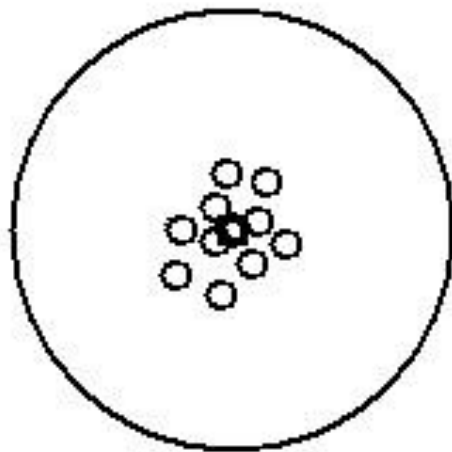
- είναι παρόμοια με τη μέθοδο Άφιξη & Αναχώρηση Κινηματική.
- Η κύρια διαφορά είναι ότι δεν υπάρχει εκκίνηση.
- Τα άγνωστα σημεία θα πρέπει να μετρηθούν δύο φορές κάθε φορά για 5 – 10 λεπτά και η επαναμέτρηση ύστερα από μια ώρα.
- Αντίθετα με τη μέθοδο Άφιξη & Αναχώρηση εδώ η απώλεια του κλειδώματος της φάσης επιτρέπεται.

(στ) Κινηματική πραγματικού χρόνου (*Real Time Kinematic - RTK*)

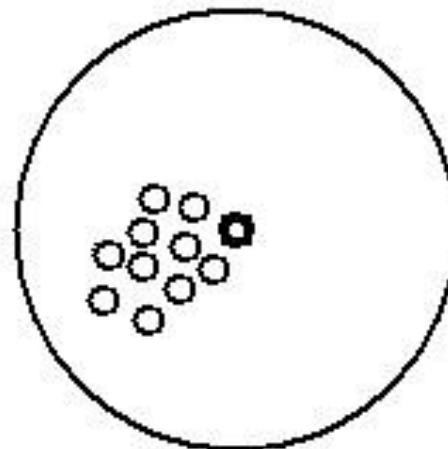
- πετυχαίνει ακρίβεια μερικά εκατοστά σε πραγματικό χρόνο.
- Η μέθοδος αυτή έγινε ευρύτερα γνωστή σε εφαρμογές μηχανικών και δομικών έργων όπως είναι ο τοπογραφικός σχεδιασμός και η χαρτογράφηση περιοχής, χάραξη τεχνικών έργων, εντοπισμός μηχανημάτων που εργάζονται σε τεχνικά έργα, και υδρογραφικές μετρήσεις.
- Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τους ακέραιους κύκλους ασάφειας ενώ ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση και χωρίς να γίνεται στατική εκκίνηση.
- Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια τεχνική που ονομάζεται «εν πτήσει» (*on the fly – OTF*) κατά την οποία ο δέκτης που κινείται προσδιορίζει εν κινήσει τους ακέραιους κύκλους ασάφειας.
- Η περιοδική απώλεια του κλειδώματος σε δορυφόρο μπορεί εν κινήσει να επανέλθει και να γίνει επανάκτηση των ακέραιων κύκλων ασάφειας.
- Αυτή είναι μια σημαντική διαφορά της μεθόδου και του συστήματος μέτρησης αυτού σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται.
- Απαιτείται διασύνδεση επικοινωνίας μεταξύ του σταθερού δέκτη και του κινούμενου δέκτη. Πολλές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για να αυξηθεί η ακρίβεια του RTK σε τοπικό επίπεδο όπως είναι η τοποθέτηση ενός προσομοιωτή δέκτη δορυφόρου GPS σε σταθερή θέση στο έδαφος (ψευτοδόλιχα). Οι τεχνικές αυτές βρίσκουν εφαρμογή σε περιοχές (υπόγεια, σήραγγες, εσωτερικό κτιρίων, κτλ.) που φυσικά εμπόδια δεν επιτρέπουν την ορατότητα στους δορυφόρους GPS ή σε μετρήσεις ακριβείας του υψομέτρου για την προσγείωση αεροσκαφών.

Πηγές σφαλμάτων στο GPS

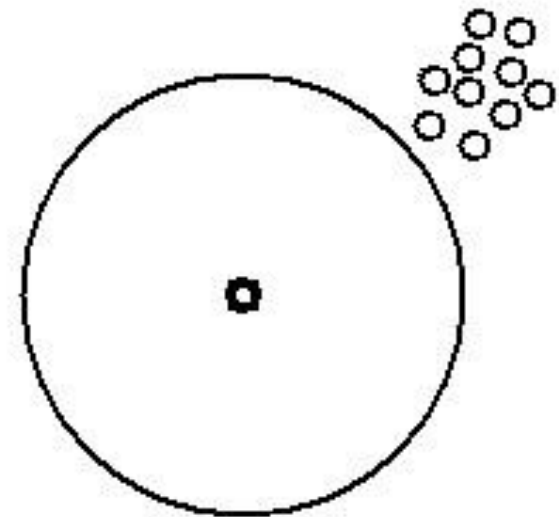
ΣΦΑΛΜΑΤΑ



(α) Θόρυβος



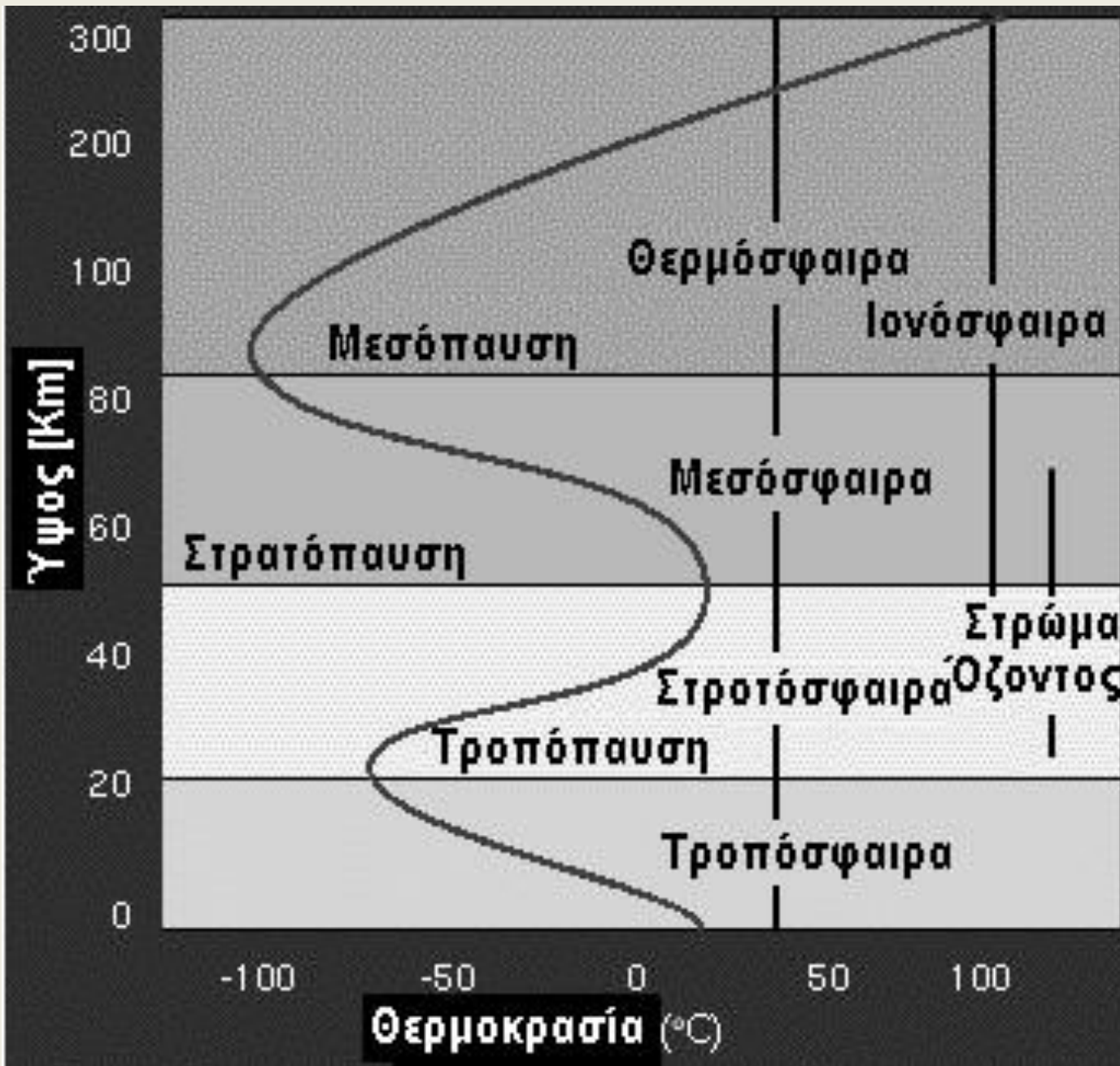
(β) Συστηματικό
και θόρυβος



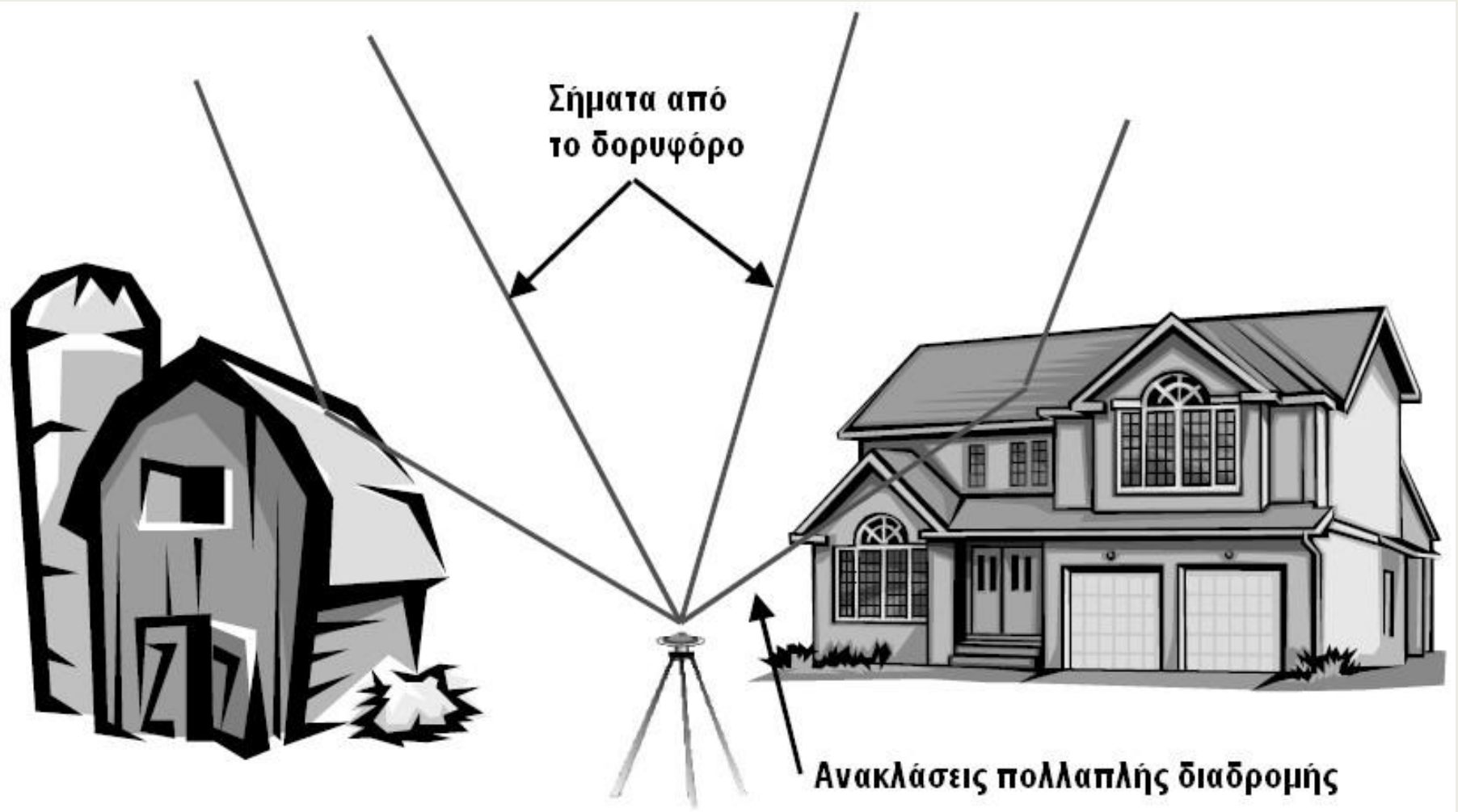
(γ) Θόρυβος και
Συστηματικό και
Χονδροειδές

Πηγές συστηματικών σφαλμάτων (Bias)

- (α) Τα σφάλματα των χρονομέτρων SV που δεν έχουν διορθωθεί από το Τμήμα Ελέγχου μπορούν να φθάσουν σε σφάλμα ενός μέτρου.
- (β) Σφάλματα δεδομένων εφημερίδας: 1 μέτρο
- (γ) Καθυστερήσεις στην τροπόσφαιρα: 1 μέτρο
- Η τροπόσφαιρα είναι το χαμηλότερο μέρος (από το έδαφος μέχρι 8 - 13 km) της ατμόσφαιρας όπου λαβαίνουν χώρα αλλαγές στην θερμοκρασία, πίεση, και υγρασία συνοδευόμενες από καιρικές αλλαγές. Πολύπλοκα μοντέλα τροποσφαιρικής καθυστέρησης απαιτούν εκτιμήσεις των παραμέτρων αυτών.
- (δ) Μη μοντελοποιημένες καθυστερήσεις στην ιονόσφαιρα: 10 μέτρα
- Η ιονόσφαιρα είναι ένα στρώμα της ατμόσφαιρας από 50 – 100 km το οποίο αποτελείται από ιονισμένο αέρα. Το διαβιβαζόμενο μοντέλο μπορεί να διορθώσει μόνο τη μισή από την πιθανή 70 ns ιονοσφαιρική καθυστέρηση αφήνοντας ένα μη μοντελοποιημένο υπόλοιπο 10 μέτρων.
- (ε) Πολλαπλές διαδρομές: 0.5 μέτρο.



Ανακλάσεις πολλαπλής διαδρομής



Χονδροειδή σφάλματα

- μπορεί να είναι σφάλματα εκατοντάδων χιλιομέτρων.
- Σφάλματα του Τμήματος ελέγχου ένεκα σφάλματος του Η/Υ ή ανθρώπινου λάθους μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα από ένα μέτρο μέχρι εκατοντάδες χιλιόμετρα.
- Λάθη που προέρχονται από το χρήστη, συμπεριλαμβανομένης της λανθασμένης επιλογής γεωδαιτικού datum, μπορεί να φθάσει από ένα μέχρι εκατοντάδες μέτρα.
- Σφάλματα του δέκτη από την αποτυχία του λογισμικού ή της συσκευής μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα οποιουδήποτε μεγέθους.
- Ο συνδυασμός σφαλμάτων θορύβου και bias (βλέπε Σχ. 18β), καταλήγουν σε τυπικά σφάλματα απόστασης γύρω στα 15 μέτρα για κάθε δορυφόρο που χρησιμοποιείται στη λύση εντοπισμού.

Γεωμετρική ισχύς της ακρίβειας (Geometric Dilution of Precision - GDOP)

Ορισμός σημείου με τομή ευθειών

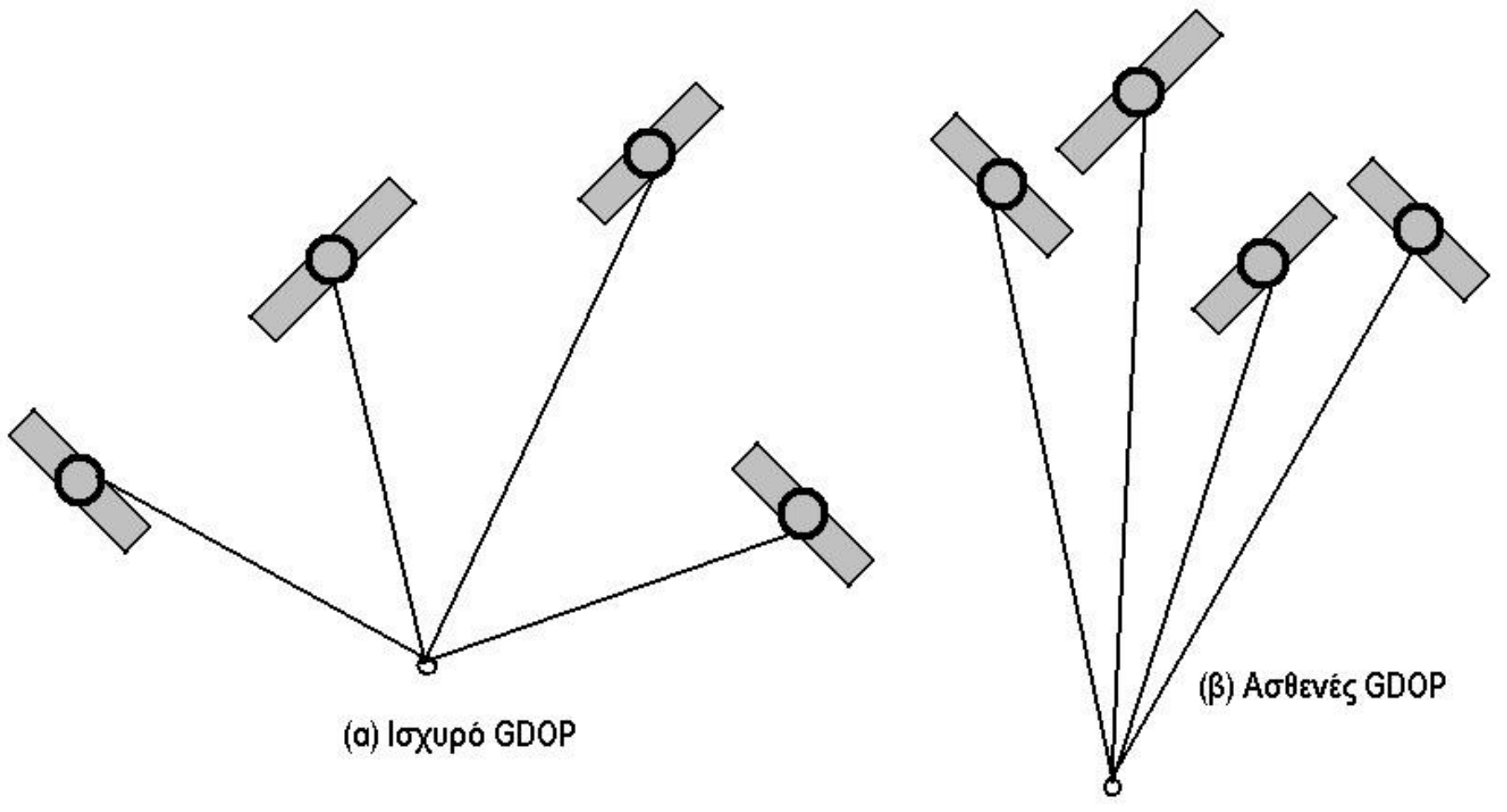


(α) Ασθενής γεωμετρία



(β) Ισχυρή γεωμετρία

Ισχυρό και ασθενές GDOP

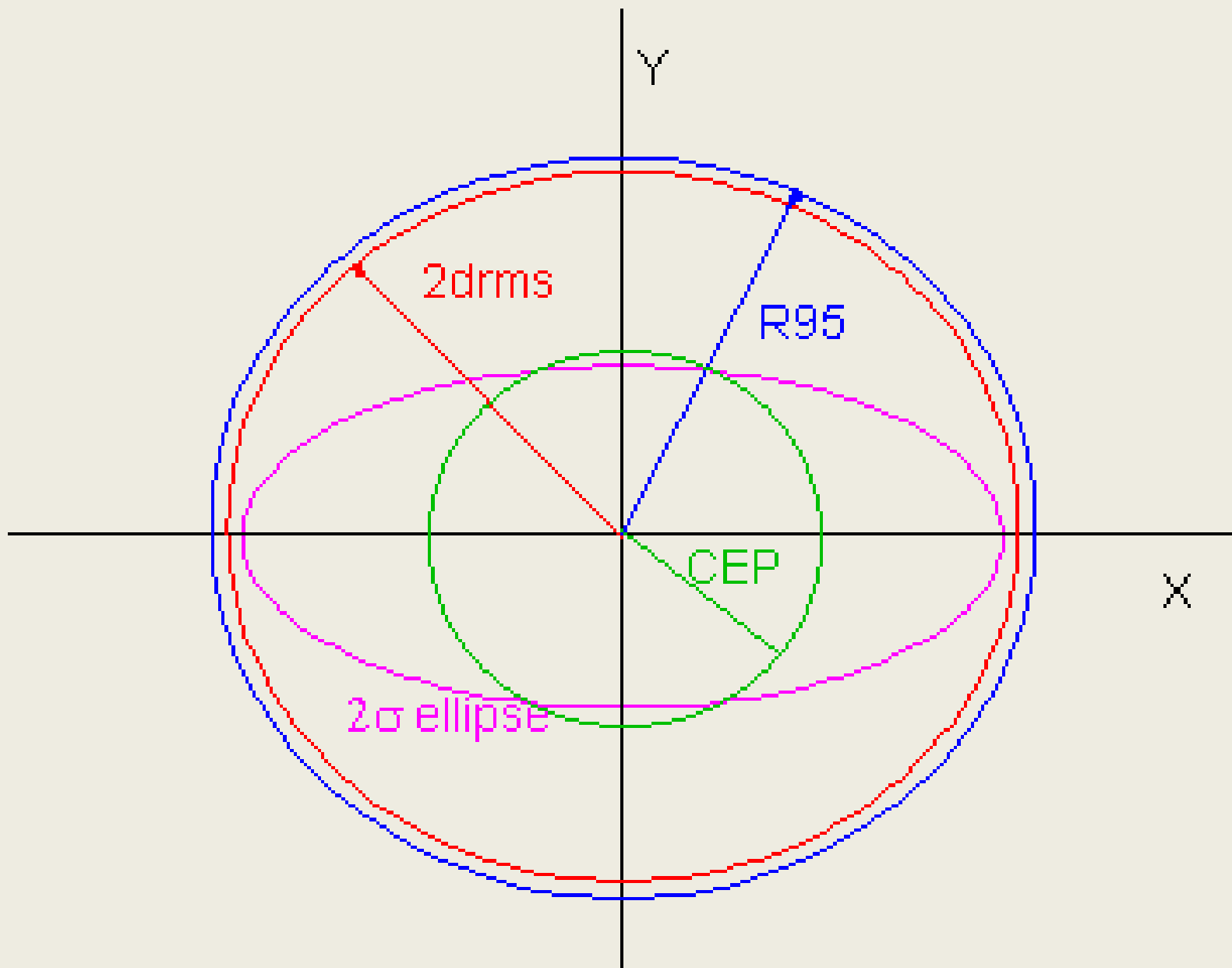


- $\Delta = (B^t B)^{-1} B^t L$ οπότε ορίζεται η ποσότητα:
- $Q = (B^t B)^{-1}$ και στη συνέχεια ορίζονται οι ποσότητες:

$$GDOP = \sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33} + q_{44}}$$

$$PDOP = \sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33}}$$

$$TDOP = \sqrt{q_{44}}$$



Κοινός τρόπος μεταφοράς χρόνου

- Όταν πληροφορία για το χρόνο μεταφέρεται από μία περιοχή σε άλλη, τότε διαφορικές τεχνικές μπορούν να φθάσουν ακρίβειες μεταφοράς περίπου 10 ns πάνω από βάσεις μήκους μέχρι 2000 km.
- Η ακριβής μεταφορά χρόνου είναι σημαντική για συγχρονισμό λειτουργιών που λαβαίνουν χώρα σε διάφορα σημεία του γεωγραφικού χώρου.
- Η ηλεκτρική ενέργεια π. χ., στις γραμμές μεταφοράς είναι εναλλασσόμενη με συχνότητα 50 Hz.
- Αν δύο γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας προστεθούν ώστε να αποτελέσουν μία ενιαία γραμμή θα πρέπει να έχουν ακριβώς τον ίδιο συγχρονισμό διαφορετικά αντί να προστίθεται η ενέργεια θα αλληλοαναιρείται.
- Ο συγχρονισμός αυτός πετυχαίνεται με τη βηματοδότηση των κύκλων κάθε γραμμής στον χρόνο του GPS.