

## Κ. Κατσάμπαλος Καθηγητής ΑΠΘ

# Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης GPS

Τεύχος Β  
Έκδοση: Ιούνιος 2005

---

### Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης

Το παγκόσμιο (δορυφορικό) σύστημα GPS (Global Positioning System) προσφέρει τη δυνατότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων σημείων στην επιφάνεια του εδάφους, αναλύοντας τα κωδικοποιημένα σήματα από τουλάχιστον τέσσερις εκ των εικοσιτεσσάρων και πλέον δορυφόρων, οι οποίοι έχουν τεθεί σε τροχιά ύψους 22000 km, ειδικά για το σκοπό αυτό. Οι πλήρεις συντεταγμένες, ο ακριβής χρόνος και η ταχύτητα (για κινούμενο παρατηρητή), εμφανίζονται στην οθόνη του δέκτη, ή υπολογίζονται με κατάλληλο λογισμικό εκ των υστέρων, εφόσον βέβαια είναι απαραίτητη η μέγιστη δυνατή ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι:

- ♦ Προσδιορισμός της θέσης ενός μεμονωμένου σημείου ή των ορίων ενός χώρου ή της διαδρομής ενός οχήματος, σε 24ωρη βάση και ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών.
- ♦ Ταχεία εκπαίδευση για τη συλλογή των δεδομένων από μη ιδιαίτερα εξειδικευμένο προσωπικό.
- ♦ Σχετικά χαμηλό κόστος προμήθειας των δεκτών του συστήματος, το οποίο έχει μάλιστα ταχύτατη απόσβεση.
- ♦ Δυνατότητα μετασχηματισμού των συντεταγμένων σε οποιοδήποτε από τα εν χρήσει χαρτογραφικά συστήματα (προβολές Hatt, UTM (ΓΥΣ), ΕΓΣΑ87, κ.α.) με τη βοήθεια κατάλληλου εμπορικού λογισμικού, διαθέσιμου στην ελληνική αγορά ή σε μορφή free-ware.
- ♦ Υψηλή **ακρίβεια** προσδιορισμού συντεταγμένων, η οποία προσφάτως (μετά την άρση της «επιλεκτικής διαθεσιμότητας» στα μέσα του 2000) έχει φτάσει στα ακόλουθα, ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα:
  - ◇ 16 μέτρα οριζόντια ακρίβεια (φ,λ) και 23 μέτρα ακρίβεια στο υψόμετρο, με έναν απλό δέκτη (κοινόι χρήστες). Η ακρίβεια ενός απλού δέκτη μπορεί να φτάσει τα μερικά μέτρα (2-3m) εάν ο δέκτης παραμείνει αρκετή ώρα στην ίδια θέση και υπολογιστεί η μέση τιμή των επιμέρους προσδιορισμών. Ακρίβεια «μέτρου» ή και καλύτερη επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη λήψη «διορθωτικών» σημάτων από δορυφόρους βοηθητικών συστημάτων (EGNOS/WAAS)
  - ◇ Μερικά εκατοστά του μέτρου και σε πραγματικό χρόνο, εφόσον χρησιμοποιηθούν δύο δέκτες με ασύρματη ζεύξη (radio link ή επικοινωνία με «κινητό» GSM)
  - ◇ Μερικά χιλιοστά (5mm ± 1 ppm) σε σχετικό προσδιορισμό θέσης, εφόσον χρησιμοποιηθούν δύο δέκτες σε σταθερές θέσεις.
  - ◇ Χιλιοστό του μέτρου και στις τρεις διαστάσεις, αλλά με ταυτόχρονη χρήση επίγειων συστημάτων laser για εργασίες διαμόρφωσης εδάφους σε περιορισμένη έκταση (<500 μέτρα)

- ◇ Χιλιοστό του μέτρου ή και καλύτερα με ειδικούς δέκτες και το κατάλληλο λογισμικό «επεξεργασίας εκ των υστέρων» (post-processing) για γεωδαιτικές και γεωφυσικές έρευνες.

Από τη σκοπιά του (μηχανικού, γεωτεχνικού, αρχαιολόγου) χρήστη του συστήματος GPS, είναι πλέον εφικτός ο προσδιορισμός συντεταγμένων οιασδήποτε θέσης, με ακρίβεια ικανοποιητική για τις ανάγκες μιας τεκμηρίωσης, έως ότου άλλοι ειδικοί (τοπογράφοι) ασχοληθούν με ακριβέστερες και λεπτομερέστερες αποτυπώσεις στην περιοχή.



Δέκτης GPS από τον προσδιορισμό του υψόμετρου στην κορυφή Μύτικας του Ολύμπου (1996, ΑΠΘ & ΣΕΟ).

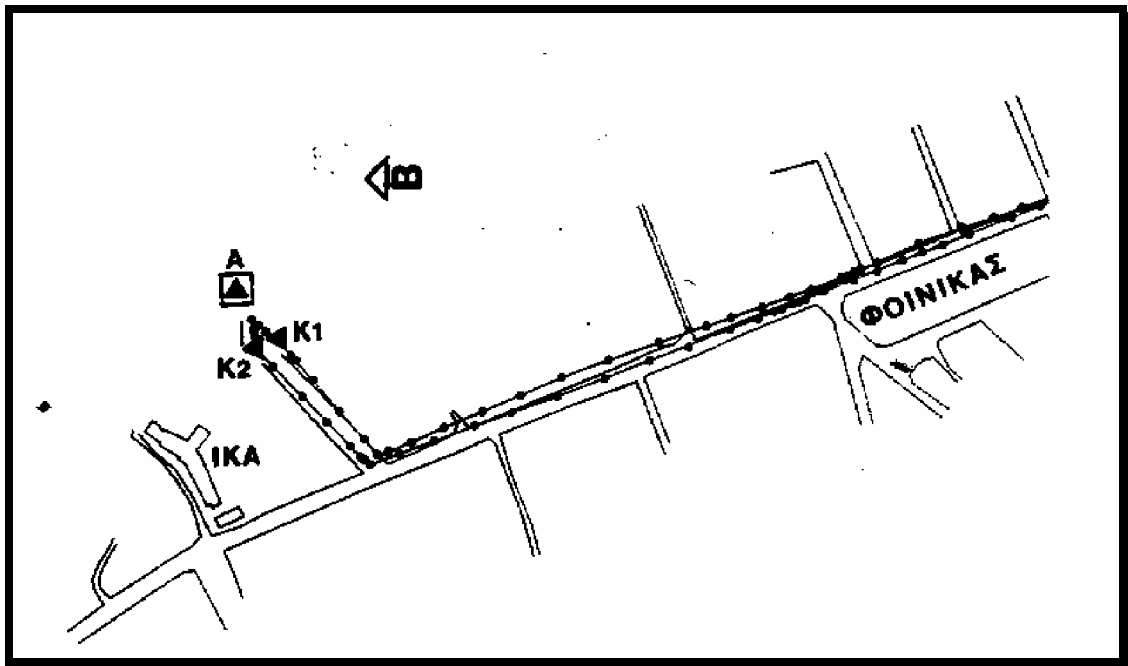
Χαρακτηριστική περίπτωση προσδιορισμού συντεταγμένων υψηλής ακρίβειας σε θέση μη προσβάσιμη για ακριβή προσδιορισμό (ιδιαίτερα του υψόμετρου) με κλασικές διαδικασίες, είναι η αποστολή στην κορυφή Μύτικας του Ολύμπου. Επιστημονική ομάδα από το ΑΠΘ σε συνεργασία με τον Σύλλογο Ελλήνων Ορειβατών, πραγματοποίησε τον Σεπτέμβριο του 1996 τις σχετικές μετρήσεις (μερικών ωρών), και χρησιμοποιώντας τέσσερις (γεωδαιτικούς) δέκτες GPS υψηλής τεχνολογίας, προσδιόρισε το υψόμετρο της κορυφής των θεών αναφορικά με τη μέση στάθμη της θάλασσας, με ακρίβεια μερικών εκατοστών του μέτρου. Είναι άμεσα αντιληπτό ότι το σύστημα προσφέρεται πλέον στην επιστημονική έρευνα και τεκμηρίωση ως ένα μοναδικό εργαλείο.

Οι μεγάλες βέβαια δυνατότητες του GPS στις (τοπογραφικές) αποτυπώσεις και οριοθετήσεις θέσεων είναι ήδη ευρύτατα γνωστές στο χώρο των μηχανικών και των γεωτεχνικών. Παρατηρήσεις μερικών δευτερολέπτων είναι πλέον αρκετές για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες ενός σημείου με ακρίβεια μερικών εκατοστών, χωρίς μάλιστα να απαιτείται η περίφημη *ορατότητα* από και προς τα “τριγωνομετρικά” της περιοχής της έρευνας. Επιπρόσθετα, ο απαραίτητος εξοπλισμός είναι ιδιαίτερα εύχρηστος και ελαφρύς, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις από τον χρήστη του συστήματος κατά τη συλλογή. Ειδικές γνώσεις απαιτούνται μόνο κατά τη φάση της επεξεργασίας των παρατηρήσεων και στις αποτυπώσεις ακριβείας.



Δέκτης GPS για ταχεία αποτύπωση περιοχής με σκοπό τη σύνταξη μητρώου (Χαλκιδική, 1996). Απαιτείται η “κατάληψη” του αποτυπούμενου σημείου μόνο για μερικά δευτερόλεπτα.

Στην περίπτωση κινητού δέκτη GPS, είναι δυνατή η καταγραφή της τροχιάς του οχήματος, με την προϋπόθεση της “ορατότητας” προς τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους. Οικοδομές, δενδροστοιχίες και βαρέα οχήματα δυσκολεύουν την εφαρμογή του συστήματος, ιδιαίτερα μέσα στον αστικό ιστό, αλλά το GPS αποδίδει στοιχεία θέσης, ταχύτητας και χρόνου με ικανοποιητική ακρίβεια στις περιαστικές και τις αγροτικές περιοχές, όπως φαίνεται (δες φωτ.) από πραγματικά δεδομένα στην περιοχή του Φοίνικα της Θεσσαλονίκης.



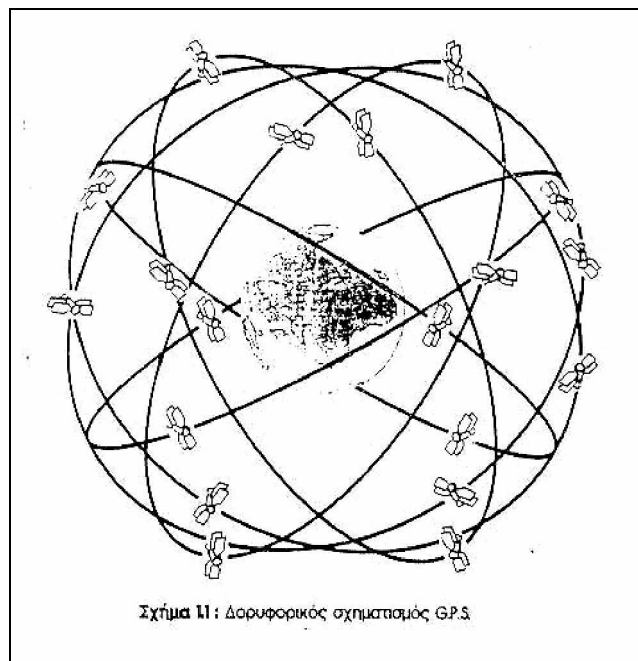
Με κουκίδες παρουσιάζονται οι θέσεις διέλευσης αυτοκινήτου φέροντος δέκτη GPS, σε καθημερινές συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου μέσα στην αστική περιοχή του Φοίνικα της Θεσσαλονίκης (1994). Η ρυμοτομία έχει προκύψει από ψηφιοποίηση διαγράμματος κλίμακας 1:5000. Ο διαφορικός κινηματικός προσδιορισμός GPS επιτρέπει ακρίβεια του “στίγματος” της τάξης των μερικών μέτρων, που είναι ικανοποιητική σε πολλές περιπτώσεις ψηφιακών καταγραφών.

## Γενική Περιγραφή

Η επίσημη ονομασία του (αμερικανικού) δορυφορικού συστήματος GPS είναι NAVSTAR/GPS (NAVigation System with Time And Ranging / Global Positioning System). Σχεδιάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '70 για την κάλυψη στρατιωτικών αναγκών των ΗΠΑ. Το σύστημα πλοήγησης χαρακτηρίζεται από ακρίβειες πολύ κατώτερες από τις συνήθεις γεωδαιτικές, που γίνονται μάλιστα χειρότερες για τους μη «εξουσιοδοτημένους χρήστες» (δηλ. χρήστες που δεν υποστηρίζονται από το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α). Παρ' όλα αυτά, η γεωδαιτική κοινότητα αντιλήφθηκε αμέσως τη δυνατότητα αξιοποίησης του συστήματος για την επίτευξη μεγαλύτερων ακριβειών, χρησιμοποιώντας τις «καθαρές» φέρουσες συχνότητες και όχι τους κώδικες που τις διαμορφώνουν. Περισσότερες πληροφορίες γι' αυτά τα δύο είδη μετρήσεων δίνονται παρακάτω. Γενικά, το σύστημα GPS μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τρία τμήματα:

- Το δορυφορικό τμήμα
- Το τμήμα ελέγχου
- Το τμήμα του χρήστη

**Το δορυφορικό τμήμα** συνίσταται από τους δορυφόρους. Αυτοί αποτελούνται από το κυρίως σώμα και από δύο πτέρυγες  $7,2 \text{ m}^2$  η κάθε μία, οι οποίες αποτελούν τους ηλιακούς συσσωρευτές του δορυφόρου και με σύστημα προσανατολισμού κάθετα στη διεύθυνση του ήλιου. Για τις περιόδους εκλείψεων, έχουν προβλεφθεί 3 φορτιζόμενοι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου.



Γενικά, οι δορυφόροι χωρίζονται σε ομάδες (block: I,II,IIA,III) ανάλογα με τη χρονολογία που εκτοξεύθηκαν και τα ειδικά τους χαρακτηριστικά. Η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής τους είναι γύρω στα 7 χρόνια. Έτσι, όλοι οι δορυφόροι του μπλοκ I και ένας μόνο του μπλοκ II βρίσκονται σήμερα εκτός λειτουργίας. Εκτός από τον παραπάνω διαχωρισμό, οι δορυφόροι μπορεί να ταξινομηθούν ανάλογα και με την τροχιακή τους θέση, τον κώδικα της NASA και τον αριθμό PRN. Ο αριθμός **PRN** (Pseudo Random Noise) είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος, και δείχνει ποιά εβδομάδα του P-κώδικα εκπέμπει ο συγκεκριμένος δορυφόρος. Κάθε δορυφόρος είναι εφοδιασμένος με συστήματα υψηλής τεχνολογίας και βασικό εξοπλισμό, όπως ατομικά χρονόμετρα υψηλής ακρίβειας (ταλαντωτές ρουβιδίου ή καισίου) για τη μέτρηση του χρόνου και την παραγωγή των εκπεμπόμενων σημάτων υψηλής σταθερότητας (σταθερότητα ως προς τις συχνότητες της τάξης  $10^{-13}$  έως  $10^{-14}$ ). Σήμερα περιστρέφονται γύρω από τη γη 24 δορυφόροι του συστήματος GPS. Οι τροχιές

τους είναι περίπου κυκλικές (μέγιστη εκκεντρότητα έλλειψης 0,015) ενώ βρίσκονται σε ύψος περίπου 20200 km πάνω από τη Γη. Η περίοδος μιας πλήρους περιστροφής για έναν δορυφόρο είναι 12 ώρες σε αστρικό χρόνο και κατά συνέπεια κάθε δορυφόρος θα εμφανίζεται στον ορίζοντα ενός τόπου περίπου 4 λεπτά νωρίτερα κάθε μέρα. Ο δορυφορικός σχηματισμός, εξασφαλίζει ταυτόχρονες παρατηρήσεις από 4 τουλάχιστον δορυφόρους καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας με ύψος κάλυψης 15°. Αν το ύψος κάλυψης μειωθεί στις 5°, τότε οι ορατοί δορυφόροι μπορεί να φτάσουν περιστασιακά τους 12.

Τα μηνύματα (κώδικες) που μεταδίδονται είναι τα εξής:

1. κώδικας *P* (*Precise code*)
2. κώδικας *C/A* (*Coarse / Acquisition code*) ή κώδικας *S* (*Standard code*)
3. κώδικας *D* (*Data code*) ή μήνυμα ναυσιπλοΐας (*navigation message*)

Πρόκειται για 3 κώδικες - μηνύματα PRN (ψευδοτυχαίου θορύβου). Απ' αυτούς, οι δύο (*P*, *C/A*) είναι απλά δυαδικά μηνύματα (χωρίς κανένα νόημα) αποτελούμενα από επαναλήψεις (σε φαινομενικά τυχαία σειρά) των ψηφίων 1 και 0 του δυαδικού συστήματος. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν επαναλαμβάνονται, δεν είναι δηλαδή δυνατόν να βρει κανείς σε αυτούς δύο όμοια, σχετικά εκτεταμένα, τμήματα.

**Το τμήμα ελέγχου**, αποτελεί το δεύτερο μέρος του παγκόσμιου συστήματος GPS και συνίσταται από επίγειους σταθμούς τριών ειδών: τον *κεντρικό σταθμό ελέγχου* (*Master Station*) που βρίσκεται στο Colorado Springs των ΗΠΑ, τους 10 *σταθμούς παρακολούθησης* (*Monitoring Stations*) και τους 3 *σταθμούς ελέγχου*. Οι πέντε από τους δέκα σταθμοί παρακολούθησης είναι εφοδιασμένοι με δέκτες GPS, καλύπτουν σχεδόν όλη τη Γη, φέρουν ατομικά ρολόγια υψηλής ακριβείας και μετρούν συνεχώς ψευδοαποστάσεις με τον *P*-κώδικα (*P-code receivers*) προς όλους τους ορατούς δορυφόρους. Οι παρατηρήσεις αυτές, ύστερα από κάποια αρχική επεξεργασία, μεταδίδονται στον κεντρικό σταθμό ελέγχου. Εκεί συγκεντρώνονται τα δεδομένα και υπολογίζονται οι τροχιές των δορυφόρων, καθώς και οι διορθωτικές παράμετροι των ρολογιών τους. Τα στοιχεία αυτά αποστέλλονται από τον κεντρικό σταθμό ελέγχου, μέσω των τριών σταθμών ελέγχου, στη μνήμη των δορυφόρων κάθε μερικές ώρες και εκπέμπονται ακολούθως από τους δορυφόρους προς τους χρήστες μέσω του *D*-κώδικα. Οι παράμετροι αυτές αποτελούν την εκπεμπόμενη εφημερίδα που στηρίζεται στην ανάλυση προγενέστερων παρατηρήσεων (*πρόγνωση*). Τα στοιχεία που μεταβιβάζονται στους δορυφόρους ανανεώνονται 1 ή 2 φορές την ημέρα. Οι άλλοι 5 σταθμοί παρακολούθησης είναι του στρατού των ΗΠΑ και οι παρατηρήσεις τους αποστέλλονται στον κεντρικό σταθμό ελέγχου για να υπολογιστούν οι διαθέσιμες εκ των υστέρων ακριβείς εφημερίδες (*precise ephemerides*). Σε περίπτωση βλάβης των σταθμών ελέγχου, οι δορυφόροι μπορούν από μόνοι τους, με τον δικό τους επεξεργαστή, να προβλέψουν την τροχιά τους για λίγες μόνο μέρες, με σημαντική όμως μείωση της ακρίβειας.

Το τελευταίο μέρος του συστήματος GPS είναι το **τμήμα του χρήστη**. Σ' αυτό περιλαμβάνονται οι δέκτες GPS. Κάθε δέκτης αποτελείται από την κεραία του και τον κυρίως δέκτη που μπορεί να αποτελούν μία ενιαία ή δύο χωριστές διατάξεις.

Οι *κεραίες* είναι μικρών διαστάσεων, μικρού βάρους και πολυκατευθυντήριες (λήψη σημάτων από όλες τις κατευθύνσεις). Καλό είναι πάντως οι κεραίες να μην επισκιάζονται από γειτονικά αντικείμενα (επιφάνειες γυαλιού, μεταλλικές κατασκευές, αυτοκίνητα κ.τ.λ.) τα οποία μπορεί να προκαλέσουν πολλαπλές ανακλάσεις του εκπεμπόμενου σήματος (φαινόμενο *multipath*). Τέλος οι κεραίες μπορούν να κεντρώνονται σε τρίποδα, ή και σε βάθρο τριγωνομετρικού σημείου με τη βοήθεια μιας διάταξης τριχοχλίου.

Ο *κυρίως δέκτης*, αποτελείται από το τμήμα ραδιοσυχνοτήτων, μικροεπεξεργαστή, συσκευή ελέγχου, συσκευή αποθήκευσης και παροχή ενέργειας. Το τμήμα των ραδιοσυχνοτήτων περιλαμβάνει τα κανάλια (δίαυλοι) με τη βοήθεια των οποίων γίνεται η λήψη των εκπεμπόμενων σημάτων και διάφορες άλλες συσκευές όπως ταλαντωτές, πολλαπλασιαστές, φίλτρα, μίκτες. Ο ταλαντωτής παράγει ένα σήμα σε μια βασική συχνότητα την οποία ένας πολλαπλασιαστής μπορεί να μετατρέψει σε άλλες επιθυμητές συχνότητες. Από τα σύνθετα σήματα που φθάνουν στο δέκτη, με τη βοήθεια «φίλτρων»,

μπορούμε να απομακρύνουμε κάποιες συχνότητες. Τέλος οι μίκτες είναι συσκευές που επιτυγχάνουν το μαθηματικό πολλαπλασιασμό δύο εισερχόμενων σημάτων.

### Μέθοδοι σκόπιμης μείωσης της ακρίβειας του συστήματος

Οι στρατιωτικές υπηρεσίες των Η.Π.Α. χρησιμοποιούν δύο τρόπους για να μειώσουν, σκόπιμα, την ακρίβεια του συστήματος στις εφαρμογές πλοήγησης σε πραγματικό χρόνο, όταν αυτό χρησιμοποιείται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Ο πρώτος ονομάζεται **επιλεκτική διαθεσιμότητα - SA** (Selective Availability), ενώ ο δεύτερος είναι γνωστός ως **αντιπαραπλάνηση - AS** (AntiSpoofing).

Επιλεκτική διαθεσιμότητα: Η επιλεκτική διαθεσιμότητα στηρίζεται σε δύο μεθόδους παραποίησης των πληροφοριών της εκπεμπόμενης εφημερίδας:

α) **στη μέθοδο δ**, όπου προστίθενται σφάλματα στις παραμέτρους του ρολογιού του δορυφόρου.

β) **στη μέθοδο ε**, όπου προστίθενται σφάλματα στις παραμέτρους της τροχιάς του δορυφόρου.

Με αυτόν τον τρόπο η αρχική ακρίβεια των 16-23 m που προκύπτει από ψευδοαποστάσεις με χρήση του κώδικα C/A, μειώνεται σε 100 m (φ,λ) και 156 m (h).

Η μείωση αυτή της ακρίβειας αφορά την πλοήγηση, δηλαδή τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης με τη χρησιμοποίηση μόνο ενός δέκτη. Αντίθετα, οι σχετικές θέσεις μεταξύ σημείων μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια, ανεξάρτητα από το αν η επιλεκτική διαθεσιμότητα βρίσκεται σε λειτουργία. Οι παραποιήσεις είναι βέβαια γνωστές στους εξουσιοδοτημένους χρήστες, οι οποίοι μπορούν να ανακτήσουν τις ορθές παραμέτρους.

**Η επιλεκτική διαθεσιμότητα έχει αρθεί από τις 2 Μαΐου του 2000**, οπότε είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης, και με κοινό δέκτη χαμηλού κόστους, με ακρίβεια 16-23 μέτρων (με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

Αντιπαραπλάνηση: Ουσιαστικά με αυτόν τον τρόπο έχουμε έμμεσα, άρνηση πρόσβασης στον ακριβέστερο κώδικα P. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός άγνωστου κώδικα, του **κώδικα απόκρυψης W**, ο οποίος έχει διάρκεια ψηφίου 20 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του κώδικα P, και επομένως συχνότητα:  $f_Y = 0,2 * f_0 = 2,046 \text{ Mbps}$ . Αντί του γνωστού κώδικα P εκπέμπεται ένας νέος κώδικας, ο κώδικας **Y**, ο οποίος προκύπτει από τη «δυναμική άθροιση» της τιμής του ψηφίου του κώδικα P με την τιμή του ταυτόχρονου ψηφίου του κώδικα απόκρυψης W. Παρακάτω φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η δυναμική πρόσθεση:

Τιμή ψηφίου κώδικα P	0	0	1	1
Τιμή ψηφίου κώδικα W	0	1	0	1
Τιμή ψηφίου κώδικα Y (Y = P + W)	0	1	1	0

Με βάση τη συχνότητα (ρυθμό) των ψηφίων του κώδικα απόκρυψης W, συμπεραίνουμε ότι κάθε εικοσάδα του κώδικα Y θα είναι ταυτόσημη με την αντίστοιχη εικοσάδα του κώδικα P (όταν ο W έχει τιμή 0), ή εντελώς «ανεστραμμένη» (όταν ο W έχει τιμή 1). Τον κώδικα απόκρυψης W γνωρίζουν μόνο οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες, οι οποίοι πλέον μπορούν να ανακτήσουν τον αρχικό κώδικα P. Έτσι, από τη μία η άρνηση πρόσβασης στον κώδικα P (ακρίβεια πλοήγησης περίπου 10 m) και από την άλλη (επιλεκτική διαθεσιμότητα) η σκόπιμη μείωση της ήδη μικρότερης ακρίβειας του κώδικα C/A (ακρίβεια πλοήγησης 15-40 m) περιορίζει τη χρησιμότητα του συστήματος για γεωδαιτικούς σκοπούς. Παρόλο αυτά υπάρχουν τεχνικές ανεξάρτητες (ή σχεδόν ανεξάρτητες) του κώδικα με τη βοήθεια των οποίων ξεπερνάμε τα παραπάνω προβλήματα.

### Τύποι δεκτών

Ανάλογα με τον κώδικα που χρησιμοποιούν και τη δυνατότητα, ή μη, αξιοποίησης των «καθαρών» φερουσών συχνοτήτων, μπορούμε να διακρίνουμε 4 τύπους δεκτών:

Δέκτες ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A:

Πρόκειται για δέκτες χαμηλού κόστους, ευρείας χρήσεως και μικρής ακρίβειας. Διαθέτουν ανάλογα από 1 έως 12 διαύλους (κανάλια). Δέκτες που διαθέτουν τουλάχιστον 4 διαύλους προτιμούνται σε περιπτώσεις όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση για την ταυτόχρονη παρακολούθηση ισάριθμων δορυφόρων (χρήση σε αυτοκίνητο). Για εφαρμογές όπου ο δέκτης είναι συνεχώς σε σταθερή θέση, ένας και μόνο δίαυλος θεωρείται ικανοποιητικός αφού μπορεί να παρατηρεί εναλλακτικά διαφορετικούς δορυφόρους. Δέκτες τέτοιου είδους χρησιμοποιούνται από περιηγητές.

#### Δέκτες φέρουσας συχνότητας και κώδικα C/A:

Οι δέκτες αυτοί εκτελούν παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A και φάσεων από την φέρουσα συχνότητα L1. Διαθέτουν από 4 έως 12 διαύλους και έχουν τη δυνατότητα καταχώρησης σε μνήμη των παρατηρήσεων αποστάσεων και φάσεων, μαζί με τους αντίστοιχους χρόνους. Σήμερα, οι δέκτες αυτοί έχουν την ικανότητα να μετρούν και φάσεις από τη φέρουσα συχνότητα L2. Αυτό πραγματοποιείται με μία τεχνική ανεξάρτητη του κώδικα, την τεχνική του τετραγωνισμού (codeless squaring technique). Έτσι, ο κώδικας P που διαμορφώνει και τη φέρουσα συχνότητα L2 χάνεται στην πορεία ενώ η αναλογία σήματος προς θόρυβο μειώνεται σημαντικά σε σχέση με τους προηγούμενους δέκτες που δεν μετρούν και στην L2 συχνότητα. Όταν υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης και στις δύο συχνότητες (L1,L2) με συνδυασμό αυτών, μπορεί να μειωθεί η ιονοσφαιρική επίδραση και επομένως να προκύψουν πιο ακριβή αποτελέσματα. Οι δέκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τοπογραφικές εφαρμογές.

#### Δέκτες κώδικα P:

Οι δέκτες αυτοί έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν ένα αντίγραφο του κώδικα P και να το συσχετίζουν με το λαμβανόμενο σήμα που περιέχει ένα τμήμα του κώδικα πάνω στη συχνότητα L1 ή L2. Με τη συσχέτιση αναγνωρίζεται το συγκεκριμένο τμήμα και αφαιρείται από το σήμα, ώστε να παραμείνουν «καθαρές» πλέον οι φέρουσες συχνότητες για τη μέτρηση των φάσεων. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται είναι της τάξης των μερικών cm για αποστάσεις 100 Km. Ακρίβειες μερικών cm για αποστάσεις 20 Km μέσα σε 10 λεπτά μπορούν να επιτευχθούν με μια τεχνική που ονομάζεται 'wade lating' και στηρίζεται στο γραμμικό συνδυασμό φάσεων από τις L1 και L2. Όταν ο Y κώδικας αντικαθιστά τον P (δες παρακάτω), χρησιμοποιούνται τεχνικές ανεξάρτητες (ή σχεδόν ανεξάρτητες) του κώδικα, με τις οποίες γίνονται παρατηρήσεις φάσεων της L2 και ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα, χωρίς να είναι γνωστός ο κώδικας Y. Οι δέκτες αυτοί επιτυγχάνουν υψηλές ακρίβειες και μπορούν να χαρακτηριστούν ως γεωδαιτικοί δέκτες.

#### Δέκτες κώδικα Y:

Πρόκειται για τους δέκτες στρατιωτικής χρήσης των εξουσιοδοτημένων χρηστών του συστήματος. Διαθέτουν σε κάθε δίαυλο μηχανισμό (AOC = Auxiliary Output Chips) για τη «μετάφραση» του κώδικα Y σε κώδικα P, καθώς και για τη διόρθωση των αλλοιωμένων (με την επιλεκτική διαθεσιμότητα) παραμέτρων χρόνου και τροχιάς δορυφόρου.

### **Επεξεργασία λαμβανόμενων σημάτων - Είδη παρατηρήσεων**

Τα βασικά είδη παρατηρήσεων που γίνονται μέσω ενός δέκτη GPS είναι :

- *ψευδοαποστάσεις* με τη χρήση των κωδίκων,
- *διαφορές φάσεων* μεταξύ της «καθαρής» φέρουσας συχνότητας (L1 ή L2) και της συχνότητας αναφοράς που δημιουργείται στο δέκτη.

Γενικά, στις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων, ο δέκτης προσπαθεί να συσχετίσει τον κώδικα που προέρχεται από το δορυφόρο με ένα αντίγραφο του που δημιουργεί. Η χρονική διαφορά τους, (χρόνος που χρειάζεται το λαμβανόμενο σήμα να φτάσει από το δορυφόρο στο δέκτη) πολλαπλασιασμένη με την ταχύτητα του φωτός c δίνει την ψευδοαπόσταση. Αυτή η απόσταση δεν είναι η αληθινή γεωμετρική απόσταση μεταξύ δορυφόρου δέκτη, και αυτό γιατί υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα (σφάλματα συγχρονισμού ρολογιών δορυφόρου-δέκτη, ιονοσφαιρική και τροποσφαιρική επίδραση, κ.λ.π.). Αντίστοιχα, στις μετρήσεις των διαφορών φάσεων, αυτό που μετριέται είναι το κλασματικό μόνο μέρος της διαφοράς φάσης των δύο «καθαρών» φέρουσων συχνοτήτων. Παραμένει επομένως ως άγνωστος ένας ακέραιος αριθμός κύκλων N.

### Τεχνικές χωρίς γνώση του κώδικα

Όπως αναφερθήκαμε και παραπάνω, για να μπορέσουμε να κάνουμε μετρήσεις, τόσο ψευδοαποστάσεων, όσο και φάσεων, θα πρέπει ο κώδικας P να βρίσκεται σε ελεύθερη χρήση. Παρόλο αυτά έχουν αναπτυχθεί τεχνικές με τις οποίες μπορούμε να έχουμε παρατηρήσεις ακόμη και αν ο κώδικας P έχει αλλάξει εσκεμμένα. Οι τεχνικές αυτές, οι οποίες είναι ανεξάρτητες ή σχεδόν ανεξάρτητες του κώδικα είναι οι ακόλουθες:

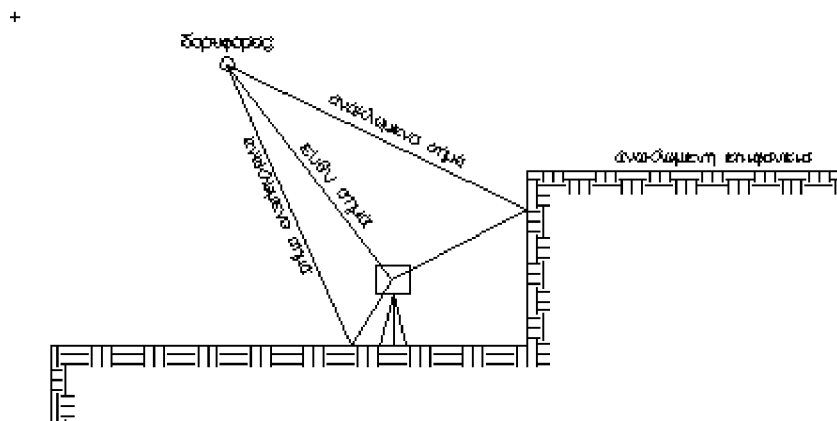
- Τεχνική του τετραγωνισμού
- Τεχνική της αλληλο-συσχέτισης
- Τεχνική συσχέτισης κωδίκων σε συνδυασμό με την τεχνική του τετραγωνισμού
- Τεχνική Z - tracking

### Ατμοσφαιρικές επιδράσεις - Προβλήματα

Εφόσον το σήμα 'ταξιδεύει' μέσα στην ατμόσφαιρα, θα επιδέχεται όπως είναι λογικό κάποιες καθυστερήσεις. Παρακάτω, γίνεται μία προσπάθεια να προσεγγίσουμε τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας, καθώς και κάποια γενικά προβλήματα που αφορούν το σύστημα GPS.

### Το φαινόμενο multipath

Η έκφραση που περιγράφει το φαινόμενο αυτό είναι η εξής: 'Τα εκπεμπόμενα σήματα των δορυφόρων φθάνουν στο δέκτη, μέσω περισσότερων του ενός δρόμου', και οφείλεται στις ανακλώμενες επιφάνειες κοντά στο δέκτη.



Όπως φαίνεται και στο σχήμα, το σήμα φθάνει στο δέκτη από τρεις διαφορετικούς δρόμους (ένας ευθύς και δύο πλάγιοι). Συνεπώς τα λαμβανόμενα σήματα έχουν σχετική μετάθεση φάσης και οι διαφορές φάσης είναι ανάλογες των διαφορών των μηκών των διαδρομών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει κάποιο γενικό μοντέλο που να περιγράφει την επίδραση του εν λόγω φαινομένου. Ωστόσο, μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας συνδυασμό μετρήσεων κωδίκων και φάσεων στην L1 και L2 συχνότητα. Η βασική αρχή είναι ότι η τροπόσφαιρα και τα σφάλματα ρολογιών, επηρεάζουν τον κώδικα και τη φάση κατά την ίδια ποσότητα. Αυτό όμως δεν ισχύει για την ιονοσφαιρική διάθλαση και το φαινόμενο Multipath τα οποία εξαρτώνται από τη συχνότητα. Παίρνοντας μετρήσεις από κώδικες και φάσεις που είναι απαλλαγμένες από την ιονοσφαιρική διάθλαση (ionospheric-free) και σχηματίζοντας αντίστοιχες διαφορές, όλες οι προαναφερθείσες επιδράσεις εκτός από το Multipath, απομακρύνονται. Συνεπώς, τα σφάλματα, εκτός από το θόρυβο, αναδεικνύουν την επίδραση του φαινομένου Multipath.

### Επίδραση Ιονόσφαιρας



Η ιονόσφαιρα αποτελεί για τα μικροκύματα, ένα 'μέσο διασποράς', όπου ο δείκτης διάθλασης εξαρτάται από τη συχνότητα, με σχέση που δίνεται από ανάπτυγμα της μορφής

$$n = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots,$$

και με συντελεστές  $c_i$  που δεν εξαρτώνται από τη συχνότητα  $f$ . Η εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από τη συχνότητα, αποτελεί τη βάση για την απαλοιφή του μεγαλύτερου μέρους της ιονοσφαιρικής επίδρασης, χρησιμοποιώντας, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, μετρήσεις σε δύο διαφορετικές συχνότητες.

Η καθυστέρηση του σήματος, εξαρτάται από την περιεκτικότητα των ηλεκτρονίων κατά την διέλευση του σήματος και από τη συχνότητα που χρησιμοποιείται. Το σφάλμα στη μέτρηση των αποστάσεων μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως και 100 μέτρα. Μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στις περιοχές του ισημερινού, όπου παρατηρείται πολύ μεγάλη περιεκτικότητα ηλεκτρονίων. Με το συνδυασμό όμως παρατηρήσεων και στις δύο φέρουσες συχνότητες L1 και L2 (διαφορετική καθυστέρηση), μπορούμε να μειώσουμε αισθητά την επίδραση της ιονόσφαιρας. Άσχημες ιονοσφαιρικές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν τη λεγόμενη ολίσθηση κύκλων. Τέλος αυτό που θα πρέπει να επισημανθεί είναι ότι ο κώδικας και η φάση επιδέχονται διαφορετική καθυστέρηση.

### Επίδραση Τροπόσφαιρας

Σε αντίθεση με την ιονόσφαιρα, η τροποσφαιρική καθυστέρηση για συχνότητες του ραδιοφάσματος είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα, γι' αυτό και δεν μπορεί να καθοριστεί από μετρήσεις με δέκτες διπλής συχνότητας.

### Ολίσθηση κύκλων (cycle slips)

Σε τρεις μπορούν συνοψιστούν οι αιτίες που προκαλούν το φαινόμενο της ολίσθησης των ακεραίων κύκλων. Πρώτη είναι η αιτία της ύπαρξης φυσικών και τεχνητών εμποδίων μεταξύ δορυφόρου - δέκτη (ύπαρξη δένδρων, ψηλών κτιρίων, διέλευση δέκτη κάτω από γέφυρα κ.α.) η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη. Η δεύτερη αιτία είναι ο χαμηλός λόγος σήματος προς θόρυβο εξαιτίας άσχημων ιονοσφαιρικών συνθηκών, ανακλάσεων του σήματος ή λόγω του χαμηλού ύψους διέλευσης του δορυφόρου. Τέλος ολίσθηση κύκλων μπορεί να προκύψει από κάποιο πρόβλημα στο λειτουργικό πρόγραμμα του δέκτη και έτσι να μην έχουμε σωστή επεξεργασία στο σήμα.

### Μέθοδοι μετρήσεων

Οι τεχνικές των μετρήσεων χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στον **απόλυτο προσδιορισμό θέσης** (point positioning) και στον **σχετικό** (relative positioning). Ο απόλυτος προσδιορισμός απαιτεί έναν μόνο δέκτη και ταυτόχρονες παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων προς 4 τουλάχιστον δορυφόρους. Οι ακρίβειες εδώ είναι της τάξης των μερικών μέτρων ή μερικών δεκάδων μέτρων χωρίς την κατάσταση SA και της τάξης των 100 μέτρων με SA. Πολύ πιο ακριβής μέθοδος είναι αυτή του σχετικού προσδιορισμού, όπου στην απλούστερη μορφή της χρησιμοποιούνται δύο δέκτες. Ο ένας (reference receiver) τοποθετείται στο σημείο αναφοράς (σημείο με γνωστές συντεταγμένες), ενώ ο άλλος (rover receiver) περιφέρεται διαδοχικά στα άγνωστα σημεία. Έτσι, προσδιορίζονται διανύσματα βάσεων ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ). Το σημείο αναφοράς (reference point) θα πρέπει να έχει γνωστές συντεταγμένες (X,Y,Z) ως προς το WGS'84 με ακρίβεια της τάξης των 10 μέτρων. Διαφορετικά, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος μη αξιόπιστης λύσης. Μετρώντας πολλές βάσεις στην ουσία μετράμε ένα δίκτυο GPS. Τέλος, βασική προϋπόθεση για την επίτευξη του σχετικού προσδιορισμού αποτελεί η ύπαρξη κοινού χρονικού διαστήματος μετρήσεων και για τους δύο δέκτες.

Μια άλλη γενική διάκριση έχει σχέση με το πότε υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων σε σχέση με το χρόνο εκτέλεσης των μετρήσεων. Έτσι έχουμε τον **προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο** (Real Time positioning) την ίδια ή σχεδόν την ίδια

χρονική στιγμή εκτέλεσης των μετρήσεων και τον **εκ των υστέρων προσδιορισμό** (Post processing) μετά το πέρας των μετρήσεων.

Επίσης, ο προσδιορισμός θέσης χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, το **στατικό** (Static Positioning) και τον **κινηματικό** (Kinematic Positioning) όπου ο ένας δέκτης είναι ακίνητος ή κινητός αντίστοιχα (αξίζει να αναφερθεί ότι οι προσδιορισμοί σε πραγματικό χρόνο αφορούν κυρίως στις κινηματικές εφαρμογές, ενώ οι προσδιορισμοί εκ των υστέρων στις στατικές). Πιο συγκεκριμένα έχουμε τις εξής διαδικασίες:

- **Σχετικός στατικός προσδιορισμός:** Ο ένας δέκτης (reference receiver) παραμένει σταθερός και καταγράφει συνεχώς παρατηρήσεις σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες (π.χ. τριγωνομετρικό σημείο), ενώ ο άλλος (rover receiver) περιφέρεται διαδοχικά σε σημεία που θέλουμε να προσδιορίσουμε (π.χ. κορυφές οδούσεων). Η βέλτιστη απαιτούμενη χρονική διάρκεια συλλογής παρατηρήσεων για τον κινητό (rover) δέκτη εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των σημείων (μήκος βάσης), από τον αριθμό και τη γεωμετρία των δορυφόρων, όπου δείκτης της ακρίβειας των μετρήσεων είναι η τιμή του GDOP (Geometric Dilution Of Precision). Αυτή η τιμή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (σε οποιαδήποτε τεχνική) δεν πρέπει να ξεπερνά τον αριθμό 8. Για δέκτες μιας συχνότητας και μήκη βάσεων της τάξης των 5 Km, παρατηρήσεις 20 λεπτών (για τον κινητό δέκτη) θεωρούνται ικανοποιητικές. Για αποστάσεις μέχρι και 15 Km καλό είναι να συλλέγονται παρατηρήσεις 1 ώρας. Ο ρυθμός καταγραφής των παρατηρήσεων θα πρέπει να κυμαίνεται (για τις παραπάνω αποστάσεις) από 10 μέχρι 20 sec. Η γωνία αποκοπής (cut-off angle) ορίζεται στις 15° μοίρες (είναι η γωνία κάτω από την οποία δεν καταγράφονται οι μετρήσεις). Η μέθοδος του σχετικού στατικού προσδιορισμού με μετρήσεις φάσεων είναι αυτή που χρησιμοποιείται στις γεωδαιτικές εφαρμογές. Η σχετική ακρίβεια είναι της τάξης του 0.01 έως 1 ppm του μήκους της βάσης (5mm + 1 ppm για τις συνήθεις εργασίες) για χρόνο μετρήσεων 10 λεπτών έως και 2 ώρες με δέκτες διπλής συχνότητας και 3 - 10 ppm για δέκτες μιας συχνότητας και χρόνο μέτρησης 30 λεπτών έως 2 ώρες. Οι παραπάνω ακρίβειες δεν είναι κάτι το σταθερό, αφού εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους (γεωμετρία δορυφορικού σχηματισμού, μήκη βάσεων, δυνατότητα μέτρησης του P - κώδικα, κ.α.). Σαν γενικό κανόνα μπορούμε να πούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η βάση που μετράμε, τόσο περισσότερος χρόνος μετρήσεων απαιτείται. Κι αυτό γιατί σ' αυτή την περίπτωση το πρόβλημα της επίλυσης των ασαφειών γίνεται δυσκολότερο, π.χ. από απότομες αλλαγές της ιονόσφαιρας στα άκρα της βάσης. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι κρατώντας τον ένα δέκτη σταθερό (reference receiver) και τον άλλον (rover) να περιφέρεται στα άλλα σημεία (ακτινική διάταξη), δεν μπορούμε να ελέγξουμε τη θεωρητική ακρίβεια που δίνει ο κατασκευαστής. Γι' αυτό είναι καλό να σχηματίζουμε κλειστά γεωμετρικά σχήματα (τρίγωνα, τετράγωνα) όπου μπορούμε να ελέγχουμε τα σφάλματα κλεισίματος. Τέλος, για να έχουμε και έναν έλεγχο της αξιοπιστίας θα πρέπει να μετράμε περισσότερες βάσεις (δημιουργία δικτύου).

- Η **ημι-κινηματική διαδικασία** (Stop-and-Go): Η τεχνική αυτή μοιάζει περισσότερο με τον καθαρά σχετικό κινηματικό προσδιορισμό αφού απαιτεί πάντα τη λήψη του δορυφορικού σήματος, δηλαδή και κατά τη μετάβαση από σημείο σε σημείο. Το στοιχείο που τη διαφοροποιεί από τη σχετική κινηματική μέθοδο είναι ότι σ' αυτή την περίπτωση τα σημεία που μας ενδιαφέρουν είναι συγκεκριμένα σημεία (π.χ. σημεία λεπτομερειών, πολυγωνικά σημεία) και όχι τυχαία. Ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων (10-30) έτσι ώστε να ληφθούν μετρήσεις μερικών εποχών. Συνήθως ο ρυθμός καταγραφής είναι ανά 5 sec. Η ακρίβεια αυξάνεται όσο περισσότερες μετρήσεις ληφθούν σε κάθε σημείο. Όταν οι ορατοί δορυφόροι είναι λίγοι (4-5), τότε είναι προτιμότερο να παραμείνουμε στο σημείο ακόμη και για δύο λεπτά!! Πρέπει να σημειωθεί ότι χρειάζεται στην αρχή να επιλυθεί το πρόβλημα της ασάφειας φάσης, όπου ο κινούμενος δέκτης παραμένει ακίνητος για λίγα λεπτά σε κάποιο σημείο. Αν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, και ενώ ο κινούμενος δέκτης βρίσκεται σε φάση μετακίνησης από σημείο σε σημείο, διακοπεί η λήψη του σήματος για οποιονδήποτε λόγο (π.χ. διέλευση του δέκτη κάτω από γέφυρα, ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές), τότε πρέπει να λυθεί ξανά το πρόβλημα της ασάφειας φάσης. Αυτό επιτυγχάνεται παραμένοντας στο επόμενο σημείο (που είναι να επισκεφτεί) για μερικά λεπτά μέχρι να συλλεχθούν ικανές μετρήσεις, και να συνεχιστεί η διαδικασία κανονικά. Η τεχνική αυτή είναι πολύ αποδοτική σε ανοιχτές περιοχές. Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν με αυτή τη διαδικασία είναι της τάξης των 1-3 cm ±

1ppm για τον οριζόντιο προσδιορισμό και 3-6 cm  $\pm$  1ppm για τον υψομετρικό προσδιορισμό. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε εργασίες χαμηλών σχετικά απαιτήσεων ακρίβειας (π.χ. μελέτες οδοποιίας, υδραυλικών).

- **Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός** (relative kinematic): Εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της τροχιάς οχημάτων (π.χ. πλοίων, αεροπλάνων) καθώς και για μηκοτομές αξόνων δρόμων. Στη διαδικασία αυτή, απαιτείται αρχικά να λυθεί το πρόβλημα της ασάφειας για όλους τους δορυφόρους με την έναρξη της διαδικασίας. Ο ακίνητος δέκτης μένει συνεχώς στο γνωστό σημείο και ο κινητός (στην αρχή), μένει ακίνητος για λίγα λεπτά μέχρι να συλλεχθούν ικανές μετρήσεις για την επίλυση των ασαφειών. Στη συνέχεια ο κινούμενος δέκτης λαμβάνει μετρήσεις (καθώς κινείται) ανά κάποια χρονικά διαστήματα, π.χ. ανά 5 sec, και έτσι μπορούν να προσδιοριστούν οι σχετικές θέσεις του, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει απώλεια του δορυφορικού σήματος. Αν υπάρχει απώλεια σήματος, η επίλυση της ασάφειας πρέπει να επαναληφθεί, όπως και στην αρχική διαδικασία. Ο κινούμενος δέκτης δε χρειάζεται να επιστρέψει στο αρχικό σημείο, αλλά να παραμείνει ακίνητος σε μία θέση μέχρι τη συλλογή ικανού αριθμού μετρήσεων. Οι ακρίβειες με μετρήσεις φάσεων είναι και εδώ πολύ υψηλές, λίγο μικρότερες από αυτές του στατικού σχετικού προσδιορισμού, της τάξης του 1-10 ppm και, ανάλογα με τις δυνατότητες του δέκτη, της τάξης του 1 m από μετρήσεις ψευδοαποστάσεων. Στις συνήθεις γεωδαιτικές εργασίες (π.χ. πυκνώσεις δικτύων, αποτυπώσεις), χρησιμοποιούνται κάποιες ενδιάμεσες τεχνικές που μοιάζουν περισσότερο με τον στατικό ή τον κινηματικό προσδιορισμό. Οι τεχνικές αυτές είναι :

- **Γρήγορος στατικός προσδιορισμός** (rapid static): Η φιλοσοφία εδώ βρίσκεται στο γεγονός ότι αρκούν μετρήσεις λίγων λεπτών για κάθε βάση, ώστε να επιλύεται το πρόβλημα της ασάφειας ικανοποιητικά, χωρίς να χρειάζεται η συνεχής λήψη του σήματος καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Ο ένας δέκτης παραμένει στο γνωστό σημείο (σταθμός αναφοράς) και ο άλλος περιφέρεται στα υπόλοιπα άγνωστα σημεία παραμένοντας σ' αυτά λίγα μόνο λεπτά (π.χ. 10-30). Κατά τη μετακίνηση του δέκτη από σημείο σε σημείο, δε χρειάζεται η λήψη του δορυφορικού σήματος και ο δέκτης μπορεί να είναι 'κλειστός'. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται εδώ είναι της τάξης του (5-10 mm + 1ppm). Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα κατώτερης τάξης, πυκνώσεις δικτύων, φωτοσταθερά, πολυγωνομετρία.

- **Ψευδοκινηματικός προσδιορισμός** (Pseudo-kinematic, re-occupation) : Η διαδικασία αυτή, που μοιάζει περισσότερο από την προηγούμενη με το στατικό σχετικό προσδιορισμό, διαφοροποιείται από την προηγούμενη στο ότι ο κινητός δέκτης επισκέπτεται τα άγνωστα σημεία **δύο φορές**. Σαρώνει δηλαδή όλα τα σημεία μία φορά και επανέρχεται σ' αυτά με την αντίθετη φορά όπως γίνεται στη γεωμετρική χωροστάθμηση (μετάβαση - επιστροφή). Σε κάθε σημείο μεταξύ της πρώτης και δεύτερης επίσκεψης θα έχει μεσολαβήσει κάποιο χρονικό διάστημα (π.χ. 1-2 ώρες), με αποτέλεσμα να έχει αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων αρκετά και συνεπώς να είναι δυνατή η επίλυση της ασάφειας. Επίσης, ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι ότι το κάθε σημείο προσδιορίζεται από το σύνολο των μετρήσεων των δύο επισκέψεων, σαν να είχε γίνει μόνο μία και με το σύνολο των δορυφόρων, που πιθανόν να είναι τελείως διαφορετικοί. Έτσι, η διαδικασία αυτή προσφέρεται στις περιπτώσεις που θα χρειαστεί να μετρήσουμε, π.χ. την άλλη μέρα, ορισμένα σημεία, για τα οποία δεν επιτύχαμε ικανοποιητική ακρίβεια (οι νέες μετρήσεις θα 'αθροιστούν' με τις παλιές). Η σχετική ακρίβεια είναι και εδώ της τάξης του (5-10 mm + 1ppm) με διπλής συχνότητας δέκτες. Η μέθοδος είναι ισοδύναμη με την προηγούμενη και αφορά σχεδόν τις ίδιες εφαρμογές. Τέλος, για να είναι αυτή η μέθοδος παραγωγική, θα πρέπει η απόσταση από τον ακίνητο δέκτη να μην υπερβαίνει τα 10 περίπου km.

## GPS και GLONASS

GLONASS είναι η Ρωσική έκδοση του GPS με το οποίο έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά, τόσα, όσα να επιτρέπουν την κατασκευή και εμπορική διάθεση δεκτών (GPS+GLONASS) για ταυτόχρονη αξιοποίηση όλων των «ορατών» δορυφόρων σε οποιαδήποτε θέση.

Σήμερα (2005) υπάρχουν διαθέσιμοι 11 δορυφόροι του συστήματος GLONASS. Σε πλήρη ανάπτυξη (2007 ?), το σύστημα θα συνίσταται από (έως) 18 δορυφόρους. Ήδη

διατίθενται δέκτες με 35-40 διαύλους (κανάλια) που επιτρέπουν την ταυτόχρονη καταγραφή και επεξεργασία σημάτων από ισάριθμους δορυφόρους των δύο συστημάτων GPS+GLONASS. Οι δέκτες αυτοί προσφέρουν το πλεονέκτημα της λειτουργίας και μέσα στις αστικές περιοχές, εφόσον «διαθέτουν» τη δυνατότητα καλύτερης επιλογής και λήψης σημάτων από τους (τουλάχιστον) πέντε δορυφόρους που απαιτεί μια κινηματική τοπογραφική αποτύπωση.

## Galileo

Το πρόγραμμα Galileo είναι η Ευρωπαϊκή προσπάθεια ανάπτυξης (από κυβερνητικές υπηρεσίες σε συνεργασία με ιδιωτικούς φορείς) ενός GPS-like συστήματος GNSS (Global Navigation Satellite System). Προγραμματίζεται να τεθεί σε λειτουργία περίπου στα τέλη του 2008. Σχεδιάζεται να αποτελείται από 30 δορυφόρους (27 κύριους και 3 εφεδρικούς) καταμεμημένους σε τρία τροχιακά επίπεδα. Μαζί με τα συστήματα GPS και GLONASS θα δώσει τη δυνατότητα ταχύτερου και ακριβέστερου εντοπισμού θέσης ακόμη και σε σημεία μέσα στον αστικό ιστό.

<http://www.galileoju.com>

<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>

### Μετατροπή συντεταγμένων από το σύστημα του GPS στα γεωδαιτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα

Ακόμη και ο πλέον απλός δέκτης «χειρός» GPS εμφανίζει στην οθόνη

- το πλάτος ( $\varphi$ ), το μήκος ( $\lambda$ ) και
- το γεωμετρικό υψόμετρο ( $h$  - αναφορικά με το ελλειψοειδές μοντέλο της γης)

του συγκεκριμένου σημείου στο δορυφορικό σύστημα (WGS84) του GPS. Αυτές οι συντεταγμένες διαφέρουν (κατά μερικές εκατοντάδες μέτρα) από τις αντίστοιχες συντεταγμένες στα άλλα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς (data) που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα (ED-50 της ΓΥΣ, ΕΓΣΑ-87 του Εθνικού Κτηματολογίου, παλαιό Ελληνικό, κτ). Αν και διατίθενται στο εμπόριο «πακέτα» προγραμμάτων για τον ακριβή μετασχηματισμό από οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς (datum) στο άλλο, πολλές φορές είναι ικανοποιητικός ένας γρήγορος μετασχηματισμός προκειμένου να τοποθετηθεί «επί χάρτου» η θέση ενός σημείου στο οποίο έγινε ο προσδιορισμός των συντεταγμένων με τη χρήση GPS.

Ας υποθέσουμε ότι σε κάποιο σημείο στο parking της Πολυτεχνικής Σχολής του ΑΠΘ, ένας φορητός δέκτης «χειρός» έδωσε τις ακόλουθες συντεταγμένες (στο σύστημα **WGS84** του GPS)

$$\varphi_{\text{WGS84}} = 40^{\circ} 37' 38.9''$$

$$\lambda_{\text{WGS84}} = 22^{\circ} 57' 33.6''$$

Θα πρέπει να μπορούμε να αντιμετωπίσουμε με άνεση τους ακόλουθους μετασχηματισμούς, ή συνδυασμούς τους:

(α) Μετασχηματισμός στο σύστημα **ED50** των χαρτών γενικής χρήσης (κλίμακας 1:50,000) της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού – ΓΥΣ)

(β) Μετασχηματισμός στο σύστημα **ΕΓΣΑ87** που χρησιμοποιείται στο Εθνικό Κτηματολόγιο

(γ) Μετασχηματισμός στο «παλαιό» και ακόμη σε ευρεία χρήση Ελληνικό σύστημα αναφοράς (**GR**), στο οποίο αναφέρονται τα φύλλα χαρτών 1:5,000 της ΓΥΣ και της Τοπογραφικής Υπηρεσίας

Το ακόλουθο τυπολόγιο είναι απαραίτητο (αλλά όχι μοναδικό !) για να αντιμετωπιστούν με ακρίβεια μερικών μέτρων οι ανάγκες ενός τέτοιου μετασχηματισμού. ΔΕΝ είναι απαραίτητη μεγαλύτερη ακρίβεια, δεδομένου ότι η ακρίβεια των συντεταγμένων που προσφέρει ΕΝΑΣ μόνο δέκτης GPS δεν είναι καλύτερη από την ακρίβεια που προσφέρει ο μετασχηματισμός.

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= \varphi_{\text{GR}} - 5''.86 - 0''.33 (\varphi_{\text{GR}} - 38^\circ) - 0''.05 (\lambda_{\text{GR}} - 24^\circ) \\ \lambda_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= \lambda_{\text{GR}} - 0''.28 - 0''.09 (\varphi_{\text{GR}} - 38^\circ) - 0''.45 (\lambda_{\text{GR}} - 24^\circ) \\ \\ \varphi_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= \varphi_{\text{ED50}} - 13''.17 + 0''.09 (\varphi_{\text{ED50}} - 38^\circ) + 0''.07 (\lambda_{\text{ED50}} - 24^\circ) \\ \lambda_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= \lambda_{\text{ED50}} - 8''.15 + 0''.11 (\varphi_{\text{ED50}} - 38^\circ) + 0''.03 (\lambda_{\text{ED50}} - 24^\circ) \\ \\ \varphi_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= \varphi_{\text{WGS84}} - 9''.34 + 0''.02 (\varphi_{\text{WGS84}} - 38^\circ) - 0''.05 (\lambda_{\text{WGS84}} - 24^\circ) \\ \lambda_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= \lambda_{\text{WGS84}} - 6''.10 + 0''.08 (\varphi_{\text{WGS84}} - 38^\circ) - 0''.11 (\lambda_{\text{WGS84}} - 24^\circ) \end{aligned}$$

**Προσοχή**

Οι μετρημένες και εμφανιζόμενες στην οθόνη του GPS συντεταγμένες είναι στο εξηκονταδικό σύστημα (μοίρες – πρώτα – δεύτερα). Θα πρέπει πρώτα να μετατραπούν σε δεκαδικές μοίρες

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{WGS84}} &= 40^\circ .627472 \\ \lambda_{\text{WGS84}} &= 22^\circ .959333 \end{aligned}$$

και μετά να εισαχθούν στους εντός των παρενθέσεων όρους, προσέχοντας ότι οι τύποι απαιτούν την εκτέλεση των πράξεων στο εξηκονταδικό σύστημα (είναι διορθώσεις σε δευτερόλεπτα τόξου).

Για επαλήθευση, οι συντεταγμένες του παραπάνω σημείου της ΠΣ στο ΕΓΣΑ87, όπως υπολογίζονται με πακέτο - πρόγραμμα σε ΗΥ, είναι

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= 40^\circ 37' 29.6'' \\ \lambda_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= 22^\circ 57' 27.3'' \end{aligned}$$

ενώ το παραπάνω προσεγγιστικό τυπολόγιο δίνει

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= 40^\circ 37' 29.7'' \\ \lambda_{\text{ΕΓΣΑ87}} &= 22^\circ 57' 27.8'' \end{aligned}$$

δηλαδή μια διαφορά 0.2'' στο  $\varphi$  και 0.5'' στο  $\lambda$ . Αυτή η διαφορά (το σφάλμα δηλαδή) είναι αμελητέα όταν πρόκειται να εντοπιστεί το σημείο σε ένα χάρτη κλίμακας 1:50,000, ενώ αντιπροσωπεύει μια μετάθεση 2-3 χιλιοστών του μέτρου (mm) επάνω σε έναν χάρτη κλίμακας 1:5,000.

[ Εξειδικευμένο λογισμικό για τον μετασχηματισμό συντεταγμένων μεταξύ διαφόρων data (και προβολών) διατίθεται δωρεάν από την ιστοσελίδα [www.auth.gr/e-topo](http://www.auth.gr/e-topo) και μετά ΔΕΠ > Κατσάμπαλος > λογισμικό ]

**Πληροφορίες από το διαδίκτυο**

AUT1: Ένας από τους τρεις μόνιμους ελληνικούς σταθμούς συλλογής δεδομένων GPS, με 24ωρη λειτουργία, ενταγμένος στο ευρωπαϊκό δίκτυο EUREF :

<http://www.auth.gr/e-topo> και μετά >TATM > AUT1

Οι πλέον χρήσιμες διευθύνσεις του διαδικτύου σε θέματα GPS :

<http://www.navtechgps.com/links.asp>

Μια ανασκόπηση του συστήματος GPS από το University of Colorado. Πρόκειται για σελίδες ενημερωτικού και εκπαιδευτικού χαρακτήρα :

[http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

Νέοι κώδικες και σήματα (L2C, L5) :

<http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/TheNewL2CivilSignal.pdf>

## Αναφορές και Ευχαριστίες

Τμήματα αυτών των σημειώσεων έχουν ληφθεί αυτούσια, ή μετά από επεξεργασία, από τις ακόλουθες δημοσιεύσεις. Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται στους ΑΤΜ Ι. Κάβουρα, Σ. Μετοικίδη και Ι. Τσιφούτη.

- Κ. Κατσάμπαλος - Π. Σαββαϊδής, *Εμπειρίες από την Εφαρμογή του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS) στις Γεωδυναμικές Μελέτες στον Ελληνικό Χώρο. 2<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο Γεωφυσικών Ελλάδος*, Φλώρινα, 5-7 Μαΐου 1993, Εκδόσεις Ζήτη, Πρακτικά (Τόμος-3, σελ. 615-625).
- Π. Σαββαϊδής - Κ. Κατσάμπαλος, *Προσδιορισμός της Κίνησης Οχήματος με GPS*, Δελτίο ΣΔΑΤΜ-ΒΕ 38 & 39, 1995.
- Κ.. Κατσάμπαλος, *Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εφαρμογών GPS σε Αστικές και Αγροτικές Περιοχές*, Πρακτικά Συνεδρίου για το Εθνικό Κτηματολόγιο, σελ. 61-69, ΑΠΘ, 23-24 Ιουνίου 1995.
- Κ. Katsambalos - P. Savvaidis, *GPS Receiver Calibration, Point of Beginning (POB)*, Vol. 21, No.5, Michigan, pp. 87-91, 1996.
- Κ. Κατσάμπαλος, Π. Σαββαϊδής, Ι. Δούκας, Α. Μπαντέλλας, Ι. Υφαντής, Ιγ. Μαυρομάτης. *Μέτρηση και Επίλυση ενός Αστικού Τρισδιάστατου Γεωδαιτικού Δικτύου με Διάφορους Δέκτες GPS. Τεχνικά Χρονικά* (Επιστ. Έκδοση ΤΕΕ), σελ. 41-49, Τόμος 16, Τεύχος 3, 1996.
- Κ. Κατσάμπαλος, Α. Μπαντέλλας, Π. Σαββαϊδής, Προσδιορισμός του υψομέτρου κορυφών του Ολύμπου με τη βοήθεια σύγχρονης τεχνολογίας, Δελτίο ΣΕΟ, 101, σελ. 13-15, 1997.
- Κ. Κατσάμπαλος, *Οι δορυφόροι στην υπηρεσία της αρχαιολογίας*, Διάλεξη στα πλαίσια του προγράμματος ΔΑΙΔΑΛΟΣ, Δήμος Ηρακλείου Κρήτης, 7 Απριλίου 1997.
- Savvaidis, P. - J. Martinod - K. Katsambalos - D. Hatzfield - A. Badellas - K. Tokmakidis: *Determination of Ground Displacements in the Seismic Zone of Volvi, Greece. Survey Review*, Vol. 34, No. 266, October 1997.
- Martinod, J. - P. Savvaidis - D. Hatzfeld - K. Katsambalos: *Rapid NS Extension in the Mygdonian Graben (Northern Greece) Deduced from Repeated Geodetic Surveys. Geophysical Research Letters (AGU)*, Vol. 24, No. 24, 1997.
- Κάβουρας, Ι., Σ. Μετοικίδη και Ι. Τσιφούτης. Σύγκριση Κλασικών Τοπογραφικών με Μεθόδους GPS. Διπλωματική Εργασία (επίβλεψη Κ. Κατσάμπαλος) που εκπονήθηκε στον Τομέα Γεωδαισίας & Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, 1998.

Journal of Geodesy (ed. Springer). Το τεύχος 75 (2001) είναι αφιερωμένο, σχεδόν ολόκληρο, στην αξιολόγηση του GLONASS και στην από κοινού χρήση του με το GPS.