

Global Positioning System

Βασικές Αρχές

Κουνιάκης Χριστόφορος

Η προσπάθεια του ανθρώπου να υπολογίσει τη γεωγραφική θέση στην οποία βρίσκεται πάνω στη γη και την κατεύθυνση προς την οποία κινείται, ξεκινάει από αρχαιοτάτων χρόνων. Ο ακριβής προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης είναι πολύ σημαντικός για πολλές δραστηριότητες. Για το λόγο αυτό, ο άνθρωπος δημιούργησε από παλιά, ένα πλέγμα από παράλληλες και κάθετες προς τον Ισημερινό νοητές γραμμές, οι οποίες περιβάλλουν ολόκληρη τη γη χαρακτηρίζοντας, με αυτό τον τρόπο, κάθε σημείο στην επιφάνειά της με μία μοναδική ταυτότητα. Έτσι, μπορούσε να προσδιορίζει ένα σημείο στην επιφάνεια της γης με μεγάλη ακρίβεια. Σήμερα, όλοι οι τοπογραφικοί χάρτες χρησιμοποιούν δύο συστήματα πλέγματος. Το ένα είναι το πλέγμα του γεωγραφικού πλάτους και μήκους, και το άλλο είναι το πλέγμα UTM. Και τα δύο πλέγματα αναλύονται με λεπτομέρεια στην ενότητα: [Τοπογραφικοί Χάρτες](#). Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών πολλά είδη τεχνολογιών εφαρμόστηκαν για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης, αλλά το καθένα είχε τα δικά του μειονεκτήματα.

Πριν μερικές δεκαετίες, το αμερικανικό Υπουργείο Άμυνας αποφάσισε ότι ο στρατός πρέπει να διαθέτει μία συσκευή με την οποία να μπορεί να προσδιορίζει με ακρίβεια τη θέση των σημείων πάνω στη γη ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στο σημεία αυτά, με σκοπό να τη χρησιμοποιήσει στα οπλικά της συστήματα. Διαθέτοντας ένα μεγάλο ποσό χρημάτων για την έρευνα αυτή (12 δισεκατομμύρια δολάρια!) κατασκεύασαν το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης ή GPS (Global Positioning System), ένα σύστημα που άλλαξε για πάντα την πλοήγηση και θεωρείται σήμερα το πιο επαναστατικό όργανο προσανατολισμού που δημιουργήθηκε μετά την πυξίδα.

1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ GPS;

Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης ή GPS (Global Positioning System) είναι ένα σύστημα ραδιο-πλοήγησης, το οποίο αποτελείται από ένα δίκτυο 24 δορυφόρων και από επίγειους σταθμούς κατανεμημένους σε όλο τον κόσμο. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος περίπου 20 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης και περιφέρονται γύρω από τη γη ακολουθώντας έξη διαφορετικές τροχιές. Κινούνται με ταχύτητα περίπου 2,6 χλμ. το δευτερόλεπτο, διαγράφοντας μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο, δύο πλήρεις κύκλους γύρω από τη γη. Οι δορυφόροι αυτοί αναφέρονται και σαν NAVSTAR δορυφόροι και ο πρώτος GPS δορυφόρος εκτοξεύτηκε το Φεβρουάριο του 1978. Κάθε δορυφόρος ζυγίζει περίπου 1 τόνο και το μήκος του, όταν τα πλαίσια με τα ηλιακά φωτοστοιχεία είναι ανοικτά, φθάνει περίπου στα 5 μέτρα. Η ισχύς μετάδοσης των σημάτων είναι το πολύ 50 Watt. Κάθε δορυφόρος μεταδίδει σήματα σε τρεις συχνότητες από τις οποίες μόνο μία (αυτή στα 1575,42 MHz) χρησιμοποιείται για τους πολίτες, γνωστή και ως "L1". Οι άλλες δύο συχνότητες χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς. Η διάρκεια ζωής κάθε δορυφόρου υπολογίζεται σε 10 περίπου έτη. Κάθε τόσο κατασκευάζονται νέοι δορυφόροι για να αντικαταστήσουν τους παλιούς.

Το GPS χρησιμοποιεί τους 24 δορυφόρους και τους επίγειους σταθμούς ως σημεία αναφοράς για να υπολογίσει τη θέση που βρισκόμαστε με ακρίβεια λίγων μέτρων. Σήμερα, υπάρχουν εξελιγμένα GPS συστήματα, όπως το [Differential GPS](#), το [Augmented GPS](#) κ.ά., τα οποία μπορούν να φθάσουν σε ακρίβεια καλύτερη του ενός μέτρου! Έτσι, ουσιαστικά είναι σαν να δίνουμε σε κάθε τετραγωνικό μέτρο του πλανήτη μας μία μοναδική διεύθυνση.

Το μέγεθος των δεκτών GPS μειώνεται συνεχώς με τη χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και έτσι αυτοί γίνονται πιο οικονομικοί και προσιτοί στον καθένα μας.

Σήμερα, το GPS και ειδικά μετά το 2000, όπου καταργήθηκε το SA (κοίτα [SA: Εσκεμμένα σφάλματα](#)), εφαρμόζεται στα αυτοκίνητα, στα πλοία, στα αεροπλάνα, στον κατασκευαστικό τομέα, στις κινηματογραφικές κάμερες, στα αγροτικά μηχανήματα, στις χαρτογραφήσεις, στα ολοκληρωμένα γεωγραφικά συστήματα, στη διαχείριση της κυκλοφορίας στους δρόμους ακόμη και στους φορητούς υπολογιστές. Επίσης, σε κρίσιμες καταστάσεις, το GPS μπορεί να προσφέρει ζωτικής σημασίας βοήθεια στην αστυνομία, στην πυροσβεστική, στις μονάδες διάσωσης, κ.λ.π. Εκτιμάται ότι σύντομα, το GPS θα γίνει τόσο χρήσιμο στον άνθρωπο, όσο έχει γίνει το τηλέφωνο.

2. ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΤΟ GPS;

Παρακάτω περιγράφεται η λειτουργία του GPS σε πέντε βήματα:

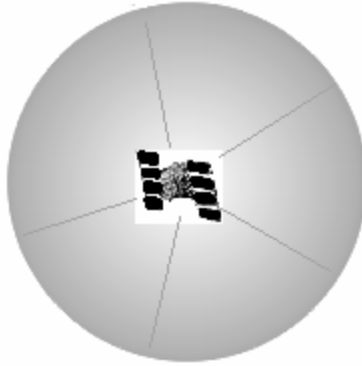
- 1ο βήμα** Διαδικασία "τριγωνισμού" (triangulation) από τους δορυφόρους.
- 2ο βήμα** Μέτρηση απόστασης από τους δορυφόρους χρησιμοποιώντας το χρόνο μετάδοσης των ραδιο-σημάτων.
- 3ο βήμα** Συγχρονισμός ρολογιών δέκτη – δορυφόρου.
- 4ο βήμα** Εύρεση θέσης των δορυφόρων στον ουρανό.
- 5ο βήμα** Διόρθωση καθυστερήσεων στις οποίες υπόκειται το σήμα καθώς αυτό μεταδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας και αντανακλάται σε διάφορα εμπόδια στην επιφάνεια της γης.

Κάθε ένα από αυτά τα βήματα θα τα εξηγήσουμε αναλυτικά στις επόμενες πέντε παραγράφους.

Βήμα 1: Τριγωνισμός από τους δορυφόρους

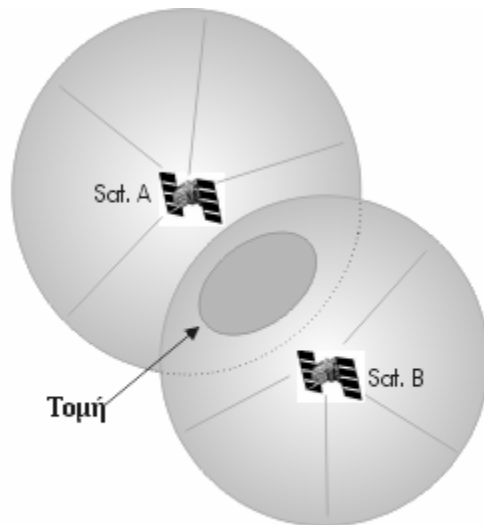
Αν και φαίνεται περίεργο, η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται το GPS είναι η χρήση δορυφόρων στο διάστημα για τον προσδιορισμό σημείων πάνω στη γη. Πράγματι, μετρώντας με πολύ μεγάλη ακρίβεια την απόσταση που έχουμε από τρεις δορυφόρους μπορούμε να "τριγωνοποιήσουμε" τη θέση μας οπουδήποτε πάνω στη γη. Ας ξεχάσουμε προς στιγμή πώς μετράμε αυτήν την απόσταση. Αυτό θα το δούμε αργότερα. Προς το παρόν θα εξετάσουμε γεωμετρικά, πώς η μέτρηση των αποστάσεων από τρεις δορυφόρους καθορίζει με ακρίβεια τη θέση μας.

Ας υποθέσουμε ότι μετράμε την απόσταση που έχουμε από έναν δορυφόρο και βρίσκουμε ότι αυτή είναι 17.000 χλμ. Γνωρίζοντας ότι βρισκόμαστε 17.000 χλμ. μακριά από ένα συγκεκριμένο δορυφόρο, οι πιθανές θέσεις που θα μπορούσαμε να είμαστε στο σύμπαν περιορίζονται στην επιφάνεια μιας σφαίρας με κέντρο το δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση από αυτόν (σχήμα 1).



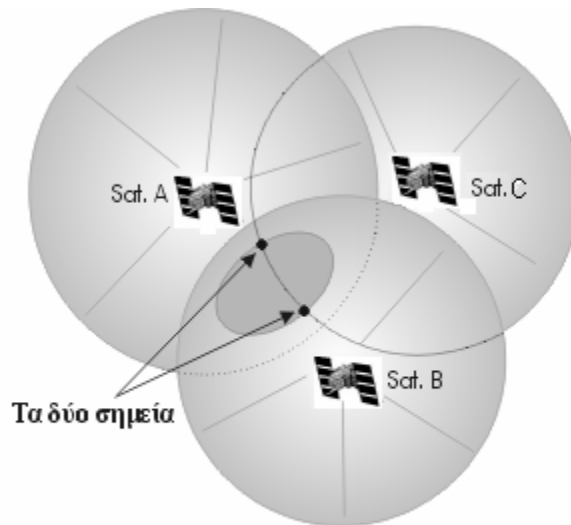
Σχήμα 1. Με μία μέτρηση από ένα δορυφόρο, η θέση μας βρίσκεται κάπου στην επιφάνεια μιας σφαίρας

Κατόπιν, μετράμε την απόστασή μας από ένα δεύτερο δορυφόρο και βρίσκουμε ότι αυτή είναι 20.000 χλμ. Αυτό μας λέει ότι εκτός από την επιφάνεια της πρώτης σφαίρας βρισκόμαστε επίσης και στην επιφάνεια μιας δεύτερης σφαίρας, η οποία ως κέντρο έχει το δεύτερο δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση που απέχουμε από αυτόν. Δηλαδή, με άλλα λόγια, βρισκόμαστε κάπου στην τομή των δύο αυτών σφαιρών. Επειδή όμως η τομή δυο σφαιρών σχηματίζει κύκλο, ουσιαστικά βρισκόμαστε κάπου επάνω στην περιφέρεια ενός κύκλου (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Η τομή των δύο σφαιρών που αντιστοιχούν στους δορυφόρους Α και Β, είναι ένας κύκλος

Εάν πάρουμε και μία ακόμη μέτρηση από έναν τρίτο δορυφόρο, τότε εκτός από τον κύκλο που σχηματίζεται από την τομή των δύο πρώτων σφαιρών, βρισκόμαστε και στην επιφάνεια μιας τρίτης σφαίρας, η οποία ως κέντρο έχει τον τρίτο δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση που απέχουμε από αυτόν. Επειδή όμως η επιφάνεια μιας σφαίρας τέμνεται με την περιφέρεια ενός κύκλου σε δύο μόνο σημεία, ουσιαστικά βρισκόμαστε επάνω στα δύο αυτά σημεία (σχήμα 3).



Σχήμα 3. Η τομή των τριών σφαιρών που αντιστοιχούν στους δορυφόρους A, B και C είναι δύο σημεία

Έτσι, με τρεις δορυφόρους μπορούμε να περιορίσουμε τη θέση μας σε ακριβώς δύο σημεία. Για να αποφασίσουμε ποιο από τα δύο αυτά σημεία είναι η πραγματική μας θέση, θα μπορούσαμε να κάνουμε και μία τέταρτη μέτρηση. Αλλά, συνήθως είναι προφανές, ότι αποκλείεται να βρισκόμαστε σε ένα από τα δύο σημεία (είτε γιατί αυτό βρίσκεται στο άλλο ημισφαίριο, είτε γιατί αυτό βρίσκεται πολύ μακριά από τη γη) και έτσι μπορούμε να το απορρίψουμε χωρίς να κάνουμε καμία επιπλέον μέτρηση. Εντούτοις, μία τέταρτη μέτρηση χρειάζεται για το συγχρονισμό του ρολογιού του δέκτη μας με τον παγκόσμιο χρόνο. Αυτό όμως εξετάζεται στο 3ο βήμα: [“επιτυγχάνοντας τον τέλειο συγχρονισμό”](#).

Βήμα 2 : Μετρώντας την απόσταση από έναν δορυφόρο

Στην προηγούμενη παράγραφο, είδαμε πώς μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση μας γνωρίζοντας την απόσταση που έχουμε από τρεις τουλάχιστον δορυφόρους. Αλλά πώς γίνεται να μετρήσουμε την απόσταση από ένα δορυφόρο, ο οποίος περιφέρεται στο διάστημα γύρω από τη γη; Αυτό επιτυγχάνεται μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται ένα ραδιο-σήμα να φθάσει από το δορυφόρο στο δέκτη. Ο χρόνος αυτός πολλαπλασιαζόμενος με την ταχύτητα μετάδοσης του ραδιο-σήματος (ως ηλεκτρομαγνητικό σήμα, η ταχύτητά του ισούται με την ταχύτητα του φωτός, δηλ. περίπου με 300.000 χλμ. το δευτερόλεπτο) μας δίνει, σύμφωνα με το μαθηματικό τύπο (1), την απόσταση που απέχει ο δορυφόρος από το δέκτη.

$$\text{Απόσταση} = \text{Ταχύτητα} \times \text{Χρόνος} \quad (1)$$

Κατ' αρχάς, ο χρόνος αυτός μπορεί να είναι πάρα πολύ μικρός (π.χ. 0,06 δευτ.), ειδικά αν ο δορυφόρος βρίσκεται κοντά μας. Έτσι, χρειαζόμαστε ρολόγια με μεγάλη ακρίβεια. Στο θέμα αυτό θα αναφερθούμε σε επόμενη παράγραφο.

Προς το παρόν, ας υποθέσουμε ότι έχουμε τέτοια ρολόγια. Πώς όμως θα μετρήσουμε το χρόνο μετάδοσης του ραδιο-σήματος; Για να το εξηγήσουμε καλύτερα ας δούμε πώς μπορεί να γίνει αυτή η μέτρηση με ένα ηχητικό σήμα: Ας υποθέσουμε ότι υπάρχει ένας τρόπος όπου ο δορυφόρος και ο δέκτης εκπέμπουν ταυτόχρονα ένα ηχητικό σήμα, ακριβώς στις 12 το μεσημέρι. Εάν ο ήχος μπορούσε να φθάσει σε μας

από το διάστημα (το οποίο, φυσικά, είναι αδύνατο λόγω του κενού) τότε θα ακούγαμε, με μία μικρή διαφορά φάσης, δύο φορές το ηχητικό σήμα, πρώτα από τον ίδιο το δέκτη και λίγο αργότερα από το δορυφόρο. Αυτή η διαφορά φάσης οφείλεται στο γεγονός ότι ο ήχος που προέρχεται από το δορυφόρο χρειάζεται να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση από τον ήχο που προέρχεται από το δέκτη, για να φθάσει σε εμάς. Εάν θέλαμε να δούμε ακριβώς πόσο πιο αργά έρχεται το ηχητικό σήμα από το δορυφόρο, θα μπορούσαμε να αρχίσουμε να καθυστερούμε το ήχο που προέρχεται από το δέκτη έως ότου αυτός συγχρονιστεί τέλεια με τον ήχο από το δορυφόρο. Η χρονική μετατόπιση προς τα πίσω του ηχητικού σήματος του δέκτη ισούται με το χρόνο μετάδοσης του ηχητικού σήματος από το δορυφόρο στο δέκτη μας. Έτσι πολλαπλασιάζοντας το χρόνο αυτό με την ταχύτητα του ήχου βρίσκουμε την απόστασή μας στο δορυφόρο.

Το GPS ουσιαστικά λειτουργεί με αυτό τον τρόπο για την εύρεση της απόστασης από τους δορυφόρους, με τη διαφορά ότι αντί για ηχητικό σήμα οι δορυφόροι και οι δέκτες χρησιμοποιούν ένα πολύπλοκο κωδικοποιημένο σήμα, το οποίο παράγεται σύμφωνα με μία προκαθορισμένη μορφή. Το πολύπλοκο αυτό κωδικοποιημένο σήμα ονομάζεται "ψευδο-τυχαίος κώδικας" (pseudo-random code), επειδή μοιάζει με έναν τυχαίο ηλεκτρικό θόρυβο. Πριν εξηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μέτρηση της απόστασης με τον ψευδο-τυχαίο κώδικα, ας δούμε τι είναι αυτός ο κώδικας.

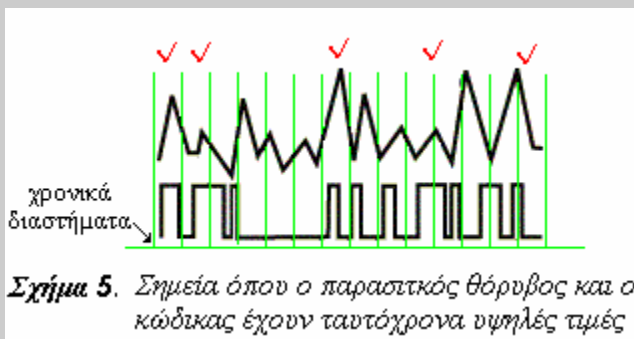
Ο ψευδο-τυχαίος κώδικας (Pseudo-random code), είναι ένας πολύπλοκος ψηφιακός κώδικας, ο οποίος αποτελείται από μία ακολουθία παλμών "on" και "off" (ή ψηφιακών στοιχείων 0 και 1). Υπάρχουν διάφοροι λόγοι αρκετά σοβαροί για την πολυπλοκότητα του κώδικα. Κατ' αρχάς, εξασφαλίζεται ότι ο δέκτης δε θα συγχρονιστεί τυχαία με κάποιο άλλο σήμα. Η μορφή του σήματος είναι τόσο σύνθετη που είναι ιδιαίτερα απίθανο δύο διαφορετικά σήματα να έχουν ακριβώς την ίδια μορφή. Δεδομένου ότι κάθε δορυφόρος έχει το δικό του μοναδικό ψευδο-τυχαίο κώδικα, και ο δέκτης γνωρίζει ακριβώς τον κώδικα που θα λάβει από ένα δορυφόρο, εξασφαλίζεται ακόμη περισσότερο ότι ο δέκτης δε θα λάβει τυχαία το σήμα κάποιου άλλου δορυφόρου ακόμη και αν εκπέμπει στην ίδια συχνότητα. Έτσι, όλοι οι δορυφόροι μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια συχνότητα χωρίς να εμποδίζουν ο ένας τον άλλον. Για παράδειγμα, ακόμη και αν βρίσκεστε ανάμεσα σε πολύ κόσμο, θα καταλάβετε τη φωνή ενός φίλου σας που σας φωνάζει από μακριά, γιατί το αυτί σας ξεχωρίζει τους γνωστούς ήχους ανάμεσα από πολλούς άλλους.

Άλλος ένας λόγος για την πολυπλοκότητα του ψευδο-τυχαίου κώδικα, είναι οι GPS δέκτες να μη χρειάζονται τα μεγάλα δορυφορικά πιάτα, που χρησιμοποιούνται στη δορυφορική τηλεόραση, για να λάβουν τα σήματα από τους δορυφόρους. Έτσι, οι GPS δέκτες καθίστανται ακόμη πιο οικονομικοί. Χωρίς τα δορυφορικά πιάτα, το ασθενές σήμα των δορυφόρων πρέπει να ενισχύεται με κάποιο τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Αν παραστήσουμε γραφικά τη συχνότητα GPS που λαμβάνει ο δέκτης θα δούμε μία τεθλασμένη γραμμή όπως αυτή του 4ου σχήματος. Το τυχαίο σχήμα της γραμμής αυτής οφείλεται στον παρασιτικό θόρυβο της γης. Ένα GPS σήμα θα μπορούσε να καλυφθεί μέσα σε αυτό το θόρυβο.



Όπως και ο ψευδο-τυχαίος κώδικας έτσι και ο παρασιτικός θόρυβος έχει διακυμάνσεις. Υπάρχει όμως μία σημαντική διαφορά: στον ψευδο-τυχαίο κώδικα γνωρίζουμε τη μορφή των διακυμάνσεών του. Μπορούμε να συγκρίνουμε ένα τμήμα του ψευδο-τυχαίου κώδικα με τον παρασιτικό

θόρυβο, διαιρώντας τα σήματα σε ίσα χρονικά διαστήματα και κατόπιν να σημειώσουμε όλα τα διαστήματα στα οποία ταιριάζει ο γήινος παρασιτικός θόρυβος με τον ψευδο-τυχαίο κώδικα (σχήμα 5).



Δεδομένου ότι και ο ψευδο-τυχαίος κώδικας και ο παρασιτικός θόρυβος έχουν τυχαία μορφή, τότε βάσει του νόμου των πιθανοτήτων, περίπου στα μισά χρονικά διαστήματα θα ταιριάζουν ενώ στα άλλα μισά, όχι. Έτσι, αν χρησιμοποιήσουμε ένα σύστημα βαθμολόγησης, το οποίο θα αυξάνει το βαθμό κατά μία μονάδα όπου αυτά ταιριάζουν, ενώ θα τον μειώνει κατά μία μονάδα όπου αυτά δεν ταιριάζουν, τότε μακροπρόθεσμα θα καταλήξουμε σε ένα αποτέλεσμα μηδέν, εφ' όσον όσες μονάδες προστίθενται τόσες θα αφαιρούνται.

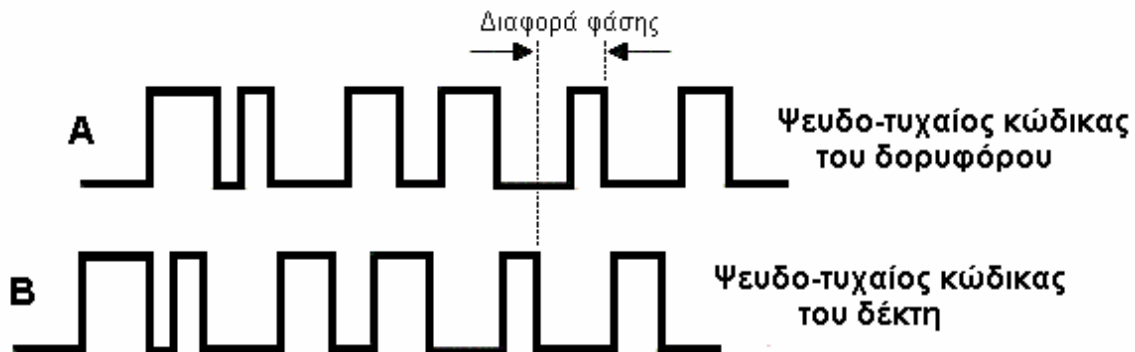
Όταν τώρα ένας δορυφόρος GPS αρχίζει να μεταδίδει παλμούς της ίδιας μορφής με τον ψευδο-τυχαίο κώδικα του δέκτη μας, αυτά τα σήματα, ακόμα κι αν είναι αδύναμα, θα τείνουν να ενισχύσουν και να διαμορφώσουν τον τυχαίο παρασιτικό θόρυβο σε μία μορφή ίδια με αυτή του κώδικα που χρησιμοποιούμε για τη σύγκριση. Όσα σημεία του παρασιτικού σήματος ήταν στο όριο της μονάδας θα ενισχυθούν και έτσι θα αρχίσουμε να βλέπουμε περισσότερες αντιστοιχίες με τον ψευδο-τυχαίο κώδικα. Κατόπιν τούτου, το αποτέλεσμα της βαθμολόγησης θα αρχίσει να αυξάνει.

Αυτή η εξήγηση είναι πολύ απλουστευμένη, αλλά δίνει μία ιδέα για το πώς γίνεται η ενίσχυση του σήματος του δορυφόρου. Έτσι, το σύστημα μπορεί να τα καταφέρει με λιγότερο ισχυρούς δορυφόρους και οι δέκτες μας δε χρειάζονται τα μεγάλα πιάτα που χρησιμοποιούνται στη δορυφορική τηλεόραση. Μπορείτε να αναρωτηθείτε γιατί η δορυφορική τηλεόραση δε χρησιμοποιεί τον ίδιο μηχανισμό, αλλά αντίθετα χρησιμοποιεί εκείνα τα μεγάλα πιάτα. Ο λόγος είναι η ταχύτητα. Το GPS σήμα μεταφέρει πολύ λίγες πληροφορίες σε σχέση με τη δορυφορική τηλεόραση. Βασικά, το GPS μεταδίδει έναν παλμό συγχρονισμού, και έτσι μπορούμε να συγκρίνουμε το σήμα για πολλά χρονικά διαστήματα. Αντίθετα, ένα σήμα τηλεόρασης μεταφέρει πολλές πληροφορίες και μεταβάλλεται γρήγορα, οπότε το σύστημα σύγκρισης θα ήταν πάρα πολύ αργό και δύσκαμπτο.

Γνωρίζοντας τώρα τι είναι ο ψευδο-τυχαίος κώδικας, θα εξηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μέτρηση της απόστασης από ένα δορυφόρο.

Ο GPS δέκτης παράγει έναν ψευδο-τυχαίο κώδικα, ο οποίος είναι ακριβές αντίγραφο του κώδικα που παράγει ο δορυφόρος (σχήμα 6). Ο κώδικας στο δέκτη είναι καταχωρημένος στη βάση δεδομένων του και παράγεται ταυτόχρονα με τον κώδικα του δορυφόρου. (Ας υποθέσουμε προς το παρόν ότι ο δορυφόρος και ο δέκτης είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους). Ο δέκτης συγκρίνει τον κώδικα που παράγει ο ίδιος με τον κώδικα που λαμβάνει από το δορυφόρο και προσπαθεί να τους ταιριάξει. Επειδή όμως ο κώδικας του δορυφόρου διανύει μία μεγάλη απόσταση, έρχεται στο δέκτη με κάποια χρονική καθυστέρηση, η οποία φαίνεται και σα διαφορά φάσης (σχήμα 6). Για να υπολογίσει το χρόνο καθυστέρησης του σήματος από το δορυφόρο, ο δέκτης ολισθαίνει χρονικά προς τα πίσω το δικό κώδικα, μέχρι να τον ταιριάξει με τον κώδικα του δορυφόρου. Το μέγεθος της χρονικής ολίσθησης ισούται με το χρόνο μετάδοσης

του σήματος από το δορυφόρο στο δέκτη. Τότε, σύμφωνα με τον τύπο (1), πολλαπλασιάζει το χρόνο αυτό με την ταχύτητα του φωτός και υπολογίζει την απόσταση που απέχει ο δέκτης από το δορυφόρο.



Σχήμα 6. Από τη διαφορά φάσης των δύο σημάτων υπολογίζεται η απόσταση του δορυφόρου

Η θέση του δέκτη που υπολογίζεται με αυτήν την μέθοδο καλείται ψευδο-περιοχή (pseudo-range), επειδή δεν είναι μία άμεση μέθοδος μέτρησης της απόστασης, αλλά μία έμμεση που βασίζεται στο χρόνο, ο οποίος μπορεί να υπόκειται σε διάφορα σφάλματα, όπως, για παράδειγμα, την ιονοσφαιρική καθυστέρηση ή τις χρονικές διαφορές μεταξύ των ατομικών ρολογιών στους δορυφόρους και το δέκτη (θα τα εξετάσουμε παρακάτω). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μας δίνει μία λανθασμένη περιοχή που βρισκόμαστε.

Εκτός από την τεχνική της χρονικής ολίσθησης, για να υπολογιστεί ο χρόνος μετάδοσης του σήματος από το δορυφόρο στο δέκτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η τεχνική της **συμβολομετρίας (Interferometry)**. Η συμβολομετρία είναι μία τεχνική μέτρησης, η οποία στηρίζεται στη συμβολή δύο ή περισσότερων κυμάτων. Αν θεωρήσουμε δύο κύματα ίσων συχνοτήτων και πλάτους, τα οποία κινούνται με την ίδια ταχύτητα προς την ίδια κατεύθυνση αλλά με διαφορά φάσης μεταξύ τους, τότε αν η διαφορά φάσης είναι μικρή αυτά συμβάλλουν ενισχυτικά, ενώ αν η διαφορά φάσης είναι μεγάλη, συμβάλλουν αποσβεστικά. Το αποτέλεσμα της σύνθεσης των κυμάτων είναι ευκολότερο να μετρηθεί από ότι τα ίδια τα κύματα και έτσι αυτός είναι ένας πολύ καλύτερος τρόπος για να συγκριθούν δύο σήματα και να υπολογιστεί η διαφορά φάσης μεταξύ τους.

Παραπάνω, υποθέσαμε ότι ο δορυφόρος και ο δέκτης αρχίζουν να εκπέμπουν τους κωδικούς τους ακριβώς στον ίδιο χρόνο. Αλλά πώς εμείς είμαστε σίγουροι ότι είναι τέλεια συγχρονισμένοι και αρχίζουν ταυτόχρονα την εκπομπή των σημάτων; Αυτό θα το εξετάσουμε στο επόμενο βήμα.

Βήμα 3: Επιτυγχάνοντας τον τέλειο συγχρονισμό

Εάν η μέτρηση του χρόνου μετάδοσης ενός ραδιο-σήματος είναι το κλειδί για να μετρηθεί η ακριβής απόσταση από τους δορυφόρους, τότε τα χρονόμετρά μας θα πρέπει να είναι υπερβολικά ακριβή, ώστε να τέλεια συγχρονισμένα. Μία λανθασμένη χρονομέτρηση, έστω και ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου, με την ταχύτητα του φωτός, μεταφράζεται σε 300 χλμ. σφάλμα!

Στους δορυφόρους, η χρονομέτρηση είναι σχεδόν τέλεια επειδή αυτοί διαθέτουν ρολόγια μεγάλης ακρίβειας, τα *ατομικά ρολόγια*¹. Αλλά, τι γίνεται με τους δέκτες μας εδώ στο γη; Θυμηθείτε ότι ο δορυφόρος και ο δέκτης πρέπει να μπορούν να συγχρονίσουν ακριβώς τους ψευδο-τυχαίους κώδικές τους, ώστε να λειτουργήσει σωστά το όλο σύστημα.

Εάν οι δέκτες μας είχαν και αυτοί ατομικά ρολόγια τότε δεν θα υπήρχε κανένα πρόβλημα χρονικού συγχρονισμού μεταξύ των δορυφόρων και των δεκτών. Σε αυτή την περίπτωση όμως, το GPS θα ήταν μία τεχνολογία που δε θα είχε μεγάλη εφαρμογή, γιατί κανένας δεν θα μπορούσε να το αντέξει οικονομικά, εφ' όσον κάθε ατομικό ρολόι στοιχίζει περίπου 100.000 \$ (κάθε δορυφόρος έχει 4 ατομικά ρολόγια). Για το λόγο αυτό οι σχεδιαστές του GPS βρήκαν ένα λαμπρό μικρό τέχνασμα. το οποίο μας επιτρέπει να έχουμε στους δέκτες μας ρολόγια quartz, σαν αυτά που χρησιμοποιούνται στα ρολόγια χειρός. Τα ρολόγια αυτά έχουν αρκετή ακρίβεια για μικρές χρονικές περιόδους και είναι πολύ φθηνότερα από τα ατομικά.

Το τέχνασμα που βρήκαν οι σχεδιαστές του GPS είναι να γίνεται μία επί πλέον μέτρηση απόστασης από ένα τέταρτο δορυφόρο. Η τέταρτη μέτρηση θεωρείται μία από τις θεμελιώδεις λειτουργίες του GPS, εφ' όσον με αυτό τον τρόπο κάθε GPS δέκτης συγχρονίζεται με τον παγκόσμιο χρόνο. Έτσι, το GPS γίνεται η ευρύτερα διαδεδομένη συσκευή που μετράει με ακρίβεια το χρόνο και για το λόγο αυτό, εκτός από τον προσδιορισμό θέσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ένα ευρύ φάσμα άλλων εφαρμογών, όπως, για παράδειγμα, στο συγχρονισμό των δικτύων των υπολογιστών, στη ρύθμιση άλλων συστημάτων ναυσιπλοΐας, στο συγχρονισμό του εξοπλισμού προβολής ταινιών και σε πολλά άλλα. Τέλος, είναι μία θαυμάσια συσκευή για να μας δείχνει με ακρίβεια πότε ακριβώς μπαίνει το νέο έτος!

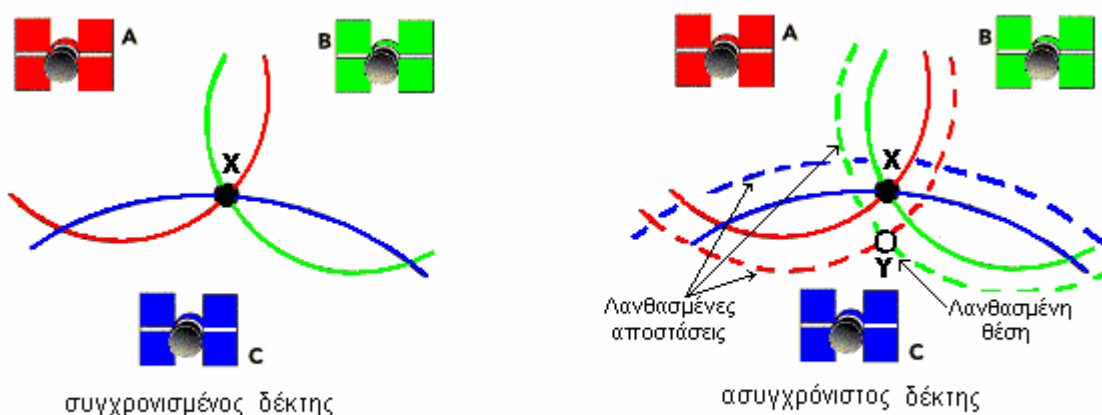
Με τη λήψη μιας επί πλέον δορυφορικής μέτρησης και με λίγη άλγεβρα ένας GPS δέκτης μπορεί να απαλείψει οποιεσδήποτε ανακρίβειες που πιθανόν να υπάρχουν στο ρολόι του. Μέχρι τώρα μιλήσαμε για δορυφορικές περιοχές, οι οποίες ορίζονται από την απόσταση. Επειδή όμως η απόσταση υπολογίζεται από το χρόνο μετάδοσης του σήματος, παρακάτω όταν θα μιλάμε για δορυφορικές περιοχές θα αναφερόμαστε σε περιοχές που ορίζονται από το χρόνο. Όμως, οι χρονικές μετρήσεις μπορεί να είναι λανθασμένες, καθώς οι δέκτες δεν είναι συγχρονισμένοι με τον παγκόσμιο χρόνο και υπάρχουν χρονικές διαφορές μεταξύ των ρολογιών των δορυφόρων και του δέκτη, οι χρονικές αυτές περιοχές ονομάζονται και ψευδο-περιοχές (pseudo-ranges).

Ας υποθέσουμε ότι ο δέκτης μας διαθέτει ένα ρολόι ακριβείας και είναι συγχρονισμένος με τον παγκόσμιο χρόνο. Όπως είδαμε στο 1ο βήμα: "[Τριγωνισμός από τους δορυφόρους](#)", για την εύρεση της θέσης που βρισκόμαστε, μετράμε πόσο απέχουμε (χρονικά) από τρεις δορυφόρους Α, Β και Γ. Η τομή των τριών χρονικών περιοχών (σφαίρες) που ορίζονται από τις τρεις αυτές μετρήσεις, μας δίνει τη θέση Χ που πραγματικά είμαστε. Αν, κάνουμε και μία τέταρτη (χρονική) μέτρηση της απόστασής μας από έναν τέταρτο δορυφόρο Δ, τότε η χρονική περιοχή (σφαίρα) που ορίζεται από το δορυφόρο αυτό, θα πρέπει να τέμνει τις τρεις πρώτες στο ίδιο σημείο Χ.

Αλλά τι συμβαίνει αν το ρολόι του δέκτη μας δεν είναι συγχρονισμένο με τον παγκόσμιο χρόνο και βρίσκεται ένα δευτερόλεπτο πίσω από το ρολόι του δορυφόρου; Τότε η τομή των τριών χρονικών (ψευδο)περιοχών θα μας δώσει ένα σημείο Υ διαφορετικό από την πραγματική μας θέση Χ. Επί πλέον, με την καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου του ρολογιού του δέκτη μας, τότε η χρονική περιοχή (σφαίρα) μιας τέταρτης χρονικής μέτρησης δε θα περάσει από το σημείο τομής των τριών πρώτων μετρήσεων.

¹ Τα ατομικά ρολόγια δε λειτουργούν με ατομική ενέργεια. Ονομάζονται έτσι επειδή χρησιμοποιούν τις ταλαντώσεις ενός συγκεκριμένου ατόμου ως "μετρονόμο". Αυτή η μορφή χρονομέτρησης είναι η σταθερότερη και η ακριβέστερη που έχει αναπτύξει ως τώρα ο άνθρωπος

Το σχήμα 7, απεικονίζει τις δύο καταστάσεις που περιγράψαμε παραπάνω. Χάρin ευκολίας και καλύτερης κατανόησης, στο σχήμα απεικονίζονται δύο διαστάσεις και όχι τρεις. Στις δύο διαστάσεις, αντί για σφαίρες απεικονίζονται κύκλοι και αντί για τέσσερις μετρήσεις χρησιμοποιούνται τρεις. Αυτό δεν αλλοιώνει την πραγματική κατάσταση, γιατί ό,τι ισχύει στις δύο διαστάσεις, το ίδιο ισχύει και στις τρεις.



Σχήμα 7. Το πρόβλημα του συγχρονισμού με τον παγκόσμιο χρόνο

Στο παραπάνω σχήμα (δύο διαστάσεις) παρατηρούμε ότι όταν ο δέκτης είναι συγχρονισμένος με τον παγκόσμιο χρόνο, οι κύκλοι από τρεις μετρήσεις τέμνονται σε ένα σημείο X το οποίο είναι η πραγματική θέση που βρισκόμαστε. Αν υποθέσουμε ότι το ρολόι του δέκτη μας βρίσκεται ένα δευτερόλεπτο πίσω, τότε οι κύκλοι από δύο μετρήσεις (κόκκινος και πράσινος κύκλος) είναι λανθασμένες και τέμνονται σε ένα σημείο Y διαφορετικό από την πραγματική μας θέση X. Επί πλέον, με την καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου του ρολογιού του δέκτη μας, ο κύκλος μιας τρίτης μέτρησης (μπλε κύκλος) δε θα περάσει από το σημείο τομής των δύο πρώτων κύκλων.

Αυτή η ασυμφωνία προειδοποιεί τον υπολογιστή του δέκτη μας ότι υπάρχει ένα λάθος ρολογιού και ότι οι μετρήσεις του δεν είναι τέλεια συγχρονισμένες με τον παγκόσμιο χρόνο. Επειδή οποιοδήποτε λάθος ρολογιού ή οποιαδήποτε απόκλιση από τον παγκόσμιο χρόνο θα έχει επιπτώσεις σε όλες τις μετρήσεις, ο υπολογιστής του δέκτη ψάχνει μία μοναδική σταθερά διόρθωσης, η οποία προστιθέμενη ή αφαιρούμενη από όλες τις μετρήσεις θα διορθώνει το σφάλμα, με αποτέλεσμα οι κύκλοι να τέμνονται σε ένα μοναδικό σημείο. Στο παράδειγμά μας, θα εύρισκε ότι με την αφαίρεση ενός δευτερολέπτου από κάθε χρονική μέτρηση οι περιοχές θα τέμνονταν όλες σε ένα και μοναδικό σημείο. Καθορίζοντας αυτή τη **σταθερά ή παράγοντα διόρθωσης**, ο δέκτης τώρα είναι συγχρονισμένος με τον παγκόσμιο χρόνο και μπορεί να εφαρμόσει τη διόρθωση αυτή σε όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις. Αυτή η διόρθωση συγχρονίζει το ρολόι του δέκτη με τον παγκόσμιο χρόνο και έτσι το καθιστά ένα ρολόι με ακρίβεια ατομικού ρολογιού στην παλάμη του χεριού σας. Φυσικά, αυτή η διαδικασία διόρθωσης θα πρέπει να επαναλαμβάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε το ρολόι του δέκτη να παραμένει πάντα συγχρονισμένο.

Για να πραγματοποιούνται αυτά που αναφέραμε παραπάνω, θα πρέπει κάθε αξιόλογος δέκτης GPS να έχει τουλάχιστον τέσσερα κανάλια, έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιεί ταυτόχρονα τέσσερις μετρήσεις. Με τον ψευδο-τυχαίο κώδικα ως ένα σταθερό παλμό συγχρονισμού, και με το τέχνασμα της τέταρτης (πρόσθετης) μέτρησης, για να επιτευχθεί ο τέλειος συγχρονισμός με τον παγκόσμιο χρόνο, είναι δυνατόν να μετρηθεί η απόσταση του δέκτη από το δορυφόρο. Για να λειτουργήσει,

όμως, σωστά η μέθοδος της τριγωνοποίησης, δεν αρκεί να υπολογιστεί μόνο η απόσταση από τους δορυφόρους, αλλά θα πρέπει, επίσης, να είναι γνωστή και η θέση των δορυφόρων στον ουρανό.

Βήμα 4 : Βρίσκοντας τη θέση των δορυφόρων στον ουρανό

Εκτός από την απόσταση από ένα δορυφόρο, ένας δέκτης πρέπει να ξέρει την ακριβή θέση του δορυφόρου στον ουρανό. Μέχρι τώρα έχουμε υποθέσει ότι γνωρίζουμε πού βρίσκονται οι GPS δορυφόροι και έτσι μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε ως σημεία αναφοράς. Αλλά, πώς εμείς ξέρουμε πού ακριβώς βρίσκονται αυτοί όταν περιφέρονται στο διάστημα περίπου 20.000 χλμ. μακριά από τη γη;

Οι δορυφόροι σε μεγάλο ύψος

Το ύψος των 20.000 χλμ. προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα στις τροχιές των δορυφόρων. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι ότι στο ύψος αυτό δεν υπάρχει ατμόσφαιρα, οπότε δεν υπάρχει αντίσταση στην κίνηση του δορυφόρου από τον αέρα. Επίσης, ο χρόνος ζωής των δορυφόρων αυξάνεται και μπορούν, σε αυτό το ύψος, να τεθούν εύκολα σε σταθερή τροχιά με απλά μαθηματικά.

Η Πολεμική Αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών έχει θέσει κάθε GPS δορυφόρο σε τροχιά με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Οι GPS δέκτες, που βρίσκονται στο έδαφος, έχουν ένα ημερολόγιο (almanac) στους υπολογιστές τους. στο οποίο καταχωρούνται δεδομένα σχετικά με τα ακριβή σημεία στα οποία βρίσκονται οι δορυφόροι στον ουρανό. Οι βασικές τροχιές είναι αρκετά ακριβείς αλλά για να γίνονται όλα σωστά οι GPS δορυφόροι ελέγχονται συνεχώς από το Υπουργείο Άμυνας, το οποίο χρησιμοποιεί ραντάρ μεγάλης ακρίβειας για να ελέγχει το ακριβές ύψος κάθε δορυφόρου, τη θέση και την ταχύτητά του. Ελέγχονται τα σφάλματα, τα οποία προκαλούνται από τα πεδία βαρύτητας της σελήνης και του ήλιου και από την πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας στους δορυφόρους. Τα σφάλματα αυτά, συνήθως, είναι πολύ μικρά αλλά εάν θέλουμε να έχουμε μεγάλη ακρίβεια πρέπει αυτά να ληφθούν υπόψη.

Όταν το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών ανιχνεύσει κάποιο σφάλμα στα δεδομένα που στέλνει ο δορυφόρος στη γη, μετράει την ακριβή θέση του στον ουρανό και μεταδίδει την πληροφορία αυτή στον δορυφόρο. Ο δορυφόρος διορθώνει τα δικά του δεδομένα και τα περιλαμβάνει στα ραδιο-σήματα που μεταδίδει. Έτσι, το σήμα κάθε δορυφόρου δεν περιέχει μόνο έναν ψευδο-τυχαίο κώδικα συγχρονισμού. Αυτό μεταφέρει, επίσης, πληροφορίες ημεροδεικτών σχετικές με την ακριβή τροχιακή θέση του (ephemeris). Για παράδειγμα, κάθε δορυφόρος μεταδίδει ένα μήνυμα που μπορεί να λέει: "Είμαι ο δορυφόρος Χ, η θέση μου αυτή τη στιγμή είναι Υ, και το μήνυμα αυτό εστάλη την Ζ ώρα." Φυσικά, αυτό είναι ένα υπεραπλουστευμένο μήνυμα, αλλά έτσι παίρνετε μία ιδέα του τι επιπλέον πληροφορίες μεταδίδει ο δορυφόρος προς το δέκτη, εκτός από τον ψευδο-τυχαίο κώδικα.

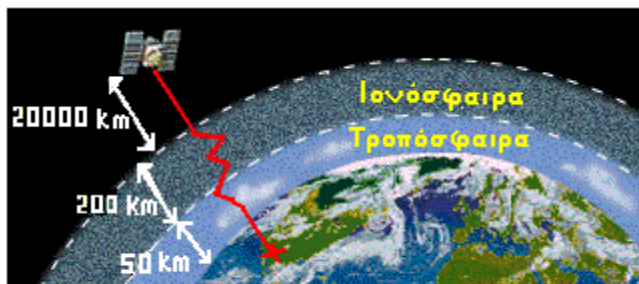
Ακολουθώντας, ο GPS δέκτης ενημερώνει συνεχώς το ημερολόγιό του (almanac), καθώς λαμβάνει αυτές τις πληροφορίες και κατόπιν τις χρησιμοποιεί για να καθορίσει την ακριβή θέση του δορυφόρου.

Με τον τέλειο συγχρονισμό και την ακριβή θέση του δορυφόρου θα σκέφτεστε ότι τώρα είμαστε έτοιμοι να κάνετε τους τέλειους υπολογισμούς θέσης. Αλλά ακόμη υπάρχει ένα πρόβλημα, το οποίο εξετάζεται στο επόμενο βήμα.

Βήμα 5: Διόρθωση Λαθών

Μέχρι τώρα έχουμε μεταχειριστεί τους υπολογισμούς στο GPS πολύ αφηρημένα. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν αρκετά πράγματα που μπορούν να συμβούν σε ένα GPS σήμα, τα οποία μπορούν να το αλλοιώσουν ή να του αλλάξουν την πορεία. Ένας καλός GPS δέκτης, για να αξιοποιήσει στο μέγιστο τις δυνατότητες του συστήματος, θα πρέπει να λάβει υπόψη ένα πλήθος λαθών που ενδεχομένως προκύψουν.

Κατ' αρχάς, μία από τις βασικές υποθέσεις που έχουμε κάνει, η οποία αφορά την εύρεση της απόστασης από έναν δορυφόρο πολλαπλασιάζοντας το χρόνο μετάδοσης ενός σήματος επί την ταχύτητα του φωτός, δεν ισχύει ακριβώς. Αυτό ισχύει μόνο στο κενό, όπου η ταχύτητα του φωτός είναι σταθερή. Καθώς ένα GPS σήμα περνά μέσω των φορτισμένων σωματιδίων της *ιονόσφαιρας*² αυτό αναπηδά δεξιά-αριστερά με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η ταχύτητά του. Ειδικά την ημέρα όπου η θερμοκρασία είναι ψηλότερη το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο. Κατόπιν, το GPS σήμα διέρχεται από την *τροπόσφαιρα*³ (σχήμα 8), όπου και εδώ μπορεί να επηρεαστεί η ταχύτητά του από τους υδρατμούς και τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν στο στρώμα αυτό. Καθώς διέρχεται το σήμα από τα δύο αυτά στρώματα μπορεί να προκληθεί σε αυτό ένα σφάλμα παρόμοιο με αυτό που προκαλείται από τα ρολόγια μικρής ακρίβειας.



Σχήμα 8. Η διαδρομή του σήματος του δορυφόρου μέσω της ατμόσφαιρας

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να ελαχιστοποιηθεί αυτό το είδος σφάλματος. Ένα μεγάλο μέρος της καθυστέρησης που προκαλείται από τη διάδοση ενός σήματος μέσω της ατμόσφαιράς μας μπορεί να προβλεφθεί με τη μαθηματική μοντελοποίηση, με την προϋπόθεση ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ιδανικές κάτι το οποίο συμβαίνει σπάνια. Τα μαθηματικά μοντέλα της ατμόσφαιρας λαμβάνουν υπόψη τα φορτισμένα σωματίδια της ιονόσφαιρας και το μεταβαλλόμενο αερίωδες περιεχόμενο της τροπόσφαιρας. Επίσης, το μοντέλο της ιονόσφαιρας ενημερώνεται συνεχώς με νέα στοιχεία, τα οποία μεταδίδονται από τους δορυφόρους. Ένας GPS δέκτης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη γωνία με την οποία το κάθε σήμα μπαίνει στην ατμόσφαιρα, καθώς αυτή η γωνία καθορίζει το μήκος της απόστασης που καλύπτει το σήμα μέσα στο μέσο που μεταδίδεται.

Ένας άλλος τρόπος για να απαλειφθούν τα σφάλματα που προκαλούνται από την ατμόσφαιρα, είναι να συγκριθούν οι σχετικές ταχύτητες δύο διαφορετικών σημάτων. Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται ο τρόπος αυτός, είναι ότι τα χαμηλής συχνότητας σήματα διαθλώνται ή επιβραδύνονται περισσότερο από τα υψηλής

² Η **ιονόσφαιρα** είναι το στρώμα της ατμόσφαιρας το οποίο ξεκινά από το ύψος των 50 χλμ. και φθάνει έως 500 χλμ. Αποτελείται κατά ένα μεγάλο μέρος από τα ιονισμένα μόρια τα οποία μπορούν να διαταράξουν GPS σήματα. Αν και ένα μεγάλο μέρος του σφάλματος που προκαλείται από την ιονόσφαιρα στο σήμα του δορυφόρου μπορεί να απαλειφθεί με μαθηματικά μοντέλα, θεωρείται ακόμη μία από τις βασικότερες πηγές πρόκλησης σφάλματος

³ Η **τροπόσφαιρα** είναι το χαμηλότερο μέρος της γήινης ατμόσφαιρας μέσα στο οποίο προκαλούνται τα καιρικά φαινόμενα. Περιέχει το σύνολο των υδρατμών της ατμόσφαιρας και η θερμοκρασία και η πίεση μέσα σε αυτή ποικίλλει. Προκαλεί σχετικά μικρά σφάλματα στα σήματα.

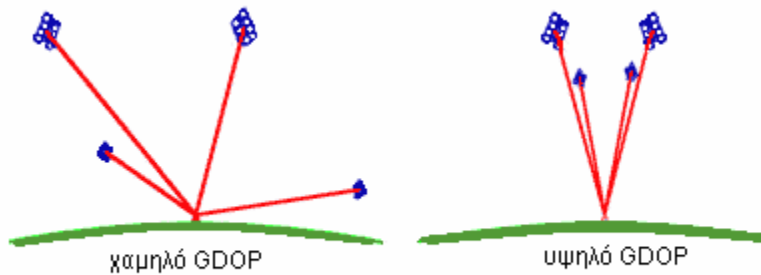
συχνότητας σήματα όταν αυτά περνάνε μέσα από ένα δεδομένο μέσο. Συγκρίνοντας τις καθυστερήσεις δύο φερόντων συχνοτήτων L1 και L2, στο GPS σήμα, μπορούμε να συμπεράνουμε το είδος του μέσου μέσω του οποίου περνάει το σήμα (π.χ. ατμόσφαιρα), και μπορούμε να προβούμε στις διορθώσεις που χρειάζονται. Δυστυχώς, όμως, αυτός ο τρόπος είναι δύσκολο να εφαρμοστεί διότι, αφ' ενός απαιτεί έναν πολύ πολύπλοκο δέκτη και, εφ' ετέρου, μόνο ο στρατός έχει πρόσβαση σε τέτοιου είδους σήματα με "δυσϊκές συχνότητες". Οι κατασκευαστικές εταιρείες έχουν εργαστεί γύρω από αυτό το πρόβλημα με κάποιες στρατηγικές οι οποίες είναι απόλυτα μυστικές.

Τα σφάλματα που μπορούν να προκληθούν στο σήμα GPS δεν τελειώνουν όταν αυτό φτάνει κάτω στο έδαφος. Το σήμα μπορεί να αναπηδήσει επάνω σε διάφορα τοπικά εμπόδια (βραχώδεις περιοχές, σπίτια, κ.λ.π.), προτού φτάσει στο δέκτη μας. Έτσι, ο δέκτης θα λάβει πρώτα το απευθείας σήμα, και κατόπιν μία δέσμη από καθυστερούμενα σήματα που δημιουργούνται από τις αντανάκλασεις του σήματος σε διάφορα σημεία στο έδαφος. Αυτό δημιουργεί μία δέσμη συγκεχυμένων σημάτων. Εάν τα ανακλώμενα σήματα είναι αρκετά ισχυρά τότε μπορεί να μπερδέψουν το δέκτη και να προκαλέσουν λανθασμένες μετρήσεις. Αυτό καλείται *σφάλμα πολλαπλών διαδρομών* (multipath error) και είναι παρόμοιο με αυτό που συμβαίνει στο σήμα της τηλεόρασης όταν βλέπετε διπλό ή πολλαπλό είδωλο. Οι καλοί δέκτες χρησιμοποιούν περίπλοκες τεχνικές επεξεργασίας σήματος για να απορρίψουν τα σήματα που προέρχονται από τις αντανάκλασεις και να επεξεργαστούν μόνο τα απευθείας σήματα (αυτά που έρχονται πρώτα), ελαχιστοποιώντας έτσι αυτό το πρόβλημα.

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, οι θέσεις των δορυφόρων ελέγχονται συνεχώς από το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο έλεγχος αυτός γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όχι όμως και κάθε δευτερόλεπτο. Έτσι, είναι δυνατόν μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων, να συμβεί κάποιο σφάλμα στο δορυφόρο, το οποίο αφορά τη θέση του στον ουρανό.

Ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος καθορίζει την ακρίβεια στις μετρήσεις ενός δέκτη, είναι η γεωμετρία που έχει η ομάδα των δορυφόρων από την οποία δέχεται ο δέκτης τα σήματα. Ένας δείκτης της ποιότητας της γεωμετρίας του δορυφορικού αστερισμού είναι η "Γεωμετρική Απώλεια της Ακρίβειας" ή GDOP (Geometric Dilution of Precision). Το GDOP εξαρτάται από το πλήθος των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις. Βασικά, όμως, εξαρτάται από τη θέση των δορυφόρων, δηλ. από το ύψος και τη θέση που βρίσκονται αυτοί στον ουρανό. Αυτό αναφέρεται συχνά και ως γεωμετρία των δορυφόρων.

Ανάλογα με τη γεωμετρία που έχουν οι δορυφόροι, είναι δυνατόν να αυξηθεί ή να ελαττωθεί το λάθος θέσης στις μετρήσεις. Μία μεγάλη γωνία μεταξύ των δορυφόρων χαμηλώνει το GDOP, και παρέχει μία καλύτερη μέτρηση. Αντίθετα, μία μικρή γωνία μεταξύ των δορυφόρων δίνει υψηλότερο GDOP (κακή γεωμετρία δορυφόρων) με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να είναι χειρότερες. Εάν ο δέκτης επιλέξει δορυφόρους οι οποίοι είναι ευρέως διασκορπισμένοι στον ουρανό τότε το GDOP είναι χαμηλό, ενώ αν επιλέξει δορυφόρους οι οποίοι βρίσκονται κοντά ο ένας στον άλλον, τότε το GDOP είναι υψηλό (σχήμα 9). Οι καλοί δέκτες προσδιορίζουν τους δορυφόρους που θα δώσουν το χαμηλότερο GDOP.



Σχήμα 9. Οι θέσεις των δορυφόρων και το GDOP

Ουσιαστικά, το GDOP ή DOP (Dilution of precision) είναι ένα μέτρο της ποιότητας των δεδομένων που λαμβάνονται από τους δορυφόρους και μετρά τη συνολική απόκλιση από την πραγματική θέση ενός GPS συστήματος. Μία αποδεκτή τιμή του GDOP είναι μικρότερη από 5.

Το GDOP αναλύεται σε κάποιους όρους. Οι όροι αυτοί μετράνε την ακρίβεια του συστήματος GPS, η οποία συνεχώς μεταβάλλεται καθώς οι δορυφόροι κινούνται και έτσι αλλάζει η γεωμετρία τους. Οι όροι αυτοί είναι:

- **TDOP** (Time Dilution of Precision) είναι ένα μέτρο το οποίο δείχνει κατά πόσο η γεωμετρία του δορυφόρου επηρεάζει τη δυνατότητα του GPS δέκτη να βρίσκει το χρόνο με ακρίβεια.
- **HDOP** (Horizontal Dilution Of Precision) είναι ένα μέτρο το οποίο δείχνει κατά πόσο οι θέσεις των δορυφόρων είναι καλά διευθετημένες στον ουρανό, ώστε ο υπολογισμός του γεωγραφικού μήκους και πλάτους να γίνεται με ακρίβεια. Ένα HDOP με τιμή μικρότερη από 4 δίνει την καλύτερη ακρίβεια, μεταξύ 4 και 8 δίνει αποδεκτή ακρίβεια και μεγαλύτερη από 8 δίνει φτωχή, μη αποδεκτή ακρίβεια. Οι μεγάλες τιμές στο HDOP είναι δυνατόν να προκληθούν εάν οι δορυφόροι βρίσκονται σε πολύ μεγάλα ύψη.
- **VDOP** (Vertical Dilution Of Precision) είναι ένα μέτρο το οποίο δείχνει κατά πόσο οι θέσεις των δορυφόρων είναι καλά διευθετημένες στον ουρανό, ώστε ο υπολογισμός της κάθετης απόστασης να γίνεται με ακρίβεια. Ψηλές τιμές του VDOP σημαίνουν μικρή ακρίβεια και μπορεί να προκληθούν εάν οι δορυφόροι βρίσκονται σε χαμηλά ύψη.

Ο μαθηματικός τύπος που δίνει το GDOP είναι:

$$GDOP = \sqrt{TDOP^2 + HDOP^2 + VDOP^2} \quad (2)$$

Καλό GDOP (μικρή τιμή), προκύπτει όταν οι γωνίες που σχηματίζονται από το δέκτη προς τους δορυφόρους είναι διαφορετικές μεταξύ τους. Αντίθετα, φτωχό GDOP (μεγάλη τιμή), προκύπτει όταν οι γωνίες που σχηματίζονται από το δέκτη προς τους δορυφόρους είναι παρόμοιες μεταξύ τους.

SA: Εσκεμμένα σφάλματα

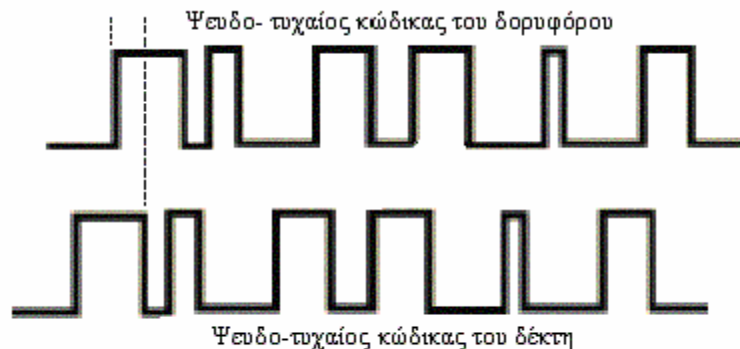
Όσο και αν ακούγεται περίεργο, η ίδια η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών που ξόδεψε 12 δισεκατομμύρια δολάρια για να αναπτύξει το ακριβέστερο σύστημα πλοήγησης στον κόσμο, σκόπιμα υποβίβασε την ακρίβειά του εισάγοντας εσκεμμένα σφάλματα στο σύστημα. Ο βασικότερος λόγος για αυτό ήταν να εξασφαλιστεί ότι καμία εχθρική δύναμη ή τρομοκρατική ομάδα δε θα μπορέσει να χρησιμοποιήσει το GPS για την κατασκευή όπλων ακριβείας. Το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών, εισήγαγε κάποιο "θόρυβο" στα στοιχεία ρολογιών του δορυφόρου, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ανακρίβειες στους υπολογισμούς θέσης. Επίσης, έστειλε εσκεμμένα ελαφρώς λανθασμένα τροχιακά στοιχεία ή αποκλίσεις θέσης στους δορυφόρους, οι οποίοι με τη σειρά τους τα διαβίβαζαν πίσω στους δέκτες στη γη. Οι στρατιωτικοί δέκτες χρησιμοποιούσαν ένα κλειδί αποκρυπτογράφησης για να αφαιρέσουν τα εσκεμμένα αυτά σφάλματα και έτσι μπορούσαν να κάνουν τις μετρήσεις με μεγάλη ακρίβεια. Η τακτική αυτή ονομάστηκε "εκλεκτική διαθεσιμότητα" ή SA (Selective Availability) και ίσχυε μέχρι το 2000 οπότε και καταργήθηκε. Με την κατάργηση του SA τα συστήματα GPS άρχισαν πια να χρησιμοποιούνται παντού.

3. CODE-PHASE GPS και CARRIER-PHASE GPS

Οι λέξεις "Code-Phase" και "Carrier-Phase" αναφέρονται στις αντίστοιχες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στο GPS για τη μέτρηση της απόστασης του δέκτη από τους δορυφόρους. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία των δύο αυτών τεχνικών καθώς, επίσης, και η ακρίβεια που δίνουν στις μετρήσεις.

Η τεχνική Code-Phase

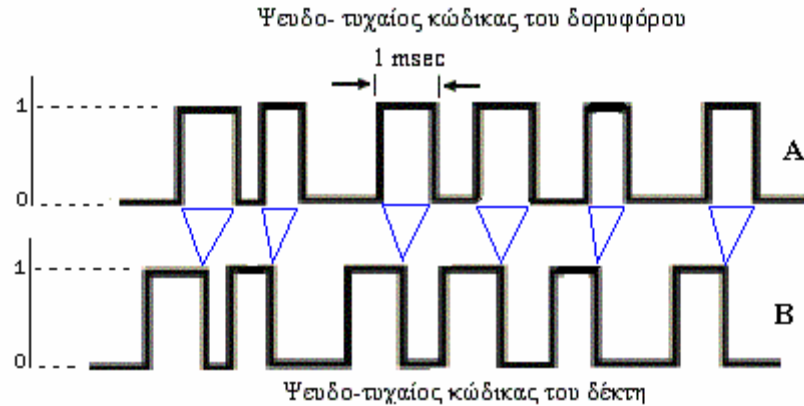
Θυμηθείτε ότι ένας GPS δέκτης υπολογίζει το χρόνο μετάδοσης του σήματος από ένα δορυφόρο, συγκρίνοντας τον ψευδο-τυχαίο κώδικα που παράγει, με έναν ίδιο κώδικα που βρίσκεται στο σήμα που μεταδίδει ο δορυφόρος (σχήμα 10).



Σχήμα 10. Τα δύο σήματα παρουσιάζουν διαφορά φάσης

Ο δέκτης ολισθαίνει χρονικά τον κώδικά του προς τα πίσω μέχρι να συγχρονιστεί με τον κώδικα του δορυφόρου. Όπως αναφέραμε και στο 2ο βήμα: "[Μετρώντας την απόσταση από έναν δορυφόρο](#)", το μέγεθος της χρονικής αυτής ολίσθησης ισούται με το χρόνο που χρειάστηκε το σήμα να μεταδοθεί από το δορυφόρο στο δέκτη. Ακολουθώντας, γνωρίζοντας το χρόνο αυτό υπολογίζεται η απόσταση δορυφόρου - δέκτη.

Στο σχήμα 11, παρατηρώντας τα δύο σήματα, λογικά θα μπορούσατε να πείτε ότι αυτά ταιριάζουν (είναι συγχρονισμένα), παρόλο που υπάρχει μία διαφορά φάσης μεταξύ τους. Αν συγκρίνετε τα δύο σήματα, θα διαπιστώσετε ότι κατά το χρονικό διάστημα που το σήμα A έχει τιμή 1 (πλάτος κύκλου), κάποια στιγμή το σήμα B θα πάρει την τιμή 1. Ομοίως, κατά το χρονικό διάστημα που το σήμα A έχει τιμή 0, κάποια στιγμή το σήμα B θα πάρει την τιμή 0. Έτσι, ο δέκτης θα θεωρήσει ότι τα σήματα ταιριάζουν και δε θα ολισθήσει χρονικά το σήμα του για να το συγχρονίσει με το σήμα του δορυφόρου. Παρόλο αυτά όμως κάποια διαφορά φάσης θα υφίσταται. Με την ταχύτητα του φωτός όμως, μία μικρή διαφορά φάσης σημαίνει αρκετά μέτρα σφάλμα! Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί με την τεχνική code-phase GPS, το πλάτος των κύκλων (ή bits) των ψευδο-τυχαίων κωδικών που συγκρίνονται είναι μεγάλο (σχεδόν ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου) και έτσι μπορεί να φαίνονται ότι τα σήματα ταιριάζουν ενώ να υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ τους.

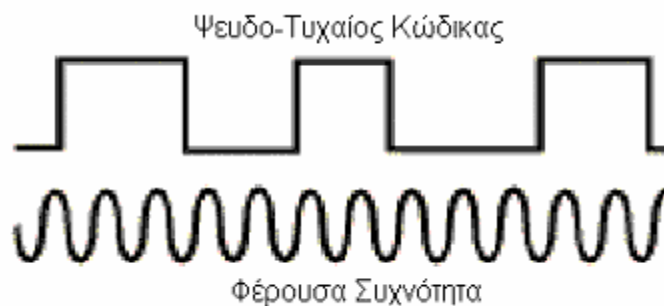


Σχήμα 11. Αν και τα σήματα ταιριάζουν, η διαφορά φάσης παραμένει

Για να μειώσουν τη διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων, οι μηχανικοί των GPS δεκτών, βρήκαν και εφάρμοσαν κάποιους μηχανισμούς με τους οποίους εξασφαλίζουν ότι τα σήματα θα έλθουν σχεδόν σε φάση μεταξύ τους. Οι καλοί δέκτες αποκλίνουν μόνο 1% με 2%. Αλλά ακόμη και αυτή η μικρή απόκλιση ισοδυναμεί από 3 έως 6 μέτρα σφάλμα στις μετρήσεις.

Η τεχνική carrier-phase

Η χρησιμοποίηση μιας φέρουσας συχνότητας (carrier frequency) μπορεί να λύσει το πρόβλημα με τη διαφορά φάσης των σημάτων και έτσι να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια στις μετρήσεις. Έτσι, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μία άλλη τεχνική, η οποία ονομάζεται carrier-phase GPS. Με την τεχνική αυτή, στο αρχικό σήμα του GPS προστίθεται ένα κατάλληλο σήμα υψηλής συχνότητας (φέρουσα συχνότητα). Καθώς η φέρουσα συχνότητα είναι αρκετά υψηλότερη από τη συχνότητα του κανονικού GPS σήματος (σχήμα 12), οι παλμοί της είναι πολύ πιο κοντά ο ένας με τον άλλον και επομένως το πλάτος των κύκλων είναι πολύ μικρό. Αυτό σημαίνει ότι εξαλείφεται το πρόβλημα με το μεγάλο πλάτος των κύκλων που είχαμε στην προηγούμενη τεχνική και άρα οι μετρήσεις μας είναι πολύ πιο ακριβείς.



Σχήμα 12. Η φέρουσα συχνότητα σε σχέση με τον ψευδο-τυχαίο κώδικα

Πριν συνεχίσουμε όμως με την τεχνική αυτή, ας εξηγήσουμε τι είναι φέρουσα συχνότητα. Για να κατανοήσετε καλύτερα την έννοια της **φέρουσας συχνότητας**, σκεφτείτε το ραδιόφωνό σας. Όταν εσείς συντονίζετε το ραδιόφωνό σας (δέκτης) σε ένα ραδιοφωνικό σταθμό (πομπός) στα 90.9 MHz, στην πραγματικότητα, το συντονίζετε στη φέρουσα συχνότητα των 90.9 MHz που εκπέμπει ο σταθμός. Ο σταθμός, πριν μεταδώσει το πρόγραμμα, προσθέτει στις χαμηλές ακουστικές συχνότητες, από τις οποίες αποτελείται το πρόγραμμα, ένα σήμα υψηλής συχνότητας

το οποίο ονομάζεται *φέρουσα συχνότητα* και ακολούθως μεταδίδει το πρόγραμμα. Με αυτό τον τρόπο, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα παράγεται πιο εύκολα και διαδίδεται σε μεγαλύτερη απόσταση από ότι αν χρησιμοποιούνταν μόνο οι χαμηλές ακουστικές συχνότητες. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *διαμόρφωση σήματος* και το ηλεκτρονικό κύκλωμα που αναλαμβάνει να κάνει τη δουλειά αυτή ονομάζεται *διαμορφωτής*.

Προφανώς, το ανθρώπινο αυτί δεν μπορεί να ακούσει έναν ήχο του οποίου η συχνότητα είναι 90.9 εκατομμύρια κύκλοι το δευτερόλεπτο. Για το λόγο αυτό, στο ραδιόφωνό σας υπάρχει ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο κάνει την αντίθετη δουλειά του διαμορφωτή και για αυτό ονομάζεται *αποδιαμορφωτής*. Ο αποδιαμορφωτής ξεχωρίζει την επιθυμητή ακουστική συχνότητα από την υψηλή φέρουσα συχνότητα, η οποία ακολούθως ενισχύεται για να την ακούσετε από το μεγάφωνο.

Το GPS λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bit rate) ενός ψευδο-τυχαίου κώδικα είναι περίπου 1 MHz, ενώ η φέρουσα συχνότητά του είναι μεγαλύτερη από 1 GHz (δηλαδή 1000 φορές μεγαλύτερη!). Με την ταχύτητα του φωτός το μήκος κύματος ενός GPS σήματος με συχνότητα 1.57 GHz είναι περίπου 20 cm. Έτσι, μία απόκλιση 1% με 2% στους code-phase δέκτες ισοδυναμεί με 3 έως 4 χιλιοστά του μέτρου. Οπότε, ένα σήμα, το οποίο στον ψευδο-τυχαίο κώδικά του έχει προστεθεί μία φέρουσα συχνότητα, δίνει πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από εκείνη που δίνει ένα απλό σήμα ψευδο-τυχαίου κώδικα.

Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται για τις χαρτογραφήσεις βασίζονται στην τεχνική της φέρουσας συχνότητας, για να εξασφαλίσουν καλύτερες μετρήσεις. Το πρόβλημα με την τεχνική αυτή, είναι ότι είναι δύσκολο να μετρηθεί η φέρουσα συχνότητα γιατί είναι πολύ ομοιόμορφη. Κάθε κύκλος της μοιάζει με οποιοδήποτε άλλον κάτι το οποίο δε συμβαίνει με τον ψευδο-τυχαίο κώδικα, ο οποίος είναι σκόπιμα πολύπλοκος ώστε να καθίσταται εύκολη η αναγνώριση του κύκλου που εξετάζεται.

Με το συνδυασμό των δύο τεχνικών μπορούμε να αποφύγουμε τα προβλήματα που παρουσιάζουν η κάθε μία τους. Έτσι, αρχικά χρησιμοποιείται η τεχνική "code-phase GPS" για να προσεγγιστεί η θέση με ακρίβεια μερικών μέτρων. Κατόπιν, εφ' όσον έχει περιοριστεί σημαντικά ο αριθμός των κύκλων της φέρουσας συχνότητας που πρέπει να μετρηθούν, χρησιμοποιείται η τεχνική "carrier-phase GPS", για να προσδιοριστεί η θέση με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια.

4. ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΑ GPS ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Βασικά, το GPS είναι το ακριβέστερο σύστημα πλοήγησης και προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης στον κόσμο, το οποίο βασίζεται σε ραδιο-σήματα. Για πολλές εφαρμογές είναι αρκετά ακριβές, αλλά ο άνθρωπος θέλει πάντα κάτι παραπάνω! Έτσι, μερικοί επιδέξιοι και ικανοί μηχανικοί δημιούργησαν εξελιγμένα GPS συστήματα τα οποία προσδιορίζουν τις θέσεις των σημείων πάνω στη γη με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Τα συστήματα αυτά περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

A. ΤΟ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ (DIFFERENTIAL) GPS

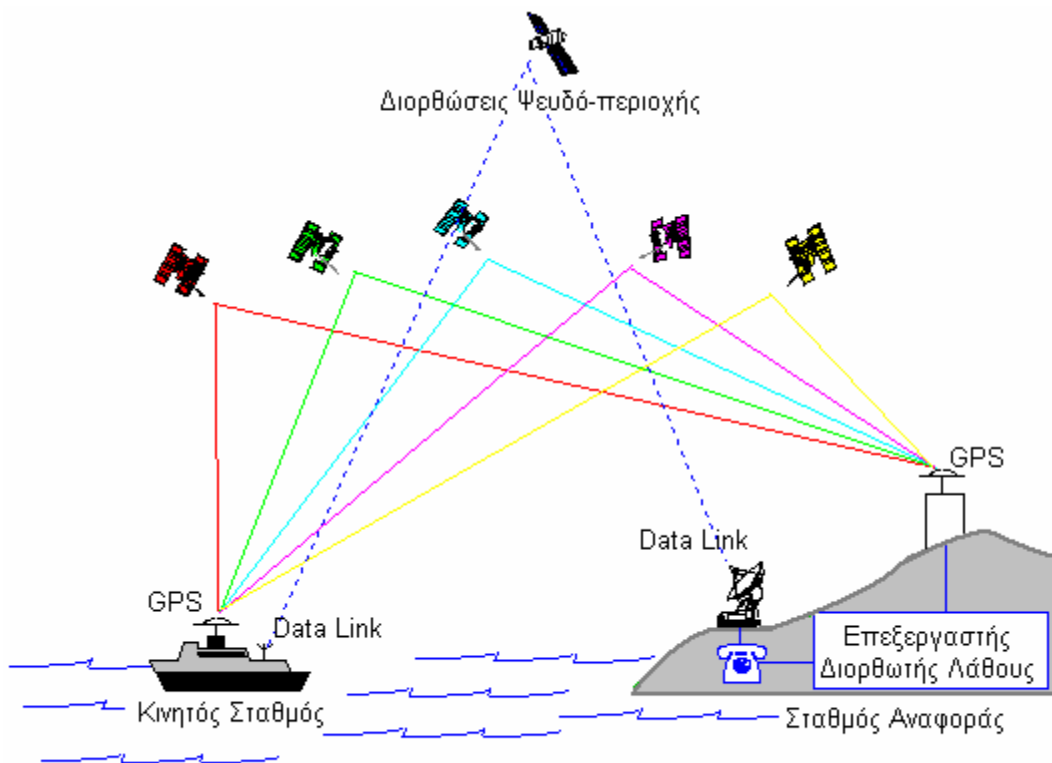
Τι είναι το Διαφορικό GPS

Το Διαφορικό GPS (Differential GPS) διορθώνει τις διάφορες ανακρίβειες που υπάρχουν στο απλό σύστημα GPS, αυξάνοντας ακόμη περισσότερο την ακρίβειά του. Το Διαφορικό GPS ή DGPS είναι ένα παγκόσμιο σύστημα μέτρησης ικανό να δώσει μετρήσεις με ακρίβεια μερικών μέτρων σε κινούμενα μέσα (πλοία, αεροπλάνα) και να προσδιορίζει στάσιμες γεωγραφικές θέσεις πάνω στη γη με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Για το λόγο αυτό εφαρμόζεται στη ναυσιπλοΐα, στις χερσαίες και παράκτιες έρευνες και χαρτογραφήσεις κ.λ.π.

Πώς λειτουργεί ένα Διαφορικό GPS;

Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίζεται το DGPS είναι ότι τα σφάλματα που γίνονται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου σε μία περιοχή, είναι παρόμοια με τα σφάλματα για όλα τα σημεία που βρίσκονται μέσα σε αυτή την (τοπική) περιοχή. Έτσι, σε ένα σταθερό σημείο του οποίου οι συντεταγμένες έχουν μετρηθεί με ακρίβεια και η πραγματική του θέση είναι γνωστή, στήνεται ένας DGPS σταθμός αναφοράς (reference station). Ο σταθμός αναφοράς δέχεται και αυτός τα ίδια σήματα που δέχονται και οι GPS δέκτες από τους δορυφόρους. Κατόπιν, υπολογίζεται η θέση του σταθμού μέσω των σημάτων αυτών, και συγκρίνεται με την πραγματική θέση η οποία, όπως αναφέραμε, είναι εκ των προτέρων γνωστή. Καθώς τα σήματα επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, σχεδόν πάντα θα υπάρχει μία διαφορά μεταξύ της πραγματικής θέσης και της θέσης που δίνει το GPS σύστημα. Η διαφορά που προκύπτει ονομάζεται *παράγοντας διόρθωσης λάθους* και, όπως είναι φυσικό, η ίδια διαφορά θα ισχύει και για όλα τα συστήματα GPS που κινούνται (mobile stations) μέσα σε μία μεγάλη περιοχή (εκατοντάδων χιλιομέτρων) γύρω από το σταθμό αναφοράς. Έτσι, ο DGPS σταθμός αναφοράς μεταδίδει τον παράγοντα αυτό στους χρήστες των GPS που κινούνται μέσα στην περιοχή αυτή, οι οποίοι τον χρησιμοποιούν για να διορθώσουν τις μετρήσεις τους. Βέβαια, απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει αυτό, αποτελεί η δυνατότητα των GPS δεκτών των χρηστών να λαμβάνουν σήματα από έναν DGPS σταθμό αναφοράς.

Αυτό επιτυγχάνεται με το σύνδεσμο δεδομένων (data link), ο οποίος παρέχει τη σύνδεση μεταξύ του σταθμού αναφοράς με τον κινητό σταθμό (σχήμα 13).



Σχήμα 13. Differential G.P.S.

Το πρόβλημα που προκύπτει εδώ είναι ότι ο σταθμός αναφοράς δε γνωρίζει ποιους δορυφόρους χρησιμοποιεί ο κινούμενος GPS δέκτης για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων πάνω στη γη, και έτσι δεν μπορεί να υπολογίσει τον παράγοντα διόρθωσης λάθους για κάποιον δέκτη. Ουμνηθείτε ότι οι GPS δέκτες χρησιμοποιούν τα ραδιο-σήματα από τέσσερις τουλάχιστον δορυφόρους για να προσδιορίσουν τη γεωγραφική τους θέση. Για το λόγο αυτό, ο σταθμός αναφοράς υπολογίζει τα σφάλματα καθυστέρησης του σήματος για όλους τους δορυφόρους που ανιχνεύει, και ακολούθως μεταδίδει κωδικοποιημένη αυτή την πληροφορία, μέσω ειδικών συσκευών εκπομπής σημάτων, στους GPS δέκτες που κινούνται στην περιοχή. Για παράδειγμα, ένας σταθμός αναφοράς μπορεί να μεταδώσει προς τους δέκτες την εξής πληροφορία: "Αυτή τη στιγμή, το σήμα του δορυφόρου #1 έχει καθυστέρηση δέκα νάνο-δευτερόλεπτα, του δορυφόρου #2 τρία νάνο-δευτερόλεπτα, του δορυφόρου #3 δεκαέξι νάνο-δευτερόλεπτα, ...". Επίσης, μαζί με τα σφάλματα καθυστέρησης των σημάτων από τους δορυφόρους, ο σταθμός αναφοράς μεταδίδει και το ρυθμό μεταβολής των σφαλμάτων αυτών. Οι δέκτες λαμβάνουν όλα αυτά τα δεδομένα και κάνουν τις κατάλληλες διορθώσεις ανάλογα με τους δορυφόρους που χρησιμοποιούν.

Στο παρελθόν οι σταθμοί αναφοράς κατασκευάζονταν από ιδιωτικές επιχειρήσεις οι οποίες εκτελούσαν μεγάλα προγράμματα που απαιτούσαν υψηλή ακρίβεια. Σήμερα, υπάρχουν αρκετοί διεθνείς οργανισμοί και υπηρεσίες στο εξωτερικό (π.χ., ακτοφυλακή), οι οποίες κατασκεύασαν σταθμούς αναφοράς σε πολλά σημεία, και ειδικά γύρω από μεγάλα λιμάνια και πορθμεία, οι οποίοι μεταδίδουν τις πληροφορίες διόρθωσης των δορυφορικών σημάτων δωρεάν!

Αυτοί οι σταθμοί μεταδίδουν συχνά ραδιο-αναγνωριστικά σήματα, τα οποία εφαρμόζονται στη ραδιο-διόπτευση (συνήθως στη συχνότητα των 300 KHz). Οποιοσδήποτε βρίσκεται στην περιοχή μπορεί να λάβει αυτά τα σήματα διόρθωσης και να βελτιώσει ριζικά την ακρίβεια των GPS μετρήσεων. Τα περισσότερα σκάφη είναι ήδη εξοπλισμένα με κατάλληλες ραδιο-συσκευές, οι οποίες συντονίζονται στις

συχνότητες εκπομπής σημάτων διόπτευσης, και έτσι η προσθήκη DGPS συσκευών είναι αρκετά εύκολη. Πολλοί νέοι GPS δέκτες είναι εξοπλισμένοι με ενσωματωμένους ραδιο-δέκτες και είναι σχεδιασμένοι να δέχονται αυτές τις διορθώσεις.

B. TO WAAS (Wide Area Augmentation System)

Τι είναι το WAAS

Το WAAS είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από δορυφόρους και επίγειους σταθμούς, το οποίο κάνει διορθώσεις στο σήμα του GPS, παρέχοντας έτσι καλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσεων. Ένας δέκτης WAAS που λειτουργεί με αυτό το σύστημα μπορεί να προσδιορίσει μία θέση με ακρίβεια μικρότερη των τριών μέτρων. Επίσης, αντίθετα από ότι γίνεται με DGPS, ένας χρήστης του GPS δε χρειάζεται να αγοράσει κάποια επιπλέον συσκευή λήψης ή να πληρώσει κάποια υπηρεσία, για να χρησιμοποιήσει το WAAS.

Το WAAS είναι ιδανικό για να εφαρμοστεί σε μεγάλες ανοικτές εκτάσεις και στη ναυτιλία. Το WAAS παρέχει καλύτερη κάλυψη στα νησιά και στις παραθαλάσσιες περιοχές από ότι παρέχει το DGPS σύστημα. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε από την Ομοσπονδιακή Αεροπορική Διοίκηση (Federal Aviation Administration) και το Υπουργείο Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από τα όργανα προσγείωσης των αεροπλάνων για την ακριβή και ασφαλή προσέγγισή τους στα αεροδρόμια. Το WAAS διορθώνει τα σφάλματα που προκαλούνται στο σήμα του GPS από την ιονόσφαιρα, από το συγχρονισμό των δορυφόρων με τους δέκτες, και από τις αποκλίσεις στις τροχιές των δορυφόρων και παρέχει ζωτικής σημασίας πληροφορίες για την κατάσταση κάθε GPS δορυφόρου.

Πώς λειτουργεί το WAAS

Το WAAS αποτελείται από 25 επίγειους σταθμούς αναφοράς περίπου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στις Ηνωμένες Πολιτείες και καταγράφουν τα δεδομένα από τους GPS δορυφόρους. Δύο κύριοι σταθμοί, οι οποίοι βρίσκονται ο ένας στην ανατολική και ο άλλος στη δυτική ακτή, συλλέγουν τα δεδομένα από τους σταθμούς αναφοράς και δημιουργούν ένα διαφορικό (differential) μήνυμα, το οποίο περιέχει πληροφορίες διόρθωσης. Αυτές οι διορθώσεις αφορούν τις τροχιές των GPS δορυφόρων, τη λειτουργία των ρολογιών τους και τα σφάλματα που προκαλούνται στο σήμα τους από την ιονόσφαιρα και την ατμόσφαιρα. Κατόπιν, το μήνυμα με τις πληροφορίες διόρθωσης μεταδίδεται στους δέκτες, μέσω ενός ή δύο γεωστατικών δορυφόρων ή μέσω δορυφόρων, οι οποίοι έχουν σταθερή θέση πάνω από τον ισημερινό. Οι δορυφόροι αυτοί μπορούν να παρέχουν πληροφορίες διόρθωσης για μία ολόκληρη ήπειρο. Η δομή του σήματος που περιέχει αυτές τις πληροφορίες είναι συμβατή με τη δομή του βασικού GPS σήματος. Έτσι, ένας οποιοσδήποτε GPS δέκτης που είναι κατάλληλα ρυθμισμένος για να συνεργάζεται με το WAAS, μπορεί να λαμβάνει το σήμα με τις διορθωτικές πληροφορίες.

Εκτός από τις Ηνωμένες Πολιτείες, και άλλα κράτη έχουν αναπτύξει παρόμοια με το WAAS διαφορικά συστήματα. Η Ιαπωνία ανέπτυξε το MSAS (Multi-Functional Satellite Augmentation System), ενώ στην Ευρώπη υπάρχει το EGNOS (Euro Geostationary Navigation Overlay Service). Επίσης, πολλοί ιδιωτικοί φορείς και εταιρείες διαθέτουν τέτοια εξελιγμένα συστήματα για τη βελτίωση της παροχής υπηρεσιών στους χρήστες

του GPS. Αυτά τα συστήματα καλύπτουν μία ευρεία γεωγραφική περιοχή, και, πολλές φορές, ακόμη και μία ολόκληρη ήπειρο.

Γ. Ο ΨΕΥΔΟ-GPS ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ

Ένας άλλος τύπος εξελιγμένου GPS συστήματος χρησιμοποιεί έναν επίγειο πομπό ο οποίος μεταδίδει σήματα ίδια με αυτά που μεταδίδουν οι δορυφόροι. Έτσι, ο πομπός αυτός λειτουργεί σαν ένας ψευδο-GPS δορυφόρος (pseudolite) και είναι χρήσιμος στις περιπτώσεις όπου τα GPS σήματα από τους δορυφόρους παγιδεύονται ή παρεμποδίζονται σε μέρη όπως χαράδρες, φαράγγια, σε πυκνά δάση, σε οροπέδια κ.λ.π. Έτσι, ο πομπός αυτός λειτουργεί ως μία επιπλέον πηγή μετάδοσης GPS σημάτων με αποτέλεσμα να βελτιώνονται οι υπηρεσίες που προσφέρει το GPS. Οι πομποί αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν σε σταθερά ή σε κινητά σημεία, και ανάλογα με τις συνθήκες που υπάρχουν τοπικά, μπορούν να μεταδίδουν τα σήματα σε συχνότητες παρόμοιες ή διαφορετικές από τις συχνότητες του GPS σήματος.

Το Έβερεστ ψηλώνει;

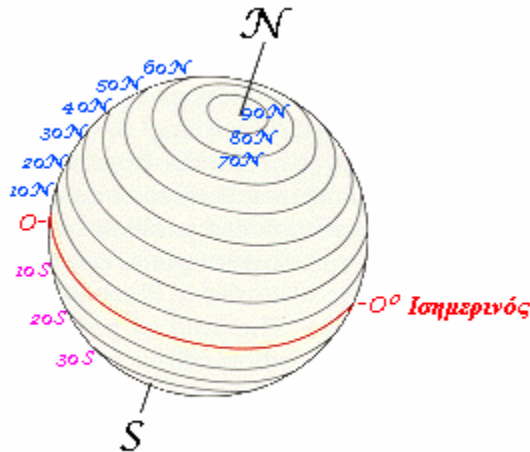
Ο Δρ. Washburn, θέτοντας με μεγάλη ακρίβεια κάποια σημεία αναφοράς στην περιοχή των Ιμαλαΐων και με τη βοήθεια εξελιγμένων συστημάτων GPS, βρήκε ότι το ύψος του Έβερεστ αυξάνει με το χρόνο. Από τις αρχές του 1995, ο Δρ. Washburn και η ομάδα του, χρησιμοποιώντας εξελιγμένα συστήματα GPS, έκανε μία σειρά από μετρήσεις γύρω από το Έβερεστ. Σκοπός τους ήταν να πραγματοποιήσουν, για μεγάλο χρονικό διάστημα, κάποιες μετρήσεις πάνω από τα 8.000 μ. και να εξετάσουν τη ροή του παγετώνα Khumbu στην περιοχή του Έβερεστ. Για το σκοπό αυτό εγκατέστησαν πολλά GPS συστήματα επάνω και γύρω από το βουνό σε σημεία κλειδιά, συγκεντρώνοντας έτσι πολλά χρήσιμα στοιχεία. Το μόνο πρόβλημα ήταν η έλλειψη ανάλογων στοιχείων από την κορυφή του Έβερεστ, το οποίο λύθηκε το Μάιο του 1996 από μία Αμερικάνικη αποστολή μαζί με Νεπαλέζους. Τα δεδομένα που συνέλεξαν ήταν αποκαλυπτικά: καθώς ο παγετώνας Khumbu κινείται προς τα κάτω, το βουνό ψηλώνει.

5. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

Οι τοπογραφικοί χάρτες χρησιμοποιούν δύο συστήματα πλέγματος: αυτό του γεωγραφικού πλάτους και μήκους ή L/L (latitude/longitude), και το Universal Transverse Mercator (UTM). Ο περισσότερος κόσμος γνωρίζει το L/L και είναι περισσότερο εξοικειωμένος με αυτό το σύστημα από ότι με το UTM, αν και το UTM είναι πολύ πιο εύκολο να χρησιμοποιηθεί στους τοπογραφικούς χάρτες.

A. Γεωγραφικό πλάτος και μήκος

Στο σύστημα L/L, οι παράλληλες προς τον ισημερινό γραμμές (σχήμα 14) ονομάζονται "παράλληλοι" ή γραμμές γεωγραφικού πλάτους, οι οποίες ξεκινούν από τον Ισημερινό με κατεύθυνση προς τους πόλους και προσδιορίζουν το γεωγραφικό πλάτος (latitude) ενός σημείου. Ουσιαστικά το γεωγραφικό πλάτος, προσδιορίζει τη θέση ενός σημείου πάνω στη γη σε σχέση με τον ισημερινό, δηλ. πόσο βόρεια ή νότια του ισημερινού βρίσκεται αυτό. Ο ισημερινός θεωρείται για τους παράλληλους η αφετηρία (0°) για την αρίθμηση των μοιρών του γεωγραφικού πλάτους. Κάθε μοίρα αντιστοιχεί με μία "παράλληλη" γραμμή και κάθε γραμμή απέχει από την επόμενη περίπου 111 χλμ. Για να δηλώσουμε ότι ένας παράλληλος βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο, θέτουμε, μπροστά από τις μοίρες, το γράμμα N (από το North, Βορράς), ενώ για να δηλώσουμε ότι ο παράλληλος βρίσκεται στο νότιο ημισφαίριο θέτουμε το γράμμα S (από το South, Νότος). Έτσι, για παράδειγμα, όταν γράφουμε N 35° αυτό σημαίνει ότι βρισκόμαστε στον 35ο παράλληλο ή στο γεωγραφικό μήκος των 35 μοιρών βόρεια του Ισημερινού, ενώ όταν γράφουμε S 35° σημαίνει ότι βρισκόμαστε στον 35ο παράλληλο ή στο γεωγραφικό μήκος των 35 μοιρών νότια του Ισημερινού.

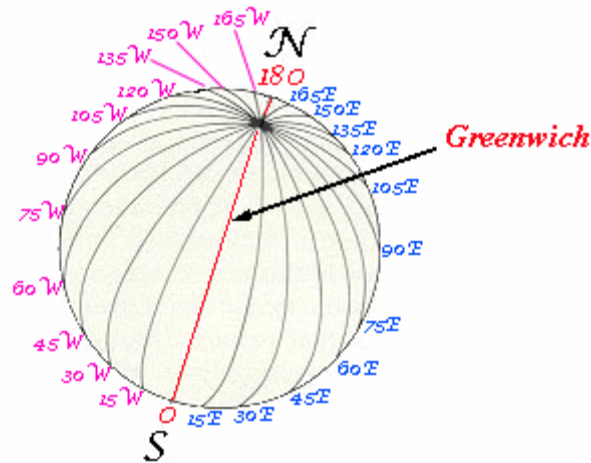


Σχήμα 14. Γραμμές Γεωγραφικού Πλάτους

Οι κάθετες προς τον ισημερινό γραμμές (σχήμα 15) ονομάζονται "μεσημβρινοί" και προσδιορίζουν το γεωγραφικό μήκος (longitude) ενός σημείου. Ουσιαστικά το γεωγραφικό μήκος, προσδιορίζει τη θέση ενός σημείου πάνω στη γη σε σχέση με τον μεσημβρινό που περνάει από το προάστιο Greenwich του Λονδίνου, δηλ. πόσο ανατολικά ή δυτικά του Greenwich βρίσκεται. Το Greenwich θεωρείται για τους "μεσημβρινούς" η αφετηρία για την αρίθμηση των μοιρών του γεωγραφικού μήκους, το οποίο έχει 0° . Όπως και στους παράλληλους έτσι και εδώ, κάθε μοίρα αντιστοιχεί με μία "μεσημβρινή" γραμμή και κάθε γραμμή απέχει από την επόμενη περίπου 111 χλμ. Η απόσταση αυτή ισχύει στο ύψος του ισημερινού γιατί όσο οι μεσημβρινές

γραμμές κατευθύνονται προς τους πόλους αυτές συγκλίνουν συνεχώς μέχρι που στους πόλους ενώνονται. Για να δηλώσουμε ότι μία μεσημβρινή γραμμή βρίσκεται δυτικά του Greenwich, θέτουμε μπροστά από τις μοίρες το γράμμα W (από το West, Δύση), ενώ για να δηλώσουμε ότι η μεσημβρινή γραμμή βρίσκεται ανατολικά του Greenwich θέτουμε το γράμμα E (από το East, Ανατολή). Έτσι, για παράδειγμα, όταν γράφουμε W 20° αυτό σημαίνει ότι βρισκόμαστε στον 20ο μεσημβρινό ή στο γεωγραφικό μήκος των 20 μοιρών, δυτικά του Greenwich, ενώ όταν γράφουμε E 20° σημαίνει ότι βρισκόμαστε στον 20ο μεσημβρινό ή στο γεωγραφικό μήκος των 20 μοιρών, ανατολικά του Greenwich.

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ του 34ου και 41ου παράλληλου βόρεια του ισημερινού και μεταξύ του 19ου και 29ου μεσημβρινού, ανατολικά του Greenwich. Έτσι, για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της Ελλάδας γράφουμε: N 34°–41° και E 19°–29°.



Σχήμα 15. Γραμμές Γεωγραφικού Μήκους

B. UTM

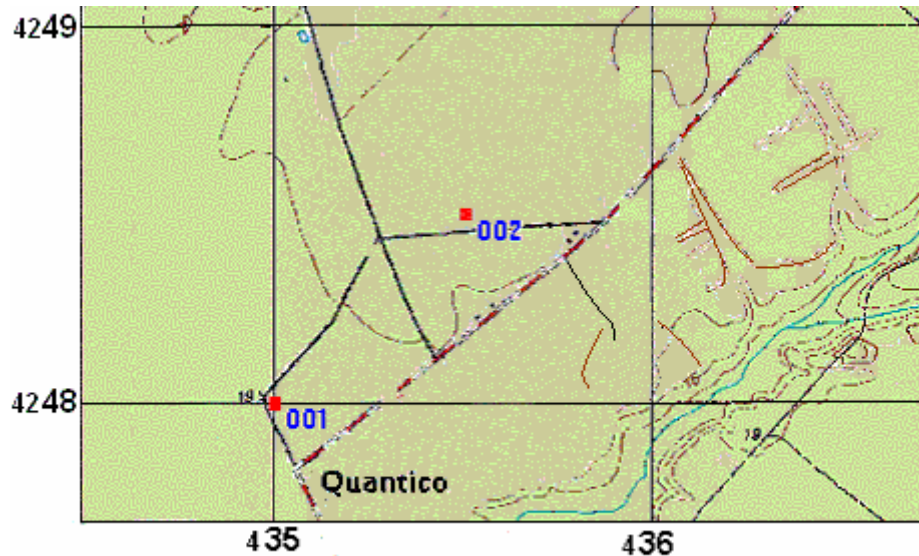
Στο σύστημα UTM, η γη χωρίζεται σε 60 ίσες ζώνες από τη Δύση μέχρι την Ανατολή. Για παράδειγμα, η Δυτική ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών ανήκει στη ζώνη 10 ενώ η Ανατολική στη ζώνη 18. Μπορείτε να βρείτε σε ποια ζώνη βρίσκεστε στην ιστοσελίδα: <http://www.dmap.co.uk/utmworld.html>

Στους τοπογραφικούς χάρτες θα δείτε σε κάποια σημεία να αναφέρεται το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, αλλά επίσης θα δείτε και σε αρκετά άλλα σημεία να αναφέρεται το UTM. Στους περισσότερους καινούργιους χάρτες, αντί για σημεία υπάρχουν οι οριζόντιες και κάθετες γραμμές οι οποίες διασχίζουν όλον το χάρτη. Η απόσταση μεταξύ δύο γραμμών στο UTM σύστημα, είναι 1 χλμ. Για κάθε κάθετη γραμμή του πλέγματος, υπάρχει ένας αριθμός, στο κάτω και στο επάνω μέρος των UTM τοπογραφικών χαρτών, ο οποίος δείχνει πόσα χιλιόμετρα απέχει η κάθετη γραμμή, με κατεύθυνση προς τα Ανατολικά, από τη ζώνη εκκίνησης. Για κάθε οριζόντια γραμμή του πλέγματος, υπάρχει ένας αριθμός, στις πλευρές των UTM τοπογραφικών χαρτών, ο οποίος δείχνει πόσα χιλιόμετρα απέχει η οριζόντια γραμμή, με κατεύθυνση προς το Βορρά (στο βόρειο ημισφαίριο), από τον ισημερινό. Στο νότιο ημισφαίριο, η αρίθμηση αρχίζει από το 10.000, στον ισημερινό, και μειώνεται προς το Νότο.

Στην πράξη τρία επιπλέον ψηφία προστίθενται στο τέλος κάθε αριθμού γραμμής. Τα τρία αυτά τελευταία ψηφία, για μεν τις κάθετες γραμμές του πλέγματος, δείχνουν

πόσα μέτρα ανατολικά απέχει η θέση ενός σημείου στο χάρτη από την πλησιέστερη κάθετη γραμμή, ενώ για τις οριζόντιες γραμμές του πλέγματος, δείχνουν πόσα μέτρα βόρεια απέχει η θέση ενός σημείου στο χάρτη από την πλησιέστερη οριζόντια γραμμή.

Για να κατανοήσετε καλύτερα τα παραπάνω, ας δούμε δύο παραδείγματα. Στο χάρτη του σχήματος 16, θα δείτε ένα σημείο προορισμού (waypoint), το οποίο αναφέρεται με την ετικέτα 001. Προσέξτε ότι αυτό βρίσκεται ακριβώς στη τομή μιας οριζόντιας και μιας κάθετης γραμμής του πλέγματος.



Σχήμα 16. Χάρτης με UTM συντεταγμένες

Οι UTM συντεταγμένες για το σημείο αυτό είναι οι εξής:

18 435000 E
4248000 N

Ας αναλύσουμε αυτούς τους UTM αριθμούς για τη θέση 001:

- Το 18 είναι ο αριθμός της ζώνης.
- Ο αριθμός 435000 E μας δείχνει την κοντινότερη (προς τα ανατολικά) κάθετη γραμμή του πλέγματος που βρίσκεται το σημείο αυτό και πόσα μέτρα προς τα ανατολικά απέχει το σημείο από τη γραμμή αυτή. Κοιτάξτε στο χάρτη πάλι. Θα προσέξετε ότι το σημείο 001 είναι ακριβώς στην κάθετη γραμμή του πλέγματος με αριθμό 435. Επειδή βρίσκεται 0 μέτρα ανατολικά από αυτή τη γραμμή, τα 3 τελευταία ψηφία του σημείου είναι 000. Το γράμμα E αναφέρεται στη λέξη Ανατολικά (East).
- Ο αριθμός 4248000 N μας δείχνει, αντίστοιχα, την κοντινότερη (προς τα βόρεια) οριζόντια γραμμή του πλέγματος που βρίσκεται το σημείο αυτό και πόσα μέτρα προς τα βόρεια απέχει το σημείο από τη γραμμή αυτή. Προσέξτε στο χάρτη ότι το σημείο 001 είναι ακριβώς στην οριζόντια γραμμή του πλέγματος με αριθμό 4248. Επειδή βρίσκεται 0 μέτρα βόρεια από αυτή τη γραμμή, τα 3 τελευταία ψηφία του σημείου είναι 000. Το γράμμα N αναφέρεται στη λέξη Βόρεια (North).

Στο δεύτερο παράδειγμα, θα δείτε επίσης άλλο ένα σημείο (waypoint), το οποίο αναφέρεται με την ετικέτα 002. Αυτό βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο ενός τετραγώνου του πλέγματος. Οι UTM συντεταγμένες για το σημείο αυτό είναι οι εξής:

18 **435**500 E

4248500 N

Ας αναλύσουμε αυτούς τους UTM αριθμούς για τη θέση 002:

- Το 18 είναι πάλι ο αριθμός της ζώνης.
- Ο αριθμός **435**500 E μας δείχνει, όπως στο προηγούμενο παράδειγμα, την κοντινότερη (προς τα ανατολικά) κάθετη γραμμή του πλέγματος που βρίσκεται το σημείο αυτό και πόσα μέτρα προς τα ανατολικά απέχει το σημείο από τη γραμμή αυτή. Θα προσέξετε ότι το σημείο 002 είναι στη μέση των δύο κάθετων γραμμών του πλέγματος με αριθμό **435** και **436**. Η απόσταση των δύο αυτών γραμμών είναι 1000 μέτρα, άρα βρισκόμενο στη μέση το σημείο απέχει 500 μ. ανατολικά από τη γραμμή 435. Οπότε, τα 3 τελευταία ψηφία του σημείου είναι 500. Το γράμμα E αναφέρεται στη λέξη Ανατολικά (East).
- Ο αριθμός **4248**500 N μας δείχνει, αντίστοιχα, την κοντινότερη (προς τα βόρεια) οριζόντια γραμμή του πλέγματος που βρίσκεται το σημείο αυτό και πόσα μέτρα προς τα βόρεια απέχει το σημείο από τη γραμμή αυτή. Προσέξετε στο χάρτη ότι το σημείο 002 είναι στη μέση των δύο οριζοντίων γραμμών του πλέγματος με αριθμό **4248** και **4249**, άρα βρίσκεται 500 μ. βόρεια της γραμμής **4248**. Οπότε τα 3 τελευταία ψηφία της θέσης είναι 500. Το γράμμα N αναφέρεται στη λέξη Βόρεια (North).

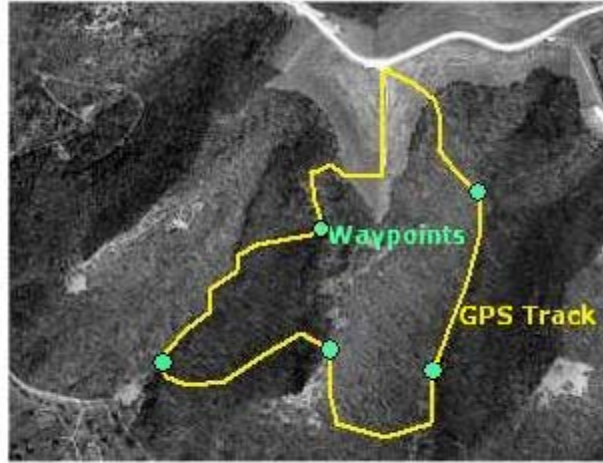
Στα παραπάνω παραδείγματα ήταν εύκολο να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των σημείων γιατί η θέση τους ήταν είτε επάνω στην τομή των γραμμών του πλέγματος, είτε στη μέση τους. Τι συμβαίνει όμως αν ένα σημείο βρίσκεται σε άλλη θέση; Η απάντηση σε αυτό το πρόβλημα είναι πολύ απλή. Μετρήστε την απόσταση του σημείου από την αντίστοιχη γραμμή του πλέγματος και πολλαπλασιάστε την απόσταση αυτή με την κλίμακα του χάρτη. Έτσι θα βρείτε πόσα μέτρα απέχει το σημείο από τη γραμμή, και ακολούθως θα ορίσετε τα 3 τελευταία ψηφία των UTM συντεταγμένων.

6. ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ (Waypoints) - ΙΧΝΗ (tracks)

Από τη στιγμή που έχετε προσδιορίσει τις συντεταγμένες (latitude/longitude ή UTM) του σημείου προς το οποίο θέλετε να κατευθυνθείτε (waypoint), τις εισάγετε στην συσκευή GPS. Βεβαιωθείτε πρώτα ότι η συσκευή σας GPS δουλεύει με το ανάλογο σύστημα πλέγματος (latitude/longitude ή UTM). Κατόπιν, απλά επιλέγετε αυτό το σημείο και χρησιμοποιείται την εντολή GO_TO (ή NAVIGATION) της συσκευής σας. Αμέσως θα σας δείξει την απόσταση που απέχετε από το σημείο αυτό και την κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσετε από το σημείο που βρίσκεστε (η συσκευή σας γνωρίζει που βρίσκεστε). Αυτό που έχετε να κάνετε είναι να βρείτε, με μία πυξίδα, την κατεύθυνση προς την οποία πρόκειται να κατευθυνθείτε, και να αρχίσετε να κατευθύνεστε προς τα εκεί (περισσότερες λεπτομέρειες για χρήση της πυξίδας και χάραξη πορείας, δείτε το άρθρο *Προσανατολισμός*). Αν εσείς πρέπει να κάνετε ένα μεγάλο κύκλο για να αποφύγετε κάποιο εμπόδιο, μη σας ανησυχεί αυτό. Απλά να συμβουλευέστε το GPS σας, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και αυτό θα σας δίνει την καινούργια κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσετε, και την απόσταση που απέχετε από το σημείο προορισμού. Κάποιες συσκευές σήμερα, διαθέτουν μία οθόνη σχεδίασης στην οποία αναπαριστούν τη διαδρομή που έχετε περπατήσει, με μία γραμμή (track) (βλ. σχήμα 17), και το σημείο προορισμού, με ένα σύμβολο. Παρατηρώντας αυτά τα δύο, μπορείτε να δείτε πόση απόσταση έχετε διανύσει και πόσο απέχετε από το σημείο προορισμού σας.

Όταν κινείστε σε μία διαδρομή μπορείτε να βάλετε τη συσκευή σας να αποθηκεύει αυτόματα, σε ένα αρχείο, τις συντεταγμένες κάποιων σημείων της διαδρομής. Με αυτό τον τρόπο μπορείτε να καταγράψετε τη διαδρομή που ακολουθήσατε και σας δίνεται η δυνατότητα να γυρίσετε προς τα πίσω με ασφάλεια, ακολουθώντας τα σημεία αυτά προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή, σαν να αφήσατε ίχνη από εκεί που περάσατε (tracks). Η διαφορά με τα σημεία προορισμού (waypoints) είναι ότι στα ίχνη η καταγραφή των συντεταγμένων τους γίνεται αυτόματα από τη συσκευή και με ρυθμό που έχει ορίσει ο χρήστης, ενώ στα σημεία προορισμού οι συντεταγμένες τους εισάγονται από τον ίδιο το χρήστη. Για να καταγράφονται τα ίχνη, ο δέκτης δημιουργεί ένα αρχείο στο οποίο αποθηκεύονται οι συντεταγμένες των ιχνών (track log). Το μέγεθος του αρχείου αυτού διαφέρει από συσκευή σε συσκευή και για το λόγο αυτό ο χρήστης θα πρέπει, ανάλογα τη συσκευή που χρησιμοποιεί, να ορίσει το ρυθμό με τον οποίο καταγράφονται τα ίχνη και να ελέγχει κάθε τόσο αν το αρχείο έχει γεμίσει.

Το αρχείο μιας διαδρομής μπορεί να φορτωθεί από τη συσκευή GPS σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή και να επεξεργαστεί μαζί με τον ανάλογο ηλεκτρονικό χάρτη της περιοχής (σχήμα 17). Φυσικά μπορεί να γίνει και το αντίθετο, το αρχείο μιας υπάρχουσας διαδρομής μπορεί να το φορτώσει κάποιος στη συσκευή του, και ακολούθως να ακολουθήσει τα tracks του αρχείου.



Σχήμα 17. Στο χάρτη απεικονίζονται το track μιας διαδρομής μαζί με 5 waypoints

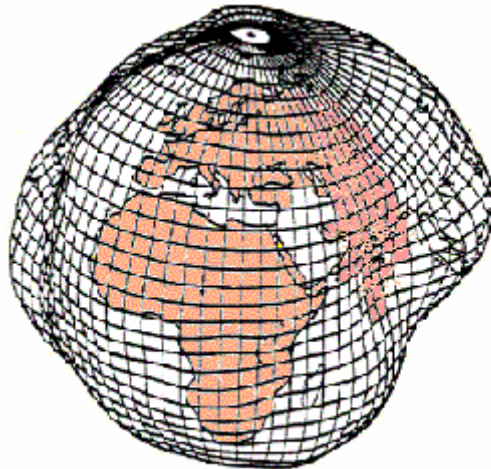
7. DATUM

Με απλά λόγια, το datum είναι ένα μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για τον ορισμό της θέσης του κέντρου της Γης. Η θέση του κέντρου της γης, χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για να υπολογίζονται οι συντεταγμένες ενός σημείου πάνω στην επιφάνειά της. Παρακάτω αναλύουμε με λεπτομέρεια την έννοια του datum.

Το σχήμα της γης

Η επιφάνεια της γης δεν είναι παντού ομοιόμορφη. Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι ωκεανοί, των οποίων οι επιφάνειες παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις ως προς το ύψος, αντίθετα από ό,τι συμβαίνει στην επιφάνεια της ξηράς. Στα βουνά η επιφάνεια ορθώνεται, στα φαράγγια βυθίζεται και μόνο στις κοιλάδες παραμένει επίπεδη. Έτσι, είναι αδύνατο να υπολογιστεί προσεγγιστικά το σχήμα της γης με ένα σχετικά απλό μαθηματικό μοντέλο.

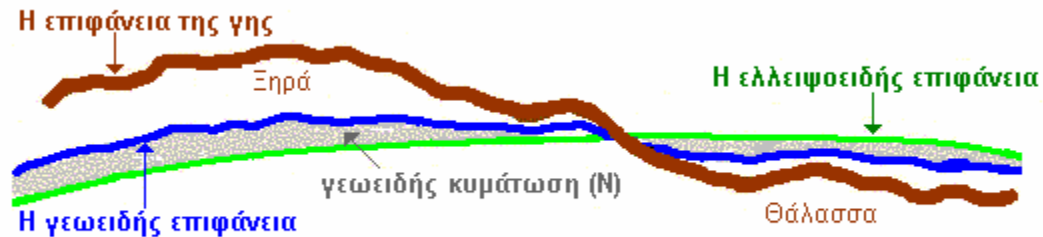
Για να απλοποιήσουμε αυτή την κατάσταση, ας υποθέσουμε ότι προεκτείνουμε τους ωκεανούς κάτω από την επιφάνεια της ξηράς και αφήνουμε το νερό να ρέει ελεύθερα παντού. Αν εμείς θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν φαινόμενα της παλίρροιας καθώς επίσης και θαλάσσια ρεύματα σε αυτό τον "παγκόσμιο ωκεανό", τότε το σχήμα της υδάτινης επιφάνειάς του θα επηρεάζεται μόνο από τη δύναμη της βαρύτητας. Όμως, καθώς η διεύθυνση της βαρύτητας εξαρτάται από την κατανομή της μάζας στο εσωτερικό της γης και επειδή η κατανομή δεν είναι ομοιόμορφη, η διεύθυνση της βαρύτητας θα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η επιφάνεια του υποθετικού "παγκόσμιου ωκεανού" να μην είναι ομαλή αλλά κυματοειδής. Αυτή η επιφάνεια ονομάζεται *γεωειδής* (geoid), και σε κάθε σημείο της η διεύθυνση της βαρύτητας είναι κάθετη στην επιφάνεια (σχήμα 18).



Σχήμα 18. Η γεωειδής επιφάνεια (15000:1)

Αν η μάζα της γης κατανέμονταν ομοιόμορφα και η επιφάνεια της ξηράς ήταν ομαλή χωρίς να παρουσιάζει υψώματα και κοιλάματα, τότε η γεωειδής επιφάνεια, στην ιδανική αυτή κατάσταση, θα είχε το σχήμα μιας ελλειψοειδούς επιφάνειας πεπλατυσμένης στους πόλους και κεντραρισμένης στο κέντρο μάζας της γης. Δυστυχώς όμως, αυτό δεν ισχύει. Εκεί όπου η μάζα είναι λιγότερη, η γεωειδής επιφάνεια βυθίζεται πιο κάτω από την ελλειψοειδή επιφάνεια της ιδανικής κατάστασης. Αντίθετα, όπου υπάρχει περισσότερη μάζα, η γεωειδής επιφάνεια

ανυψώνεται πιο πάνω από την ελλειψοειδή επιφάνεια. Έτσι, το σχήμα της γεωειδούς επιφάνειας αποκλίνει, σε πολλά σημεία, από το σχήμα της ελλειψοειδούς επιφάνειας. Η απόκλιση αυτή μπορεί να φθάσει ± 100 μ. και ονομάζεται *γεωειδής κυμάτωση* (geoid undulation). Στο σχήμα 19, απεικονίζεται η σχέση μεταξύ των επιφανειών της γης, της γεωειδούς και της ελλειψοειδούς καθώς και η γεωειδής κυμάτωση (N).



Σχήμα 19. Η επιφάνεια της γης, σε σχέση με τη γεωειδή και ελλειψοειδή επιφάνεια

Η μεγαλύτερη αρνητική γεωειδής κυμάτωση είναι στον Ινδικό Ωκεανό με $N = -100$ μέτρα και η μεγαλύτερη θετική στο βόρειο τμήμα του Ατλαντικού Ωκεανού με $N = +70$ μέτρα.

Η μέτρηση του υψόμετρου

Για να μετρήσουμε το ύψος ενός σημείου πάνω στην επιφάνεια της γης χρειαζόμαστε ένα επίπεδο αναφοράς. Ως ένα τέτοιο επίπεδο θεωρούμε το επίπεδο της θάλασσας και πιο συγκεκριμένα το επίπεδο της γεωειδούς επιφάνειας, η οποία, όπως αναφέραμε παραπάνω, είναι η κυματοειδής επιφάνεια ενός υποθετικού "παγκόσμιου ωκεανού".

Για το λόγο αυτό, το επίπεδο του νερού των ωκεανών καταγράφεται σε κάποια παραλιακά σημεία χρησιμοποιώντας ειδικά μηχανήματα, τα οποία μετράνε το μέγεθος της παλίρροιας. Η καταγραφή γίνεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα και λαμβάνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων. Το αποτέλεσμα δίνει ένα υδάτινο επίπεδο το οποίο προσεγγίζει το επίπεδο της γεωειδούς επιφάνειας και ονομάζεται *Μέσο Επίπεδο Θάλασσας* ή MSL (Mean Sea Level). Κάθε χώρα ή ένα σύνολο από χώρες έχουν τους δικούς τους σταθμούς καταγραφής του επιπέδου της θάλασσας. Για την Ολλανδία ο σταθμός μέτρησης της γεωδαιτικής παλίρροιας βρίσκεται στο Άμστερνταμ, για τη Γαλλία στη Μασσαλία, για την Ελλάδα στη Θεσσαλονίκη, κ.λ.π.

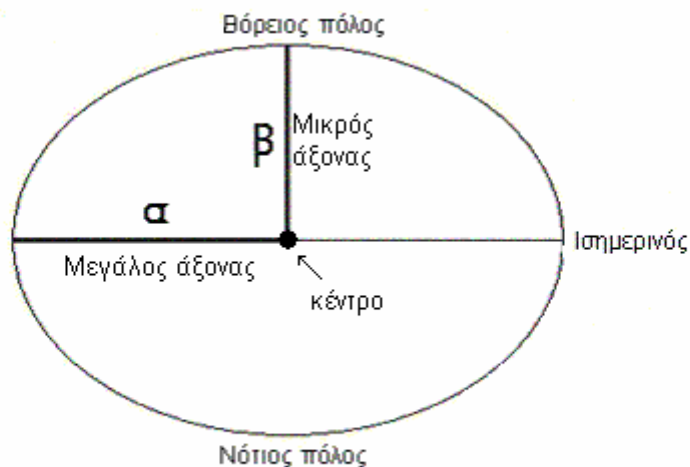
Με βάση το επίπεδο της θάλασσας που καταγράφουν οι σταθμοί αυτοί, και χρησιμοποιώντας τοπογραφικές τεχνικές μέτρησης υψόμετρων, υπολογίζεται το ύψος των σημείων στην επιφάνεια της ξηράς. Άρα, οι τιμές του ύψους των σημείων που βρίσκονται μέσα σε μία χώρα σχετίζονται με το αντίστοιχο μέσο επίπεδο θάλασσας που έχει μετρήσει ο σταθμός της χώρας, το οποίο λαμβάνεται ως επιφάνεια αναφοράς (datum). Για το λόγο αυτό οι τιμές αυτές ονομάζονται *κατακόρυφο datum* (vertical datum). Προσοχή πρέπει να δοθεί όταν μετράμε υψόμετρα και χρησιμοποιούμε το datum άλλης χώρας. Αυτό μπορεί να γίνει στα σύνορα δύο γειτονικών κρατών. Ακόμη και μέσα στην ίδια τη χώρα, τα υψόμετρα μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με ποιο σταθμό μέτρησης γεωδαιτικής παλίρροιας σχετίζονται αυτά. Για παράδειγμα, το MSL της ακτής του Ατλαντικού είναι μεγαλύτερο κατά 0.6 έως 0.7 μέτρα, από την ακτή του Ειρηνικού ωκεανού στις ΗΠΑ. Το MSL της Ολλανδίας είναι χαμηλότερο κατά 2.34 μέτρα από το MSL του Βελγίου.

Η ίδια προσοχή πρέπει να δοθεί όταν χρησιμοποιούμε το GPS για να κάνουμε μετρήσεις. Το datum του GPS πρέπει να ορισθεί ανάλογα, έτσι ώστε να ταιριάζουν τα

υψόμετρα που δίνει η συσκευή με αυτά που δίνονται στους τοπογραφικούς χάρτες, οι οποίοι έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με το MSL της χώρας που τους εκδίδει.

Τοπικής κλίμακας ελλειψοειδείς επιφάνειες, ως επιφάνειες αναφοράς για τον προσδιορισμό των θέσεων

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η ανομοιόμορφη κατανομή της μάζας στο εσωτερικό της γης έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της πυκνότητας της μάζας και άρα και τη μεταβολή της διεύθυνσης της βαρύτητας. Αυτό φανερώνεται και από το σχήμα της γεωειδούς επιφάνειας, η οποία σε κάποια σημεία είναι κυρτή και σε κάποια άλλα κοίλη. Επομένως, η γεωειδής επιφάνεια δεν είναι η κατάλληλη επιφάνεια αναφοράς για τον προσδιορισμό των θέσεων. Αν πρέπει να κάνουμε υπολογισμούς που αφορούν την απόσταση, την κατεύθυνση, κ.λ.π. των σημείων στην επιφάνεια της γης, χρειαζόμαστε ένα ομαλό γεωμετρικό σχήμα αναφοράς, όπως αυτό της έλλειψης. Μία ελλειψοειδής επιφάνεια (πεπλατυσμένη στους πόλους) θεωρείται κατάλληλη επιφάνεια αναφοράς για τον προσδιορισμό των θέσεων, καθώς αυτή ταιριάζει ως ένα βαθμό, με το σχήμα της γεωειδούς επιφάνειας. Για μικρής κλίμακας χαρτογράφηση μπορούμε, επίσης, να χρησιμοποιήσουμε και το σχήμα της σφαίρας. Στο σχήμα 20, απεικονίζεται η τομή μιας ελλειψοειδούς επιφάνειας και οι δύο άξονές της. Παρατηρούμε ότι ως κέντρο της γης θεωρείται το κέντρο της ελλειψοειδούς επιφάνειας.

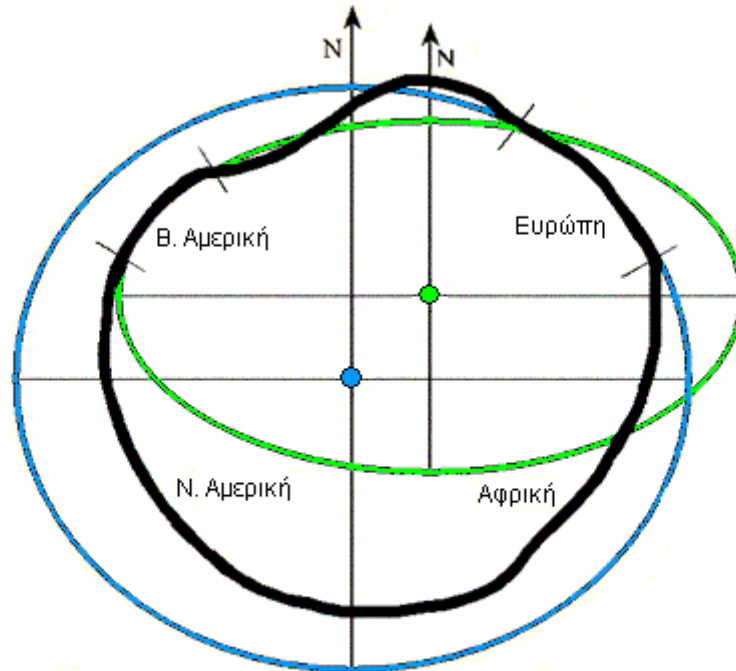


Σχήμα 20. Η τομή του μιας ελλειψοειδούς επιφάνειας με τους δύο άξονές του

Οι τοπογραφικοί χάρτες σχεδιάζονται σε σχέση με ένα *οριζόντιο datum* (αναφέρεται επίσης και σαν γεωδαιτικό datum ή datum αναφοράς) και οι γεωδαιτικές θέσεις προσδιορίζονται σύμφωνα με το datum αυτό. Ένα οριζόντιο (ή γεωδαιτικό) datum ορίζεται από το μέγεθος και το σχήμα μιας ελλειψοειδούς επιφάνειας, καθώς επίσης από μερικά σημεία στην επιφάνεια της γης, των οποίων το γεωγραφικό μήκος και πλάτος είναι γνωστά.

Τα οριζόντια datums φτιάχτηκαν για να ταιριάζουν τη γεωειδή επιφάνεια με την ανάλογη ελλειψοειδή επιφάνεια του datum, όσο το δυνατόν καλύτερα σε μία περιοχή που παρουσιάζει τοπικό ενδιαφέρον. Έτσι, οι διαφορές μεταξύ της γεωειδούς και της ελλειψοειδούς επιφάνειας, αγνοούνται. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάζονται ακριβείς χάρτες για την περιοχή ενός datum. Στο σχήμα 21, παρατηρούμε ότι ένα σημείο στη γεωειδή επιφάνεια θα έχει διαφορετικό σετ συντεταγμένων γεωγραφικού

μήκους και πλάτους για διαφορετικά datum. Ακόμη και αν το datum ταιριάζει καλά με τη γεωειδή επιφάνεια της Βόρειας Αμερικής (πράσινη έλλειψη), αυτό δε σημαίνει ότι θα ταιριάζει με τη γεωειδή επιφάνεια της Ευρώπης (μπλε έλλειψη). Επίσης, εφ' όσον το κέντρο της γης θεωρείται το κέντρο της ελλειψοειδούς επιφάνειας, από όπου ορίζεται το ανάλογο datum, στο σχήμα 21 παρατηρούμε ότι για κάθε datum το κέντρο της γης βρίσκεται σε διαφορετικό σημείο.



Σχήμα 21. Η γεωειδής επιφάνεια και δύο καλά ταιριασμένες ελλειψοειδείς επιφάνειες σε διαφορετικές περιοχές

Έτσι, το ίδιο σημείο στη γη (το σπίτι σας, για παράδειγμα) θα έχει διαφορετικές συντεταγμένες επάνω σε ένα χάρτη, ανάλογα με το datum που χρησιμοποιήθηκε για να κατασκευαστεί ο χάρτης. Αυτό συμβαίνει, γιατί, όπως αναφέραμε, κάθε datum χρησιμοποιεί το δικό του σύστημα αναφοράς.

Το ίδιο ισχύει και για το GPS. Αυτό θα δώσει δύο διαφορετικά σεν συντεταγμένων για το ίδιο σημείο, ανάλογα με ποιο datum έχει οριστεί στη συσκευή. Γι' αυτό, πριν προσπαθήσετε να εισάγετε τις συντεταγμένες ενός σημείου προορισμού (waypoint) στο GPS, βεβαιωθείτε ότι το datum που έχετε ορίσει στη συσκευή σας είναι ίδιο με το datum βάσει του οποίου έχει κατασκευαστεί ο χάρτης που χρησιμοποιείτε. Το datum που έχει ένας χάρτης συνήθως αναγράφεται στην κάτω αριστερή γωνία. Επαναλαμβάνουμε, **βεβαιωθείτε ότι το datum του GPS είναι ίδιο με το datum του χάρτη σας**. Αν παραλείψετε να κάνετε αυτό, μπορεί να προκύψει ένα σφάλμα διακοσίων ή και παραπάνω μέτρων από το σημείο προορισμού σας και έτσι να βρεθείτε να ψάχνετε ένα μέρος για κατασκήνωση στο μέσο μιας ... λιμνούλας! Αν και κάθε χώρα χρησιμοποιεί το δικό της datum για τους τοπογραφικούς της χάρτες, ο παραπάνω κανόνας ισχύει παντού. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο χρήσης του κατασκευαστή του GPS σας για να μάθετε πώς να ορίσετε το ανάλογο datum, ώστε να ταιριάζει με το datum του χάρτη σας.

Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται οι γεωμετρικές παράμετροι μερικών γνωστών ελλειψοειδών επιφανειών, από όπου ορίζονται τα ανάλογα datums, καθώς, επίσης, η ονομασία τους (πολλές πήραν το όνομα του ατόμου που τις δημιούργησε), η ημερομηνία που δημιουργήθηκαν και πού χρησιμοποιούνται:

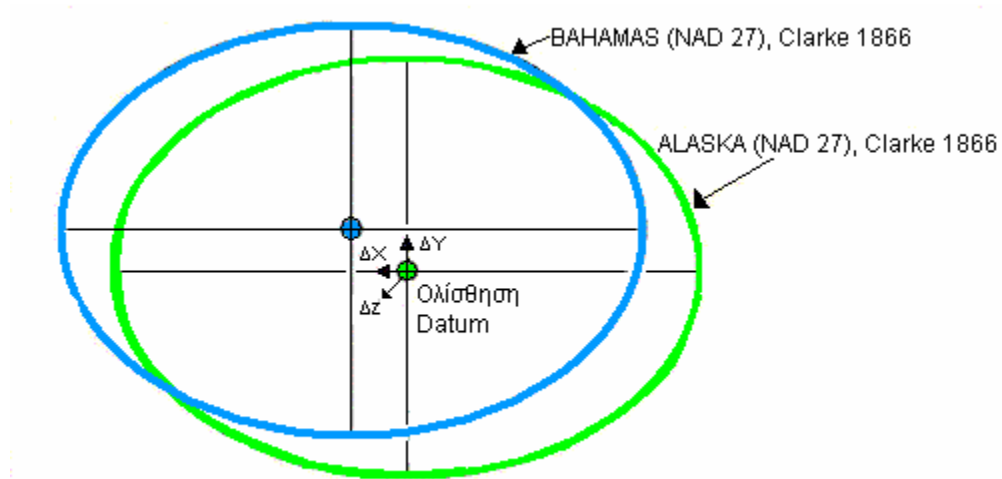
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Στοιχεία γνωστών ελλειψοειδών επιφανειών | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|--------------------------|
| Ονομασία | Ημερομ. | α (μ.) | β (μ.) | Χρησιμοποιείται |
| Everest | 1830 | 6.377.276 | 6.356.079 | Ινδία, Σρι-Λάνκα |
| Bessel | 1841 | 6.377.397 | 6.356.079 | Κεντρική Ευρώπη, Χιλή |
| Airy | 1849 | 6.377.563 | 6.356.257 | Μεγάλη Βρετανία |
| Clarke | 1866 | 6.378.206 | 6.356.584 | Βόρ. Αμερική, Φιλιππίνες |
| Clarke | 1880 | 6.378.249 | 6.356.515 | Γαλλία, Αφρική (μερικώς) |
| Helmert | 1907 | 6.378.200 | 6.256.818 | Αφρική (μερικώς) |
| International (ή Hayford) | 1924 | 6.378.388 | 6.356.912 | Παγκοσμίως |
| Krasovsky | 1940 | 6.378.245 | 6.356.863 | Ρωσία, Ανατ. Ευρώπη |
| GRS80 | 1980 | 6.378.137 | 6.356.752 | Βόρεια Αμερική |
| WGS84 | 1984 | 6.378.137 | 6.356.752 | Παγκοσμίως (GPS) |

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, το οριζόντιο (ή γεωδαιτικό) datum ορίζεται από το μέγεθος και το σχήμα μιας ελλειψοειδούς επιφάνειας, καθώς, επίσης, και από τη θέση και τον προσανατολισμό της. Σε ολόκληρο τον κόσμο έχουν οριστεί διάφορα, τοπικής κλίμακας, datums. Στις ΗΠΑ χρησιμοποιείται το North American Datum (NAD), στην Ιαπωνία το Tokyo Datum, σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες το European Datum, στην Γερμανία το Potsdam Datum, κ.λ.π.

Ο πίνακας 2, δείχνει μερικά παραδείγματα τοπικής κλίμακας datums, τα οποία χρησιμοποιούν την ίδια ελλειψοειδή επιφάνεια (Clarke 1866 ή Hayford), με το κέντρο της, όμως, σε διαφορετικές θέσεις (ολίσθηση του datum). Οι αριθμοί στις στήλες Dx, Dy και Dz, δείχνουν την ολίσθηση του κέντρου της ελλειψοειδούς επιφάνειας συγκριτικά με το datum WGS84.

| ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Datums με ίδια ελλειψοειδή επιφάνεια σε διαφορετικές θέσεις | | | | |
|---|-------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| Datum | ελλειψοειδής επιφάνεια | Ολίσθηση του Datum (μ.) | | |
| | | Dx | Dy | Dz |
| Alaska (NAD-27) | Clarke 1866 | -5 | 135 | 172 |
| Bahamas (NAD-27) | Clarke 1866 | -4 | 154 | 178 |
| Bermuda 1957 | Clarke 1866 | -73 | 213 | 296 |
| Cent. America (NAD-27) | Clarke 1866 | 0 | 125 | 194 |
| Bellevue (IGN) | Hayford | -127 | -769 | 472 |
| CampInchauspe | Hayford | -148 | 136 | 90 |
| Hong Kong 1963 | Hayford | -156 | -271 | -189 |
| Iran | Hayford | -117 | -132 | -164 |

Στο σχήμα 22, απεικονίζεται η ολίσθηση του κέντρου δύο ελλειψοειδών επιφανειών με τα αντίστοιχα datum.



Σχήμα 22. Δύο ελλειψοειδείς επιφάνειες και η ολίσθησή τους

Παγκόσμιας κλίμακας ελλειψοειδείς επιφάνειες, ως επιφάνειες αναφοράς για τον προσδιορισμό των θέσεων

Καθώς οι απαιτήσεις για παγκόσμιας κλίμακας τοπογραφικές δραστηριότητες αυξάνονται, προέκυψε η ανάγκη για τη δημιουργία ελλειψοειδών επιφανειών παγκόσμιας κλίμακας. Ειδικότερα, η Διεθνής Ομοσπονδία Γεωδαισίας και Γεωφυσικής ή IUGG (International Union for Geodesy and Geophysics) δημιούργησε τέτοιες επιφάνειες. Το κίνητρο είναι να καταστήσει τα γεωδαιτικά αποτελέσματα ισοδύναμα και συναφή με τα αποτελέσματα άλλων επιστημών όπως της αστρονομίας και της γεωφυσικής, ώστε να μπορούν αυτές να τα χρησιμοποιήσουν.

Αντίθετα με τις ελλειψοειδείς επιφάνειες τοπικής κλίμακας, οι οποίες εφαρμόζονται μόνο σε μία περιφέρεια ή σε μία τοπική περιοχή της επιφάνειας της γης, οι ελλειψοειδείς επιφάνειες παγκόσμιας κλίμακας προσεγγίζουν τη γεωειδή επιφάνεια όσο το δυνατόν καλύτερα. Στον πίνακα 3, παρουσιάζονται οι γεωμετρικές παράμετροι μερικών ελλειψοειδών επιφανειών παγκόσμιας κλίμακας, καθώς, επίσης, και η ονομασία τους. Ακόμα, στον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι η επιφάνεια με το όνομα International αντικαταστάθηκε από το σύστημα GRS (Geodetic Reference System), το οποίο, με τη σειρά του, αντικαταστάθηκε από το σύστημα WGS (World Geodetic System).

| ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Στοιχεία ελλειψοειδών επιφανειών παγκόσμιας κλίμακας | | | |
|---|---------|-----------|-----------|
| Ονομασία | Ημερομ. | α (μ.) | β (μ.) |
| International (ή Hayford) | 1924 | 6.378.388 | 6.356.912 |
| GRS67 | 1967 | 6.378.160 | 6.356.775 |
| GRS80 | 1980 | 6.378.137 | 6.356.752 |
| WGS84 | 1984 | 6.378.137 | 6.356.752 |

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το GPS, όπως είδαμε στο άρθρο αυτό, παρέχει αρκετά **πλεονεκτήματα**:

- i. Προσδιορίζει με αρκετή ακρίβεια τη θέση ενός σημείου στην επιφάνεια της γης.
- ii. Οδηγεί με ακρίβεια προς ένα σημείο προορισμού.
- iii. Αποθηκεύει τις θέσεις των σημείων κατά μήκος μιας διαδρομής, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στο χρήστη να γυρίσει προς τα πίσω ακολουθώντας τα σημεία αυτά.
- iv. Οι μετρήσεις που κάνει δεν επηρεάζονται από τις μεταβολές του καιρού.
- v. Παρέχει λεπτομέρειες ως προς την ταχύτητα που κινείται ο χρήστης και την απόσταση που έχει διανύσει ή πρόκειται να διανύσει.

αλλά, έχει και κάποια **μειονεκτήματα**:

- i. Η ακρίβεια των στοιχείων που παρέχει το GPS εξαρτάται από το πλήθος των δορυφόρων που συνδέεται ο δέκτης. Αν αυτοί είναι λιγότεροι από τρεις, τότε οι μετρήσεις που θα κάνει θα περιέχουν μεγάλα σφάλματα.
- ii. Δεν παρέχει μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση του υψομέτρου, αν και είναι καλύτερο από το αλτίμετρο στις περιπτώσεις που μεταβάλλεται ο καιρός. Η ανακρίβεια αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι δορυφόροι βρίσκονται πάνω από το επίπεδο του ορίζοντα. Αν ήταν δυνατόν να υπήρχε ένας δορυφόρος κάτω από αυτό το επίπεδο (το οποίο φυσικά είναι αδύνατο), τότε το GPS θα παρείχε ακριβή μέτρηση του υψομέτρου.
- iii. Οι περισσότερες συσκευές λειτουργούν με δύο ή τρεις μπαταρίες τύπου AA οι οποίες επαρκούν για 4 - 10 ώρες συνεχούς λειτουργίας (σε κρύες συνθήκες ο χρόνος αυτός μειώνεται αισθητά). Αυτό σημαίνει ότι η συσκευή GPS δεν μπορεί να μένει συνεχώς ανοικτή, αλλά να τίθεται σε λειτουργία κατά διαστήματα έτσι ώστε να παραταθεί ο χρόνος ζωής των μπαταριών. Καλό είναι να χρησιμοποιείται επιλεκτικά και συνήθως μόνο όταν η ορατότητα είναι περιορισμένη ή όταν υπάρχει αβεβαιότητα για το σημείο που βρισκόμαστε. Επίσης, δεδομένου ότι οι κατασκευαστές συστήνουν ότι από τη στιγμή που τεθεί σε λειτουργία η συσκευή απαιτείται κάποιος χρόνος για να συνδεθεί με τρεις τουλάχιστον δορυφόρους (warm-up time), ο χρόνος χρήσης της συσκευής με τις ίδιες μπαταρίες μειώνεται ακόμη περισσότερο.

Καλό είναι να μη στηριζόμαστε απόλυτα στο GPS για την πλοήγησή μας. Τα ανθρώπινα λάθη είναι δυνατά. Αν εισάγετε λανθασμένα δεδομένα θα λάβετε και λανθασμένες πληροφορίες. Το GPS βοηθά στην πλοήγηση και στον προσδιορισμό θέσεων, με την προϋπόθεση να συνδυάζεται σωστά με τον τοπογραφικό χάρτη και την πυξίδα. Ο κίνδυνος σφάλματος είναι μεγαλύτερος για κάποιον που έχει μικρή εμπειρία στον προσανατολισμό και την πλοήγηση. Σε έναν τέτοιο χρήστη, το GPS μπορεί να δώσει μία ψευδαίσθηση ασφάλειας, με αποτέλεσμα αυτός να οδηγηθεί σε απρόσμενες καταστάσεις. Σε ένα δύσκολο και τραχύ πεδίο (π.χ. βουνό), η ικανότητα να επιλέγει κάποιος μία ασφαλή διαδρομή μεταξύ δύο σημείων είναι πολύ βασική και το GPS δεν μπορεί να αντικαταστήσει ούτε να υποβαθμίσει την ικανότητα αυτή. Το GPS θα αποβεί ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια έμπειρων ατόμων στην πλοήγηση, τα οποία μπορούν να το χρησιμοποιήσουν κατάλληλα μαζί με τις υπάρχοντες τεχνικές πλοήγησης.

Η επιδεξιότητα στην πλοήγηση δίνει μία μεγάλη ικανοποίηση: το να μπορείς να βρίσκεις το δρόμο σου, μέσα σε ένα δύσβατο και δύσκολο πεδίο και με μικρή ορατότητα, χρησιμοποιώντας μόνο ένα χάρτη, μία πυξίδα και έχοντας ως σύμβουλο την εμπειρία σου είναι πολύ σημαντικό. Η χρήση του GPS, ενός τεχνολογικού εργαλείου, μπορεί, ίσως, να μειώσει την αξία αυτής της εμπειρίας.

ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

| | |
|---|---|
| GPS Library | http://www.gpsy.com/gpsinfo |
| GPS World Online Magazine | http://www.gpsworld.com/gpsworld |
| GPS Overview | http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html |
| Magellan Company | www.magellangps.com |
| | http://www.garmin.com/ |
| GPS Supplier in Australia | http://www.ja-gps.com.au/indexbrands.html |
| Map Reading Guide, | http://www.cis.ksu.edu/~dha5446/topoweb/guide.html |
| | http://gpsinformation.net/ |
| Αντώνης Καλογήρου | http://users.forthnet.gr/ath/kalo/pez7.htm |
| Χάρτες βουνών της Ελλάδας σε ψηφιακή μορφή | www.anavasi.gr |
| Λογισμικό διαχείρισης γεωγραφικών πληροφοριών | www.ozexplorer.com . |

Mehlbreuer, A. *Geometric Fundamentals of Mapping*. Non-published notes. Enschede, ITC.

Knippers, R.A. *Geometric Aspects of Mapping*. Non-published notes, Enschede, ITC

Stefanovic, P. *Georeferencing and Coordinate Transformations*. Non-published notes. Enschede, ITC.

Boon Lim. *An Introduction to GPS and RADAR*. University of Michigan