



**Τ.Ε.Ι ΗΠΕΙΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ (Σ.Δ.Ο)  
ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

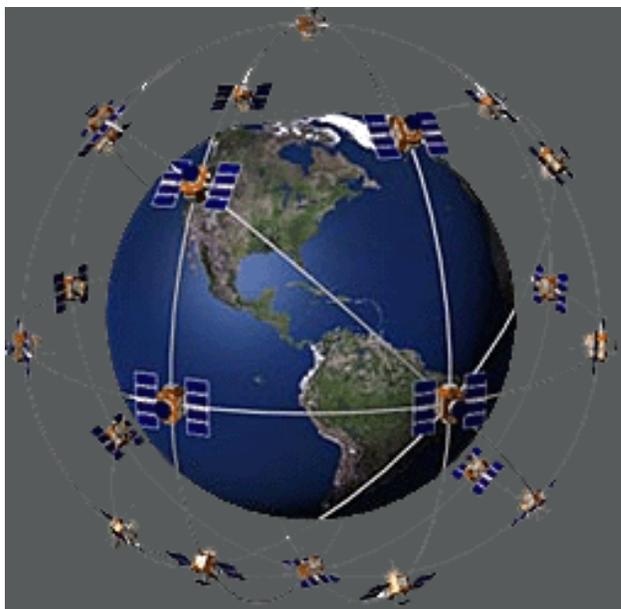
**ΘΕΜΑ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ GPS ΚΑΙ ΟΙ  
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ.**

**ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ : ΟΛΓΑ ΠΑΥΛΟΥ**

**Α.Μ.: 5733**

**ΕΞΑΜΗΝΟ: Η'**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΟΥΜΑΣΗΣ ΑΘ.**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	1ο ΜΕΡΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ GPS	Σελ.
Εισαγωγή		4
Κεφάλαιο 1	Ιστορική αναδρομή προσδιορισμού θέσης	6
	Με τον ήλιο	6
	Με το ρολόι	6
	Με τον πολικό αστέρα	6
	Αστρολάβος	6
	Εξάντας	7
	Πυξίδες	6
	Ραδιοεντοπισμός	7
	Σύστημα ραδιοεντοπισμού LORAN	8
	Σύστημα εντοπισμού με δορυφόρους	9
Κεφάλαιο 2	Δορυφόροι πλοήγησης	13
	Μετρώντας αποστάσεις προς τους δορυφόρους	14
	Κώδικες και σειρές προτύπων	15
	Άγνωστος αρχικός ακέραιος αριθμός	15
Κεφάλαιο 3	Πως δουλεύει το gps	17
	Τρόπος λειτουργίας	17
	Λειτουργικά μέρη	19
Κεφάλαιο 4	Πηγές μείωσης της ακρίβειας των δορυφόρων	22
	Το χρονόμετρο των δορυφόρων	22
	Το χρονόμετρο των δεκτών	23
	Τροχιακά σφάλματα δορυφόρων	24
	Σφάλματα που υπεισέρχονται από την ατμόσφαιρα	24
	Σφάλματα πολλαπλών διαδρομών	25
	Σφάλματα δεκτών	25
	GDOP	26
	Επιλεκτική διαθεσιμότητα	27
Κεφάλαιο 5	Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Λυσεις	28
	Διαφορικός εντοπισμός	28
	DGPS	30
	RTK	31
Κεφάλαιο 6	Οι δέκτες GPS	33
	Δέκτες GPS	33
	Ρυθμίσεις δεκτών GPS	33
	Επεξεργασία δεδομένων GPS με υπολογιστή	36
	Προμήθεια δεκτών GPS	37

	Πως να διαλέξετε έναν δέκτη	40
Κεφάλαιο 7	Galileo	43
	Το ευρωπαϊκό GPS- Galileo	43

## 2<sup>ο</sup> ΜΕΡΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ GPS

	GPS και ναυσιπολία	47
	GPS και ορειβασία	48
	GPS Ραδιοταξί-Λεωφορεία	49
	Γεωργία	49
	Συσκευες GPS και αυτοκίνητο	50
	Χρήση του GPS στο στρατό	51
	GPS και σκι	51
	Χαρτογράφηση με GPS	52
	GPS και κινητή τηλεφωνία	52
	Συμπεράσματα	52
	Πηγές	53

# **1<sup>ο</sup> ΜΕΡΟΣ: Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ GPS**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γιατί θέλουμε να γνωρίζουμε την ακριβή μας θέση;

Ο άνθρωπος εδώ και αιώνες ταξιδεύει και θέλει να γνωρίζει το ακριβές σημείο τερματισμού του προορισμού του και σαφώς το ακριβές σημείο της αφετηρίας του έτσι ώστε να επιστρέψει πάλι πίσω, για να καταφέρει να εντοπίσει αυτά τα δύο είχε επινοήσει διάφορες μεθόδους οι οποίες μερικές χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα όπως χάραξη πορείας σε βράχους, αφήνοντας πέτρες στη διαδρομή του, σημαδεύοντας δέντρα και έχοντας σαν αναφορά τα βουνά προσπαθούσαν να χαράξουν την πορεία τους, όμως μερικές φορές λόγω άσχημων κλιματολογικών συνθηκών(π.χ.χιόνι) ήταν αδύνατον να εντοπιστεί η πορεία του ταξιδιώτη.

Ακόμα και όταν ο άνθρωπος κατέγραψε την πορεία του σε χάρτες που αποτέλεσε μια επανάσταση,αλλά και πάλι δεν είχαμε ακριβή προσδιορισμό της θέσης του ταξιδιώτη όσο αναλυτικός και μεγάλος σε μέγεθος και κλίμακα και αν ήταν.

Τι είναι gps;

Το GPS είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης, το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" 24 δορυφόρων γύρω από τη Γη, στους οποίους συνδέονται ειδικές συσκευές που ονομάζονται δέκτες GPS. Οι δέκτες παρέχουν στον χρήστη ακριβείς πληροφορίες για τη θέση του, το υψόμετρό του, την ταχύτητα ή την κατεύθυνση της κίνησης του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό software χαρτογράφησης, απεικονίζουν και πληροφορίες για κοντινά σημεία ενδιαφέροντος.

Το gps δημιουργήθηκε από τον στρατό των ΗΠΑ για να επιτρέψει σε ένα στρατιώτη ή σε μια ομάδα στρατιωτών να καθορίσουν αυτόνομα τη θέση τους μέσα σε 10 ή 20 πραγματικά μέτρα . Η έννοια της αυτονομίας ήταν σημαντική δεδομένου ότι ήταν απαραίτητο να σχεδιαστεί ένα σύστημα που θα επέτρεπε σε ένα στρατιώτη να είναι σε θέση να καθορίσει που ήταν οι άλλοι χωρίς οποιοδήποτε άλλο ραδιόφωνο ή μέσο επικοινωνίας. Με άλλα λόγια, με έναν ενιαίο, μονόδρομο δέκτη του οποίου η χρήση δεν θα μπορούσε να ανιχνευθεί από άλλες συσκευές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ιστορική αναδρομή προσδιορισμού θέσης**

Ο άνθρωπος από αρχαιοτάτων χρόνων ήθελε να ξέρει που βρίσκεται έτσι ώστε να μην χαθεί και για αυτό επινόησε διάφορες μεθόδους έτσι ώστε να μην αποπροσανατολίζεται, μερικές από τις οποίες είναι οι παρακάτω.

### **Με τον Ήλιο.**

Επειδή ο ήλιος βγαίνει από την ανατολή ,το μεσημέρι ο ήλιος βρίσκεται προς το Νότο και το βράδυ στη Δύση, μπορούμε, γνωρίζοντας την ώρα, να προσδιορίσουμε (κατά προσέγγιση) κάποιο σημείο του ορίζοντα. Για παράδειγμα το καλοκαίρι ο ήλιος στις 6 το πρωί βρίσκεται στην Ανατολή ,στις 9 Βορειοανατολικά, στις 12 στο Νότο, στις 3 Νοτιοδυτικά και στις 6 το απόγευμα στη Δύση.

### **Με το ρολόι.**

Με την μέθοδο αυτή δεν έχουμε μεγάλη ακρίβεια αλλά είναι ένας γρήγορος τρόπος να προσανατολιζόμαστε. Αν τοποθετήσουμε τον ωροδείκτη του ρολογιού μας στην κατεύθυνση του ήλιου. Ο Νότος βρίσκεται μεταξύ του ωροδείκτη και της ένδειξης 12 του ρολογιού. (Η διχοτόμος της γωνίας που σχηματίζεται από τον ωροδείκτη και τη ένδειξη 12).

### **Με τον πολικό αστέρα**

Τη νύκτα μπορούμε να προσδιορίσουμε το Βορρά με τον πολικό αστέρα. Ο πολικός αστέρας έχει προνόμιο να μην αλλάξει θέση γιατί βρίσκεται πάνω στον άξονα περιστροφής της γης και γι' αυτό δείχνει πάντα τον Βορρά ενώ προσδιορίζεται εύκολα από τον αστερισμό της Μεγάλης Άρκτου. Η Μεγάλη Άρκτος βρίσκεται πάντα στο βόρειο τμήμα του ορίζοντα και αναγνωρίζεται εύκολα από το σχήμα κατσαρόλας που σχηματίζουν τα επτά άστρα της.

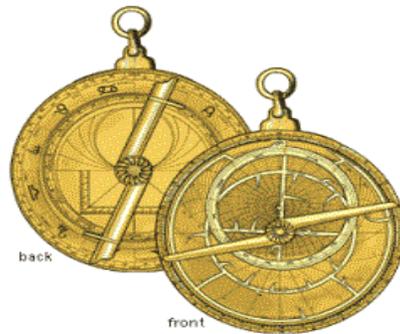
## **Αστρολάβος**

Ο αστρολάβος είναι αρχαίο αστρονομικό όργανο που χρησιμοποιούνταν για να παρατηρηθούν τα αστέρια και να προσδιοριστεί το ύψος τους επάνω στον ορίζοντα. Σύμφωνα με όσα αναφέρουν οι αρχαίοι, ο αστρολάβος εφευρέθηκε τον 2ο π.Χ. αι. από τον Ίππαρχο. Σύμφωνα με τον Πτολεμαίο ο αστρολάβος ήταν ένα είδος γεωγραφικού χάρτη. Στον Μεσαίωνα ο αστρολάβος ήταν το κύριο όργανο ναυσιπλοΐας, αργότερα όμως αντικαταστάθηκε από τον εξάντα. Ο ναυτικός αστρολάβος και ο παραπλήσιος τεταρτοκυκλικός κατασκευάστηκαν για αποκλειστική χρήση επάνω στα πλοία και

μεθόδευαν την εύρεση του γεωγραφικού πλάτους στην ανοικτή θάλασσα με αστρονομικό τρόπο.

Κατά βάση ο αστρολάβος είναι ένα απλό μοντέλο ή πιο σωστά, ένα ανάλογο της γης και του ουρανού πάνω σε δύο επίπεδους δίσκους. Αυτοί είναι, συνήθως, κατασκευασμένοι από ορείχαλκο και έχουν διάμετρο μέχρι 25 εκατοστά. Ο ένας από τους δίσκους αναπαριστά τη γη και είναι χαραγμένος με γραμμές, που αναπαριστούν τους μεσημβρινούς, τους παράλληλους, τον ορίζοντα του παρατηρητή και άλλες γωνίες πάνω από τον ορίζοντα. Επειδή είναι σχεδιασμένος, για να χρησιμοποιηθεί σε ένα ορισμένο παράλληλο, συνήθως υπάρχουν πολλοί δίσκοι της γης, για να χρησιμοποιείτε το όργανο σε διάφορα πλάτη. Ο άλλος δίσκος ονομάζεται «δίχτυ» ή «ιστός» εξαιτίας του σχήματός του. Είναι ένας απλός χάρτης του ουρανού, όπου οι θέσεις των λαμπερών αστερών σημειώνονται με καμπυλομένους δείκτες. Σημειώνεται, επίσης, και η εκλειπτική γραμμή, η διαδρομή, δηλαδή, του ήλιου ανάμεσα στα άστρα. Οι δίσκοι αυτοί επικάθονται σε έναν τρίτο, το «μητρικό», που διαθέτει κλίμακα με ώρες στην περιφέρεια του εξωτερικά. Το δίχτυ είναι ελεύθερο να περιστρέφεται γύρω από το κέντρο.

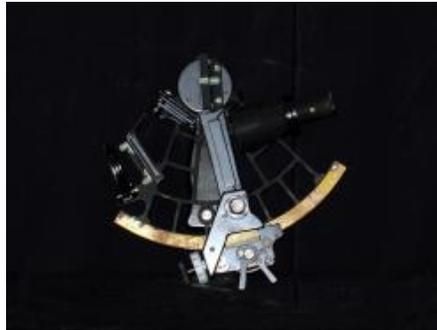
Ο μηχανισμός αυτός έχει τη δυνατότητα να ρυθμιστεί, για να μας δείξει οποιαδήποτε ημέρα και ώρα την εικόνα του ουρανού. Όταν έχουμε σκοπό να μετρήσουμε την πραγματική θέση του ήλιου και των άστρων, πάνω στον ίδιο άξονα, αλλά στο πίσω μέρος του μητρικού δίσκου, τοποθετείται ένας σκοπευτικός μηχανισμός, που καλείτε κλιτομετρικός κανόνας και έχει μια βαθμονομημένη κλίμακα γύρω από το εξωτερικό του χείλος. Ο αστρολάβος κρεμιέται από την κορυφή με ένα δαχτυλίδι, για να διατηρείται πάντα κατακόρυφος. Ο κλιτομετρικός κανόνας μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για χωρομέτρηση, π.χ. για να βρούμε το ύψος ενός κτιρίου. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούταν μια ορθογωνική κλίμακα, που είχε ένα οριζόντιο σκέλος, για να αναπαριστά το έδαφος και ένα κατακόρυφο σκέλος για το κτίριο. Ο παρατηρητής στεκόταν στο άκρο της σκιάς του κτιρίου και κρατούσε τον αστρολάβο, έτσι, ώστε η σκιά του ενός άκρου του κλιτομετρικού κανόνα να πέσει στο άλλο άκρο. Τότε η γωνία στο πίσω μέρος του αστρολάβου ήταν η ίδια με τη γωνία, που σχηματίζει το κτίριο με τη σκιά του, όποτε το ύψος του κτίριου ήταν δυνατό να υπολογισθεί.



αστρολάβος

## Εξάντας

Ο Εξάντας ή Παλίστρα, αποτελεί είδος γωνιομετρικού οργάνου με το οποίο μετράμε στη θάλασσα τα ύψη των ουρανίων σωμάτων καθώς και τις κατακόρυφες και οριζόντιες γωνίες γήινων αντικειμένων.



Ο εξάντας είναι όργανο που οι ναυτικοί το χρησιμοποιούσαν για να μετρήσουν τα ύψη των ουρανίων σωμάτων από αεροσκάφη, διαστημόπλοια ή καταστρώματα πλοίων, παρά τη μη σταθερότητα του παρατηρητή. Οι κυριότεροι τύποι εξάντων είναι ο ναυτικός εξάντας και ο εξάντας φυσαλίδας, ο οποίος χρησιμοποιούνταν μόνο σε αεροσκάφη. Ο ναυτικός εξάντας αντικατέστησε τον αστρολάβο και έγινε το κύριο όργανο ναυσιπλοΐας. Με τη βοήθεια του ναυτικού εξάντα προσδιορίζονταν η γωνία ανάμεσα στον υποτιθέμενο ορατό ορίζοντα και σ' ένα ουράνιο σώμα, που συνήθως ήταν ο ήλιος.

## ΠΥΞΙΔΕΣ



Η γη είναι ένας τεράστιος μαγνήτης που έλκει την μαγνητική βελόνα της πυξίδας και την φέρνει πάντα να δείχνει προς τον βορρά. Η διεύθυνση που παίρνει η μαγνητική βελόνα δεν συμπίπτει με τον αληθινό βορρά δηλαδή με τον Βόρειο Πόλο. Έχει μια μικρή

διαφορά γιατί η γη δεν είναι μαγνητισμένη ακριβώς σύμφωνα με τον άξονα περιστροφής της. Έτσι η μαγνητική βελόνα δείχνει τον μαγνητικό βορρά. Η διαφορά του μαγνητικού βορρά από τον αληθινό δεν είναι ίδια σε όλους τους τόπους. Στην Ελλάδα όμως μπορούμε να κάνουμε την δουλειά μας ταυτίζοντας τον αληθινό και τον μαγνητικό Βορρά γιατί η απόκλιση είναι μικρή. Φυσικά το ίδιο δεν συμβαίνει στις περιοχές που είναι κοντά στους πόλους.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν δύο ειδών πυξίδες:

1) Οι ορειβατικές πυξίδες με γωνιόμετρο που μπορείτε να προμηθευτείτε απ' όλα τα καταστήματα ορειβατικών ειδών. Στις πυξίδες αυτές το ανεμολόγιο είναι σταθερό και περιστρέφεται μόνο η μαγνητική βελόνα. Το ανεμολόγιο είναι στερεωμένο σε πλαστική διάφανη βάση, γεγονός που κάνει τις πυξίδες αυτές πολύ πρακτικές γιατί όταν τις τοποθετούμε πάνω στον χάρτη δεν μας αποκρύπτουν την επιφάνειά του κάτω από αυτές. Ακόμα διαθέτουν χάρακα που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των αποστάσεων σε χάρτες διαφορετικής κλίμακας. Είναι ιδανικές όταν χρησιμοποιούμε χάρτη για την χάραξη της πορείας μας.

2) Οι πρισματικές ή του πυροβολικού όπως ονομάζονται. Στις πυξίδες αυτές περιστρέφεται όλος ο δίσκος του ανεμολογίου στον οποίο είναι στερεωμένη η μαγνητική βελόνα. Προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια στη χάραξη της πορείας μας ειδικά όταν χρησιμοποιούμε συσκευές GPS.

Για να προσανατολιστούμε με πυξίδα την βάζουμε σε ένα επίπεδο και οριζόντιο μέρος. Μόλις σταματήσει να κινείται η βελόνα θα μας δείξει τον Βορρά και τον Νότο. Θα πρέπει να προσέξουμε όμως να απομακρύνουμε από αυτή οτιδήποτε μπορεί να την αποπροσανατολίσει π.χ. μεταλλικά αντικείμενα, άλλους μαγνήτες, κινητά τηλέφωνα κ.λ.π. Τέλος δεν πρέπει να βρίσκεται κοντά σε ηλεκτρικά καλώδια και κεραίες.

## ΡΑΔΙΟΕΝΤΠΙΣΜΟΣ

Το 1761, ο Άγγλος ωρολογοποιός John Harrison, μετά από δωδεκαετή μελέτη, δημιούργησε ένα όργανο το οποίο δεν ήταν άλλο από το γνωστό μας σημερινό χρονόμετρο. Σε συνδυασμό με τον εξάντα, το χρονόμετρο επέτρεπε τον υπολογισμό του στίγματος των πλοίων με εξαιρετική ακρίβεια για τα δεδομένα της εποχής. Πέρασαν αρκετά χρόνια μέχρι να φτάσουμε στις αρχές του 20ού αιώνα, οπότε και δημιουργήθηκαν τα πρώτα συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονταν στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτά μάλιστα χρησιμοποιήθηκαν ευρέως κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης εκείνης της εποχής αποτελούνταν από ένα δίκτυο σταθμών βάσης και κατάλληλους δέκτες.

Ανάλογα με την ισχύ του σήματος που λάμβανε κάθε δέκτης από σταθμούς γνωστής γεωγραφικής θέσης, σχηματίζονταν δύο ή περισσότερες συντεταγμένες, μέσω των οποίων προσδιοριζόταν η θέση των στρατιωτών πάνω στον χάρτη. Εδώ όμως συνέβαιναν δύο τινά: Η πρώτη περίπτωση ήταν η χρήση σταθμών βάσης που θα εξέπεμπαν το σήμα τους σε υψηλή συχνότητα, διαθέτοντας μεν υψηλή ακρίβεια εντοπισμού, αλλά μικρή εμβέλεια. Στην δεύτερη περίπτωση συνέβαινε το ακριβώς αντίθετο, δηλαδή ο σταθμός βάσης χρησιμοποιούσε χαμηλή συχνότητα εκπομπής σήματος, προσφέροντας έτσι υψηλότερη εμβέλεια, αλλά και χαμηλή ακρίβεια.

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΜΠΟΥ LORAN

Το LORAN (LONg RANGE Navigation) είναι ένα σύστημα Ραδιοεντοπισμού που τέθηκε σε λειτουργία το 1950. Κάθε αλυσίδα LORAN αποτελείται από τουλάχιστον 4 πομπούς οι οποίοι καλύπτουν μία έκταση της τάξης των 500 μιλίων. Για να υπάρξει κάλυψη σε μεγαλύτερες εκτάσεις, είναι απαραίτητη η ύπαρξη περισσότερων αλυσίδων. Για παράδειγμα, στη Δυτική Ακτή των ΗΠΑ χρησιμοποιούνται 2 αλυσίδες LORAN.

Η κάθε αλυσίδα LORAN εκπέμπει τα ραδιοκύματα στη δική της μοναδική συχνότητα. Ο δέκτης LORAN με τη σειρά του, συντονίζεται στη συγκεκριμένη συχνότητα των εκπεμπόμενων ραδιοκυμάτων της αλυσίδας, μετράει τις αποστάσεις προς τους πομπούς αυτόματα και υπολογίζει τη θέση του. Ο δέκτης LORAN διαθέτει μια βάση δεδομένων στην οποία είναι αποθηκευμένες οι συντεταγμένες όλων των πομπών LORAN, όλων των αλυσίδων του συστήματος. Έτσι, το μόνο που πρέπει να κάνει ο χρήστης κατά τη διάρκεια της διαδρομής του, είναι να συντονίζει τον δέκτη του στη συχνότητα που εκπέμπει η κάθε αλυσίδα, η οποία καλύπτει την περιοχή στην οποία βρίσκεται. Η παραπάνω διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια σαν να συντονίζει κάποιος το ραδιόφωνό του (FM radio) σε κάποιο συγκεκριμένο σταθμό.

Η ανάπτυξη του συστήματος LORAN παγκοσμίως καλύπτει μόνο ένα μικρό μέρος της Γήινης επιφάνειας. Οι αλυσίδες LORAN είναι εγκατεστημένες σε διαφορετικές χώρες οι οποίες είναι και υπεύθυνες για την σωστή και απρόσκοπτη λειτουργία του. Συνήθως εγκαθίστανται σε παραθαλάσσιες περιοχές με βεβαρημένη κίνηση.

Παρόλο που το σύστημα LORAN ήταν μια μεγάλη καινοτομία στη διαδικασία του εντοπισμού και της πλοήγησης, είχε τα ακόλουθα μειονεκτήματα.

Η κάλυψη που παρείχε το σύστημα ήταν μόλις στο 5% της Γήινης επιφάνειας. Το LORAN δεν ήταν ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού.

Το σύστημα LORAN παρείχε μόνο δυσδιάστατη πληροφορία (γεωγραφικό πλάτος και μήκος). Δεν παρείχε πληροφορία για το υψόμετρο και κατά συνέπεια δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως η αεροπλοΐα.

Σε γενικές γραμμές πάντως και η παρεχόμενη ακρίβεια ήταν μειωμένη, της τάξης των 250m.

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ

Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί του LORAN και να υπάρξει ένα σύστημα που να παρέχει παγκόσμια κάλυψη, εφαρμόστηκε η ιδέα της τοποθέτησης βελτιωμένων ραδιοπομπών σε δορυφόρους, σε τροχιά γύρω από τη Γη σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο. Αυτό το σκεπτικό βρίσκεται σε πλήρη αντιστοιχία με τη δορυφορική τηλεόραση, όπου ο αντίστοιχος δορυφόρος παρέχει κάλυψη της τάξης των 3.000 μιλίων. Έτσι με τον τρόπο αυτό, τα σήματα από πολλούς δορυφόρους μπορούν να ληφθούν από οποιοδήποτε σημείο της Γης, παρέχοντας παγκόσμια κάλυψη.

Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος πλοήγησης βασισμένο σε δορυφόρους, δεν διαφέρει καθόλου από αυτή των επιγείων συστημάτων ραδιοεντοπισμού που αναφερθήκαμε προηγουμένως. Στα Επίγεια Συστήματα, τα σημεία αναφοράς είναι οι πομποί που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης και τα μετρούμενα μεγέθη είναι οι αποστάσεις προς αυτούς. Το αποτέλεσμα είναι η εύρεση της θέσης του δέκτη (Γεωγραφικό μήκος και πλάτος χωρίς πληροφορία υψόμετρου), μέσω τομών κύκλων. Στα Δορυφορικά Συστήματα, το ρόλο των σημείων αναφοράς παίζουν οι δορυφόροι και με τη μέτρηση της απόστασης προς αυτούς εξάγεται η θέση του παρατηρητή (Γεωγραφικό μήκος, Γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο, ή Γεωκεντρικές συντεταγμένες  $X, Y, Z$ ) ως το σημείο τομής πολλών σφαιρών (όσες και οι δορυφόροι που παρατηρούνται).

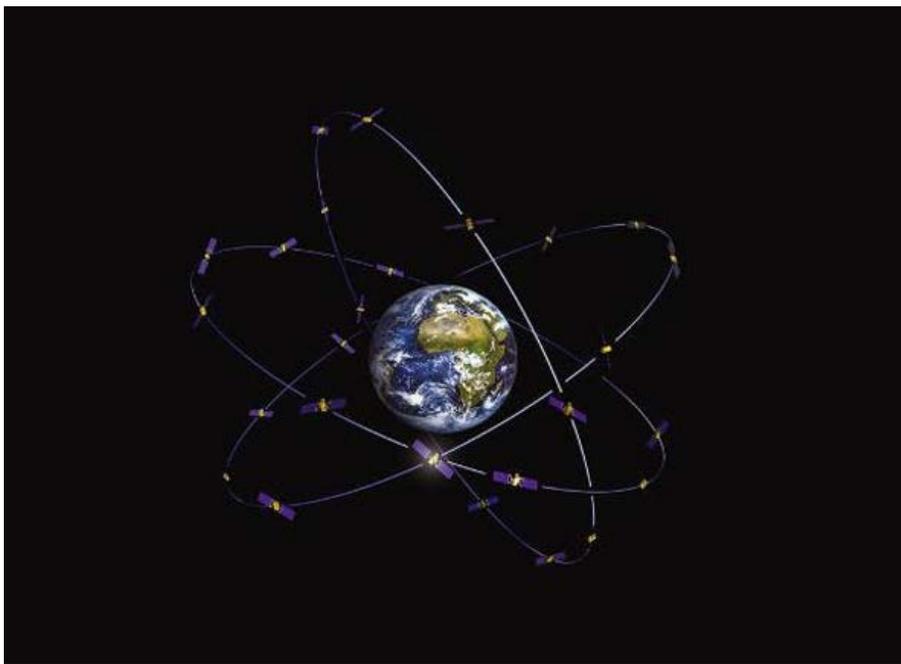
Στα Επίγεια Συστήματα, οι πομποί (σημεία αναφοράς) είναι σταθεροί, με ακριβείς συντεταγμένες και αποθηκευμένες στη μνήμη του δέκτη. Αντίθετα, στα δορυφορικά συστήματα, τα σημεία αναφοράς (δορυφόροι) δεν είναι σταθερά, αλλά βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Παρόλα αυτά οι δορυφόροι διαθέτουν την ικανότητα να μεταδίδουν την θέση τους ανά πάσα στιγμή. Είναι λοιπόν προφανές, ότι είναι πολύ σημαντικός ο όσο το δυνατόν ακριβέστερος υπολογισμός της θέσης των δορυφόρων τη στιγμή της μέτρησης της απόστασης τους από τον δέκτη, διότι έχει άμεσο αντίκτυπο στην ακρίβεια υπολογισμού της θέσης του δέκτη. Με άλλα λόγια, η ακρίβεια υπολογισμού της θέσης μας εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια υπολογισμού της θέσης των σημείων αναφοράς μας.



Στα Δορυφορικά Συστήματα εντοπισμού, οι θέσεις των δορυφόρων και κατ' επέκταση οι τροχιές τους παρακολουθούνται συνεχώς από διάφορους σταθμούς στη Γη (Control Stations), που ανήκουν στην Υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για την διατήρηση του συστήματος. Η Υπηρεσία αυτή επίσης, προβλέπει την τροχιά των δορυφόρων για τις επόμενες 24 ώρες, βασισμένη στα στοιχεία της τροχιάς που διέγραψαν το προηγούμενο 24ωρο. Στη συνέχεια, η προβλεπόμενη αυτή τροχιά, επανεκπέμπεται στους δορυφόρους, οι οποίοι την μεταδίδουν στους δέκτες των χρηστών ως μέρος του εκπεμπόμενου σήματός τους.

Με τη δημιουργία των Δορυφορικών Συστημάτων εντοπισμού, επανερχόμαστε στη φιλοσοφία των Ουράνιων Συστημάτων, με τη διαφοροποίηση όμως ότι τα σημεία αναφοράς είναι αυτή τη φορά δημιουργήματα του ανθρώπου. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την μέτρηση των αποστάσεων προς αυτά, πράγμα που ήταν επιθυμητό από παλιά και διευκολύνει τις διαδικασίες εντοπισμού.

Ένα από τα πρώτα Δορυφορικά Συστήματα εντοπισμού ήταν το Transit. Το σύστημα αυτό βρήκε αρκετές εφαρμογές από τους πολιτικούς χρήστες, αλλά δεν παρείχε τις ακρίβειες που ζητά ο Τοπογράφος Μηχανικός για εφαρμογές όπως τριγωνισμός, πολυγωνομετρία, ταχυμετρία, χαράξεις κ.α. Η πείρα που αποκτήθηκε από το σύστημα Transit και από άλλα παρόμοια πειραματικά συστήματα, χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των σημερινών Global Positioning System (GPS) από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και του επερχόμενου GALILEO από την Ευρωπαϊκή Ένωση.





## Κεφάλαιο 2. Δορυφόροι Πλοήγησης

**Δορυφόροι** - Χρειαζόμαστε τους δορυφόρους ως σημεία αναφοράς προς τα οποία θα μετράμε τις αποστάσεις. Ταυτόχρονα, θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να γνωρίζουμε την ακριβή τους θέση. Ο δορυφόρος από μόνος του δεν είναι τίποτα άλλο από ένα «όχημα» που κινείται στο διάστημα, διαγράφοντας τροχιά γύρω από τη Γη. Οι λειτουργίες που εκτελεί, καθορίζονται αποκλειστικά από τα μηχανικά μέρη με τα οποία είναι εξοπλισμένος. Για παράδειγμα, αν ο δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με έναν αναμεταδότη τηλεόρασης, τότε αυτόματα καθίσταται «τηλεοπτικός δορυφόρος». Αν είναι εξοπλισμένος με μετεωρολογικά όργανα, τότε καθίσταται «μετεωρολογικός δορυφόρος», με αποκλειστικό σκοπό να παράγει φωτογραφίες μεγάλης κλίμακας που απεικονίζουν σχηματισμούς νεφών, καταιγίδες, τυφώνες κλπ. Είναι προφανές λοιπόν από τα παραπάνω, ότι χρειαζόμαστε ειδικούς δορυφόρους για το σκοπό μας.

**Σύστημα Συντεταγμένων** – Για να εκφράσουμε τη θέση του κάθε δορυφόρου και κατ' επέκταση της θέσης μας ο μόνος τρόπος είναι η ύπαρξη ενός κοινού Συστήματος

Συντεταγμένων που θα άπτεται και για τους δορυφόρους, αλλά και για οποιαδήποτε θέση πάνω στη Γη. Πρέπει λοιπόν να ορίσουμε ένα Σύστημα Συντεταγμένων με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι παγκοσμίως αποδεκτό και κοινό. Με άλλα λόγια χρειαζόμαστε ένα Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων.

**Μέτρηση Αποστάσεων** –Θα πρέπει να γνωρίζουμε ακόμα τι είδους ηλεκτρονικού σήματος πρέπει να εκπέμπουν οι δορυφόροι ώστε να μπορούν όλοι οι χρήστες να το λαμβάνουν, με ποιο τρόπο θα γίνεται η μέτρηση των αποστάσεων, με τι ακρίβεια μπορούμε να μετρήσουμε αυτές τις αποστάσεις, σε ποιο βαθμό επηρεάζουν τα σφάλμα των μετρήσεων μας τον υπολογισμό της θέσης μας.

### **Μετρώντας Αποστάσεις προς τους δορυφόρους**

#### **Ο χρόνος είναι απόσταση!**

Σίγουρα θα έχετε παρατηρήσει κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, ότι πρώτα βλέπουμε τη λάμψη της αστραπής και με μια καθυστέρηση ακούμε τον ήχο της βροντής. Αυτό συμβαίνει διότι τα ηχητικά κύματα ταξιδεύουν με μικρότερη ταχύτητα από τα κύματα φωτός. Μπορούμε λοιπόν να υπολογίσουμε την απόστασή μας από την καταιγίδα, μετρώντας τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ των δύο ερεθισμάτων (αστραπή - βροντή). Πολλαπλασιάζοντας αυτή τη χρονική καθυστέρηση με την ταχύτητα του ήχου, υπολογίζουμε την απόσταση αυτή (κάνοντας την παραδοχή ότι το κύμα του φωτός φτάνει σε εμάς άμεσα σε σχέση με το ηχητικό). Η ταχύτητα μετάδοσης του ήχου στον αέρα είναι 344m/sec. Επομένως, αν μεσολαβούν 2 δευτερόλεπτα από τη στιγμή που βλέπουμε την αστραπή μέχρι τη στιγμή που ακούμε τον ήχο, η απόστασή μας από τη καταιγίδα είναι  $2 \times 344 = 688$  μέτρα. Η αρχή μέτρησης της απόστασης λοιπόν είναι ο πολλαπλασιασμός του χρόνου που μεσολάβησε από την εκπομπή του σήματος μέχρι τη στιγμή λήψης του, επί την ταχύτητα μετάδοσής του.

Στο παραπάνω παράδειγμα, η στιγμή που βλέπουμε την αστραπή συμπίπτει με τη στιγμή εκπομπής του ηχητικού κύματος (βροντή) στη καταιγίδα και επομένως αποτελεί την αρχή μέτρησης του χρόνου. Στην περίπτωση της καταιγίδας που αναφέραμε, έχουμε σαφή ένδειξη για την αρχή μέτρησης του χρόνου (αστραπή). Είναι δηλαδή σαν ένα

σινιάλο που μας ειδοποιεί για το πότε πρέπει να ξεκινήσουμε το χρονόμετρό μας. Τι γίνεται όμως στις περιπτώσεις εκείνες που δεν υπάρχει ένδειξη για το πότε γίνεται εκπομπή του σήματος;

### **Κώδικες και Σειρές Προτύπων**

Οι δορυφόροι εκπέμπουν ηλεκτρονικά πρότυπα. Έτσι, οι δέκτες μας δημιουργούν παρόμοια σήματα με τα εκπεμπόμενα από τους δορυφόρους (τα αναπαράγουν), ώστε να γίνει η αντιστοίχσή τους με τα λαμβανόμενα και να υπολογίσουμε την απόσταση προς τους δορυφόρους.

Οι δορυφόροι παράγουν δύο είδη σήματος - προτύπων. Το πρώτο, που στην ορολογία του δορυφορικού εντοπισμού ονομάζεται "carrier" ή φέρουσα συχνότητα, έχει μήκος περίπου 20 εκατοστά και διαβάθμιση περίπου 1 χιλιοστό. Το δεύτερο, που ονομάζεται "code" ή κώδικας, έχει ουσιαστικά άπειρο μήκος και διαβάθμιση περίπου 1 μέτρο. Με τη χρησιμοποίηση των δύο εκπεμπόμενων σημάτων μπορούμε να υπολογίσουμε δύο αποστάσεις προς τον ίδιο δορυφόρο. Χρησιμοποιώντας τη φέρουσα συχνότητα, η απόσταση που υπολογίζεται ονομάζεται "carrier phase", ενώ χρησιμοποιώντας τον κώδικα, η απόσταση που υπολογίζεται ονομάζεται "code phase". Λόγω της μεγάλης διάρκειας του σήματος του κώδικα, η μέτρηση αυτή δεν πάσχει από ασάφεια και η μέτρηση της απόστασης προς τον δορυφόρο είναι άμεση (πχ 19.234.763 μέτρα). Αντίθετα, το πρότυπο της φέρουσας συχνότητας (ή φάσης για συντομία) έχει ασάφεια. Εύλογα μπορεί να θεωρήσει κανείς ότι είναι άσκοπο να λέμε ότι η απόσταση προς το δορυφόρο είναι 13,2 εκατοστά συν μία ασάφεια (ακέραιος αριθμός κύκλων), η οποία είναι της τάξης των μερικών δεκάδων εκατομμυρίων μέτρων. Σε τι ωφελεί να μετράμε ένα μικρό μέρος της συνολικής απόστασης με τόσο μεγάλη ακρίβεια, ενώ παραμένει άγνωστο το μεγαλύτερο μέρος της που ανέρχεται σε εκατομμύρια ακέραιους κύκλους;

## Άγνωστος αρχικός ακέραιος αριθμός (Ακέραια Ασάφεια)

Οι έννοιες του κώδικα και της φέρουσας συχνότητας είναι πολύ σημαντικές. Ας παρακολουθήσουμε το παρακάτω παράδειγμα για να κατανοήσουμε καλύτερα τις έννοιες αυτές. Ας θεωρήσουμε τον κώδικα σαν ένα ρολόι που έχει μόνο τον ωροδείκτη (ας το ονομάσουμε ρολόι κώδικα). Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή κοιτώντας το ρολόι αυτό ξέρει κανείς την ώρα της ημέρας. Ας θεωρήσουμε τη φέρουσα σαν ένα ρολόι που έχει μόνο το δείκτη των δευτερολέπτων (ας το ονομάσουμε ρολόι φέρουσας). Με το ρολόι αυτό μπορεί κανείς να ξέρει με ακρίβεια δευτερολέπτου το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο γεγονότων, αρκεί να το παρακολουθεί συνεχώς, ώστε να «μετρά» τα ακέραια λεπτά. Αν με κάποιο τρόπο μπορέσουμε να προσδιορίσουμε το πλήθος των αρχικών λεπτών (τον αρχικό άγνωστο ακέραιο αριθμό όταν κοιτάξαμε το ρολόι φέρουσας), τότε μπορούμε να παρακολουθήσουμε το χρόνο με μεγάλη ακρίβεια. Αν για κάποιο λόγο αποσπαστεί η προσοχή σας και χάσετε το μέτρημα των ακέραιων λεπτών, τότε έχετε να επαναπροσδιορίσετε το νέο «αρχικό άγνωστο ακέραιο αριθμό». Σε αντίθεση με τα παραπάνω, με το ρολόι κώδικα έχετε πάντα την εκτίμηση της ώρας, αλλά με μειωμένη ακρίβεια (ενός 10λέπτου περίπου), εκτιμώντας από τη θέση του ωροδείκτη. Το ρολόι κώδικα μπορεί να δώσει μια καλή εκτίμηση του άγνωστου αριθμού των λεπτών του ρολογιού της φέρουσας. Είναι εμφανής όμως η έλλειψη του λεπτοδείκτη από τα ρολόγια μας. Οι κατασκευάστριες εταιρείες δεκτών GPS έχουν αναπτύξει διάφορες τεχνικές έτσι ώστε οι μετρήσεις κώδικα και φάσης που γίνονται να είναι σαφείς και ακριβείς, με αποτέλεσμα να εξάγεται γρήγορα η σωστή μέτρηση της απόστασης προς τους δορυφόρους.

Ο άγνωστος ακέραιος αριθμός της φέρουσας, που ονομάζεται ασάφεια φάσης, μπορεί να προσδιοριστεί αν έχουμε παρατηρήσεις προς τους δορυφόρους για κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτή ακριβώς είναι και η θεμελιώδης αρχή για όλες τις εφαρμογές ακριβείας του GPS, όπως η γεωδαισία.

Εκτελώντας μετρήσεις με GPS και χρησιμοποιώντας τη φάση, είναι πολύ κρίσιμο να παρακολουθούμε τον αριθμό των ακέραιων κύκλων σωστά και απρόσκοπτα. Δηλαδή να προσδιορίσουμε σωστά την ασάφεια φάσης. Εφόσον έχουμε προσδιορίσει την ασάφεια φάσης, πρέπει ταυτόχρονα να συνεχίσουμε να παρακολουθούμε τους ακέραιους κύκλους. Κάθε φορά που περνά ένας ακέραιος κύκλος και εμείς δεν τον λαμβάνουμε υπόψη μας, υπολογίζουμε λάθος την απόστασή μας προς το δορυφόρο και κατά συνέπεια και τη θέση μας. Στη γλώσσα του GPS αυτό ονομάζεται απώλεια κύκλου (cycle slip). Οι περισσότεροι δέκτες GPS είναι ικανοί να εντοπίζουν και να διορθώνουν τις απώλειες κύκλων.

Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι όλοι οι δέκτες δεν είναι ικανοί να μετρούν και τα δύο μεγέθη (κώδικα και φάση). Υπάρχουν πολλοί δέκτες που μετρούν μόνο τον κώδικα. Η φάση χρησιμοποιείται σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, όπως οι γεωδαιτικές εφαρμογές. Για τον λόγο αυτό οι δέκτες που παρακολουθούν και εκτελούν μετρήσεις με χρήση της φάσης, ονομάζονται γεωδαιτικοί δέκτες.

Η ακρίβεια με την οποία προσδιορίζουμε την απόστασή μας προς τους δορυφόρους,

κυμαίνεται ανάλογα με το παρατηρούμενο μέγεθος. Έτσι, αν χρησιμοποιούμε μετρήσεις κώδικα, η ακρίβεια στον προσδιορισμό της απόστασης είναι της τάξης του ενός (1) μέτρου, ενώ με χρήση φάσης είναι της τάξης του ενός (1) χιλιοστού. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι μπορούμε να υπολογίσουμε τη θέση μας χρησιμοποιώντας ένα δέκτη GPS με ακρίβεια ενός (1) μέτρου ή ενός (1) χιλιοστού. Υπάρχουν πολλές πηγές που εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις μας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακρίβεια προσδιορισμού.

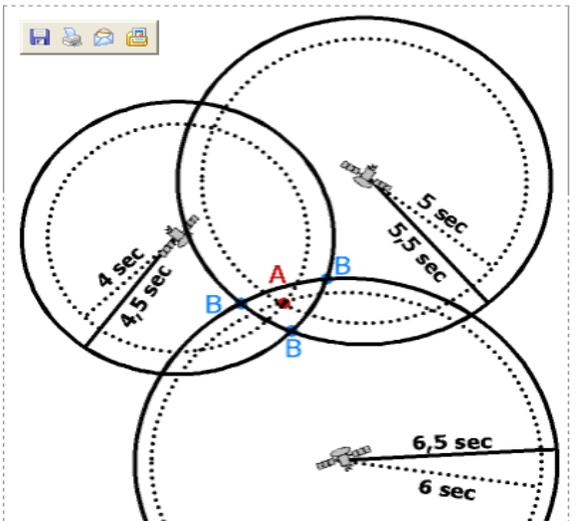
## **Κεφάλαιο 3      Πως δουλεύει το gps**

### **Τρόπος λειτουργίας**

Η βασική φιλοσοφία που βρίσκεται πίσω από τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος GPS είναι η μέτρηση της απόστασης μεταξύ δέκτη και δορυφόρου. Για να προχωρήσουμε όμως στα «ενδότερα» της συγκεκριμένης τεχνολογίας, θα πρέπει καταρχήν να γνωρίζουμε ότι ποτέ δεν είναι αρκετό το σήμα ενός δορυφόρου για να εντοπιστεί η θέση μας.

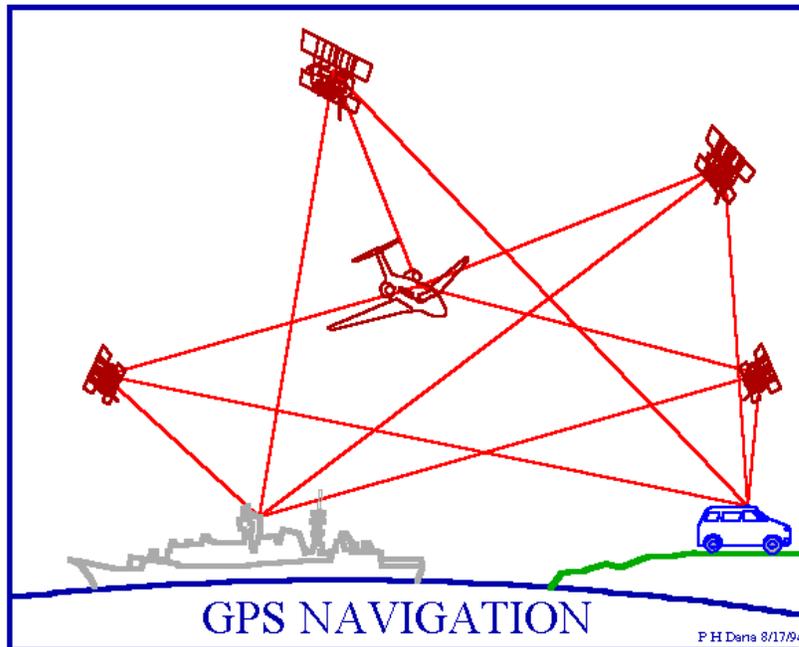
Αντίθετα, το σήμα ενός δορυφόρου, σχηματίζει πάνω στη Γη μόνο έναν νοητό κύκλο, διαμέτρου πολλών δεκάδων χιλιομέτρων. Ο χρήστης ενός δέκτης GPS μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε πάνω στη διάμετρο αυτού του κύκλου, κάτι φυσικά που δεν διασαφηνίζει με καμία απολύτως ακρίβεια το στίγμα του. Με τη λήψη του σήματος από έναν δεύτερο δορυφόρο, δημιουργείται ένας ακόμα κύκλος, ο οποίος σε κάποια τμήματά του τέμνεται με τον πρώτο κύκλο που εξετάσαμε παραπάνω. Εδώ τα πράγματα αρχίζουν να ξεκαθαρίζουν, αλλά όχι όσο θα θέλαμε. Η θέση μας πάνω στη Γη βρίσκεται σε κάποιο από τα σημεία όπου ενώνονται οι δύο νοητοί κύκλοι, ωστόσο πρόκειται και πάλι για μια αόριστη προσέγγιση.

Θα χρειαστεί και το σήμα ενός τρίτου δορυφόρου, για να δημιουργηθεί ένας ακόμα κύκλος, ο οποίος θα τέμνεται με τους άλλους δύο, ώστε να εντοπιστεί με υψηλή ακρίβεια η θέση μας. Το σημείο όπου τέμνονται και οι τρεις κύκλοι έχει τώρα πολύ μικρή έκταση και εκεί ακριβώς βρισκόμαστε εμείς. Όπως διαπιστώνει κανείς, αρκεί η σύνδεση ενός δέκτη με τρεις δορυφόρους προκειμένου να λάβουμε τις ακριβείς πληροφορίες που χρειαζόμαστε. Ωστόσο στην πραγματικότητα, για την αποφυγή τυχών σφαλμάτων και αποκλίσεων, ένας δέκτης GPS συνδέεται με 5 δορυφόρους, δημιουργώντας ισάριθμους νοητούς κύκλους. Έτσι, η πιθανότητα λανθασμένου εντοπισμού του στίγματός μας κυριολεκτικά εκμηδενίζεται.



Το σήμα μεταξύ δέκτη GPS και δορυφόρου είναι ουσιαστικά ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, διαδίδεται δηλαδή με την ταχύτητα του φωτός, στα 300.000 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο. Ως εκ τούτου, το σήμα χρειάζεται περίπου 7 μέχρι 10 εκατοστά του δευτερολέπτου για να φθάσει από τον δέκτη στον δορυφόρο και αντίστροφα. Όπως προαναφέρθηκε, απαιτούνται 5 δορυφόροι για να εντοπιστεί με απόλυτη ακρίβεια η θέση μας. Ανάλογα με τον χρόνο που χρειάζεται για την αποστολή του σήματος από τον δέκτη προς καθέναν από τους δορυφόρους αυτούς και για την επιστροφή του, εκτιμάται η απόσταση από αυτούς και δημιουργούνται οι 5 νοητοί κύκλοι θέσης. Η τομή των 5 κύκλων είναι η ακριβής θέση μας η οποία παριστάνεται στον δέκτη GPS με τη μορφή γεωγραφικού μήκους, πλάτους και υψομέτρου.

Στο σημείο αυτό αξίζει ιδιαίτερα να τονιστεί ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζει η σωστή λειτουργία των χρονομέτρων που διαθέτουν τόσο οι δέκτες GPS, όσο και οι δορυφόροι. Σφάλμα ακόμα και ενός δεκάτου του δευτερολέπτου κατά τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την επικοινωνία μεταξύ δέκτη και δορυφόρου, θα δώσει εξαιρετικά ανακριβείς πληροφορίες. Για τον λόγο αυτό, στα χρονόμετρα χρησιμοποιείται η τελευταία λέξη της τεχνολογίας, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται όλες οι απαραίτητες μέθοδοι για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας τους. Αν ποτέ παρατηρηθεί ότι το χρονόμετρο κάποιου δορυφόρου παρεκκλίνει, αυτός θα τεθεί άμεσα εκτός λειτουργίας και θα αντικατασταθεί με έναν από τους εφεδρικούς.



## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΡΗ

Το σύστημα εντοπισμού θέσης GPS σχηματίζει ένα παγκόσμιο δίκτυο, με εμβέλεια που καλύπτει στεριά, θάλασσα και ουρανό. Εξαιτίας αυτής της έκτασής του, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε επιμέρους τμήματα όπου πραγματοποιούνται όλες οι λειτουργίες του αλλά και ο συντονισμός του. Ποια είναι όμως αυτά; Ας τα δούμε αναλυτικά.

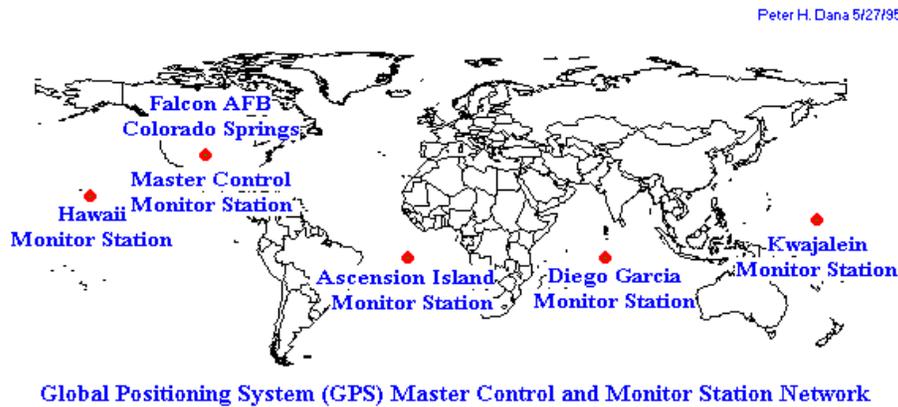
- **Διαστημικό τμήμα:** Αποτελείται από το δίκτυο 24 δορυφόρων που ήδη αναφέραμε. Οι δορυφόροι αυτοί «σκεπάζουν» ομοιόμορφα με το σήμα τους ολόκληρο τον πλανήτη, γεγονός που αποδεικνύει τη φιλοσοφία που κρύβεται πίσω από τη λειτουργία του συστήματος GPS. Δηλαδή τη διαθεσιμότητά του σε κάθε γωνιά της Γης, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να αποπροσανατολιστεί κανείς ποτέ και πουθενά.

Όλοι οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος περίπου 12.700 μιλίων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και εκτελούν δύο περιστροφές γύρω από τη Γη κάθε 24ωρο. Η κατασκευάστρια εταιρεία είναι η Rockwell International, η εκτόξευσή τους πραγματοποιήθηκε από το ακρωτήριο Canaveral, ενώ η ηλεκτρική τους τροφοδοσία πραγματοποιείται μέσω των ηλιακών στοιχείων που διαθέτουν.

- **Επίγειο τμήμα ελέγχου:** Οι δορυφόροι, όπως είναι αναμενόμενο άλλωστε, είναι πολύ πιθανό να αντιμετωπίσουν ανά πάσα στιγμή προβλήματα στη σωστή λειτουργία

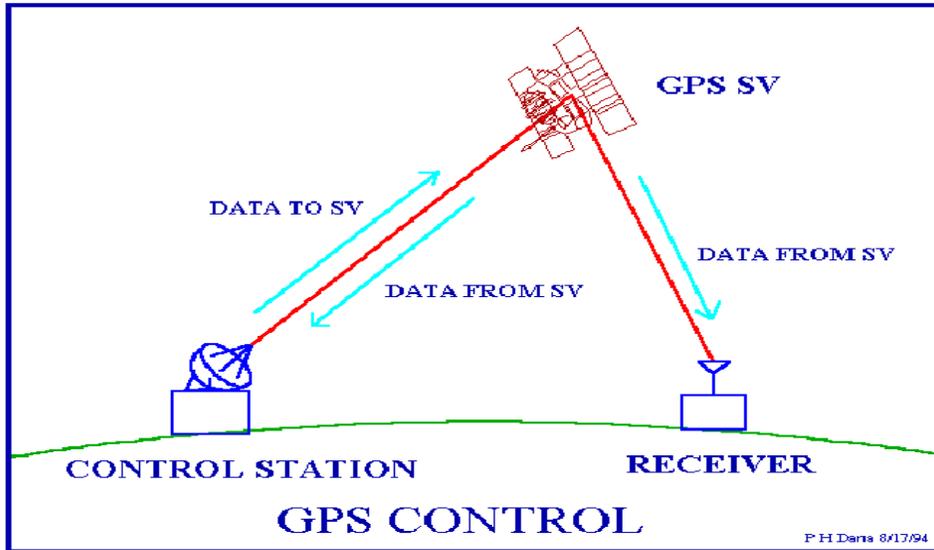
τους. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε αυτούς αφορούν τη σωστή τους ταχύτητα και υψόμετρο και την κατάσταση της επάρκειάς τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα εφαρμόζονται όλες οι διορθωτικές ενέργειες που αφορούν το σύστημα χρονομέτρησης των δορυφόρων, ώστε να αποτρέπεται η παροχή λανθασμένων πληροφοριών στους χρήστες του συστήματος. Το τμήμα επίγειου ελέγχου αποτελείται από 1 επανδρωμένο και 4 μη-επανδρωμένα κέντρα, εγκατεστημένα σε ισάριθμες περιοχές του πλανήτη.

Αυτές είναι οι εξής: α) Κολοράντο (Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής) β) Χαβάη (Ανατολικός Ειρηνικός Ωκεανός) γ) Ascension Island (Ατλαντικός Ωκεανός) δ) Diego Garcia (Ινδικός Ωκεανός) ε) Kwajalein (Δυτικός Ειρηνικός Ωκεανός)



Ο κυριότερος σταθμός βάσης είναι αυτός του Κολοράντο, ο οποίος είναι μάλιστα και ο μοναδικός που βρίσκεται στην ξηρά. Αναλαμβάνει δε τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των εναπομεινάντων τεσσάρων σταθμών, καθώς και τον συντονισμό τους. Σημειώνοντας τη θέση των σταθμών αυτών πάνω σε έναν παγκόσμιο χάρτη, παρατηρεί κανείς ότι η διάταξή τους δεν είναι τυχαία, αλλά ακολουθούν μια γραμμή παράλληλη με τα γεωγραφικά μήκη της Γης.

■ Το τμήμα τελικού χρήστη: Απαρτίζεται από τους χιλιάδες χρήστες των δεκτών GPS ανά την υφήλιο. Οι δέκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο κατά τη διάρκεια μιας πεζοπορίας, όσο και σε οχήματα ή θαλάσσια σκάφη και κατά κανόνα διαθέτουν αρκετά μικρές διαστάσεις. Για να προσφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, οι δέκτες συνδυάζονται και με ειδικό software που προβάλλει έναν χάρτη στην οθόνη του. Πρόκειται δηλαδή για λογισμικό που λαμβάνει από τους δορυφόρους τις πληροφορίες για το στίγμα μας και τις μετατρέπει σε κατανοητή «ανθρώπινη» μορφή, πληροφορώντας μας για την ακριβή γεωγραφική μας θέση.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΗΓΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ**

Με τους δορυφόρους, το ηλεκτρονικό σήμα μεταδίδεται με την ταχύτητα του φωτός δηλαδή με 300.000.000 μέτρα το δευτερόλεπτο. Αρα τα σφάλματα στο ρολόι των δορυφόρων και στο ρολόι των δεκτών συνεισφέρουν βαθύτατα στον υπολογισμό των αποστάσεων.

### **Το χρονόμετρο των δορυφόρων**

Ένα δισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου (ένα nanosecond) ανακρίβειας στο ρολόι του δορυφόρου επιδρά σε 30 εκατοστά λάθους στον υπολογισμό της απόστασης από ένα δορυφόρο. Για αυτό τον λόγο, οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με ρολόγια (ατομικά χρονόμετρα) μεγάλης ακριβείας (χρονόμετρα καισίου-ρουβιδίου). Ακόμα και αυτά τα ρολόγια όμως, συσσωρεύουν λάθη ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου κάθε τρεις ώρες. Για να αναχθεί η ολίσθηση του χρονομέτρου του δορυφόρου, τα χρονόμετρα αυτά παρακολουθούνται από επίγειους σταθμούς και συγκρίνονται με το κύριο χρονόμετρο ελέγχου (master control clock), όπου είναι ένας συνδυασμός από περισσότερα από δέκα μεγάλης ακριβείας ατομικά χρονόμετρα. Τα λάθη και οι ολισθήσεις των χρονομέτρων των δορυφόρων υπολογίζονται και περιλαμβάνονται στα μεταδιδόμενα από τους δορυφόρους σήματα. Στο υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους, οι δέκτες GPS αφαιρούν τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων από τον αναφερόμενο χρόνο μετάδοσης, για να προκύψει η αληθής διάρκεια μετάδοσης του σήματος.

Ακόμα και με τις προσπάθειες των σταθμών ελέγχου της παρακολούθησης της συμπεριφοράς των χρονομέτρων του κάθε δορυφόρου, τα λάθη δεν μπορούν με ακρίβεια να προσδιοριστούν. Κάθε λάθος των χρονομέτρων των δορυφόρων που απομένει

συσσωρεύει σφάλμα μερικών nanoseconds το οποίο προκαλεί σφάλμα στην υπολογιζόμενη απόσταση κατά 1 μέτρο.

### **Το χρονόμετρο των δεκτών**

Παρόμοιο με το σφάλμα των χρονομέτρων των δορυφόρων, το χρονόμετρο του δέκτη προκαλεί σφάλμα στον υπολογισμό των αποστάσεων. Από την άλλη πλευρά δεν είναι και τόσο πρακτικό να εξοπλίζονται οι δέκτες με ατομικά χρονόμετρα ακριβείας, μια που αυτά τα χρονόμετρα ζυγίζουν περισσότερο από 20 κιλά, κοστίζουν περίπου \$50.000 και απαιτούν εκτεταμένη φροντίδα στον έλεγχο της θερμοκρασίας.

Ας υποθέσουμε ότι σε μια δεδομένη χρονική στιγμή το χρονόμετρο του δέκτη μας έχει σφάλμα ενός χιλιοστού, προκαλώντας σφάλμα στο υπολογισμό της απόστασης κατά 300.000 μέτρα. Αν οι αποστάσεις προς όλους τους ορατούς δορυφόρους υπολογίζονται την ίδια χρονική στιγμή, τότε είναι όλες λάθος κατά 300.000 μέτρα.

Αν οι αποστάσεις προς τους δορυφόρους δεν υπολογίζονται την ίδια χρονική στιγμή, τότε για κάθε μέτρηση έχουμε διαφορετικό χρονόμετρο. Κάνοντας ταυτόχρονες παρατηρήσεις ως προς τέσσερις δορυφόρους δεν υπολογίζουμε μόνο την θέση του δέκτη μας, αλλά και το σφάλμα του χρονομέτρου του με πολύ καλή ακρίβεια. Ένα τυπικό ρολόι έχει μια ολίσθηση της τάξης των 1000 nanoseconds το δευτερόλεπτο, αλλά με τον παραπάνω τρόπο μπορούμε να συγχρονίσουμε το ρολόι του δέκτη μας με το ρολόι των δορυφόρων του GPS. Οι δέκτες GPS διορθώνουν τον χρόνο τους κάθε δευτερόλεπτο και μπορούν να παρέχουν ένα εξωτερικό παλμό κάθε δευτερόλεπτο για χρήστες οι οποίοι χρειάζονται ακριβή χρόνο. Οι δέκτες GPS μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν χρονόμετρα ακριβείας τοποθετώντας τους σε σημείο γνωστών συντεταγμένων, οπότε και χρειάζεται μόνο ένας δορυφόρος για να υπολογιστεί ο ακριβής χρόνος και να συγχρονιστεί το χρονόμετρο του δέκτη.

Ο ελάχιστος αριθμός δορυφόρων που χρειάζονται για να υπολογιστεί η θέση και ο χρόνος είναι τέσσερις. Από εκεί και πέρα όσο περισσότεροι είναι οι ορατοί δορυφόροι τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια που παρέχεται.

### **Τροχιακά σφάλματα δορυφόρων.**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ακρίβεια της προσδιορισμένης θέσης εξαρτάται επίσης και από την ακρίβεια με την οποία γνωρίζουμε την θέση του κάθε δορυφόρου. Οι τροχιές των δορυφόρων παρακολουθούνται συνεχώς από επίγειους σταθμούς ελέγχου ανά τον κόσμο και η προβλεπόμενη τροχιακή πληροφορία εκπέμπεται στους δορυφόρους που με την σειρά τους την εκπέμπουν στους δέκτες GPS. Η ιστορία του GPS έχει δείξει έως τώρα ότι η ακρίβεια της προβλεπόμενης τροχιακής πληροφορίας είναι της τάξεως μερικών μέτρων. Αυτό δημιουργεί μερικά μέτρα λάθους στον υπολογισμό της θέσης του δέκτη.

### **Σφάλματα που υπεισέρχονται από την ατμόσφαιρα: Ιονόσφαιρα και τροπόσφαιρα.**

#### ***Ιονόσφαιρα***

Υπολογίζοντας τις αποστάσεις από τους δορυφόρους, υπολογίζουμε αρχικά το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να έρθει στον δέκτη και μετά πολλαπλασιάζουμε με την ταχύτητα του φωτός. Το πρόβλημα είναι ότι η ταχύτητα του φωτός διαφέρει λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών. Το πάνω μέρος της ατμόσφαιρας, η ιονόσφαιρα, περιέχει φορτισμένα ιόντα τα οποία ενώ εισάγουν καθυστέρηση στην μετάδοση του κώδικα, επιταχύνουν την μετάδοση του φέροντος κύματος. Το μέγεθος της επίδρασης της ιονόσφαιρας είναι μεγαλύτερο κατά την διάρκεια της ημέρας από ότι το βράδυ. Το μέγεθος της επίδρασης επίσης έχει μια κυκλική περίοδο 11 χρόνων κατά την οποία παρουσιάζει maximum και minimum τιμή. Ο κύκλος μετά θα επαναληφθεί. Οι επιδράσεις της Ιονόσφαιρας, αν δεν εξαλειφθούν, επιφέρουν σφάλματα στις μετρήσεις των αποστάσεων έως και 10 μέτρα.

Μερικοί δέκτες χρησιμοποιούν ένα μαθηματικό μοντέλο για τις επιδράσεις της Ιονόσφαιρας. Με την κατά προσέγγιση γνώση της πυκνότητας των φορτισμένων ιόντων, η επίδραση της ιονόσφαιρας μπορεί να ελαττωθεί κατά 50%. Τα εναπομείναντα σφάλματα είναι όμως ακόμα σημαντικά.

Η επίδραση της ιονόσφαιρας στα ηλεκτρονικά σήματα εξαρτάται από την συχνότητα του σήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μικρότερη είναι η επίδραση. Αν εκπέμψουμε ταυτόχρονα δύο σήματα διαφορετικών συχνοτήτων η καθυστέρηση στην

μετάδοση του σήματος στην μια συχνότητα θα είναι για παράδειγμα 5 μέτρα ενώ στην άλλη θα είναι 6 μέτρα. Δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το απόλυτο μέγεθος της επίδρασης σε κάθε συχνότητα, αλλά μπορούμε να υπολογίσουμε την διαφορά υπολογίζοντας την διαφορά στον χρόνο λήψης των δύο σημάτων που στην περίπτωση αυτή είναι 1 μέτρο. Με αυτό τον τρόπο και χρησιμοποιώντας γνωστούς τύπους εξαρτημένων συχνοτήτων ιονοσφαιρικής καθυστέρησης, μπορούμε να εξαλείψουμε την επίδραση της ιονόσφαιρας στις μετρήσεις μας χρησιμοποιώντας δέκτες δύο συχνοτήτων.

### ***Τροπόσφαιρα***

Το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, το οποίο περιέχει υδρατμούς ονομάζεται τροπόσφαιρα. Η επίδραση της είναι η καθυστέρηση στην μετάδοση και του κώδικα, και του φέροντος κύματος. Οι επιδράσεις της τροπόσφαιρας δεν μπορούν να εξαλειφθούν ούτε με την χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων. Ο μόνος τρόπος για να εξαλειφθούν αυτά τα σφάλματα είναι με μετρήσεις της υγρασίας, της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης και της εφαρμογής αυτών σε μαθηματικό μοντέλο το οποίο θα υπολογίσει την καθυστέρηση της τροπόσφαιρας.

### **Σφάλμα πολλαπλών διαδρομών (multipath)**

Όταν μετράμε την απόσταση από ένα δορυφόρο, υποθέτουμε ότι το σήμα έρχεται κατευθείαν από τον δορυφόρο στην κεραία του δέκτη. Εκτός όμως από το απευθείας σήμα, υπάρχουν και ανακλώμενα σήματα από το έδαφος ή από αντικείμενα κοντά στην κεραία, τα οποία λαμβάνονται από την κεραία και επιδρούν με το απευθείας σήμα. Το σύνθετο σήμα δημιουργεί μια αβεβαιότητα για τον αληθή χρόνο λήψης του σήματος, με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο η ηχώ δημιουργεί μια αβεβαιότητα για τον ακριβή χρόνο τον οποίο μεταδόθηκε - παράχθηκε κάποιος ήχος. Αν το ανακλώμενο σήμα είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το απευθείας σήμα (περισσότερο από 10 μέτρα) έτσι ώστε τα δύο σήματα να μπορούν να διαχωριστούν, τότε το σφάλμα πολλαπλών διαδρομών (multipath) μπορεί να ελαττωθεί με κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας σημάτων.

### **Σφάλματα δεκτών**

Οι δέκτες μπορούν να εισάγουν κάποια σφάλματα όταν μετράνε τον κώδικα ή την φάση του φέροντος κύματος. Σε δέκτες υψηλής ποιότητας, αυτά τα σφάλματα είναι ασήμαντα

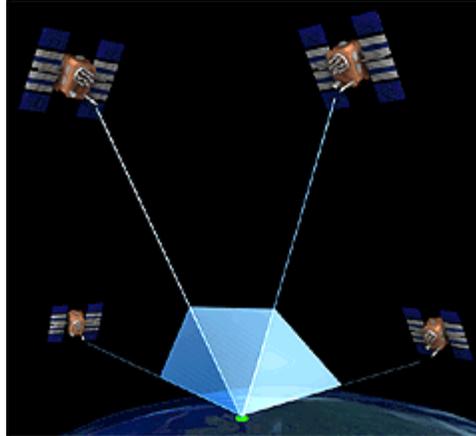
(λιγότερο από 1mm) για την μέτρηση της φάσης του φέροντος κύματος και μερικά εκατοστά για τον κώδικα του φέροντος κύματος.

### **GDOP (Geometric Dilution Of Precision)**

Στις προηγούμενες παραγράφους αναφερθήκαμε στα σφάλματα τα οποία υπεισέρχονται στις μετρήσεις των αποστάσεων από τους δορυφόρους τα οποία ονομάζονται range errors. Η ερώτηση που τίθεται τώρα είναι ποια είναι η σχέση μεταξύ αυτών των σφαλμάτων και του σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Με άλλα λόγια πόσα μέτρα σφάλματος εισάγεται στον υπολογισμό της θέσης για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό της απόστασης δορυφόρου-δέκτη.

Η απάντηση είναι ότι εξαρτάται από τον αριθμό των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και από την γεωμετρία τους στον ορίζοντα. Για παράδειγμα αν τέσσερις δορυφόροι είναι συγκεντρωμένοι σε κάποιο σημείο του ορίζοντα, τότε ένα μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς αυτούς είναι πιθανό να εισάγει δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Αν όμως αρκετοί δορυφόροι είναι διασκορπισμένοι στον ορίζοντα τότε το σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης είναι πιθανό να είναι μικρότερο από 1.5m για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους. Η επίδραση της γεωμετρίας των δορυφόρων στο σφάλμα υπολογισμού της θέσης ονομάζεται GDOP και μπορεί χονδρικά να ερμηνευτεί ως ο λόγος του σφάλματος υπολογισμού της θέσης με το σφάλμα υπολογισμού των αποστάσεων προς τους δορυφόρους.

Στην εικόνα που ακολουθούν φανταστείτε ένα τετράεδρο το οποίο σχηματίζεται από τις γραμμές που συνδέουν τον δέκτη-κεραία GPS, με τους δορυφόρους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος αυτού του τετραέδρου τόσο μικρότερο (καλύτερο) είναι το GDOP. Στις περισσότερες περιπτώσεις όσους περισσότερους δορυφόρους λαμβάνουμε τόσο καλύτερο είναι το GDOP.



### **Επιλεκτική διαθεσιμότητα (Selective Availability)**

Όλα τα σφάλματα τα οποία αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια επιφέρουν σφάλμα 10 μέτρων στον υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους, το οποίο με τυπικό GDOP περίπου 2 επιφέρει σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης της τάξης των 20 μέτρων περίπου.

Το Αμερικάνικο Υπουργείο Αμύνης καθόρισε ότι παρέχοντας αυτής της τάξης την ακρίβεια στο κοινό, είναι εναντίον των συμφερόντων των Ηνωμένων Πολιτειών. Για αυτό τον λόγο το Υπουργείο εισήγαγε «εσκεμμένο» συστηματικό σφάλμα το οποίο υποβαθμίζει την ακρίβεια εντοπισμού θέσης στα 100 μέτρα. Αυτή η υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος ονομάζεται "επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA)" και εφαρμόζεται παραποιώντας τα χρονόμετρα των δορυφόρων και μεταδίδοντας ανακριβή τροχιακή πληροφορία. Οι στρατιωτικοί δέκτες είναι εξοπλισμένοι με ειδικό "hardware" το οποίο εξαλείφει την επίδραση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας. Η επιλεκτική διαθεσιμότητα μπορεί να τεθεί On ή Off από τους επίγειους σταθμούς ελέγχου του GPS.

Από την 1η Μαΐου 2000, το Υπουργείο Αμύνης της Αμερικής έθεσε σε κατάσταση Off την Επιλεκτική Διαθεσιμότητα, με ανακοίνωση του εκπροσώπου Τύπου των Η.Π.Α. Σαν αποτέλεσμα αυτού η ακρίβεια εντοπισμού που παρέχει το σύστημα GPS είναι και πάλι 20 μέτρα περίπου.

## Κεφαலைο 5 Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Λύσεις

Η ακρίβεια εντοπισμού των 100m (SA On) αλλά ακόμα και εκείνη των 20m (SA Off) είναι αρκετή για πολλές από τις πολιτικές εφαρμογές. Σχεδόν με την εμφάνιση του GPS, άρχισαν να αναπτύσσονται διάφορες τεχνικές μείωσης των σφαλμάτων και βελτίωσης της παρεχόμενης ακρίβειας, ακόμη και υπό την παρουσία της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA On) αλλά και της μη εξαπάτησης (AS).

### Διαφορικός Εντοπισμός (Differential Mode)

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο δέκτες όχι πολύ απομακρυσμένους μεταξύ τους. Τα σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων, των δορυφορικών τροχιών, της ιονόσφαιρας, της τροπόσφαιρας και της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, επηρεάζουν και τους δύο δέκτες κατά τον ίδιο τρόπο και βαθμό. Εάν γνωρίζαμε την ακριβή θέση ενός από τους δύο δέκτες θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την πληροφορία ώστε να υπολογίσουμε τα σφάλματα στις μετρήσεις. Στη συνέχεια μεταφέροντας αυτά τα σφάλματα (ή καλύτερα διορθώσεις) στον άλλο δέκτη, επιτυγχάνουμε την απαλοιφή τους. Αυτή η τεχνική ονομάζεται **διαφορικός εντοπισμός**.

Ο δέκτης που βρίσκεται σε θέση γνωστών συντεταγμένων ονομάζεται διεθνώς "base", ενώ ο άλλος που είναι σε άγνωστη θέση ονομάζεται "rover". Ο base δέκτης υπολογίζει τη στιγμιαία απόστασή του προς κάθε δορυφόρο, βασιζόμενος στη γνωστή του θέση και τη στιγμιαία θέση κάθε δορυφόρου. Η διαφορά της υπολογισμένης με τη μετρημένη απόσταση είναι η τιμή της διόρθωσης για κάθε ένα δορυφόρο. Μεταδιδόμενες οι διορθώσεις αυτές στον rover, επιτρέπουν στον τελευταίο να ανάγει τις δικές του μετρημένες αποστάσεις προς όλους τους δορυφόρους, υπολογίζοντας τελικά τη θέση του με πολύ καλύτερη ακρίβεια.

Εξαιτίας της διαρκούς κίνησης των δορυφόρων αλλά και των ολισθήσεων των χρονομέτρων τους, οι παραγόμενες διορθώσεις αλλάζουν ραγδαία σε συνάρτηση με το χρόνο. Επομένως ο base δέκτης πρέπει να παράγει τις διορθώσεις και να τις μεταδίδει στο rover όσο το συντομότερο δυνατό.

Αυτονόητο είναι ότι η ορθότητα των συντεταγμένων του base επηρεάζει άμεσα τις συντεταγμένες του rover. Εάν εισαχθεί η θέση του base λανθασμένα προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, τότε όλες οι διορθώσεις που θα υπολογίσει ο base και θα μεταδώσει στο rover θα είναι κατά τέτοιο τρόπο λανθασμένες ώστε να προσδίνουν στο rover εντοπισμό θέσης που θα έχει το ίδιο λάθος σε μέγεθος και διεύθυνση όπως ο base.

Το διάστημα μεταξύ του base και του rover ονομάζεται βάση (baseline). Όταν η βάση είναι μικρή, τότε τα σφάλματα απόστασης των δύο δεκτών προς τους δορυφόρους είναι σχεδόν ίδια, επιτρέποντας τη χρήση των παραγόμενων διορθώσεων από το base για τον προσδιορισμό της θέσης του rover. Όσο αυξάνεται το μήκος της βάσης, τόσο ελαττώνεται η συνοχή των σφαλμάτων απόστασης. Με άλλα λόγια θα προκύπτουν υπολοίπωντα σφάλματα στον προσδιορισμό της θέσης του rover τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του μήκους της βάσης. Σαν γενικός κανόνας, θα πρέπει να προστίθεται επιπλέον ασάφεια ενός χιλιοστού για κάθε χιλιόμετρο αύξησης στο μήκος της βάσης, δηλαδή 1ppm. Στη περίπτωση δεκτών μίας συχνότητας, το σφάλμα αυτό αυξάνει στα 2ppm.

Ο διαφορικός εντοπισμός εξαλείφει σχεδόν όλα τα σφάλματα εκτός από αυτά του "multipath" και των σφαλμάτων των δεκτών. Αυτό τα σφάλματα υπεισέρχονται για κάθε δέκτη χωριστά και δεν μπορούν να εξαλειφθούν με τον διαφορικό εντοπισμό.

Το σφάλμα του δέκτη (εσωτερικός θόρυβος) είναι περίπου 10cm για τον κώδικα του φέροντος κύματος και περίπου 1mm για την φάση. Σε δέκτες υψηλής ακρίβειας και ποιότητας αυτά τα σφάλματα είναι αρκετές φορές μικρότερα. Το σφάλμα που υπεισέρχεται από το "multipath" όμως μπορεί να είναι αρκετά μέτρα για τον κώδικα και αρκετά εκατοστά για την φάση του φέροντος κύματος. Ως εκ τούτου, αν με κάποιο τρόπο αντιμετωπίσουμε το "multipath" θα μπορούμε να επιτύχουμε ακρίβεια χιλιοστού για μετρήσεις φάσης και ακρίβεια εκατοστού για μετρήσεις κώδικα

Ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση του κώδικα του φέροντος κύματος ονομάζεται DGPS ενώ με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος ονομάζεται CPD (Carrier Phase Differential). Ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση φάσης σε πραγματικό χρόνο ονομάζεται RTK (Real-Time kinematic).

Στο διαφορικό εντοπισμό με χρήση φάσης φέροντος κύματος, οι υπολογισμοί είναι αρκετά πιο πολύπλοκοι επειδή προστίθενται άγνωστοι που αφορούν τον αριθμό των αρχικών ακεραίων κύκλων (ασάφεια φάσης). Είναι πιθανό να χρειαστούν αρκετά λεπτά για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης και να προσδιοριστεί ο αριθμός των ακεραίων κύκλων. Απαξ και επιλυθεί η αρχική ασάφεια φάσης, τότε κάθε συμπληρωματικός υπολογισμός θέσης είναι άμεσος. Όταν όμως ο αριθμός των ορατών από το δέκτη δορυφόρων πέσει κάτω από 4, τότε πρέπει να επαναυπολογιστεί η ασάφεια φάσης μόλις ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων το επιτρέψει, δηλαδή μόλις ο δέκτης αποκτήσει πάλι τουλάχιστον 4 ορατούς δορυφόρους (5 για αξιοπιστία). Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει αρκετά λεπτά. Μια DGPS λύση όμως, είναι άμεση, δεν πάσχει από ασάφεια, αλλά ταυτόχρονα είναι λιγότερο ακριβής.

## **DGPS**

Στις DGPS εφαρμογές αν οι διορθώσεις εκπέμπονται από τον "base" δέκτη στον "rover" σε πραγματικό χρόνο (μέσω ενός radio-link), τότε η μέθοδος εντοπισμού ονομάζεται real-time DGPS κατά την οποία μπορούμε να πάρουμε ακριβή αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η μέθοδος απαιτείται για εφαρμογές χάραξης ή για κάθε είδους εφαρμογή που απαιτούνται συντεταγμένες ακριβείας σε πραγματικό χρόνο. Αν δεν απαιτούνται αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο (αποτυπώσεις) τότε μπορούν να γίνουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις και να καταγραφούν τα δεδομένα στους δέκτες (base και rover) και να μεταφερθούν τα δεδομένα σε υπολογιστή ώστε να υπολογιστούν οι ακριβείς συντεταγμένες εκ των υστέρων. Αυτή η μεθοδολογία ονομάζεται post-processed DGPS.

Η DGPS μεθοδολογία βασίζεται στις μετρήσεις των αποστάσεων προς τους δορυφόρους με χρήση του κώδικα του φέροντος κύματος. Οι μετρήσεις με χρήση του κώδικα είναι

σαν μια μετροταινία η οποία έχει διαβαθμίσεις μέτρου και μόνο. Οι διαβαθμίσεις εμφανίζονται αυτόματα όταν εγκλωβίσουμε το σήμα των δορυφόρων με τον δέκτη μας, επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις ως προς τους δορυφόρους άμεσα αλλά όχι με μεγάλη ακρίβεια.

## **RTK**

Το RTK είναι ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος σε πραγματικό χρόνο. Οι μετρήσεις με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος είναι σαν μια μετροταινία με διαβαθμίσεις χιλιοστού. Σε αυτή την μετροταινία οι διαβαθμίσεις των μέτρων δεν φαίνονται άμεσα όταν λαμβάνουμε το σήμα των δορυφόρων με τον δέκτη μας. Πρέπει να περιμένουμε κάποιο χρονικό διάστημα για να εμφανιστούν οι διαβαθμίσεις των μέτρων και να ολοκληρώσουμε τις μετρήσεις (όπως μια φωτογραφία στιγμής Polaroid). Αυτός είναι ο χρόνος που απαιτείται για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης. Όσο περισσότερο χρόνο περιμένουμε τόσο και πιο καθαρές γίνονται οι διαβαθμίσεις των μέτρων (όπως στις φωτογραφίες Polaroid). Όταν οι διαβαθμίσεις των μέτρων εμφανιστούν, παραμένουν ξεκάθαρες και μπορούμε να κάνουμε άμεσες μετρήσεις ασταμάτητα όσο ο δέκτης μας λαμβάνει σήματα από τους δορυφόρους. Όταν χαθεί η επαφή με τους δορυφόρους οι διαβαθμίσεις των μέτρων εξαφανίζονται και χρειάζεται να περιμένουμε πάλι για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης και να εμφανιστούν οι διαβαθμίσεις των μέτρων.

Σε περίπτωση που η επαφή με τους δορυφόρους διακόπτεται για μικρό χρονικό διάστημα, ο δέκτης μπορεί να βασιστεί στον υπολογισμό των ακεραίων κύκλων από τις προηγούμενες μετρήσεις.

Σε περίπτωση που ο υπολογισμός των ακεραίων κύκλων είναι ανακριβής ή έχουμε απώλειες κύκλων, είναι σαν να έχουμε διαβάσει λάθος διαβάθμιση μέτρου στην μετροταινία που προαναφέραμε. Δηλαδή είναι σαν να έχουμε υπολογίσει μια απόσταση 4.784 μέτρων ως 3.784. Ενώ διαβάσαμε σωστά την διαβάθμιση των χιλιοστών κάναμε λάθος στην ανάγνωση των μέτρων.

Όταν ένας δέκτης έχει επιλύσει την ασάφεια φάσης, η ακρίβεια στον υπολογισμό της θέσης είναι μεταξύ 0.5cm και 2cm οριζοντιογραφικά και μεταξύ 1cm με 3cm υψομετρικά (εξαρτώμενη από την ικανότητα της κεραίας να εξαλείφει το "multipath") συν 1 ppm για δέκτες δύο συχνοτήτων και 2 ppm για δέκτες μίας συχνότητας.

Το κλειδί στις μετρήσεις RTK είναι η επίλυση της ασάφειας φάσης. Η μεγάλη ερώτηση είναι πόσο χρόνο χρειάζεται για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης αξιόπιστα από την στιγμή που ο δέκτης λαμβάνει σήματα από τους δορυφόρους (min 5 δορυφόρους). Σε περίπτωση που δεν επιλυθεί σωστά η ασάφεια φάσης τότε είναι σαν να έχουμε διαβάσει λάθος τις διαβαθμίσεις των μέτρων και να συγκεντρωνόμαστε στην ανάγνωση των χιλιοστών.

Για μικρές βάσεις (<20Km) ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίλυση της ασάφειας φάσης εξαρτάται από τις επόμενες παραμέτρους:

- Το επίπεδο εμπιστοσύνης που έχει τεθεί για τον υπολογισμό του αριθμού των ακεραίων κύκλων
- Τον αριθμό των δορυφόρων
- Το είδος των δεκτών (δέκτες THALES ή όχι)
- Την επίδραση του σφάλματος πολλαπλών διαδρομών "multipath" (συντελεστής ανακλασιμότητας του εδάφους)
- Την ικανότητα εξάλειψης του "multipath" από την κεραία

Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων είναι η κυριότερη παράμετρος για την αξιόπιστη και γρήγορη επίλυση της ασάφειας φάσης. Σαν κανόνα μπορούμε να πούμε ότι χρειάζονται τουλάχιστον 6 δορυφόροι για μικρές βάσεις.

## Κεφάλαιο 6

## Δέκτες GPS

Το GPS είναι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης, που βασίζεται σε σήματα που εκπέμπονται από ένα δίκτυο δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη. Τα σήματα που μεταδίδονται από κάθε δορυφόρο περιλαμβάνουν πληροφορίες για την ακριβή ώρα και τη θέση του. Η λήψη των σημάτων αυτών γίνεται από κατάλληλες συσκευές (δέκτες GPS) που η βασική τους λειτουργία είναι να υπολογίζουν τις αποστάσεις από τους δορυφόρους, των οποίων το σήμα λαμβάνουν, με κατάλληλους υπολογισμούς να προσδιορίζουν την θέση τους και να την εμφανίζουν εκφρασμένη σε συντεταγμένες (γεωγραφικές λ, φ ή επίπεδες χ, ψ) ενός Συστήματος Αναφοράς.

Σε ένα παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης δεν θα μπορούσε παρά να χρησιμοποιείται ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς βάσει του οποίου να καθορίζονται τόσο οι μεταβαλλόμενες θέσεις των δορυφόρων, όσο και οι ζητούμενες θέσεις των δεκτών. Το σύστημα που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι το WGS84 και όλοι οι δέκτες (με τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις τους) εκφράζουν την υπολογιζόμενη θέση τους με γεωγραφικές συντεταγμένες λ, φ και υψόμετρο στο σύστημα αυτό.

Υπάρχουν διαφόρων τύπων δορυφορικοί δέκτες GPS, που εξυπηρετούν διαφορετικές εφαρμογές και απαιτήσεις ακρίβειας. Για εφαρμογές πλοήγησης σε ταξιδιωτική χρήση χρησιμοποιούνται φορητοί ερασιτεχνικοί δέκτες που προσαρμόζονται με κατάλληλες βάσεις σε οχήματα και χαρακτηρίζονται ως outdoor ή mobile, συνδυάζοντας τον εντοπισμό με άλλες πρόσθετες χρήσιμες λειτουργίες. Υπάρχουν και δέκτες σε μορφή module που προσαρμόζονται σε υπολογιστές παλάμης (palmtop ή handheld) και τους μετατρέπουν σε πλήρεις δέκτες GPS. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει μεν μεγάλη ευελιξία στο λογισμικό και τους χάρτες - υπόβαθρα που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς (υπάρχει πληθώρα διαθέσιμων προγραμμάτων τόσο για λειτουργικό PalmOS όσο και για PocketPC-WinCE), όμως ο όγκος και η στιβαρότητα κατασκευής των υπολογιστών παλάμης δεν διευκολύνει τη χρήση τους και ακόμη περισσότερο για μοτοσυκλετιστές.

Οι ερασιτεχνικοί δέκτες επιτρέπουν τον προσδιορισμό της θέσης μας με ακρίβεια της τάξης των 15 μέτρων, όσο αφορά την οριζοντιογραφική θέση και των 50 μέτρων, όσο αφορά το υψόμετρο. Βέβαια, η ακρίβεια εντοπισμού θέσης εξαρτάται και από τον αριθμό και τη θέση των δορυφόρων από τους οποίους λαμβάνονται σήματα και τα εμπόδια που διακόπτουν το σήμα ή δημιουργούν αντανακλάσεις. Γενικά, τόσο ακριβέστερα είναι τα αποτελέσματα του υπολογισμού θέσης όσο περισσότεροι και καλύτερα κατανεμημένοι στον ουρανό είναι οι διαθέσιμοι δορυφόροι και όσο πιο καθαρός από εμπόδια είναι ο περιβάλλον χώρος. Είναι προφανές ότι οι δέκτες GPS δεν εντοπίζουν την θέση τους σε

κλειστούς χώρους (κτίρια, σήραγγες, κλπ) ενώ ο εντοπισμός μπορεί να είναι προβληματικός σε πόλεις με στενούς δρόμους και ψηλά κτίρια, σε πυκνά δάση, κλπ.

Οι δέκτες GPS, εκμεταλλευόμενοι τη δυνατότητα εντοπισμού της θέσης τους και εκτός από την εμφάνιση των συντεταγμένων εντοπισμού, συχνά ενσωματώνουν και άλλες λειτουργίες:

- Εμφανίζουν οθόνη γραφικών όπου απεικονίζεται η θέση του δέκτη και η γραμμή της διαδρομής που ακολουθεί. Σε πολλούς δέκτες στην οθόνη αυτή απεικονίζεται και χάρτης (συνήθως γενικός) που βρίσκεται αποθηκευμένος στη μνήμη τους, και δίνει μια πολύ καλή εικόνα της θέσης του χρήστη πάνω σε, έστω και γενικευμένο, χαρτογραφικό υπόβαθρο. Οι δέκτες του τύπου αυτού συνήθως έχουν την δυνατότητα να τροφοδοτούνται με χάρτες που προέρχονται από την εταιρία κατασκευής τους συνδεδεμένοι με PC (με περιορισμό το μέγεθος της μνήμης τους). Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί χάρτες με μεγάλη λεπτομέρεια (ακόμη και σε επίπεδο αρίθμησης οδών), τόσο για τις Η.Π.Α. όσο και για την Δυτική Ευρώπη (δυστυχώς όχι ακόμη για την Ελλάδα), που αποτελούν πολύτιμο βοήθημα για τον ταξιδιώτη. Πάντως, λόγω και της μικρής οθόνης των συσκευών, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται οι χάρτες των GPS σε συνδυασμό με κλασσικούς χάρτες για καλύτερη εποπτεία.
- Ενσωματώνουν λειτουργία πλοήγησης (navigation mode), με την οποία ο χρήστης ορίζει τη θέση ενός σημείου στο οποίο θέλει να πάει (μπορεί να είναι ένα σημείο από το οποίο πέρασε νωρίτερα και το έχει αποθηκεύσει) και ο δέκτης δίνει διαρκώς πληροφορίες για την κατεύθυνση που ο χρήστης πρέπει να ακολουθήσει, την ταχύτητα που κινείται, την απόσταση που απέχει, κλπ, καθοδηγώντας τον ουσιαστικά να φθάσει στον προορισμό του. Ακόμη πιο προχωρημένη πλοήγηση γίνεται από δέκτες που ενσωματώνουν λεπτομερή δεδομένα για το οδικό δίκτυο πόλεων και καθοδηγούν το χρήστη πως θα μεταβεί από τη θέση που βρίσκεται σε ζητούμενη διεύθυνση (οδό και αριθμό), υπολογίζοντας και τη συντομότερη διαδρομή.
- Αποθηκεύουν και διαχειρίζονται γεωγραφικά δεδομένα που προκύπτουν από τον εντοπισμό θέσης ή εισάγονται από τον χρήστη. Τα δεδομένα αυτά είναι σημεία (waypoints ή waymarks) ή σύνολα σημείων (routes) ή γραμμικές διαδρομές (tracks).
- Είναι πλήρεις υπολογιστές ταξιδιού (trip computer) εμφανίζοντας πολλές χρήσιμες πληροφορίες, όπως χρόνο ταξιδιού, χρόνο στάσης, μέση και μέγιστη ταχύτητα, εκτιμώμενο χρόνο άφιξης, και άλλα πολλά. Τονίζεται ότι όλα τα παραπάνω στοιχεία έχουν έννοια όταν ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει τη θέση του.
- Εμφανίζουν πυξίδα για τον προσανατολισμό του χρήστη. Περιορισμό αποτελεί το ότι για να λάβει ο χρήστης ορθή ένδειξη πρέπει ο χρήστης να κινείται, αφού ο δέκτης υπολογίζει τον προσανατολισμό του από διαδοχικές θέσεις τους. Εξαιρέση αποτελούν μερικοί δέκτες που ενσωματώνουν μαγνητική πυξίδα που λειτουργεί ανεξάρτητα από τον εντοπισμό θέσης.
- Μερικοί δέκτες, επειδή η ακρίβεια προσδιορισμού του υψομέτρου είναι περιορισμένη (της τάξης των 50 μέτρων) ενσωματώνουν ένα βαρομετρικό αλτίμετρο που μετρά υψομετρικές διαφορές με ακρίβεια 2 έως 5 μέτρα. Η συσκευή για να δώσει σωστά υψόμετρα απαιτείται να καλιμπραρισθεί, δηλαδή να εισαχθεί το υψόμετρο σε μια θέση που αυτό είναι γνωστό, όπως στη θάλασσα που είναι περίπου 0.

- Ενσωματώνουν άλλες βοηθητικές λειτουργίες, όπως υπολογισμό εμβαδών, ημερολόγιο, αριθμομηχανή.

### **Ρυθμίσεις των δεκτών GPS**

Οι δέκτες GPS δέχονται διαφόρων ειδών ρυθμίσεις, από τον βαθμό λεπτομέρειας εμφάνισης χαρτών μέχρι τον τρόπο αποθήκευσης διαδρομών, κλπ. Οι σημαντικότερες από αυτές τις ρυθμίσεις αφορούν το Σύστημα Αναφοράς (datum) και τον τρόπο εμφάνισης συντεταγμένων των θέσεων που εντοπίζονται.

Όπως προαναφέρθηκε, όλοι οι δέκτες GPS έρχονται με προεπιλεγμένο σύστημα αναφοράς το WGS84 και εμφανίζουν γεωγραφικές συντεταγμένες εντοπισμού θέσης (γεωγραφικό μήκος  $\lambda$  και γεωγραφικό πλάτος  $\phi$ ). Δεν υπάρχει λόγος για τον μέσο χρήστη να κάνει κάποια αλλαγή στις ρυθμίσεις αυτές, εκτός αν θέλει να συνδυάσει τη χρήση του GPS και των συντεταγμένων εντοπισμού που λαμβάνει από αυτό με ένα χάρτη, ο οποίος χρησιμοποιεί κάποιο άλλο Σύστημα Αναφοράς (εκτός του WGS84) και αναγράφει τις αντίστοιχες γεωγραφικές  $\lambda$ ,  $\phi$  ή επίπεδες  $\chi$ ,  $\psi$  συντεταγμένες στο πλαίσιο του.

Οι περισσότερες δέκτες δίνουν πολλές επιλογές Συστήματος Αναφοράς (datum). Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει datum το ίδιο με αυτό που αναφέρει ο χάρτης. Με τον τρόπο αυτό παίρνει αυτόματα από το GPS γεωγραφικές συντεταγμένες εντοπισμού θέσης  $\lambda$ ,  $\phi$  συμβατές με τις αναγραφόμενες στο χάρτη, ώστε να μπορεί να προσδιορίσει αμέσως τη θέση του σ' αυτόν. Αν ο χάρτης εμφανίζει στο πλαίσιο του επίπεδες συντεταγμένες  $\chi$ ,  $\psi$ , τότε ο χρήστης πρέπει να ορίσει στο δέκτη τις παραμέτρους της προβολής (grid) που αντιστοιχούν στο χάρτη, για να διαβάσει απ' ευθείας από το δέκτη  $\chi$ ,  $\psi$ . Πάλι υπάρχουν πολλές διαθέσιμες επιλογές αλλά συνήθως χρειάζεται ο ορισμός μιας custom ή user-defined προβολής που είναι πιο πολύπλοκη διαδικασία.

Στην πράξη και για τα Ελληνικά δεδομένα, αν το WGS84 του δέκτη μας δεν μας ικανοποιεί ως προς την συμβατότητά του με τον χάρτη μας, έχουμε δύο περιπτώσεις:

- Ο χάρτης μας έχει ως σύστημα αναφοράς το European Datum 50 (ED50) και στο πλαίσιο του αναγράφονται τα αντίστοιχα  $\lambda$ ,  $\phi$  σε μοίρες. Το ED50 χρησιμοποιείται σήμερα στην πλειοψηφία των χαρτών στην Ελλάδα. Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται από το σχετικό μενού ως datum το ED50 (μπορεί να αναφέρεται και ως EUR50) και τρόπος εμφάνισης συντεταγμένων (coordinates readout) Lon, Lat (δηλαδή γεωγραφικό μήκος  $\lambda$  και πλάτος  $\phi$ ) σε μοίρες, πρώτα, δεύτερα.

- Ο χάρτης μας έχει ως σύστημα αναφοράς το ΕΓΣΑ'87 και στο πλαίσιο του αναγράφονται τα αντίστοιχα  $\chi$ ,  $\psi$  σε μέτρα. Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται ως datum ένα custom ή user-defined datum.

Είναι πιθανό τα μενού των ρυθμίσεων από συσκευή σε συσκευή να διαφέρουν, όμως οι παραπάνω οδηγίες πρέπει να καλύπτουν την μεγάλη πλειοψηφία των δεκτών GPS του εμπορίου. Σε μερικούς δέκτες δίνεται η δυνατότητα καθορισμού δύο συστημάτων αναφοράς, ενός πρωτεύοντος (primary) και ενός δευτερεύοντος (secondary), οπότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τους συνδυασμούς που τον εξυπηρετούν καλύτερα.

### **Επεξεργασία δεδομένων GPS με υπολογιστή**

Οι περισσότεροι δέκτες GPS του εμπορίου υποστηρίζουν σύνδεση με υπολογιστή (επιτραπέζιο, φορητό ή παλάμης) μέσω σειριακής θύρας ή θύρας USB, ενώ αναμένονται συσκευές που θα υποστηρίζουν πρωτόκολλο επικοινωνίας Firewire ή και ασύρματης σύνδεσης (Infrared, Bluetooth). Συνήθως συνοδεύονται και από ένα απλό και εύχρηστο πρόγραμμα διαχείρισης, μέσω του οποίου μπορεί ο χρήστης να μεταφέρει δεδομένα από τον δέκτη στον υπολογιστή και αντίστροφα και να διαχειρισθεί τα δεδομένα αυτά στον υπολογιστή που παρέχει μεγαλύτερη ευκολία από μια φορητή συσκευή. Εκτός από τα συνοδευτικά των δεκτών προγράμματα, υπάρχει στο διαδίκτυο πληθώρα πολύ ενδιαφερουσών εφαρμογών με αυτό το αντικείμενο, που είναι διαθέσιμες συνήθως με καθεστώς shareware ή freeware.

Τα δεδομένα προς διαχείριση είναι συνήθως, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σημεία (waypoints ή waymarks) ή σύνολα σημείων (routes) ή γραμμικές διαδρομές (tracks), τα οποία ο χρήστης μπορεί να επεξεργασθεί, να αποθηκεύσει και να μεταφέρει ξανά στο GPS ή σε άλλες εφαρμογές για περαιτέρω επεξεργασία. Η επεξεργασία γίνεται συνήθως σε ένα ενιαίο γραφικό περιβάλλον με χαρτογραφικό υπόβαθρο διανυσματικό (vector) ή σε μορφή εικόνων (raster), που υποστηρίζει και όλες τις βοηθητικές λειτουργίες απεικόνισης ή εκτύπωσης. Πολλά προγράμματα δίνουν στον χρήστη τη δυνατότητα εισαγωγής στο περιβάλλον διαχείρισης δικών του χαρτογραφικών υποβάθρων (π.χ. από σκαναρισμένους χάρτες) και της γεωαναφοράς αυτών (δηλαδή της ένταξής τους σε σύστημα αναφοράς) ώστε να μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με τα δεδομένα του GPS.

Τέτοια λογισμικά που συνοδεύουν δέκτες GPS είναι το MapSource (για δέκτες της Garmin) και το DataTrack (για δέκτες της Magellan). Πολύ καλές ανεξάρτητες εφαρμογές και με πολύ περισσότερες δυνατότητες είναι το Ozi Explorer ([www.ozieplorer.com](http://www.ozieplorer.com)), το GPS Utility ([www.gpsu.co.uk](http://www.gpsu.co.uk)) και το MapMaker ([www.mapmaker.com](http://www.mapmaker.com)).

## Προμήθεια δεκτών GPS

Οι πιο γνωστοί δέκτες GPS της Ελληνικής αγοράς, με το χαρακτήρα που προαναφέρθηκε, είναι αυτοί της Garmin ([www.garmin.com](http://www.garmin.com)) και της Magellan ([www.magellangps.com](http://www.magellangps.com)) και περιλαμβάνουν ποικιλία μοντέλων για κάθε ανάγκη. Οι τιμές των πιο κατάλληλων συσκευών για χρήση σε κάθε είδους εξορμήσεις κυμαίνονται από 200 έως 700 ευρώ περίπου. Εκτός από τα ειδικά καταστήματα μπορεί κανείς να τις προμηθευθεί και μέσω διαδικτύου.



Το GPS είναι μια συσκευή φαινομενικά απλή, φτηνή, και με μικρές διαστάσεις - ειδικά τα GPS χειρός είναι "της μόδας" τελευταία. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών του όμως το GPS τείνει να παρεξηγηθεί ότι είναι άλλο ένα ηλεκτρονικό "παιχνίδι", κάτι σαν ραδιοφανάκι.

Δεν είναι όμως καθόλου έτσι. Για να δουλέψει το GPS που έχουμε στο σκάφος ή που κρατάμε στο χέρι μας, έχουν δαπανηθεί εκατομμύρια δολάρια, ατέλειωτες ώρες σε εργαστήρια έρευνας, έχουν συνδυαστεί πολλές επιστήμες μαζί και έχουν σταλεί και στέλνονται ακόμα πολλές αποστολές στο διάστημα για να μεταφέρουν τους απαραίτητους δορυφόρους.

Ας δούμε λοιπόν αναλυτικά μερικά ενδιαφέροντα στοιχεία: Το όνομά του GPS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων global positioning system, το οποίο ουσιαστικά σημαίνει σύστημα προσδιορισμού θέσης (στίγματος) στη γη. Το GPS είναι ένα σύστημα που αποτελείται από 24 δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά στο διάστημα, σε απόσταση 11 χιλιάδων ναυτικών μιλίων από τη γη και κινούνται σε 6 διαφορετικές τροχιές. Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση, κάνοντας 2 πλήρεις περιφορές γύρω από τη γη σε λιγότερο από 24 ώρες. Αν το υπολογίσουμε με μαθηματικά θα δούμε ότι η ταχύτητά τους φτάνει τα 1,8 μίλια το δευτερόλεπτο !

Οι δορυφόροι του GPS λέγονται και δορυφόροι NAVSTAR.

### **Μερικά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά τους:**

Ο πρώτος δορυφόρος GPS εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1978.

Ο κάθε δορυφόρος ζυγίζει κάτι λιγότερο από 1 τόνο, και το πλάτος του δεν ξεπερνά τα 5

μέτρα με τις ηλιακές κυψέλες σε ανοιχτή θέση.

Η ισχύς του πομπού του είναι μέγιστο 50 watt.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε τρεις διαφορετικές συχνότητες. Τα GPS πολιτικής χρήσης χρησιμοποιούν τη συχνότητα 'L1', στα 1575.42 MHz.

Οι δορυφόροι GPS έχουν μέση διάρκεια ζωής 10 χρόνια. Η αντικατάστασή τους γίνεται κανονικά εδώ και χρόνια με νέους δορυφόρους.

Οι τροχιές των δορυφόρων GPS περνούν από περίπου 60 μοίρες βόρεια μέχρι 60 μοίρες νότια. Αυτό σημαίνει ότι κάποιος μπορεί να έχει σήμα από τους δορυφόρους σε οποιοδήποτε σημείο πάνω στη γη, οποιαδήποτε στιγμή. Καθώς πηγαίνουμε προς τους πόλους οι δορυφόροι δε θα περνούν πλέον από πάνω μας, με αποτέλεσμα να χάνουμε λίγο σε ακρίβεια.

Το μεγαλύτερο καλό που προσφέρει το σύστημα GPS σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα προσδιορισμού θέσης μέσω σταθμών εδάφους, είναι ότι το GPS δουλεύει ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Και βέβαια, στις δύσκολες συνθήκες είναι που το χρειάζεται κανείς περισσότερο.

Ας δούμε λοιπόν τι περιεχόμενο έχει η πληροφορία που εκπέμπει ένας δορυφόρος. Το σήμα του GPS περιέχει ένα "ψευδο-τυχαίο" κωδικό, το ephemeris και κάποια δεδομένα αλμανάκ όπως λέγονται. Ο ψευδο-τυχαίος κωδικός προσδιορίζει την ταυτότητα του δορυφόρου που εκπέμπει. Κάθε δορυφόρος έχει ένα χαρακτηριστικό αριθμό PRN (pseudo-random number), από το 1 μέχρι το 32. Αυτός ο αριθμός φαίνεται και στην οθόνη του GPS για να καταλαβαίνουμε ποιος ή ποιοι δορυφόροι είναι στην εμβέλειά μας. Αφού λοιπόν είπαμε ότι υπάρχουν μόνο 24 δορυφόροι, θα αναρωτηθεί κανείς γιατί οι αναγνωριστικοί κωδικοί είναι 32. Ο λόγος είναι καθαρά τεχνικός. Έχοντας παραπάνω κωδικούς διαθέσιμους διευκολύνεται η διαχείριση του δικτύου. Όταν ένας νέος δορυφόρος εισάγεται στο δίκτυο, ξεκινάει τη λειτουργία του πριν ο παλιότερος που θα αντικατασταθεί σταματήσει. Με αυτό τον τρόπο είναι σίγουρο ότι θα υπάρχει ο ελάχιστος αριθμός δορυφόρων εν λειτουργία. Ο νέος δορυφόρος χρησιμοποιεί ένα νέο κωδικό αναγνώρισης ώστε να μην δημιουργείται σύγχυση στο δίκτυο.

Τα δεδομένα Ephemeris εκπέμπονται συνεχώς από κάθε δορυφόρο και περιέχουν σημαντικές πληροφορίες όπως η κατάσταση του δορυφόρου (αν είναι σε λειτουργία ή όχι, αν έχει προβλήματα και που, κτλ.), η ημερομηνία και η ώρα. Χωρίς αυτά τα στοιχεία το GPS δεν θα γνώριζε την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα, το χρονικό στίγμα, πληροφορίες σημαντικές για τον προσδιορισμό της θέσης.

Τα δεδομένα αλμανάκ πληροφορούν το GPS για τη θέση που θα βρίσκεται κάθε δορυφόρος σε οποιαδήποτε στιγμή της μέρας. Έτσι κάθε δορυφόρος εκπέμπει πληροφορίες για την τροχιά του και τη θέση του, καθώς και για κάθε άλλο δορυφόρο στο δίκτυο για επιπλέον ασφάλεια.

Για να το δούμε απλοποιημένα: Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα μήνυμα το οποίο λει "Είμαι ο δορυφόρος νούμερο X, η θέση μου αυτή τη στιγμή είναι η Y, και το μήνυμα αυτό στάλθηκε τη χρονική στιγμή Z".

Το GPS μας λαμβάνει αυτή την πληροφορία, και φυλάει τα δεδομένα ephemeris, και αλμανάκ για να τα χρησιμοποιήσει και στη συνέχεια. Με βάση αυτή την πληροφορία επίσης, το GPS μπορεί να κάνει και διορθώσεις στο εσωτερικό του ρολόι ώστε να υπάρχει συγχρονισμός.

Ας δούμε όμως γιατί ο χρονικός προσδιορισμός του σήματος είναι απαραίτητος. Για να προσδιορίσει την ακριβή θέση του, το GPS συγκρίνει την ώρα που ο δορυφόρος εξέπεμψε το μήνυμα, με την ώρα που το μήνυμα ελήφθη από το GPS. Η διαφορά αυτή δείχνει στο GPS πόσο μακριά είναι ο δορυφόρος-αποστολέας. Αν τώρα προσθέσουμε και τις μετρήσεις που παίρνουμε και από τους άλλους δορυφόρους που βρίσκονται στην εμβέλειά μας, προσδιορίζουμε την ακριβή θέση μας με τριγωνομετρικούς υπολογισμούς. Αυτή ακριβώς είναι η δουλειά που κάνει το GPS. Γιαυτό χρειάζονται τουλάχιστον τρεις δορυφόροι ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί το γεωγραφικό μήκος και πλάτος (latitude/longitude), το στίγμα μας σε δύο διαστάσεις. Με περισσότερους από τρεις δορυφόρους διαθέσιμους, ένα GPS μπορεί να προσδιορίσει και την τρίτη διάσταση (το ύψος-altitude). Επειδή η πληροφορία αυτή εκπέμπεται συνεχώς από όλους τους δορυφόρους, το GPS μπορεί με τη διαφορά χρόνου και θέσης να προσδιορίσει και την ταχύτητα και την διεύθυνση που κινείται ('ground speed' ή SOG - Speed Over Ground, και 'ground track' ή COG - Course Over Ground).

Μέχρι εδώ, είδαμε την καλή πλευρά -θεωρητικά- του συστήματος. Γιατί όμως στην πράξη η απόδοση του GPS δεν είναι τόσο καλή; Γιατί το στίγμα που παίρνουμε δεν είναι τόσο ακριβές όσο το περιγράψαμε;

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που αυξάνουν το σφάλμα στις μετρήσεις. Ο κυριότερος παράγοντας είναι αυτό που λέμε το Selective Availability (SA). Όπως λει και η ίδια η λέξη, επίτηδες και επιλεκτικά ελαττώνεται η ακρίβεια του στίγματος από το ίδιο το σύστημα. Το Αμερικάνικο Υπουργείο Αμυνας κρίνει ότι η ακρίβεια που παρέχει το σύστημα GPS είναι αρκετή για χρήση μη-στρατιωτική. Αντίθετα, οι Αμερικάνικες στρατιωτικές δυνάμεις έχουν στη διάθεσή τους το σύστημα σε πλήρη λειτουργία δίνοντάς τους ακρίβεια εκατοστού.

Για εμάς λοιπόν που έχουμε την επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA) της Αμερικής, η ακρίβεια του στίγματος έχει απόκλιση περίπου 100 μέτρων (328 πόδια). Ευτυχώς με διάφορα έξυπνα τρικ που χρησιμοποιούν τα ίδια τα GPS η απόκλιση ελαττώνεται στα 30 μέτρα.

Ο αρχικός σκοπός του GPS ήταν καθαρά στρατιωτικός. Ξεκίνησε με την πρωτοβουλία του τότε προέδρου των ΗΠΑ Ρόναλντ Ρέιγκαν και είχε ονομαστεί "Πόλεμος των Αστρων". Καθώς όμως το σύστημα εξελισσόταν και ο κόσμος εξοικειωνόταν στην ιδέα των δορυφόρων, άρχισαν να εμφανίζονται ιδέες για την εκμετάλλευση του συστήματος σε μη στρατιωτικές εφαρμογές. Με επίσημο διάγγελμα του προέδρου Ρέιγκαν, στις αρχές του 1980 το σύστημα GPS διατέθηκε προς χρήση στο κοινό, με τη διαφορά που προαναφέραμε, ότι δηλαδή η πλήρης λειτουργικότητα του συστήματος θα είναι διαθέσιμη μόνο στον Αμερικάνικο Στρατό. Ο λόγος ήταν να μην χρησιμοποιηθεί το σύστημα από τρομοκράτες και εχθρικές δυνάμεις.

## Πως να διαλέξετε ένα δέκτη;

Στο χώρο της τεχνολογίας GPS, η επιτυχής χρήση του επαναστατικού αυτού δορυφορικού συστήματος στις οποιοσδήποτε εφαρμογές της Γεωπληροφορικής είναι θέμα σωστών επιλογών.

Η αγορά εξοπλισμού GPS, για παράδειγμα, κρύβει πολλές παγίδες οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν τόσο την απόδοση της επένδυσης όσο και τον χρόνο όπου ο συγκεκριμένος εξοπλισμός θα αρχίσει να αποδίδει. Διαλέγοντας ανάμεσα σε 300 περίπου μοντέλα δεκτών GPS που υπάρχουν σήμερα στη διεθνή αγορά, σε μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων και τιμών, δεν είναι ούτε απλή ούτε εύκολη υπόθεση και για το λόγο αυτό η εκάστοτε επιλογή θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και αφού ληφθούν υπόψη όλα τα στοιχεία που καθορίζουν τις συγκεκριμένες ανάγκες για τη προτιθέμενη χρήση τους αλλά και τις δυνατότητες του εκάστοτε μοντέλου.

Ποιά είναι λοιπόν τα κυριότερα σημεία που πρέπει να έχει υπόψη ο αγοραστής δεκτών GPS, ώστε να δώσει μια λογική απάντηση στο ερώτημα: "*Ποιό δέκτη πρέπει να αγοράσω;*"

Καταρχήν η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των δεκτών GPS είναι αναγκαία, ώστε να μπορεί κανείς να εκτιμήσει τις ακρίβειες των διαφόρων τύπων μετρήσεων που είναι δυνατόν να εκτελεστούν με τη βοήθεια του GPS και να είναι σε θέση να σταθμίσει τα διάφορα χαρακτηριστικά του μεγάλου αριθμού των δεκτών, που είναι σήμερα διαθέσιμοι στην αγορά.

Φαινομενικά οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων τύπων δεκτών GPS ορίζονται κυρίως από τους επεξεργαστές τους και τον τρόπο που χειρίζονται το επερχόμενο σήμα από τους δορυφόρους. Γενικά, δύο συναφείς παράγοντες, που είναι απαραίτητο να γίνουν κατανοητοί είναι:

- ότι σήμερα, που ο δορυφορικός σχηματισμός του GPS είναι πλήρης, σε κάθε σημείο της υφηλίου είναι ορατοί συνεχώς από 6 μέχρι 10 δορυφόροι, και
- τουλάχιστον για εφαρμογές στιγμιαίου εντοπισμού, ένας δέκτης GPS πρέπει να λαμβάνει ταυτόχρονα σήματα από τρεις (ή πρακτικά από τέσσερις) τουλάχιστον δορυφόρους και να μπορεί να ανιχνεύει τους υπόλοιπους, ώστε να έχει τη δυνατότητα να τους χρησιμοποιήσει όποτε χρειάζεται (π.χ., ανάλογα με τη σχετική γεωμετρία τους ως προς το παρατηρητή).

Κατά συνέπεια, ο ιδανικός τρόπος λειτουργίας ενός δέκτη θα ήταν να είναι εφοδιασμένος με πολλαπλά ανεξάρτητα ηλεκτρονικά κυκλώματα (ή κανάλια), που το καθένα να παρακολουθεί αδιάλειπτα το σήμα από ένα συγκεκριμένο δορυφόρο και πολλαπλούς επεξεργαστές, που να αναλύουν ταυτόχρονα και συνεχώς τα λαμβανόμενα σήματα όλων

των ορατών δορυφόρων. Ωστόσο αυτή θα ήταν και η πλέον ακριβή σε κόστος κατηγορία δεκτών, με τιμές που θα ξεπερνούσαν αρκετά εκατομμύρια δραχμές.

Στη πράξη, οι δέκτες GPS επεξεργάζονται ειδικούς κώδικες (C/A-, P- ή Y-) ή και τη φάση του φέροντος ραδιοκύματος, είτε στη συχνότητα L1 (1575,42 MHz), είτε και στις δύο συχνότητες L1 και L2 (1227.60 MHz), χρησιμοποιώντας κανάλια παράλληλης ή εναλλασσόμενης λήψης των δορυφορικών σημάτων GPS. Τα κανάλια **παράλληλης ταυτόχρονης λήψης** σημάτων από πολλούς (>5) δορυφόρους γενικά προσφέρουν και τη μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων. Δέκτες που χρησιμοποιούν κανάλια **εναλλασσόμενης λήψης** έχουν συνήθως ένα μόνο επεξεργαστή, που παρακολουθεί το σήμα ενός δορυφόρου για ένα μικρό χρονικό διάστημα (συνήθως μερικά δευτερόλεπτα), κρατάει τα στοιχεία στη μνήμη του κομπιούτερ και συγχρόνως ανιχνεύει και παρακολουθεί με τον ίδιο τρόπο κυκλικά άλλους δορυφόρους, αφήνοντας τον κομπιούτερ να υπολογίζει το εκάστοτε στίγμα του χρήστη βάσει των αποθηκευμένων στοιχείων της μνήμης και όχι με ταυτόχρονη λήψη των σημάτων από πολλούς δορυφόρους. Ένας ενδιάμεσος τύπος δεκτών είναι εκείνοι που δεν λειτουργούν με παράλληλη διεργασία λήψης των σημάτων, άλλα διαθέτουν ταχύτατους επεξεργαστές, που ουσιαστικά «πηδούν» από σήμα σε σήμα μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου, πλησιάζοντας έτσι σε απόδοση τη λειτουργία καναλιών παράλληλης λήψης. Στον αντίποδα, τα πιο φτηνά GPS, κυρίως τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές αναψυχής (π.χ. σε μικρά σκάφη, για οδοιπορικούς περιπάτους, κ.α.) έχουν ένα μόνο κανάλι και κατά συνέπεια η ακρίβεια τους μειώνεται ακόμα περισσότερο (περίπου της τάξης μερικών δεκάδων μέτρων), αφού υπάρχει η σχετική αργοπορία εντοπισμού του κάθε δορυφορικού συγχρονισμού, ενώ και πρακτικά οι δέκτες αυτοί αργούν περισσότερο να αρχίσουν να λειτουργούν αφού ανάψουν.

Κατά γενικό κανόνα, οι περισσότεροι από τους δέκτες, που διατίθενται σήμερα στην αγορά, προσφέρουν ένα ιδανικό συνδυασμό κόστους/απόδοσης, ενώ ο μεγάλος αριθμός διαθέσιμων τύπων και μοντέλων επιτρέπει πολλά περιθώρια επιλογής, ανάλογα με τις ανάγκες των συγκεκριμένων εφαρμογών και τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη. Ωστόσο, η σωστή τελική επιλογή μπορεί να γίνει μόνο μετά από προσεκτική ανάλυση των παρακάτω πλέον σημαντικών χαρακτηριστικών και παραγόντων, που συνήθως λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή ενός δέκτη, για συγκεκριμένες εφαρμογές ή για την αγορά του:

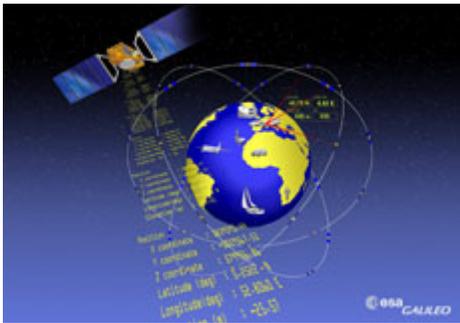
- Ο αριθμός των καναλιών που διαθέτει ο δέκτης και το είδος του σήματος που έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί. Γενικά, όσο περισσότερα κανάλια διαθέτει ο δέκτης, τόσο περισσότερους δορυφόρους μπορεί να παρακολουθήσει ταυτόχρονα. Όσον αφορά τη δυνατότητα των μετρήσεων, ιδανικά ένας δέκτης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα χρήσης του C/A-κώδικα ή κατά προτίμηση του P-κώδικα (ή του Y-κώδικα στη περίπτωση κρυπτογράφησης του P-κώδικα), καθώς επίσης και να μπορεί να εκτελεί μετρήσεις φάσης στη συχνότητα L1 και κατά προτίμηση και στη συχνότητα L2.

- Οι κύριες προτιθέμενες κατηγορίες γενικής χρήσης του δέκτη και το είδος των εφαρμογών που μπορεί να ικανοποιήσει (π.χ, τοπογραφικές/γεωδαιτικές εργασίες, πλοήγηση, στρατιωτικές ανάγκες, κ.ά.)
- Τα φυσικά χαρακτηριστικά του δέκτη, ιδιαίτερα το βάρος του και οι διαστάσεις του (όσο μικρότερα, τόσο καλύτερα), καθώς και τα όρια των περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ., θερμοκρασία, υγρασία), κάτω από τις οποίες μπορεί να λειτουργήσει ο δέκτης, σύμφωνα με προκαθορισμένα επίπεδα απόδοσης και συμπεριφοράς.
- Τυπικές δυνατότητες του δέκτη ως προς την εφικτή ακρίβεια, όσον αφορά το στιγμιαίο προσδιορισμό στίγματος και ταχύτητας, καθώς και την ακρίβεια διαφορικού εντοπισμού σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και σχετικού εντοπισμού, με εκ των υστέρων επεξεργασία, συνήθως μετρήσεων φάσης και χρήση τροχιακών εφημερίδων μεγαλύτερης ακριβείας από εκείνη της εκπεμπόμενης εφημερίδας.

## Κεφάλαιο 7 Galileo

### ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ GPS : GALILEO

#### Λιγα λόγια



;

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Galileo θα είναι πιο προηγμένο, με καλύτερες επιδόσεις και σαφώς ασφαλέστερο από το αμερικάνικο GPS, το οποίο σήμερα κατέχει θέση μονοπωλίου στην αγορά. Οι

ανάγκες μιας σύγχρονης κοινωνίας σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να καλυφθούν από ένα και μόνο σύστημα και μάλιστα ατελές.

Τα δύο δορυφορικά δίκτυα ραδιοπλοήγησης που υπάρχουν σήμερα στον κόσμο είναι το αμερικάνικο GPS και το ρωσικό Glonass, και είχαν σχεδιαστεί για στρατιωτικούς σκοπούς την εποχή του ψυχρού πολέμου. Το ρωσικό σύστημα δεν είναι πλέον σε πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία, ενώ το αμερικάνικο παρόλο που χρησιμοποιείται και για πολιτικούς σκοπούς δεν προσφέρει το εύρος των εφαρμογών που περιμένουμε από το Galileo.

Συγκεκριμένα, η ακρίβεια εντοπισμού θέσης του GPS είναι μέτρια -αρκετές φορές μόνο μερικών δεκάδων μέτρων- και μεταβαλλόμενη ανάλογα με τον τόπο και το χρόνο. Η αξιοπιστία του είναι αμφίβολη. Παρουσιάζει αδυναμία κάλυψης περιοχών σε ακραία πυκνές περιοχές των αστικών κέντρων. Επίσης, σε περίπτωση κρίσης το σήμα του μπορεί να διακοπεί απροειδοποίητα για τους πολιτικούς χρήστες λόγω του στρατιωτικού του χαρακτήρα. Αυτός ακριβώς ο στρατιωτικός του χαρακτήρας συνεπάγεται έλλειψη εγγύησης και δέσμευσης υπευθυνότητας.

Αντίθετα, το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Galileo θα προσφέρει εντοπισμό θέσης με ακρίβεια ενός μέτρου χάρις στη δομή διάταξης των δορυφόρων και του συστήματος αναμετάδοσης στο έδαφος. Με την ακρίβεια αυτή μπορεί να αποφευχθεί η σύγκρουση πλοίων στην είσοδο ενός λιμένα ή να εντοπιστεί ένα κλεμμένο αυτοκίνητο ακόμα και αν αυτό βρίσκεται μέσα σε γκαράζ. Διαθέτει μεγαλύτερη αξιοπιστία αφού μπορεί να πληροφορεί το χρήστη για ενδεχόμενη βλάβη ή διακοπή εκπομπής σήματος και καλύπτει χωρίς απρόοπτα δύσκολες γεωγραφικές περιοχές όπως η βόρεια Ευρώπη.

Εξίσου σημαντικό είναι ότι η χρήση του Galileo θα είναι δωρεάν για τις βασικές εφαρμογές, όπως άλλωστε και στο GPS. Θα χρεώνονται μόνο εκείνες οι εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλή ποιότητα εξυπηρέτησης, την οποία το GPS δεν μπορεί να προσφέρει.



Πέρα από τις υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας, επιδόσεων και τεχνολογίας που ικανοποιεί το Galileo, η πολιτική και στρατηγική σημασία του όλου εγχειρήματος είναι τεράστια αφού αποτελεί τη ναυαρχίδα της αναδυόμενης ευρωπαϊκής διαστημικής πολιτικής. Δεν είναι τυχαίο ότι παρά τις καθυστερήσεις ετών και τα προβλήματα χρηματοδότησης που αντιμετώπισε, τόσο η Επιτροπή όσο και το Συμβούλιο και το Κοινοβούλιο από κοινού, δίνουν το πράσινο φως για να προχωρήσει στη φάση της εγκατάστασης και εκμετάλλευσης και να χρηματοδοτηθεί εξολοκλήρου από τον κοινοτικό προϋπολογισμό, δηλαδή με τα χρήματα των ευρωπαίων φορολογουμένων.

Είναι το πρώτο βήμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα αυτό και εκφράζει ακριβώς τις φιλοδοξίες των Ευρωπαίων στους τομείς του διαστήματος, της τεχνολογίας και της καινοτομίας. Ας μην ξεχνάμε ότι η αγορά δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης θα μεταβληθεί σε σημαντική κινητήρια δύναμη της παγκόσμιας αγοράς μετά το 2010 και η Ευρώπη δεν μπορεί να απουσιάζει ως σημαντικό παίκτης από το πεδίο αυτό.

Τα οφέλη που διαφαίνονται είναι τεχνολογικά, οικονομικά και στρατηγικά. Οι Ευρωπαϊκές βιομηχανίες που συμμετέχουν αποκτούν σημαντικό τεχνολογικό ανταγωνιστικό προβάδισμα, δημιουργούνται 100,000 θέσεις εργασίας υψηλής εξειδίκευσης και η θέση της Ευρώπης παγκοσμίως αναβαθμίζεται. Επιπρόσθετα, το πρόγραμμα Galileo θα υπηρετήσει και τις δομές της κοινής ευρωπαϊκής άμυνας που τα κράτη μέλη αποφάσισαν να θέσουν σε εφαρμογή, λειτουργώντας συμπληρωματικά προς τις δομές των ΗΠΑ.

## **2<sup>ο</sup> ΜΕΡΟΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ GPS**

## GPS και ναυσιπολία



Η σύγχρονη τεχνολογία των ηλεκτρονικών αντικατέστησε με ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ τα φυσικά ουράνια σώματα (Αστρα, Πλανήτες, Ήλιο και την Σελήνη) που χρησιμοποιούσαν οι Αρχαίοι Έλληνες αλλά και όλοι οι σύγχρονοι πραγματικοί πλοηγοί.

Η πλεύση στη θάλασσα δεν είναι εύκολη υπόθεση. Εκτός από τις καιρικές συνθήκες υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που δυσχεραίνουν την κατάσταση σε μεγάλο βαθμό, όπως τα ρεύματα, η δυσκολία προσανατολισμού, καθώς και το γεγονός ότι η θάλασσα δεν μπορεί να χαρτογραφηθεί όπως η στεριά. Για αυτο το λόγο το GPS,είναι πολύ απαραίτητο για να ξέρουμε κάθε στιγμή που βρισκόμαστε.

Αν και δεν είναι υποχρεωτικό τα ερασιτεχνικά σκάφη να έχουν συσκευή GPS, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τα σωστικά και τα πυροσβεστικά μέσα ή τη συσκευή VHF, μέσω της οποίας δίνουν σήμα κινδύνου στο υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, η συντριπτική πλειονότητα των σκαφών διαθέτει σήμερα GPS. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα έχουν αντικαταστήσει τα συμβατικά συστήματα προσδιορισμού θέσης, όπως είναι ο εξάντας και το ραντάρ .Το πλεονέκτημά τους έναντι των «παραδοσιακών» μεθόδων είναι ότι ο χρήστης δεν χρειάζεται να καταβάλει καμία προσπάθεια για να εντοπίσει το σημείο όπου βρίσκεται, καθώς στην οθόνη της συσκευής «βλέπει» συνεχώς τη θέση του σκάφους και γνωρίζει ποιες είναι οι συντεταγμένες του. Αυτό έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο στις περιπτώσεις όπου οι καλούντες στο Κέντρο Ερευνας και Διάσωσης δεν ξέρουν να δώσουν το στίγμα τους. Χάρη στο GPS όμως ο εντοπισμός τους, άρα και η διάσωσή τους, γίνεται άμεσα και εύκολα.

## GPS και ορειβασία



Οι ορειβάτες επιλέγουν συσκευή GPS στην οποία να ενσωματώνεται ηλεκτρονικός χάρτης, καθώς στην αγορά κυκλοφορούν καλοί και αξιόπιστοι ναυτικοί χάρτες που μας δείχνουν την πορεία αλλά και την... έξοδο κινδύνου σε περίπτωση ομίχλης ή ανάλογης κατάστασης όπου χρειαζόμαστε βοήθεια. Με μια συσκευή GPS ανά χείρας πορεύονται οι περισσότεροι ορειβάτες στα ελληνικά βουνά, καθώς με αυτή βρίσκουν άμεσα το στίγμα τους. Μέσω της συσκευής όχι μόνο γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή πού βρισκόμαστε, αλλά μπορούμε να αποθηκεύσουμε και τη διαδρομή ώστε να μη χαθούμε.

## GPS Ραδιοταξί - Λεωφορεία



Στα οχήματα που κυκλοφορούν στους δρόμους της πρωτεύουσας οι συσκευές GPS κάνουν ολοένα συχνότερα την εμφάνισή τους. Εκατό ραδιοταξί ήδη είναι εξοπλισμένα με τις εν λόγω συσκευές ενώ ως το τέλος του έτους αναμένεται να διπλασιαστεί ο αριθμός τους. Τα οχήματα, στη θέση της κονσόλας έχουν εγκατεστημένο σύστημα GPS, που δίνει προς το παρόν στους οδηγούς περιορισμένες πληροφορίες, π.χ. τους

διευκολύνει στην αναζήτηση κάποιας οδού. Σε λίγες εβδομάδες αναμένεται όμως ότι μέσω των GPS οι οδηγοί ταξί θα λαμβάνουν εναλλακτικές προτάσεις για «καλύτερες» διαδρομές καθώς οι οδικοί χάρτες θα εμπλουτίζονται και με στοιχεία για την κίνηση στους δρόμους. Ανάλογο πιλοτικό πρόγραμμα με τη συνδρομή των συσκευών GPS υλοποιεί ο Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Αττικής. Από το Κέντρο Επιχειρήσεων του Οργανισμού οι χειριστές του συστήματος παρακολουθούν διαρκώς τις διαδρομές 295 λεωφορείων και 190 τρόλεϋ. Βλέπουν στους ηλεκτρονικούς χάρτες σε ποιο σημείο της διαδρομής βρίσκονται τα οχήματα, τους επιβάτες που μεταφέρουν, οποιοδήποτε πρόβλημα παρουσιαστεί, ενώ μπορούν ανά πάσα στιγμή να συνομιλήσουν με τους οδηγούς.

## ΓΕΩΡΓΙΑ



### Ελεγχοι στις καλλιέργειες

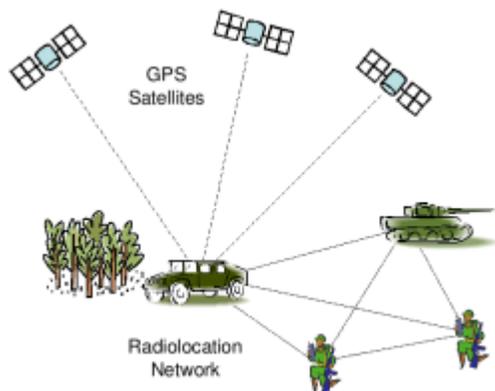
Οι συσκευές GPS βρίσκουν εφαρμογή και στη γεωργία. Το δορυφορικό σύστημα GPS χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες του υπουργείου Γεωργίας όταν αυτοί κάνουν τους δειγματοληπτικούς ελέγχους των καλλιεργειών που έχουν δηλώσει οι αγρότες. Οι δορυφόροι μάς δίνουν φωτογραφία μιας έκτασης με καλλιέργειες, οι οποίες στη συνέχεια ψηφιοποιούνται και "μπαίνουν" στη συσκευή GPS. Όταν οι ελεγκτές του υπουργείου πρέπει να ελέγξουν αν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα αυτά που δηλώνουν οι αγρότες, έχουν στη διάθεσή τους τις πληροφορίες των δορυφόρων. Πηγαίνοντας, π.χ., σε ένα αγροτεμάχιο, στο οποίο δηλώνεται ότι γίνεται βαμβακοκαλλιέργεια, βλέπουν αμέσως στην οθόνη πού βρίσκονται, ποιο είναι το στίγμα τους και ελέγχουν αν αυτό συμφωνεί με τα ψηφιακά δεδομένα. Στην περίπτωση που συμφωνεί, έχει καλώς· αν όχι, τότε ο αγρότης καλείται να δώσει... διευκρινίσεις στα αρμόδια όργανα.

## Συσκευές GPS για το αυτοκίνητο



Εκτός από τους επαγγελματίες οδηγούς, GPS θέλουν να έχουν στο αυτοκίνητό τους και οι απλοί οδηγοί, μπορούν να τοποθετήσουν στο όχημά ένα αυτόνομο σύστημα GPS με μια καλή κεραία. Είναι πιο εύκολο στην χρήση του, μπορείτε να βρείτε ένα με μέγεθος οθόνης που σας βολεύει και μπορείτε ακόμη και να το ενσωματώσετε στο ταμπλό του οχήματος. Έχουν συνήθως οθόνη αφής, μεγάλα πλήκτρα και ένα δυνατό ηχείο για τις φωνητικές οδηγίες αλλά κοστίζουν €300-700.

## Χρήση του GPS στο στρατό



Το GPS αναπτύχθηκε από το υπουργείο άμυνας της Αμερικής για να παρέχει μια αξιόπιστη και ακριβής θέση στις κινητές στρατιωτικές πλατφόρμες που λειτουργούσαν σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο για να υπάρχει περισσότερη αξιοπιστία αναπτύχθηκε ένα άλλο σύστημα ραδιοτοποθεσίας το οποίο είναι για μικρές περιοχές και δεν παρέχει παγκόσμια κάλυψη παρ' όλα αυτά είναι μια επιπλέον πηγή για να μας δώσει πληροφορίες για τη θέση ενός αντικειμένου και να βελτιώσει τη αξιοπιστία του gps.

### GPS και σκι



Το gps είναι απαραίτητο επίσης και στο σκι στο οποίο μπορούμε να καταγράψουμε την πορεία του skier, τα χιλιόμετρα που διένυσε, την ταχύτητα με την οποία εκανε σκι την τοποθεσία που βρίσκεται έτσι ώστε να μπορούμε να αποτρέψουμε απρόβλεπτα γεγονότα σε περίπτωση ατυχήματος.

### Χαρτογράφηση με GPS

Με τη χρήση του GPS, σήμερα, μας δίνεται η δυνατότητα χαρτογράφησης μιας περιοχής που μας ενδιαφέρει ή ακόμη και ολόκληρης της γης.

## GPS και κινητή τηλεφωνία



Το σύστημα δορυφορικού εντοπισμού θέσης κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος μεταξύ των χρηστών κινητών τηλεφώνων, ειδικά μάλιστα από τότε που άρχισε η διάθεση δεκτών GPS με υποστήριξη Bluetooth. Χάρη σ' αυτή και με τη χρήση κατάλληλων συνοδευτικών εφαρμογών, μπορεί κανείς να δει πολλές χρήσιμες πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του, στην οθόνη του κινητού. Μια τέτοια εφαρμογή είναι και το "GPS Utilities" της εταιρείας Efficasoft, η οποία συνεργάζεται με κινητά τηλέφωνα Windows Mobile και προβάλλει ενδείξεις που αφορούν το τρέχον γεωγραφικό στίγμα του χρήστη, το υψόμετρο, την κατεύθυνση και την ταχύτητα της κίνησής του, αλλά και την απόσταση από συγκεκριμένα σημεία.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το GPS ή αλλιώς παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης, δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένας ηλεκτρονικός χάρτης που επικοινωνεί μέσω δορυφόρων. Από τη στιγμή που ο οδηγός ορίσει τον προορισμό, δεν κάνει τίποτε άλλο από το να ακολουθεί τις φωνητικές οδηγίες που του δίνονται.

Οι δορυφόροι στέλνουν ένα σήμα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο δέκτης υπολογίζει την διαφορά χρόνου που προκύπτει από την αποστολή του σήματος από τον δορυφόρο, μέχρι την λήψη. Με αυτόν τον τρόπο, “γνωρίζει” πόσο μακριά είναι ο εκάστοτε δορυφόρος. Για να υπολογίσει την θέση του ένας δέκτης, πρέπει να λαμβάνει σήμα από τουλάχιστο 3 δορυφόρους

Το GPS είναι πολύ χρήσιμο για αυτούς που έχουν σκάφος ή είναι οδηγοί ταξί ή είναι ορειβάτες.

Οι συσκευές για το GPS ποικίλλουν ανάλογα με τις δυνατότητες,

## ΠΗΓΕΣ

<http://www.skifun.gr/teknika/i-texnologia-gps-stin-ipientsia-tou-ski.html>

<http://www.ceja.educagri.fr/gre/agriculture/a1/gps1.htm>

[http://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)

<http://www.jgc.gr/jgc/server/more.asp?lng=GR&pmode=gpstheory&recid=27>

<http://www.jgc.gr/jgc/server/more.asp?lng=GR&pmode=gpstheory&recid=28>

<http://www.jgc.gr/jgc/server/more.asp?lng=GR&pmode=gpstheory&recid=26>

<http://www.jgc.gr/jgc/server/more.asp?lng=GR&pmode=gpstheory&recid=25>