

ΤΕΙ - ΠΑΤΡΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ - ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 416

“Δορυφορικό σύστημα πλοήγησης”



Εισηγητές:
Δ.Καρέλης

Σπουδαστές:
Α.Κουτούβάλας
Χ.Κόκκορης

Πάτρα - Φ98

| | |
|----------------------|------|
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ | 3178 |
|----------------------|------|

ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

**Δορυφορικό σύστημα πλοήγησης
(GPS)**



Πρόλογος

Η περίοδος του ψυχρού πολέμου μεταξύ των υπερδυνάμεων Η.Π.Α και Σοβιετικής Ένωσης εκτός από αβεβαιότητα για το μέλλον της ανθρωπίνης ύπαρξης, πρόσφερε και τεχνολογικά επιτεύγματα. Έτσι και στο χώρο του διαστήματος η πρόοδος ήταν εντυπωσιακή σε πολλούς τομείς. Ένας από αυτούς είναι και η πλοήγηση μέσω δορυφόρων. Αναπτύχθηκαν και από τις δυο χώρες αντίστοιχα συστήματα, το GPS από το αμερικανικό πεντάγωνο και το GLONASS εκ μέρους των σοβιετικών. Η εμπορική εκμετάλλευση όμως μόνο του GPS μας αναγκάζει να ασχοληθούμε αποκλειστικά με αυτό.

Το GPS αποτελείται σήμερα από ένα συγκρότημα 24 δορυφόρων οι οποίοι εκπέμπουν προς όλες τις διευθύνσεις στοιχεία εντοπισμού θέσης σε τρεις διαστάσεις με υψηλή ακρίβεια. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε έξι τροχιακά επίπεδα και κάθε σημείο πάνω στη Γη να είναι ορατό από ελάχιστο αριθμό 4 δορυφόρων.

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία, θα αναφερθούμε διεξοδικά στο σύστημα αυτό. Θα εμβαθύνουμε στη φιλοσοφία λειτουργίας του προσεγγίζοντας τις παραμέτρους από τις οποίες εξαρτάται και περιγράφεται και θα ασχοληθούμε με τις εφαρμογές που έχει στον εμπορικό τομέα. Το σύστημα αυτό έχει καταξιωθεί στην πολιτική και στρατιωτική αεροπορία, στη ναυσιπλοΐα και έχει αλματώδη ανάπτυξη στο χώρο του αυτοκινήτου.

Το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (Global Positioning System) είναι πλέον μια θαυμαστή πραγματικότητα που κάνει πολύ πιο εύκολη τη ζωή του ανθρώπου σε όλες τις μορφές της καθημερινής ασχολίας του. Στη σημερινή εποχή, που απαιτείται ταχύτητα στις αποφάσεις και ευκολία στην καθημερινή ζωή, το παρόν σύστημα είναι χωρίς αμφιβολία εξαιρετικό.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

| | |
|--|----|
| Τι είναι το GPS; | 1 |
| Διευθύνσεις του GPS..... | 1 |
| Τα τμήματα του GPS..... | 2 |
| Τμήμα ελέγχου..... | 4 |
| Τοποθεσίες των σταθμών ελέγχου..... | 6 |
| Η διαστημική μονάδα..... | 8 |
| Πώς λειτουργεί το GPS; | 10 |
| Σύγκριση μεθόδων εντοπισμού..... | 10 |
| Μία ακτίνα από ένα δορυφόρο..... | 11 |
| Δύο ακτίνες από δύο δορυφόρους..... | 13 |
| Τρεις ακτίνες από τρεις δορυφόρους..... | 15 |
| Γιατί τέσσερις δορυφόρους; | 15 |
| Αποφυγή λάθους στη μέτρηση χρόνου..... | 17 |
| Το ρολόι του δέκτη προηγείται..... | 19 |
| Πρόσθεση σήματος ενός ακόμη δορυφόρου..... | 19 |
| Επίπεδα υπηρεσιών του GPS..... | 20 |

Κεφάλαιο 2

| | |
|--|----|
| Η βασική δομή του σήματος GPS..... | 21 |
| Ψευδο-τυχαίος κώδικας..... | 23 |
| Ο κώδικας είναι το κλειδί..... | 24 |
| Πού βρίσκονται οι δορυφόροι; | 24 |
| Χάρτης της δομής των σημάτων GPS..... | 25 |
| Δύναμη του σήματος..... | 27 |
| C/A-κώδικας..... | 27 |
| P-κώδικας..... | 29 |
| Αντιπαράπλάνηση (A/S)..... | 31 |
| Φέρον συγχρονισμός..... | 31 |
| Εύρεση ταχύτητας μέσω GPS..... | 34 |
| Περιεχόμενα λαθών στο σύστημα GPS..... | 36 |
| Ιονοσφαιρικές και τροποσφαιρικές διαθλάσεις..... | 36 |
| Γωνία απόκρυψης δορυφόρου..... | 38 |
| Λάθη από ανάκλαση..... | 40 |
| Επιλεκτική διαθεσιμότητα..... | 41 |
| Διάλυση ακρίβειας..... | 41 |
| Off-set θέσεις..... | 43 |

| | |
|------------------------|----|
| Προβολή αποστολής..... | 45 |
| Ημερολόγια..... | 47 |
| Αυτόνομη ακρίβεια..... | 48 |

Κεφάλαιο 3

| | |
|---|----|
| Διαφορική διόρθωση..... | 50 |
| Διορθώσεις μετεπεξεργασίας..... | 53 |
| Δεδομένα διαφορικής μετεπεξεργασίας..... | 55 |
| Ταυτόχρονη διόρθωση..... | 55 |
| Διαφορικά δεδομένα ταυτόχρονης διόρθωσης..... | 57 |
| Σύγκριση..... | 58 |
| Πηγές διαφορικών δεδομένων..... | 58 |
| Δίκτυο CORS..... | 59 |
| Σημαντήρες..... | 62 |
| Διαφορική κάλυψη ραδιοσημαντήρα..... | 64 |
| W.A.A.S..... | 66 |
| Εμπορικοί γεωστατικοί δορυφόροι..... | 67 |
| Ταυτόχρονη διόρθωση με φορείς FM..... | 69 |
| Ακρίβεια..... | 71 |
| Σφάλματα..... | 73 |

Κεφάλαιο 4

| | |
|---|----|
| Γεωδαιτικά εναρμονισμένα συστήματα..... | 74 |
| Σύγκριση..... | 74 |
| WGS 84..... | 75 |
| Ύψη του GPS..... | 76 |
| Γεωδαιτικά ύψη..... | 76 |
| Τεχνικές συλλογής δεδομένων..... | 78 |
| Σύγκριση σημείων-θέσεων..... | 79 |
| Δημιουργία γραμμών από σημεία..... | 81 |
| Δημιουργία περιοχών από σημεία..... | 83 |
| Διαφορικές εφαρμογές..... | 85 |
| Συστήματα γεωγραφικής πληροφόρησης..... | 85 |
| Εφαρμογές του GIS..... | 87 |
| Αεροφωτογραφίες..... | 88 |
| Δορυφορικές αναταραστάσεις..... | 89 |
| Δεδομένα σημείου..... | 91 |
| Δεδομένα γραμμής..... | 91 |
| Δημιουργία περιοχών από σημεία..... | 91 |
| Πηγές εξωτερικών δεδομένων..... | 92 |
| Τοπογράφηση με GPS..... | 93 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Ναυσιπλοΐα με GPS..... | 93 |
| IVHS..... | 95 |
| Ανεξάρτητα IVHS..... | 95 |
| Συστήματα γοργού ελέγχου..... | 97 |
| Συμβουλευτικά συστήματα IVHS..... | 99 |
| Συστήματα απογραφής IVHS..... | 101 |
| Δέκτες..... | 103 |
| Το μέλλον του GPS..... | 103 |
| Βιβλιογραφία..... | 106 |

Κεφάλαιο 1

Τι είναι το GPS;

Θα ξεκινήσουμε με την πιο κλασική ερώτηση: **τι είναι το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης;** Το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης είναι ένας διαστημικός σταθμός πλοήγησης και εντοπισμού θέσης το οποίο σχεδιάστηκε από τις ένοπλες δυνάμεις των Η.Π.Α με σκοπό να επιτρέπει στον κάθε στρατιώτη ή σε σύνολο στρατιωτών, τον αυτόνομο καθορισμό της θέσης τους με απόκλιση το πολύ γύρω στα 10 έως 20 μέτρα. Η αρχή της αυτονομίας ήταν πολύ σημαντική και για αυτό το λόγο έπρεπε να σχεδιαστεί ένα σύστημα που θα επιτρέπει στον κάθε στρατιώτη να βρίσκει τη θέση του χωρίς την βοήθεια οποιασδήποτε μορφής ραδιοηλεκτρονικωινωινίας. Με άλλα λόγια ένα δέκτη ενός δρόμου ο οποίος δεν θα μπορούσε να ανιχνευθεί από ενδεχόμενο εχθρό.

Καθώς οι ένοπλες δυνάμεις των Η.Π.Α είναι μια παγκόσμια δύναμη έπρεπε το σύστημα αυτό να εξασφαλίζει παγκόσμια κάλυψη και να είναι διαθέσιμο 24 ώρες το 24ωρο. Επίσης το σύστημα αυτό θα έπρεπε να είναι στρατιωτικά ασφαλές, να μπορεί να μεταφέρεται εύκολα από ένα στρατιώτη, να προσαρμόζεται εύκολα στα στρατιωτικά οχήματα και τέλος να έχει μικρό κόστος.

Διευθύνσεις του GPS

Τον Δεκέμβριο του 1993 το τμήμα άμυνας αναγγέλλει την **Αρχική Λειτουργία Υποστήριξης (IOC)** για το σύστημα, με τον μικρό συνδυασμό 24 δορυφόρων που αποτελούνταν αποκλειστικά από Block 1 και Block 2 δορυφόρους οι οποίοι κινούνταν στις αρχικά σχεδιασμένες τροχιές τους και σε πλήρη λειτουργία. Τελικά τον Ιούλιο του 1995 το τμήμα άμυνας ανήγγειλε την **Πλήρη Λειτουργική Ικανότητα (FOC)** για το σύστημα το οποίο αποτελούνταν από 24 Block 2 δορυφόρους.

Σήμερα βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία και παρέχει την δυνατότητα πλοήγησης και καθορισμού θέσης για κάθε άνθρωπο ο οποίος βρίσκεται πάνω στην γήινη σφαίρα. Στην ουσία έχει

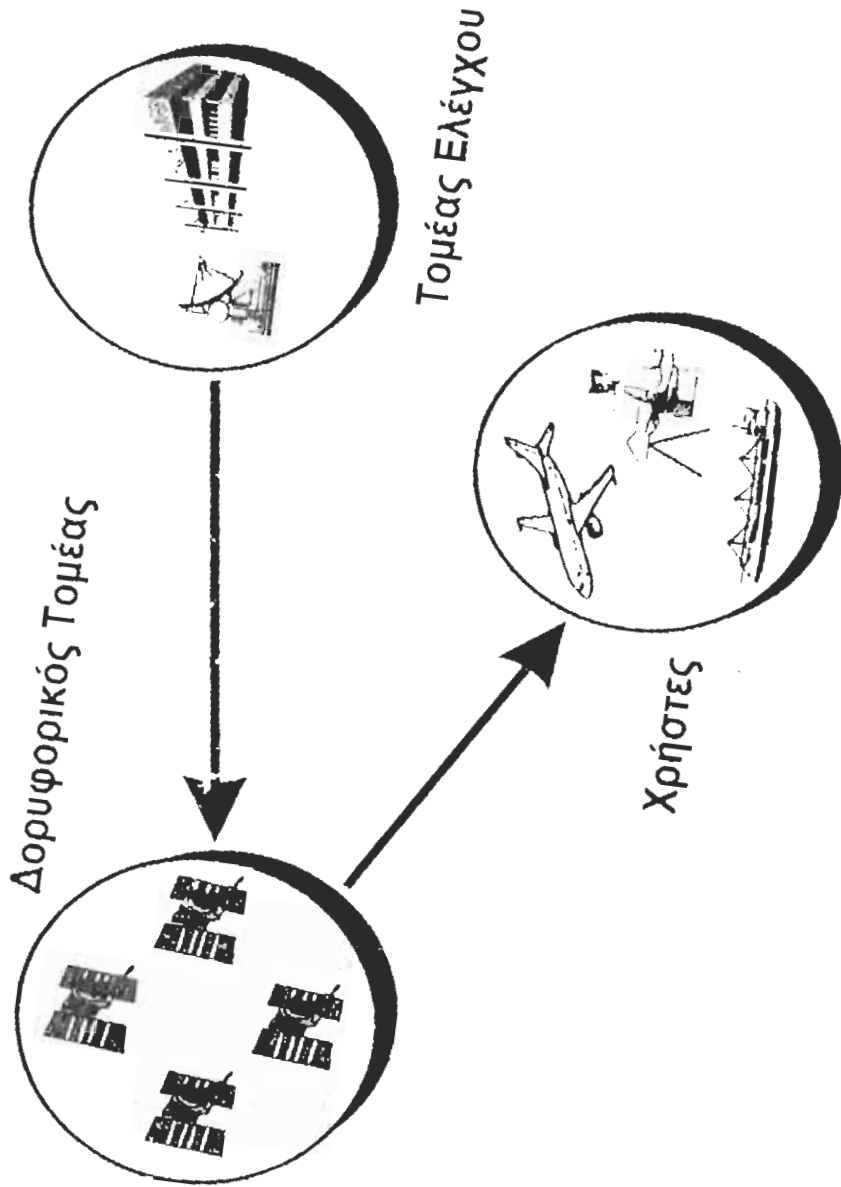
την ικανότητα να δώσει στο κάθε εκατοστό της γήινης επιφάνειας μια και μοναδική διεύθυνση η οποία μπορεί να γίνει κατανοητή από κάθε άτομο το οποίο χρησιμοποιεί το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Έτσι λοιπόν δεν αποκλείεται στο κοντινό μέλλον να προσκαλούμε κάποιον φίλο στο σπίτι μας λέγοντας του: το σπίτι μου βρίσκεται στην διεύθυνση $39^{\circ}45'16,17463''N$ και $77^{\circ}22'37,582062''W$. Δίνοντας του αυτήν την διεύθυνση αποκλείεται να χάσει το σημείο αυτό γιατί δεν θα υπάρχει άλλο σημείο στο σύμπαν που να έχει την ίδια διεύθυνση.

Τα τμήματα του GPS

Το GPS αποτελείται από τρία βασικά τμήματα, το τμήμα ελέγχου, το διαστημικό τμήμα και το τμήμα του χρήστη. Τα τμήματα ελέγχου και διαστήματος λειτουργούν από τις ένοπλες δυνάμεις των Η.Π.Α και διοικούνται από την διαστημική υπηρεσία της πολεμικής αεροπορίας των Η.Π.Α.

Στην ουσία η μονάδα ελέγχου προασπίζει την ακεραιότητα και του δορυφόρου καθώς και των πληροφοριών που αυτός μεταφέρει. Το διαστημικό τμήμα αποτελείται από έναν αστερισμό, θα μπορούσαμε να πούμε, από δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά μαζί με τους εφεδρικούς δορυφόρους.

Το τμήμα του χρήστη το αποτελούν όλοι εκείνοι οι οποίοι έχουν αγοράσει κάποιο τερματικό δέκτη.



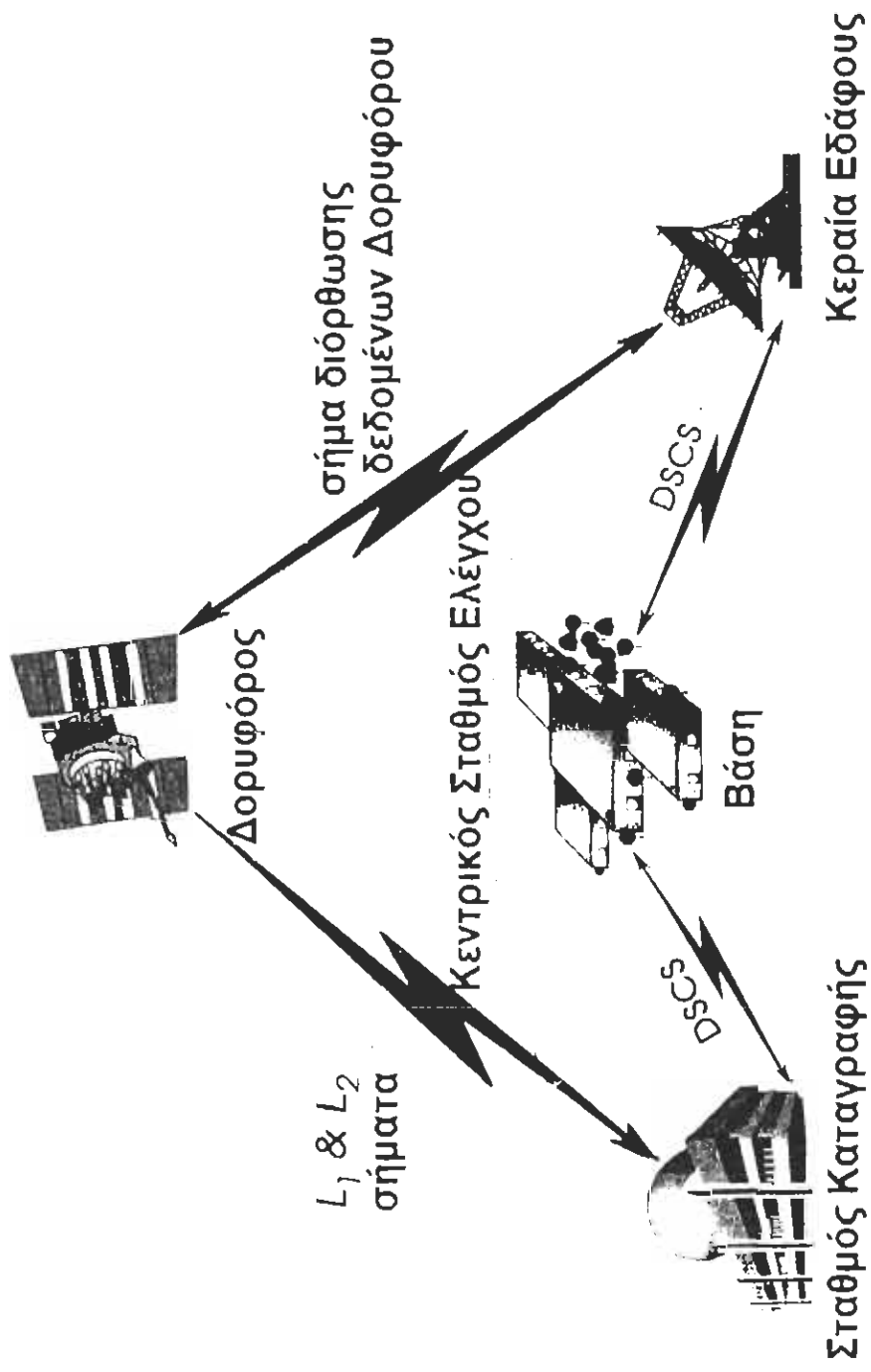
Τμήμα ελέγχου

Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από την **Κύρια Μονάδα Ελέγχου** (MCS) εγκατεστημένη στην αεροπορική βάση Falcon στο Colorado και από πέντε μονάδες μόνιτορ μη επανδρωμένες εγκατεστημένες στρατηγικά σε όλο τον κόσμο. Επίσης η πολεμική αεροπορία υποστηρίζει τρεις κύριες κεραιές εδάφους που είναι εγκατεστημένες σε ίση απόσταση από τον Ισημερινό. Σε περίπτωση που καταστραφεί κάποια κύρια μονάδα ελέγχου υπάρχουν άλλες δύο μονάδες έτοιμες να τις αντικαταστήσουν. Αυτές οι δύο μονάδες βρίσκονται εγκατεστημένες η μία στην Καλιφόρνια και η άλλη στο Rockville.

Τα μη επανδρωμένα τμήματα μόνιτορ ρυθμίζουν όλους τους δορυφόρους που είναι ορατοί σε αυτούς, σε κάθε δεδομένη στιγμή μαζεύοντας σήματα δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες μεταφέρονται στον κύριο σταθμό ελέγχου μέσα από ένα σύστημα ασφαλείας **DSCS** όπου η θέση του δορυφόρου και τα χρονικά δεδομένα υπολογίζονται και προλέγονται.

Ο κύριος σταθμός ελέγχου στέλνει περιοδικά την σωστή θέση και τα δεδομένα χρόνου στις κατάλληλες κεραιές εδάφους και οι οποίες με την σειρά τους στέλνουν τα δεδομένα αυτά σε κάθε έναν από τους δορυφόρους. Τελικά οι δορυφόροι χρησιμοποιούν αυτές τις σωστές πληροφορίες στα δεδομένα που στέλνουν στους δέκτες των χρηστών.

Αυτή η διαδοχή των γεγονότων συμβαίνει κάθε λίγες ώρες για κάθε δορυφόρο και βοηθά στον περιορισμό του λάθους της θέσης των δορυφόρων ή του ρολογιού τους.

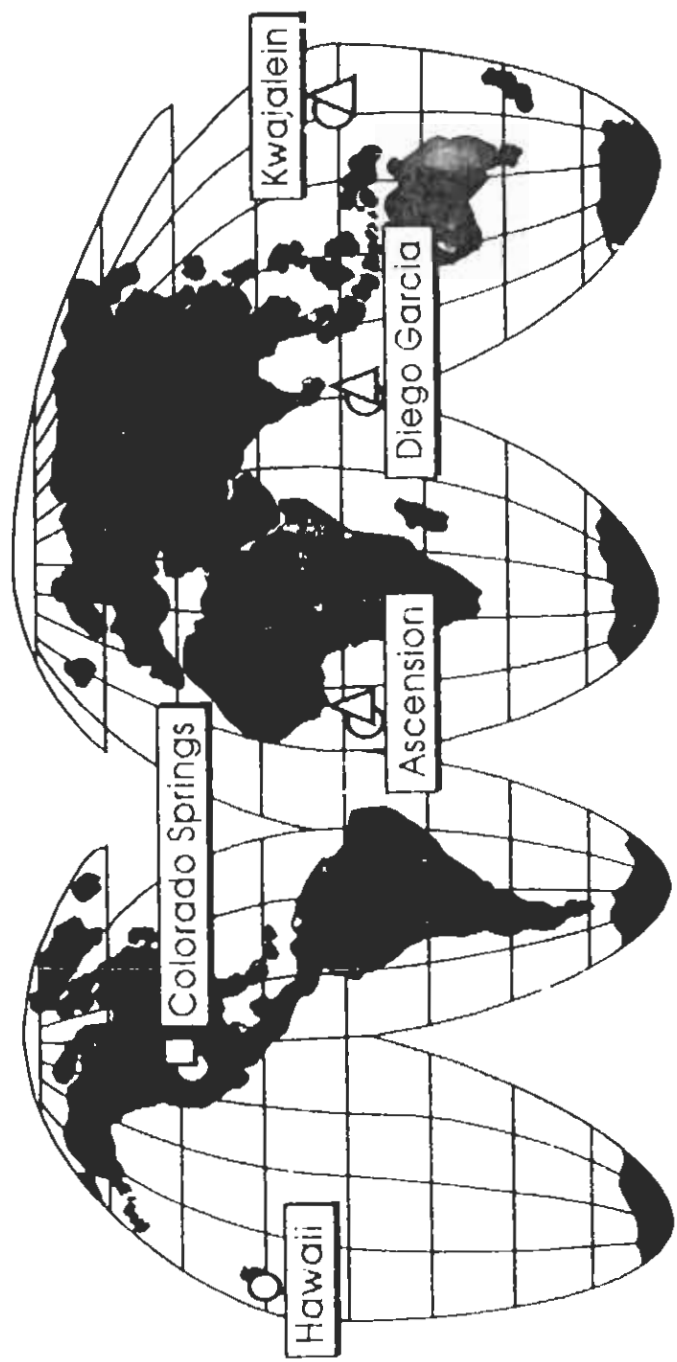


Τοποθεσίες των σταθμών ελέγχου

Αυτός ο χάρτης απεικονίζει την θέση που είναι τοποθετημένος κάθε σταθμός ελέγχου πάνω στην Γη. Ο κύριος σταθμός ελέγχου είναι τοποθετημένος στο Colorado. Η λειτουργία του είναι η επανατοποθέτηση των δορυφόρων στην αρχική τους κατάσταση. Αυτό γίνεται με την διαρκή παρακολούθηση μέσω ενός μόνιτορ της θέσης και του χρόνου των δορυφόρων που τυχάνει να βρίσκονται σε θέα.

Υπάρχουν άλλοι τέσσερις μη επανδρωμένοι σταθμοί μόνιτορ που είναι εγκατεστημένοι σε στρατηγικά σημεία σε όλο τον κόσμο. Τα σημεία που αυτοί βρίσκονται είναι τα εξής: Χαβάη, νήσος Ascension στην δυτική ακτή της Αφρικής, στο Diego Garcia της Ινδίας και ο τέταρτος βρίσκεται στο Kwagalein το οποίο είναι τμήμα του συγκροτήματος νησιών Marshall στον Δυτικό Ειρηνικό.

Οι τρεις κεραιές εδάφους είναι συνδεδεμένες με τους σταθμούς μόνιτορ και είναι εγκατεστημένες στα Ascension, Diego Garcia, και Kwagalein.



- Κεντρικός Σταθμός Ελέγχου
- Δ Κεραία Εδάφους
- Σταθμός Καταγραφής

Η διαστημική μονάδα

Η διαστημική μονάδα αποτελείται από Navstar GPS δορυφόρους τους οποίους κατασκεύασε η εταιρεία Rockwell International. Ο κάθε ένας από αυτούς κοστίζει \$40 εκ. και σε αυτή την τιμή θα πρέπει να προστεθεί και η τιμή της ακάτου εκτόξευσης που φτάνει τα \$100 εκ. Σήμερα ένα ολοκληρωμένο σύστημα αγγίζει τα \$10 δις.

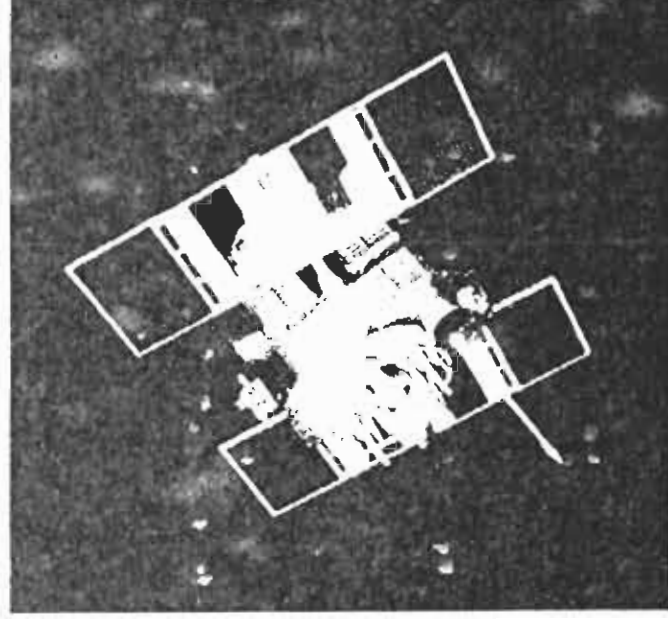
Κάθε δορυφόρος ζυγίζει περίπου 900 κιλά και φτάνει τα πέντε μέτρα πλάτος με τα ηλιακά πλαίσια σε πλήρη έκταση. Το βασικό μέγεθος του αστερισμού περιλαμβάνει 21 λειτουργικούς δορυφόρους και τρεις εφεδρικούς του τύπου BLOCK 2 σε ένα σύνολο 24 δορυφόρων. Αυτοί είναι εγκατεστημένοι σε έξι τροχιές με ύψος τροχιάς τα 20200 Km. Κάθε τροχιά βρίσκεται σε κλίση 55° από τον ισημερινό και τα επίπεδα των τροχιών τους σχηματίζουν μεταξύ τους γωνίες 60° . Κάθε τροχιά αποτελείται από τέσσερις δορυφόρους που εκτελούν μια πλήρη περιστροφή γύρω από την Γη σε 12 ώρες.

Φυσικά Χαρακτηριστικά

Όνομα: NAVSTAR
Κατασκευαστής: Rockwell International
Βάρος: ~900Kg
Μέγεθος: ~5m πλάτος
Χρόνος ζωής: ~7.5 χρόνια
Κατασκευαστικοί αριθμοί: 11 πρωτότυπα B I
23 σε παραγωγή B II

Τροχιακοί παράμετροι

Ύψος: ~20200Km
Περίοδος τροχιάς: 12 ώρες
Κλίση τροχιάς: 55 μοίρες προς τον Ισημερινό
Αριθμός τροχιών: 6
Κλίση τροχιών: 60 μοίρες
Αριθμός δορυφόρων ανα τροχιά: 4
Συνολικός αριθμός δορυφόρων: 24
Λειτουργικοί δορυφόροι: 21
Εφεδρικοί δορυφόροι: 3



Πώς λειτουργεί το GPS;

Το πώς λειτουργεί το GPS είναι πολύ απλό να το καταλάβουμε. Αυτό που δεν θα πρέπει να ξεχνάμε είναι ότι το GPS είναι ένα σύστημα πλοήγησης. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης το μόνο που προσπαθεί να κάνει είναι να καθορίσει το πόσο μακριά βρίσκεται από κάθε δεδομένο δορυφόρο. Δεν υπάρχει κάποια έμφυτη πληροφορία που να περιέχει αζιμούθιο και ύψος στο σήμα του GPS. Το μόνο που κάνει το GPS είναι να στέλνει ένα σήμα προς όλες τις κατευθύνσεις.

Στην ουσία το GPS λειτουργεί με βάση την αρχή των τριών πλευρών. Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι η θέση ενός άγνωστου σημείου μπορεί να βρεθεί μετρώντας το μήκος των πλευρών ενός τριγώνου μεταξύ του άγνωστου σημείου και δύο ή περισσότερων γνωστών σημείων. Αυτό είναι αντίθετο στην περισσότερο κοινά αποδεκτή μέθοδο του τριγωνισμού όπου ένα σημείο καθορίζεται παίρνοντας γωνιακό καθορισμό θέσης από δύο σημεία με γνωστή απόσταση μεταξύ τους και υπολογίζοντας την άγνωστη θέση του σημείου από το προκύπτον τρίγωνο.

Οι δορυφόροι το κάνουν αυτό στέλνοντας ένα κωδικοποιημένο σήμα το οποίο είναι μοναδικό για κάθε δορυφόρο. Οι δέκτες στο έδαφος λαμβάνουν παθητικά αυτό το σήμα κάθε θεατού δορυφόρου και μετρούν τον χρόνο που κάνει το σήμα για να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη. Τότε λοιπόν η απόσταση είναι θέμα υπολογισμού της σχέσης $D=V \cdot T$ που σημαίνει ότι η απόσταση D είναι αποτέλεσμα του γινομένου της ταχύτητας του σήματος επί τον χρόνο T που κάνει το σήμα για να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη. Καθώς λοιπόν το ραδιοκύμα ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός που φτάνει τα 300000 Km/sec η ταχύτητα είναι δοσμένη. Έτσι λοιπόν το μόνο που λείπει από τον χρήστη προκειμένου να υπολογιστεί η απόσταση από κάθε δοσμένο δορυφόρο είναι ο χρόνος που χρειάστηκε το σήμα για να φτάσει στον δέκτη από την στιγμή που εκπέμφθηκε από τον δορυφόρο.

Σύγκριση μεθόδων εντοπισμού

Όλοι μας έχουμε παρακολουθήσει ταινίες με υποβρύχια όπου ο άνθρωπος που βρίσκεται στο ραντάρ του υποβρυχίου ακούει προσεκτικά τον ήχο του SONAR των εχθρικών πλοίων τα οποία

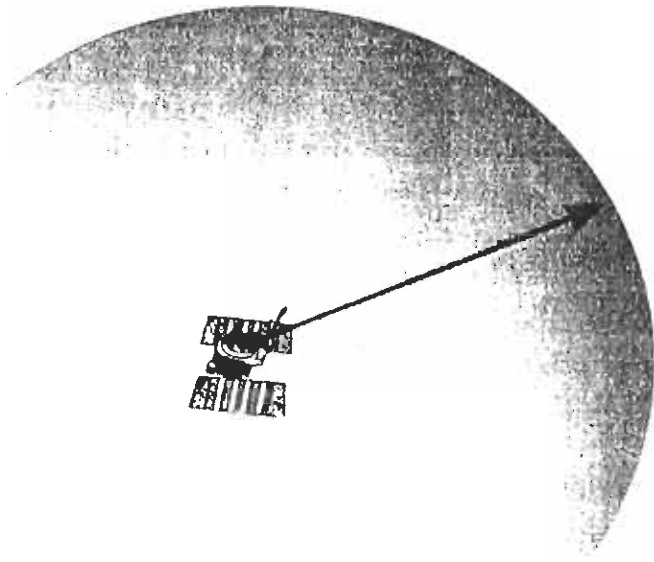
προσπαθούν να εντοπίσουν το υποβρύχιο. Αυτό στέλνει ένα μοναδικό και αναγνωρίσιμο σήμα και μετρά το χρόνο που θα κάνει το σήμα να αντληφθεί κάτι και να γυρίσει πίσω σε αυτόν που παρακολουθεί το σήμα από το SONAR. Στην ουσία παρακολουθεί τον ήχο και τον χρονομετρεί. Αφού γνωρίζει την ταχύτητα του ήχου στο νερό, μπορεί εύκολα να καταλάβει πόσο μακριά είναι αυτό το κάτι που εντόπισε.

Ας φανταστούμε για λίγο το παράδειγμα της καταιγίδας. Δηλαδή μετρώντας από την στιγμή που εμφανίζεται η αστραπή μέχρι να ακούσουμε την βροντή μπορούμε να καταλάβουμε σε ποια απόσταση από εμάς βρίσκεται η καταιγίδα. Αυτό γίνεται επειδή γνωρίζουμε την ταχύτητα του ήχου και ξέρουμε ότι ο ήχος ταξιδεύει διανύοντας το ένα μίλι σε πέντε δευτερόλεπτα. Έτσι λοιπόν μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια πόσο μακριά είναι η καταιγίδα. Με παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και το GPS με την διαφορά ότι το GPS μετρά τον χρόνο που ταξιδεύει το ραδιοκύμα αντί για τον ήχο.

Μια ακτίνα από ένα δορυφόρο

Ο GPS δορυφόρος εκπέμπει ένα ραδιοφωνικό σήμα το οποίο είναι μοναδικό για κάθε ένα δορυφόρο, το οποίο στην ουσία είναι μη κατευθυντικό παρόλο που οι κεραίες του δορυφόρου είναι εγκατεστημένες από την μια μεριά της ακάτου του δορυφόρου σκοπεύοντας προς την Γη. Για λόγους απλότητας δεχόμαστε ότι τα σήματα είναι όντως μη κατευθυντικά και εκπέμπονται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις.

Αν γνωρίζουμε ότι η ακτίνα εκπομπής του δορυφόρου είναι 20000 Km τότε το μοναδικό σημείο στο διάστημα το οποίο να έχει ακριβή απόσταση από τον δορυφόρο είναι εκείνο το σημείο το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια μισ φανταστικής σφαίρας με ακτίνα 20000 Km αποτελούμενης από ραδιοκύματα. Με αυτές τις πληροφορίες δεν μπορούμε να βρούμε σε ποιο ακριβώς σημείο της σφαίρας βρισκόμαστε αλλά μπορούμε να ξέρουμε ότι βρισκόμαστε ούτε κοννότερα ούτε μακρύτερα από 20000 Km. Μπορεί να βρισκόμαστε σε οποιοδήποτε σημείο της σφαίρας καθώς το δορυφορικό σήμα δεν δίνει πληροφορίες για τον προσανατολισμό.



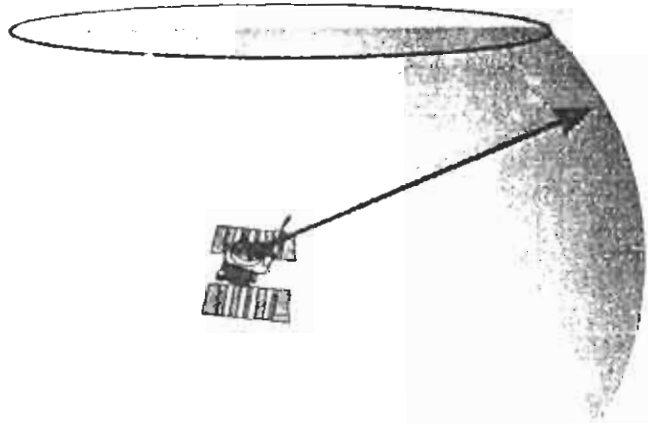
ακτίνα 20000 Km

Δύο ακτίνες από δύο δορυφόρους

Μπορούμε να περιορίσουμε σε μεγάλο βαθμό την αμφιβολία της θέσης (προσανατολισμού) στην οποία βρισκόμαστε προσθέτοντας στην ήδη γνωστή ακτίνα των 20000 Km και την ακτίνα ενός δεύτερου δορυφόρου. Για παράδειγμα εάν γνωρίζουμε ότι είμαστε 20000 Km από τον δορυφόρο A και βρισκόμαστε επίσης σε απόσταση 22000 Km από έναν δορυφόρο B τότε το μόνο σημείο στον κόσμο στο οποίο θα μπορούσαμε να βρισκόμαστε είναι εκεί που τέμνονται οι δυο σφαίρες μεταξύ τους.

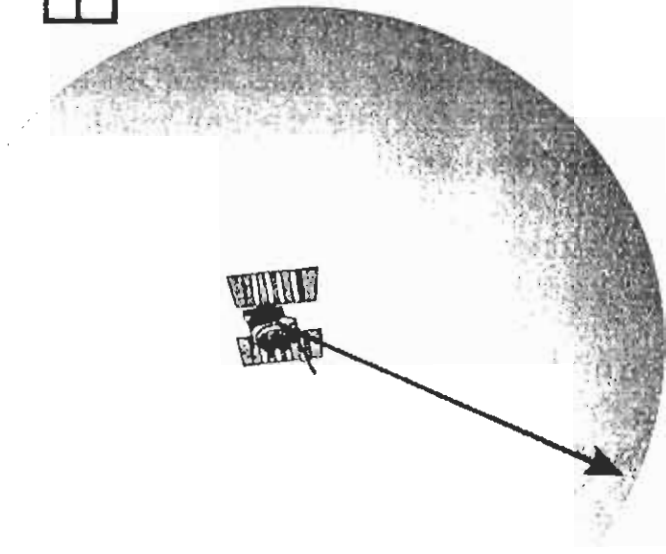
Με αυτό τον τρόπο μειώσαμε αρκετά το πρόβλημα προσανατολισμού της θέσης όμως συνεχίζουμε να μην ξέρουμε σε ποιο σημείο της διασταύρωσης των σφαιρών βρισκόμαστε. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας την ακτίνα σήματος ενός τρίτου δορυφόρου.

A



ακτίνα 20000 Km

B



ακτίνα 22000 Km

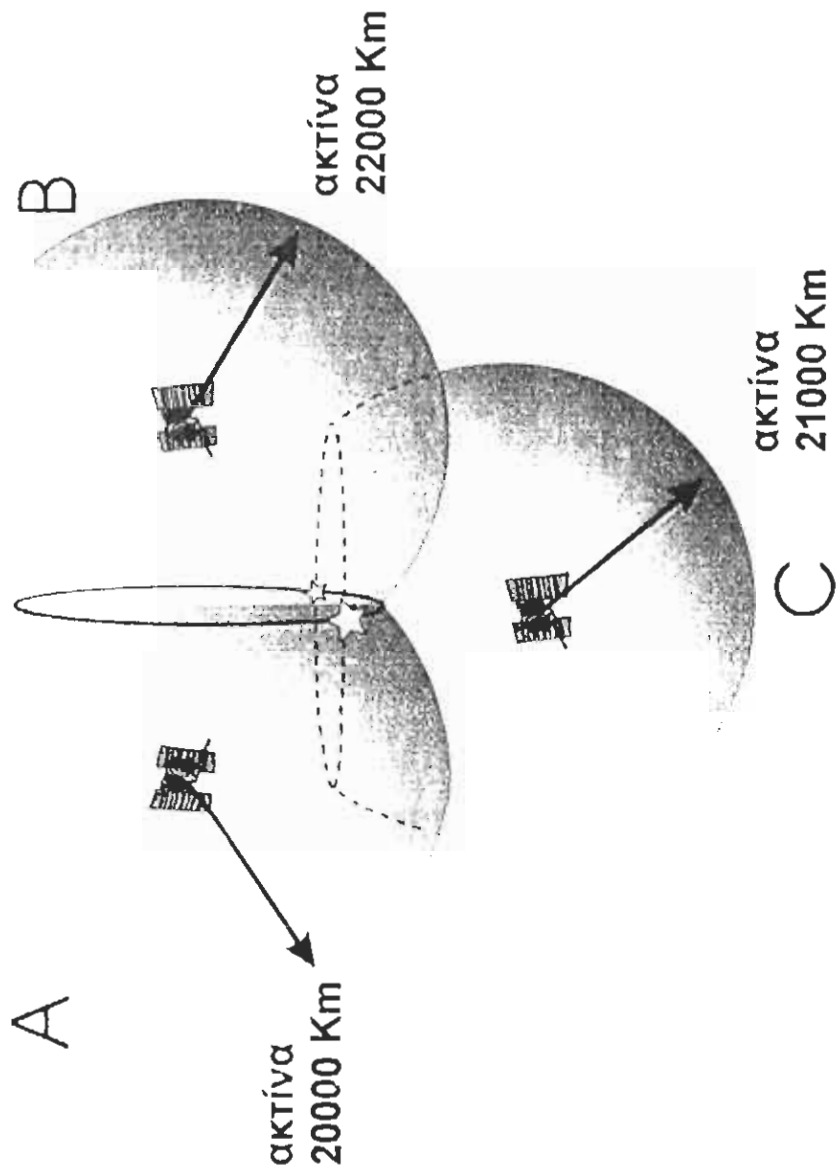
Τρεις ακτίνες από τρεις δορυφόρους

Εάν προσθέσουμε και έναν τρίτο δορυφόρο με γνωστή ακτίνα 21000 Km τότε λύσαμε σχεδόν το πρόβλημα. Τώρα το μόνο σημείο στο σύμπαν που να απέχει 20000 Km, 21000 Km, 22000 Km παριστάνεται σε δυο σημεία των εμπλεκομένων σφαιρών. Έτσι λοιπόν η πιθανή θέση περιέχεται σε δυο γνωστά σημεία και μένει να δούμε ποιο από τα δυο αυτά σημεία είναι το σωστό. Στην πραγματικότητα ένα από τα δυο σημεία θα βρίσκεται πάντα χιλιάδες χιλιόμετρα έξω στο διάστημα. Οι δέκτες είναι αρκετά έξυπνοι για να ξεχωρίσουν ποιο από τα δυο σημεία είναι το σωστό και να απορρίψουν το λάθος. Για περισσότερη ασφάλεια ορισμένοι δέκτες απαιτούν την τοποθέτηση αρχικών τιμών. Ο χρήστης εισάγει την περίπου σωστή θέση με απόκλιση έως και 500 Km και έτσι έχουμε ουσιαστικά έναν συνηθισμένο χάρτη. Όμως για να έχουμε περισσότερη ασφάλεια θα χρειαζούμαστε 4 δορυφόρους με γνωστές ακτίνες.

Γιατί τέσσερις δορυφόρους;

Γιατί χρειαζόμαστε τέσσερις δορυφόρους αφού με τους τρεις δορυφόρους προσεγγίζουμε με ακρίβεια την τρισδιάστατη θέση μας; Πρέπει να θυμηθούμε ότι αυτό που μετράμε είναι ο χρόνος που κάνει ένα ραδιοσήμα για να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη. Για να αποκτήσουμε ακρίβεια θέσης θα πρέπει να κάνουμε ακριβείς ως προς τον χρόνο μετρήσεις. Έχει επικρατήσει ότι για να φτάσει ένα σήμα από τον δορυφόρο στον δέκτη θα χρειαστεί $1/15$ του δευτερολέπτου. Με τα ραδιοκύματα να ταξιδεύουν 300000 Km/sec ένα λάθος στο $1/1000000$ του δευτερολέπτου μεταφράζεται στα 300 μέτρα λάθους για το σημείο στο οποίο ζητάμε να βρούμε την θέση του. Παρακάτω θα δούμε έναν τρόπο εξάλειψης και αυτού του λάθους καταρχήν στους ίδιους τους δορυφόρους.

Για να διατηρεί ένας δορυφόρος την ακρίβεια του, διαθέτει τέσσερα ατομικά ρολόγια στο σκάφος, δυο ρολόγια ρουβιδίου και δυο καισίου. Αυτά τα ρολόγια είναι ακριβείας 1000000000 του δευτερολέπτου για ένα μήνα. Αυτό είναι αρκετά ακριβές για τις ανάγκες μας αλλά όχι πολύ πρακτικό για τους δέκτες εδάφους, εξάλλου ζυγίζουν χιλιάδες κιλά το κάθε ρολόι και κοστίζει περίπου \$200000.

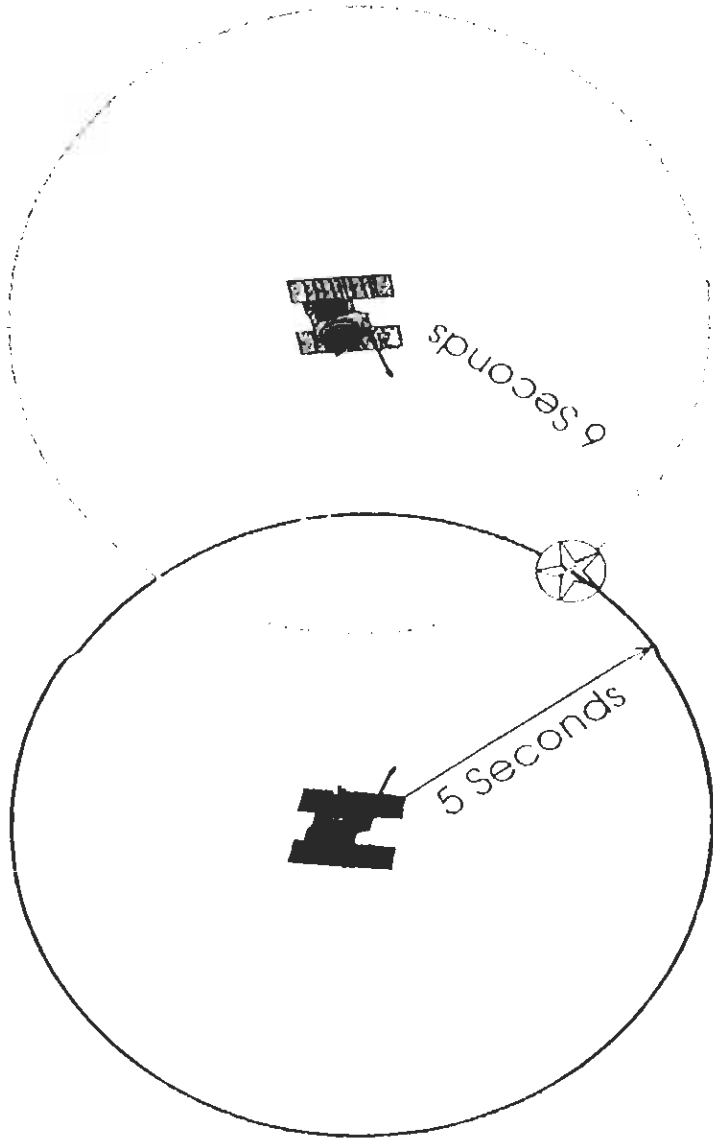


Κάθε δέκτης είναι εφοδιασμένος με ένα ρολόι φθινό από χαλαζία με πολύ χαμηλότερη ακρίβεια. Είναι χρήσιμο να πούμε ότι ο δέκτης και ο δορυφόρος μετρούν την ίδια στιγμή τον χρόνο που χρειάζεται ένα σήμα για να φτάσει από τον δορυφόρο σε εμάς. Για να το κάνουμε περισσότερο ασφαλές προσθέτουμε και έναν τέταρτο δορυφόρο ο οποίος παίζει τον ρόλο διαιτητή.

Αποφυγή λάθους στη μέτρηση χρόνου

Για να εξηγήσουμε το παρακάτω σχήμα που αφορά το πρόβλημα στην μέτρηση του χρόνου κάνουμε ορισμένες παραδοχές: πρώτα, ότι το ρολόι του σκάφους λειτουργεί σωστά. Αυτή η παραδοχή δεν είναι περίεργο να συμβαίνει γιατί και πολύ χρήμα έχει ξοδευτεί και το ρολόι ελέγχεται τακτικά από την μονάδα ελέγχου. Δεύτερον, ότι το ρολόι του δέκτη και του δορυφόρου βρίσκονται σε απόλυτο συγχρονισμό. Αυτό δεν είναι απόλυτα αληθινό αλλά ας το χρησιμοποιήσουμε για να εξηγήσουμε το διάγραμμα. Ο χρόνος μετάδοσης μετριέται σε δευτερόλεπτα και όχι σε εκατοστά του δευτερολέπτου όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα.

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε ότι για να διανύσει το σήμα τα 20000 Km του πρώτου δορυφόρου χρειάζονται 5 sec και για τα 22000 Km του δεύτερου δορυφόρου κάνει 6 sec. Έτσι μένουν μόνο δύο σημεία που θα μπορούσαμε να βρισκόμαστε, τα οποία σημεία βρίσκονται στον χώρο των εμπλεκόμενων σφαιρών. Οι δέκτες είναι αρκετά έξυπνοι για να ξεχωρίσουν ποια από τα δύο σημεία είναι το σωστό. Άρα μένει μόνο ένα παραδεκτό σημείο που παριστάνεται στο σχήμα με ένα αστέρι.



Προϋπόθεση: το ρολόι του δέκτη και του δορυφόρου σε τέλει συγχρονισμό

Το ρολόι του δέκτη προηγείται

Το θέμα είναι πως το ρολόι του δέκτη και του δορυφόρου δεν συγχρονίζονται ποτέ τέλεια. Επίσης ξέρουμε πως οποιοδήποτε λάθος στον συγχρονισμό μεταφράζεται και σαν λάθος απόστασης όσον αφορά το σημείο το οποίο έχουμε επιλέξει.

Υποθέτουμε ότι το ρολόι του δέκτη προηγείται κατά ένα sec του ρολογιού του δορυφόρου. Έτσι λοιπόν ενώ το ρολόι του δορυφόρου δείχνει 2:59:59 PM, το ρολόι του δέκτη δείχνει 3:00:00 PM. Αυτό σημαίνει πως καθώς μετράμε τον χρόνο που κάνει το σήμα για να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη εμφανίζεται ότι το σήμα έκανε ένα sec παρά πάνω.

Με μόνο δύο δορυφόρους ο δέκτης δεν καταλαβαίνει λάθος και υπολογίζει ότι το σημείο που έχει βρει είναι το σωστό με απόλυτη ακρίβεια βασιζόμενο όμως στις ανακριβείς πληροφορίες υπολογισμού χρόνου απόστασης.

Πρόσθεση σήματος ενός ακόμη δορυφόρου

Το πρόβλημα γίνεται ορατό για τον δέκτη καθώς εμπλέκεται και το σήμα ενός ακόμα δορυφόρου. Επειδή το πρόβλημα είναι στο ρολόι του δέκτη και όχι του δορυφόρου η επιπρόσθετη δορυφορική μέτρηση χρόνου θα απέχει από την πραγματική του τιμή κατά ένα δευτερόλεπτο. Έτσι λοιπόν ο δέκτης βλέπει ότι το σήμα για να φτάσει χρειάζεται οκτώ δευτερόλεπτα και όχι επτά που είναι στην πραγματικότητα.

Τελικά με αυτές τις τελικές τιμές των σημάτων των τριών δορυφόρων δεν υπάρχει κανένα άλλο σημείο στο σύμπαν που να απέχει έξι δευτερόλεπτα από τον πρώτο δορυφόρο, επτά δευτερόλεπτα από τον δεύτερο δορυφόρο και οκτώ δευτερόλεπτα από τον τρίτο δορυφόρο.

Όσο πιο γρήγορα ο δέκτης το καταλάβει αυτό, καταλαβαίνει ότι το λάθος είναι στο δικό του ρολόι και τότε γυρίζει σιγά, σιγά πίσω ή μπροστά έως ότου τα τρία σήματα διασταυρωθούν. Στην ουσία το κάνει αυτό χρησιμοποιώντας την τεχνική της μαθηματικής εξίσωσης των τεσσάρων εξισώσεων για τέσσερις αγνώστους.

Αυτό λοιπόν μας δίνει τον προσανατολισμό δύο διαστάσεων όμως με το ίδιο σκεπτικό μπορούμε να κάνουμε τρισδιάστατο

προσανατολισμό αρκεί να προσθέσουμε και το σήμα ενός τρίτου δορυφόρου.

Επίπεδα υπηρεσιών του GPS

Δύο επίπεδα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης προσφέρονται από το GPS: η **Σταθερή Υπηρεσία Εντοπισμού (SPS)** και η **Ακριβής Υπηρεσία Εντοπισμού (PPS)**. Η PPS παρέχει μεγάλη ακρίβεια όσον αφορά τον χρόνο και την ταχύτητα άρα δίνει με μεγάλη ακρίβεια την θέση στην οποία βρισκόμαστε. Έχει σχεδιαστεί από το στρατό των Η.Π.Α. Χρησιμοποιείται μόνο από αυτόν και κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από τους πολίτες αν έχουν ειδικό εξοπλισμό.

Η SPS είναι μικρότερης ακρίβειας από την PPS, αλλά είναι διαθέσιμη για όλους τους πολίτες που είναι εξοπλισμένοι με έναν οποιασδήποτε τιμής δέκτη GPS. Όπως θα δούμε υπάρχουν πολλές τεχνικές που αυξάνουν την SPS ακρίβεια και την φτάνουν περίπου στα επίπεδα της PPS.

Έτσι λοιπόν η ακρίβεια που προσφέρει η PPS στα διάφορα επίπεδα παρουσιάζεται πιο κάτω:

- 17,8 μέτρα οριζόντια ακρίβεια
- 27,7 μέτρα κατακόρυφης ακρίβειας
- 100 ns ακρίβεια χρόνου

Όσον αφορά την SPS έχουμε τα εξής επίπεδα ακρίβειας:

- 100 μέτρα οριζόντιας ακρίβειας
- 156 μέτρα κατακόρυφης ακρίβειας
- 167 ns ακρίβεια χρόνου

Κεφάλαιο 2

Η βασική δομή του σήματος GPS

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σήμα σε μορφή δακτυλίου σε δύο διαφορετικές ραδιοσυχνότητες: 1575,42 MHz (τμήμα της λεγόμενης L Band) που είναι γνωστό σε εμάς με την ονομασία L1 κύμα και η δεύτερη συχνότητα είναι στα 1,2276 GHz (επίσης της L-Band) που είναι γνωστό σε εμάς ως L2 κύμα.

Τοποθετημένος πάνω από το σήμα του φέροντος κύματος είναι ένας τυχαίος ψεύτικος, δυαδικός, διπλής φάσης κώδικας διαμόρφωσης που ονομάζεται PRN κώδικας και ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε δορυφόρο. Αυτό σημαίνει απλά ότι αυτό το φερόμενο σήμα είναι διαμορφωμένο αλλάζοντας τη φάση του (την πάνω και κάτω θέση του κύματος) εμπρός και πίσω σε ένα συμμετρικό και προγραμματισμένο διάστημα. Αυτή η συμμετρικά προγραμματισμένη παράλλαξη στο σήμα μεταφέρει σπουδαίες πληροφορίες σαν μια μορφή κώδικα Μορς.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί κώδικες χαρακτήρων που χρησιμοποιούνται από τους GPS δορυφόρους: ο C/A-κώδικας που προφέρεται και ως κώδικας των πολιτών και ο P-κώδικας.

Όταν ένα ράδιο εκπέμπει ένα σήμα τότε το σήμα αυτό έχει ημιτονοειδή μορφή. Το ημιτονοειδές αυτό κύμα αναγνωρίζεται από την **συχνότητα** (ο αριθμός των κορυφών στην μονάδα του χρόνου συνήθως δίνεται σε Hz), το **μήκος κύματος** (η απόσταση μεταξύ των κορυφών του) και το **πλάτος του κύματος** (το ύψος των κορυφών του). Τα μήκη κύματος μπορούν να φτάσουν σε δεκάδες χιλιόμετρα έως κλάσματα του μικρομέτρου. Η συχνότητα είναι συνδεδεμένη στενά με το μήκος κύματος και φτάνει από συχνότητα ανά ώρα ως και συχνότητα σε εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου (υψηλή συχνότητα).

Από μόνο του το φέρον κύμα δεν μπορεί να μεταφέρει άλλες πληροφορίες εκτός από την συχνότητα, το μήκος κύματος και το πλάτος του. Αν θελήσουμε να μεταφέρουμε και άλλες πληροφορίες εκτός από αυτές που αναφέραμε τότε θα πρέπει να το διαμορφώσουμε ή να το μεταβάλλουμε σε συμμετρικό διάστημα. Η δεύτερη γραμμή που απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα παρουσιάζει χαρακτήρες από μηδενικά και άσσους και τα οποία είναι εκείνα που θέλουμε να στείλουμε μέσα από το φέρον σήμα, κάτι σαν τον κώδικα Μορς. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να στείλουμε αυτές τις πληροφορίες.

Βασικό Φέρον Κύμα



μετάδοση άσων-μηδενικών



Διαμόρφωση Πλάτους (AM)



Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)



Διαμόρφωση Φάσης (PM)



Ο πρώτος είναι αλλάζοντας το πλάτος ή μεταβάλλοντας το ύψος των κορυφών του ημιτονοειδούς κύματος. Αν ποτέ ακούσετε να μιλούν για AM αυτό σημαίνει διαμόρφωση πλάτους.

Μπορείτε επίσης να μεταβάλετε έστω και ελάχιστα την συχνότητα γύρω από μια κεντρική συχνότητα. Αυτή η διαμόρφωση είναι γνωστή ως διαμόρφωση συχνότητας ή FM.

Μπορείτε ακόμα να μεταβάλετε την φάση του ημιτονοειδούς κύματος. Αυτό μπορεί να γίνει με την μεταβολή του ύψους των κορυφών του κύματος. Έτσι λοιπόν φτιάχνοντας ανισοϋψή ημιτόνια κύματα μπορείτε να φτιάξετε τον δικό σας κώδικα Μορς και να μεταδώσετε εκείνες τις πληροφορίες που εσείς θέλετε. Αυτή η μέθοδος απεικονίζεται στο κάτω μέρος του σχήματος.

Ψευδο-τυχαίος κώδικας

Δύο σήματα από χαρακτήρες σαν τον κώδικα Μορς εκπέμπονται από κάθε δορυφόρο. Αυτοί οι κώδικες είναι οι C/A και P.

Ο C/A-κώδικας είναι μια ακολουθία από 1,023 διφασικές διαμορφώσεις στο φέρον κύμα. Κάθε φορά που θα έχουμε μεταβολή της φάσης, ή αλλαγή από μηδέν σε ένα στο φέρον κύμα θα λέγεται chip. Αυτή η ακολουθία από 1023 chip επαναλαμβάνεται 1000 φορές το δευτερόλεπτο καταλήγοντας σε μια αξία chip των 1023 MHz ή μια αλλαγή φάσης κάθε εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου. Κάθε δορυφόρος κατέχει τον δικό του κώδικα χαρακτήρων. Ο C/A-κώδικας χρησιμοποιείται για την SPS.

Ο P-κώδικας είναι παρόμοιος με τον C/A-κώδικα, μόνο που ενώ ο C/A-κώδικας αποτελείται από μια ακολουθία 1023 chip. Έτσι λοιπόν ο P κώδικας κάνει για να ολοκληρωθεί 267 ημέρες. Μια εβδομάδα ψηφίων από τις 267 ημέρες χαρακτήρων είναι προσδιορισμένες για κάθε δορυφόρο και αλλάζονται εβδομαδιαία. Ο P κώδικας είναι ο κώδικας που χρησιμοποιείται από την PPS.

Καθώς η απόσταση είναι ευθεία συνάρτηση του χρόνου το ραδιοκύμα δεν μπορεί να ταξιδέψει πολύ μακριά σε 1/10000000 του δευτερολέπτου. Συμπερασματικά ο P-κώδικας είναι πολύ πιο ακριβής από τον C/A-κώδικα.

Ο κώδικας είναι το κλειδί

Ο κώδικας είναι το κλειδί για να καταλάβουμε πώς το GPS καθορίζει την απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη, καθώς και η PPS και η SPS χρησιμοποιούν η κάθε μία τον δικό τους ιδιαίτερο κώδικα με τον ίδιο τρόπο. Αυτοί εξάγουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας χρησιμοποιώντας διαφορετικούς χαρακτήρες chip. Στην ουσία και οι δυο λειτουργούν πανομοιότυπα.

Κάθε δέκτης έχει στην μνήμη του τον κώδικα του κάθε δορυφόρου. Ο δέκτης χρησιμοποιεί αυτήν την πληροφορία για να παράγει έναν πανομοιότυπο κώδικα με αυτόν του δορυφόρου την ίδια στιγμή που ο δορυφόρος ξεκινά να παράγει τον δικό του κώδικα.

Επειδή υπάρχει ένα διάστημα χρόνου από την στιγμή που εκπέμπεται το σήμα από τον δορυφόρο έως ότου το σήμα αυτό φτάσει στον δέκτη, οι δύο αυτοί κώδικες δεν ταιριάζουν απόλυτα. Αυτή η διαφορά χρόνου ανάμεσα στους δύο κώδικες είναι εκείνη η οποία χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η απόσταση ανάμεσα στον δέκτη και τον δορυφόρο. Αυτή η μέθοδος προσδιορισμού του χρόνου που προκύπτει από την σύγκριση των δύο κωδίκων και από την καθυστέρηση χρόνου που αυτοί παρουσιάζουν, λέγεται **Αλληλεξάρτηση Κώδικα**. Έτσι λοιπόν οι αποστάσεις που παράγονται πριν από οποιαδήποτε διόρθωση λάθους εμπλακεί στο σήμα ονομάζονται **Ψευδοαποστάσεις**.

Στον πραγματικό κόσμο του GPS είναι εύκολο να βρεις το που είσαι στον κώδικα C/A καθώς η ακολουθία χαρακτήρων επαναλαμβάνεται κάθε 1/1000 του δευτερολέπτου. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι πώς θα καταλάβουμε που βρισκόμαστε στον P-κώδικα που διαρκεί 267 ημέρες;

Το πρόβλημα λύνεται με την μεσολάβηση του C/A-κώδικα. Οι δέκτες του P-κώδικα χρησιμοποιούν τον C/A-κώδικα για να βρουν σε ποιο σημείο του P-κώδικα πρέπει να ψάξουν. Έτσι αν ο C/A-κώδικας μπορέσει να πληροφορήσει τον δέκτη σε ποιο σημείο περίπου βρίσκεται, τότε ο δέκτης θα χρειαστεί να ψάξει σε ένα μικρό τμήμα του P-κώδικα.

Πού βρίσκονται οι δορυφόροι;

Ξέροντας μόνο πόσο μακριά βρισκόμαστε από κάθε δορυφόρο δεν είναι απαραίτητα και αρκετό. Τα σήματα των δορυφόρων το μόνο

που δίνουν είναι το πόσο μακριά βρισκόμαστε αναφορικά με τον κάθε δορυφόρο.

Ευτυχώς αυτό δεν είναι τόσο δύσκολο. Σε πρώτη φάση ο στρατός είναι πολύ επιφυλακτικός επειδή αυτά είναι πολύ ακριβά στρατιωτικά εξαρτήματα. Σε ένα σημείο του διαστήματος οι τροχιές των δορυφόρων τείνουν να γίνουν πολύ σταθερές χρονικά γιατί ουσιαστικά βρίσκονται πολύ πάνω από την ατμόσφαιρα και από την έλξη που αυτή προκαλεί. Εκτροπές στην τροχιά των δορυφόρων που οφείλονται στις δυνάμεις της βαρύτητας είναι προβλέψιμες και εύκολα μπορούν να εξισορροπηθούν.

Οι αναπόφευκτες και απρόβλεπτες εκτροπές της τροχιάς των δορυφόρων ελέγχονται από το έδαφος. Οι εκτροπές αυτές διορθώνονται από την μονάδα ελέγχου στο έδαφος η οποία στέλνει τα κατάλληλα σήματα στον δορυφόρο και αφού γίνει αυτό ο δορυφόρος στέλνει στο έδαφος με ένα σήμα την καινούργια του διορθωμένη τροχιά. Αυτή η θέση του δορυφόρου και οι πληροφορίες για την τροχιά του ονομάζονται **Εφημερίδα**.

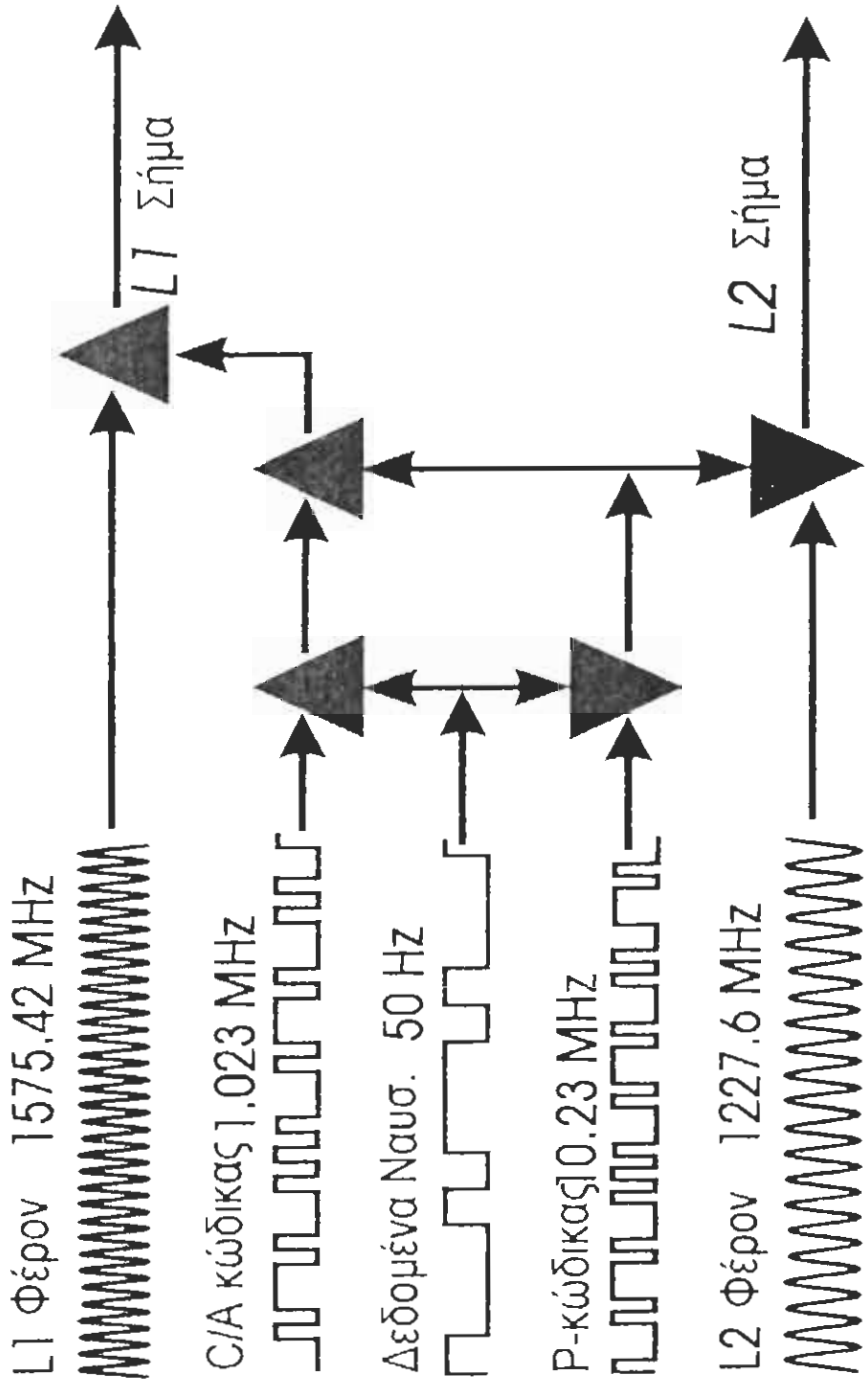
Αυτή είναι τμήμα των δεδομένων του συστήματος ναυσιπλοΐας (NAV-msg) τα οποία επίσης τοποθετούνται πάνω από τα φέροντα κύματα L1 και L2. Στην ουσία δρουν σαν διαμόρφωση της διαμόρφωσης που έχουμε ήδη εξηγήσει.

Επιπροσθέτως, μέσα στις πληροφορίες που μεταδίδονται για την διόρθωση της τροχιάς και της θέσεως των δορυφόρων μεταφέρονται επίσης πληροφορίες διόρθωσης της ώρας των ρολογιών των δορυφόρων και έτσι οι δέκτες στο έδαφος θα μπορούν να εξουδετερώσουν αυτά τα λάθη.

Χάρτης της δομής των σημάτων GPS

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τις ποικίλες μορφές κωδίκων που εκπέμπονται στις δυο φέρουσες συχνότητες. Το L1 κύμα των 1575,42 MHz μεταφέρει τον C/A-κώδικα, τον P-κώδικα και τον NAV κώδικα.

Το L2 κύμα των 1227,6 MHz μεταφέρει μόνο τον P-κώδικα και τον NAV-κώδικα. Έτσι λοιπόν βλέπουμε ότι ενώ ο P-κώδικας είναι διαθέσιμος και για τις δυο συχνότητες όπως και ο NAV-κώδικας, ο C/A κώδικας είναι διαθέσιμος μόνο από την L1 συχνότητα.



Επίδραση του σήματος

Η δύναμη του σήματος του GPS είναι πολύ μικρή, ισοδύναμη με τα πίσω φώτα ενός αυτοκινήτου όπως φαίνονται από απόσταση 2500 χιλιόμετρα μακριά. Στην ουσία είναι ασθενέστερο και από αυτόν τον συνηθισμένο υπόκωφο θόρυβο που βρίσκεται συνέχεια ανάμεσά μας.

Πώς θα απομονώσουμε ένα συναφή κατανοητό ήχο από έναν δυνατότερο θόρυβο βάθους αποτελεί μελέτη της θεωρίας των πληροφοριών. Επειδή ο θόρυβος βάθους είναι στην πραγματικότητα τυχαίος μπορούμε να πάρουμε τυχαίους χαρακτήρες και να τους "απλώσουμε" επαναληπτικά. Τότε και επειδή είναι τυχαίοι τελικά μπορούν να ακυρωθούν ή να εξουδετερωθούν μεταξύ τους.

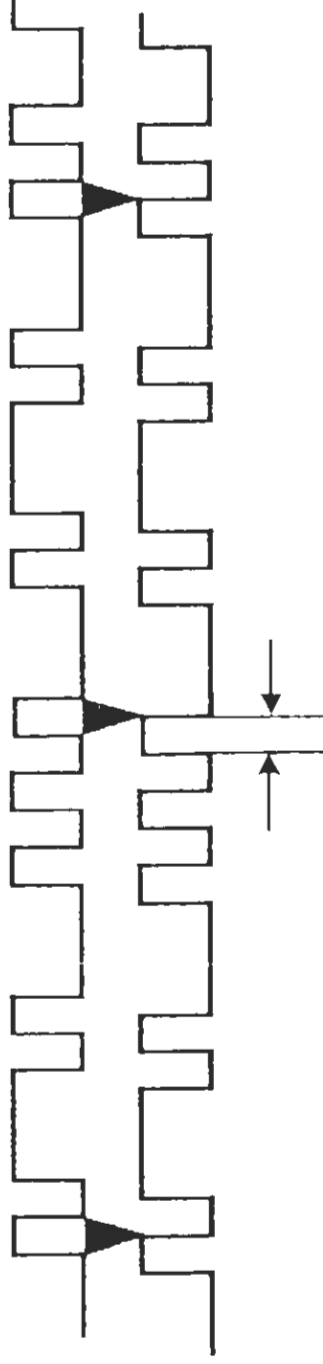
Αν κάνουμε την ίδια διαδικασία με τον κώδικα όπως αυτή που κάναμε με τον θόρυβο βάθους τότε θα έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα. Πρέπει εδώ να θυμηθούμε ότι ο δέκτης έχει ένα εσωτερικό αντίγραφο του PRN κώδικα του δορυφόρου. Ο δέκτης μπορεί να πάρει ένα τμήμα του αντιγράφου αυτού του κώδικα και να το αποθηκεύσει πάνω από τον εισερχόμενο θόρυβο (ο οποίος περιέχει τον κώδικα του δορυφόρου) και μετά να μετακινήσει το τμήμα του αντιγράφου μπρος και πίσω έως ότου να ευθυγραμμισθεί με τον κρυμμένο κώδικα του δορυφορικού σήματος. Τότε αυτά τα δύο σήματα ενισχύονται και καταλήγουν σε έναν ενισχυμένο και λεπτοκαμωμένο σήμα. Ο δέκτης στην συνέχεια παίρνει ένα άλλο κομμάτι του αποθηκευμένου κώδικα και το μεταφέρει αργά δεξιά και αριστερά πάνω στο είδη ενισχυμένο σήμα έως ότου αυτά τα δύο σήματα ταυτιστούν και ενισχυθούν ξανά.

Επειδή τα ηλεκτρονικά λειτουργούν με την ταχύτητα του φωτός όλες αυτές οι επικαλύψεις γίνονται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα γρήγορα εξαφανίζεται ο θόρυβος (ή ο περισσότερος από αυτόν) και ταυτόχρονα το σήμα ενισχύεται σε μεγάλο βαθμό έως την επιθυμητή τιμή και μορφή του κώδικα.

C/A-κώδικας

Ο C/A-κώδικας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης μετρώντας τον χρόνο καθυστέρησης άμεσα σε όμοια chip του κώδικα του δορυφορικού σήματος και του αντιγράφου του δορυφορικού κώδικα που βρίσκεται μέσα στον δέκτη. Όμως εδώ

C/A κώδικας 1.023MHz



1 "Chip" ~1 Microsecond
= 300 Μέτρα

Η επεξεργασία σήματος επιτρέπει ανάλυση ~ 1% του μήκους του Chip
= 3 Μέτρα

παρουσιάζεται ένα μικρό πρόβλημα: η σύγκριση γίνεται ανάμεσα σε μοναδικά chip που το καθένα διαρκεί ένα μs ή $1/1000000$ του δευτερολέπτου. Κάθε chip μπορεί να ταιριάζει απόλυτα οπουδήποτε μέσα στο ταιριαστό chip όμως δεν έχουμε την δυνατότητα να ξέρουμε σε ποιο σημείο του διαστήματος του ταιριαστού chip έγινε η ταύτιση. Με βάση την ταχύτητα του ραδιοκύματος το μήκος ενός chip μεταφράζεται σε 300 μέτρα ($1 \text{ chip} \sim 1 \text{ microsecond} = 300 \text{ m}$).

Ευτυχώς οι τεχνικές προσέγγισης σήματος, οι οποίες αποτελούν γενικό κανόνα μας επιτρέπουν να βελτιώσουμε τα αποτελέσματα παρακολούθησης σε ποσοστό περίπου 1% του μήκους κύματος του σήματος (στην προκειμένη περίπτωση αναφερόμαστε στο μήκος του chip του C/A-κώδικα) που μεταφράζεται σε περίπου τρία μέτρα. Αυτή είναι θεωρητικά η μεγαλύτερη ανάλυση για τον περιορισμό του λάθους της ακτίνας που μπορεί να σχεδιαστεί από τον C/A-κώδικα.

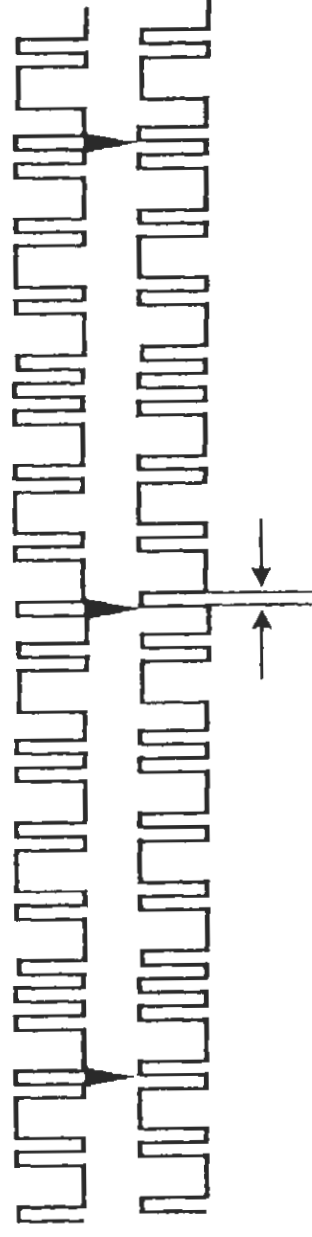
P-κώδικας

Ο P-κώδικας χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της θέσης που βρισκόμαστε με την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιεί και ο C/A-κώδικας και η οποία βασίζεται στην μέτρηση της διαφοράς χρόνου ανάμεσα σε δύο όμοια chip του δορυφορικού κώδικα και του αντίγραφού του.

Ενώ το πρόβλημα της αμφιβολίας ως προς το ταιρίασμα των chip εξακολουθεί να υπάρχει, το μήκος του chip στον P-κώδικα είναι το $1/10$ του μήκους του chip στον C/A-κώδικα και μεταφράζεται σε 30 μέτρα μήκος.

Όπως και για τον C/A-κώδικα, εφαρμόζεται ο γενικός εμπειρικός κανόνας ότι οι παρατηρήσεις μπορούν να αναλυθούν στο 1% του μήκους του chip που μεταφράζεται σε 0,3 μέτρα και η οποία είναι η μεγαλύτερη δυνατότητα ανάλυσης του μήκους ενός chip που μπορεί να γίνει.

P κώδικας 10.23MHz



1 "Chip" ~ 1/10 Microsecond
= 3 Μέτρα

Η επεξεργασία σήματος επιπρέπει ανάλυση ~ 1% του μήκους του Chip

= 30 Cm

Αντιπαραπλάνηση (A/S)

Το ερώτημα που τίθεται είναι το εξής: ποιον από τους δύο κώδικες θα χρησιμοποιήσουμε τώρα; Η πρώτη σκέψη είναι ότι ο πιο καλός κώδικας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ο P-κώδικας και αφού και οι δύο κώδικες λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο γιατί θα πρέπει ο ένας δέκτης να διαφέρει από τον άλλο; Ακόμα και αν έχει αναφερθεί ότι ο P-κώδικας προορίζεται για στρατιωτική χρήση, θα μπορούσαμε να τον χρησιμοποιήσουμε και να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη ακρίβεια παρά το γεγονός ότι υπάρχουν κάποια προβλήματα.

Όπως έχει αναφερθεί βασικό κριτήριο από τον στρατό για την εκτεταμένη από μέρος του χρήση είναι να είναι ασφαλές απέναντι σε εχθρικές παρενοχλήσεις. Αυτό εξασφαλίστηκε από δύο μέτρα που πάρθηκαν για τον σκοπό αυτό. Το ένα είναι η **Επιλεκτική Διαθεσιμότητα (S/A)** και το άλλο είναι η **Αντιπαραπλάνηση (A/S)**.

Ένας τρόπος με τον οποίο θα μπορέσει κάποιος εχθρός να εμπλακεί με το GPS σύστημα είναι να στείλει ένα ψεύτικο σήμα κατεύθυνσης στις ένοπλες δυνάμεις των Η.Π.Α και να τις στείλει σε διαφορετικό σημείο. Αυτό ονομάζεται παραπλανητικό σήμα. Οι ένοπλες δυνάμεις αντιπαρατίθενται σε αυτό με την τεχνική **AntiSpoofing** η οποία κρυπτογραφεί το σήμα, και το κάνει εύχρηστο μόνο σε εκείνους που έχουν το "κλειδί" για την αποκρυπτογράφηση. Αυτό σημαίνει ότι όποιος χρησιμοποιεί το GPS χωρίς να έχει το "κλειδί" μπορεί να έχει πρόβλημα όταν αποφασίσουν οι ένοπλες δυνάμεις να γυρίσουν τον διακόπτη της κρυπτογράφησης. Όταν μπαίνει σε εφαρμογή, τότε ο P κώδικας εμφανίζεται σε εμάς ως Y-κώδικας. Το σήμα της κρυπτογράφησης μπορεί να μεταφερθεί στον P-κώδικα και από τα L1 και από τα L2 φερόμενα κύματα. Ο C/A-κώδικας δεν επηρεάζεται εκτός εάν ο εχθρός εμπλέξει ορισμένα σήματα παραπλάνησης. Τα επόμενα χρόνια, είναι στο πρόγραμμα να σχεδιαστεί ένα νέος κώδικας παρόμοιος με τον P-κώδικα και οι νέοι δέκτες θα πωλούνται πολύ ακριβότερα από ότι οι συνηθισμένοι δέκτες.

Φέρον συγχρονισμός

Μέχρι τώρα έχουμε δει ότι η ακρίβεια εύρεσης της θέσης εξαρτάται από το μήκος του chip. Όμως αντί να μετρούμε το μήκος ενός chip θα ήταν πιο ακριβές να μετρήσουμε το μήκος κύματος του

φέροντος κύματος. Το μήκος κύματος της υψηλής συχνότητας L1 1575,42 MHz είναι 19 cm και το οποίο είναι μικρότερο από το μήκος του ενός chip του P-κώδικα και περισσότερο ακριβές.

Για να βρούμε την απόσταση από έναν δορυφόρο μετράμε το πόσα μήκη κύματος μεσολαβούν από τον δορυφόρο μέχρι τον δέκτη. Έτσι λοιπόν εάν μετρήσουμε 100000000 μήκη κύματος τότε η απόσταση είναι 20000 Km. Αυτό εξάγεται από την απλή αριθμητική πράξη $100000000 * 19 \text{ cm} = 20000 \text{ Km}$.

Όμως υπάρχουν ορισμένα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Με τον PRN κώδικα ο δέκτης ξέρει που βρίσκεται ανάλογα με το μήκος του κωδικού χαρακτήρα επειδή οι χαρακτήρες του κώδικα είναι αναγνωρίσιμοι και μοναδικοί από τον δέκτη.

Με την μέθοδο μέτρησης της απόστασης μέσω του μήκους κύματος δεν υπάρχει τρόπος να βρεις το που βρίσκεσαι με την μέτρηση του μήκους κύματος γιατί κάθε κύμα είναι πανομοιότυπο με το επόμενο. Αυτή η αδυναμία αναγνώρισης ονομάζεται **Ασάφεια Φέρον Συγχρονισμού**. Οι σύνθετοι έξυπνοι δέκτες χρησιμοποιούν τον C/A κώδικα είτε για τον φέρον συγχρονισμό είτε για να πάρουν 100 κύκλους ανάμεσα από την ακριβή μέτρηση του κύματος.

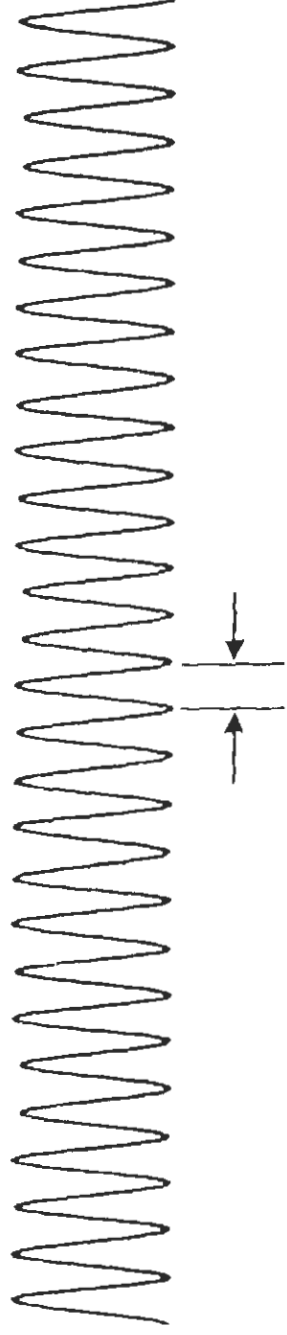
Για να αναλύσουμε αυτούς τους 100 κύκλους είναι απαραίτητο από τον δέκτη να παρατηρεί συνεχώς την αλλαγή στην θέση του κάθε ενός από τους δορυφόρους που παρατηρούν μέσα στον χρόνο, χωρίς καμία διακοπή της λήψης του κύματος από τους δορυφόρους που κινούνται μέσα στο διάστημα.

Πριν από κάποια χρόνια θα χρειαζόμασταν 60 έως 90 λεπτά για να αναλύσουμε σωστά την αμφιβολία στην μέτρηση του κύματος. Σήμερα όμως χρειαζόμαστε λίγα μόνο δευτερόλεπτα για να έχουμε την εξάλειψη του προβλήματος με την βοήθεια σύγχρονων δεκτών που ονομάζονται OTF.

Όπως γίνεται και με την μέθοδο μέτρησης του μήκους του ενός chip για την εύρεση της απόστασης, το ίδιο γίνεται και με την μέθοδο μέτρησης της απόστασης βάση του μήκους κύματος όπου το μήκος του ενός κύματος του L1 των 1575,42 MHz μεταφράζεται σε 19cm ή αποτελεί το 1/158 του P-κώδικα όπου το μήκος του κάθε chip του φτάνει τα 30m ή το 1/1,579 των 300m του C/A-κώδικα. Αυτή είναι από τις μεγαλύτερες ακρίβειες που μπορούμε να πετύχουμε από όλους τους κώδικες κάτω από τις καλύτερες συνθήκες.

Σύμφωνα με την γενική αρχή της επεξεργασίας του σήματος μπορούμε να αυξήσουμε την ανάλυση του σήματος στο 1% του ανακληθέντος κύματος πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να εξετάσουμε έως και 1,9mm του σήματος. Αυτή είναι η μέγιστη

LI Φέρον 1575.42 MHz



1 μήκος κύματος = 19 Cm

Η επεξεργασία σήματος επιτρέπει ανάλυση ~ 1% του μήκους κύματος

= 1.9mm

δυνατή ακρίβεια που μπορούμε να πετύχουμε σε μια περιοχή των 30mm.

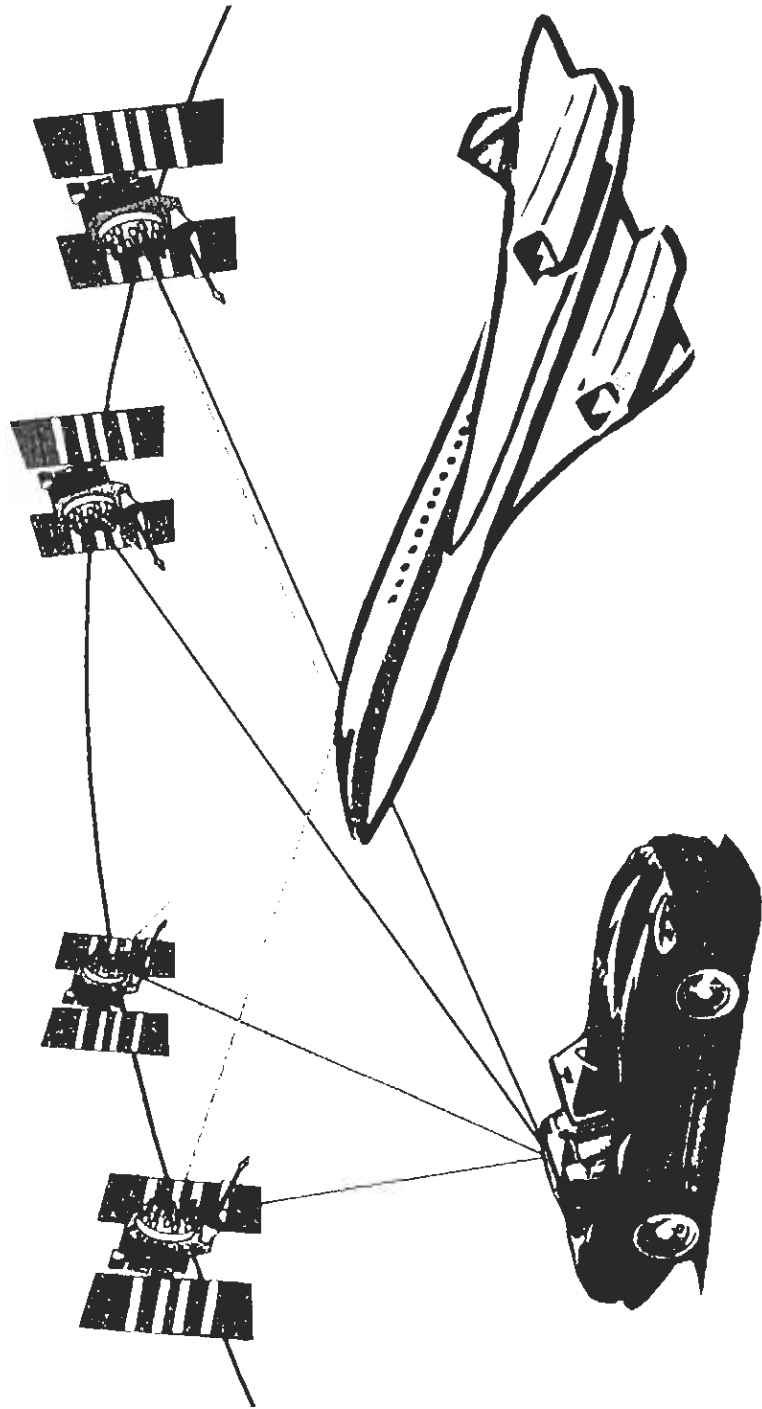
Όμως αυτή την ακρίβεια δεν μπορούμε να την πετύχουμε εύκολα και πολλές φορές χρειαζόμαστε δυο δέκτες για να την πετύχουμε και για να προστατέψουμε το σύστημα από εισερχόμενα λάθη τα οποία και πρέπει να τα διορθώσουμε.

Εύρεση ταχύτητας μέσω GPS

Ο εντοπισμός της θέσης δεν είναι το μόνο πράγμα που μπορούμε να κάνουμε με το GPS. Μια άλλη σημαντική λειτουργία που μπορούμε να πετύχουμε είναι η ταχύτητα και η ένδειξη πυξίδας. Ωστόσο, ενώ η ταχύτητα μπορεί να υπολογιστεί από την απλή διαφορά θέσης μεταξύ της χρονικής στιγμής 1 και της χρονικής στιγμής 2 συχνότερα υπολογίζεται με ένα διαφορετικό τρόπο.

Εξαιτίας της σχετικής κίνησης του δορυφόρου σε αναφορά με τον δέκτη, η συχνότητα του σήματος που εκπέμπεται από τον δορυφόρο τείνει συνεχώς να αλλάζει, όταν λαμβάνεται, δηλαδή ή να μεγαλώνει ή να μικραίνει. Αυτή η μεταβολή Doppler, βρίσκεται σε αναλογία με την σχετική κίνηση ανάμεσα στον δορυφόρο και στον δέκτη. Η ταχύτητα των δορυφόρων, καθώς αυτοί κινούνται στο διάστημα γίνεται γνωστή και μεταδίδεται μέσα από τα σήματα NAV msg. Οποιαδήποτε επιπρόσθετη μεταβολή Doppler υπάρξει, θα οφείλεται στην ίδια την κίνηση του δέκτη. Από αυτό, ο δέκτης μπορεί να εξαγάγει την ταχύτητα του από την μέτρηση κάθε μεταβολής Doppler που αναφέρθηκε πιο πάνω και που προκύπτει από την κίνηση του δορυφόρου. Αυτή η μέθοδος μέτρησης της ταχύτητας είναι ακαριαία και εξαιρετικά ακριβής. Η ακρίβεια της ταχύτητας κυμαίνεται στο 0,5 Km ανά ώρα.

Η διεύθυνση του ταξιδιού είναι αποτέλεσμα ενός διαφορετικού τρόπου υπολογισμού. Απλά σημειώνουμε με μια γραμμή την κατεύθυνση μας από το ένα σημείο στο άλλο σύμφωνα με την διεύθυνση του ταξιδιού. Κοιτώντας την ακολουθία από σημεία ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει κάθε εμπλεκόμενο σημείο και να εξαγάγει την σωστή πορεία. Έτσι κάθε κινούμενος δέκτης μπορεί να λειτουργήσει σαν ακριβής πυξίδα.



Περιεχόμενα λαθών στο σύστημα GPS

Υπάρχουν αρκετές πηγές λαθών που επηρεάζουν την ακρίβεια του GPS τα οποία και παρατίθενται στην επόμενη σελίδα και οι οποίες είναι λάθη στα ρολόγια του GPS δορυφόρου, λάθη στο στίγμα του δορυφόρου, λάθη από τις διαθλάσεις της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας, ο θόρυβος στον δέκτη, η πολλαπλότητα και η επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA). Παράλληλα η επίδραση του λάθους αυξάνεται με ένα βαθμό από 1-6 ανάλογα με την ποσότητα των λαθών που εμπλέκονται και παρουσιάζεται ως **Διάλυση Ακρίβειας** ή DOP.

Όλα αυτά τα λάθη μαζί εξάγουν μια μεγάλη ποσότητα λάθους που αναφέρεται ως UERE. Ευτυχώς αυτά τα λάθη δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα και έτσι η επίδραση του λάθους δεν είναι τόσο μεγάλη. Χωρίς την επίδραση της SA το λάθος περιορίζεται γύρω στα 28 μέτρα. Αν όμως εμφανιστεί και η SA τότε το λάθος αυξάνεται στα 100 μέτρα.

Τα πρώτα από τα λάθη που εμφανίζονται είναι το λάθος στο ρολόι του δορυφόρου και στο στίγμα του. Αυτά τα λάθη είναι στην ουσία μικρά από τότε που οι ένοπλες δυνάμεις των Η.Π.Α παρακολουθούν προσεκτικά κάθε δορυφόρο από τα μόνιτορ και αν παρατηρήσουν λάθη τότε στέλνουν διορθωτικά σήματα στον δορυφόρο κάθε λίγες ώρες. Η επίδραση του λάθους μπορεί να φανεί όταν ο δορυφόρος εκτραπεί για λίγο από την πορεία του και ο δέκτης λάβει σήματα πριν προλάβει να γίνει η διόρθωση από τον σταθμό ελέγχου. Όμως θα μπορούμε να καταλάβουμε το σφάλμα, αφού έχει συμβεί βέβαια, μέσα από πληροφορίες που εκπέμπονται από διάφορες ιδιωτικές και δημόσιες πηγές ακόμα και της κυβέρνησης.

Ιονοσφαιρικές και τροποσφαιρικές διαθλάσεις

Μια άλλη περιοχή προβλήματος είναι η ατμόσφαιρα από μόνη της μέσα από την οποία περνούν τα σήματα του δορυφόρου. Όπως έχουμε αναφέρει η ταχύτητα του ραδιοσήματος φτάνει τα 300000 Km/sec. Αυτό όμως δεν είναι απόλυτα σωστό. Το ραδιοσήμα φτάνει αυτή την ταχύτητα μόνο μέσα στο αχανές διάστημα. Το σήμα για να φτάσει σε εμάς περνά μέσα από 300 Km γήινης ατμόσφαιρας. Τα δυο πιο ενοχλητικά τμήματα της γήινης ατμόσφαιρας είναι η **Ιονόσφαιρα** και η **Τροπόσφαιρα**.

Η Ιονόσφαιρα είναι ένα στρώμα που περιέχει ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια σε ένα ύψος μεταξύ των 50 έως 200 Km. Η

- σφάλμα χρονιστή δορυφόρου 0-1.5 M
- σφάλμα "εφημερίδας" του δορυφόρου 1-5 M
- ιονοσφαιρική διάθλαση 0-30 M
- τροποσφαιρική διάθλαση 0-30 M
- θόρυβος δέκτη 0-10 M
- σφάλμα λήψης ανακλώμενου σήματος 0-1 M
- επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA) 0-70 M

Αραίωση ακρίβειας: ξεπερνά το εξαπλάσιο

Συνολικό σφάλμα με SA: ~100M
 Συνολικό σφάλμα χωρίς SA: ~28M

Τροπόσφαιρα είναι αυτό που εμείς νομίζουμε για ατμόσφαιρα και εκτείνεται σε μια επιφάνεια από 8 έως 16 Km. Κάθε μια από τις δύο τραβούν στην κυριολεξία τα κύματα και τους προκαλούν μια μικρή αλλά σημαντική κάμψη. Αυτή η κάμψη στο ραδιοσήμα ονομάζεται διάθλαση του σήματος. Το πρόβλημα γίνεται μεγαλύτερο καθώς τα δύο αυτά στρώματα επιδρούν διαφορετικά πάνω στο σήμα.

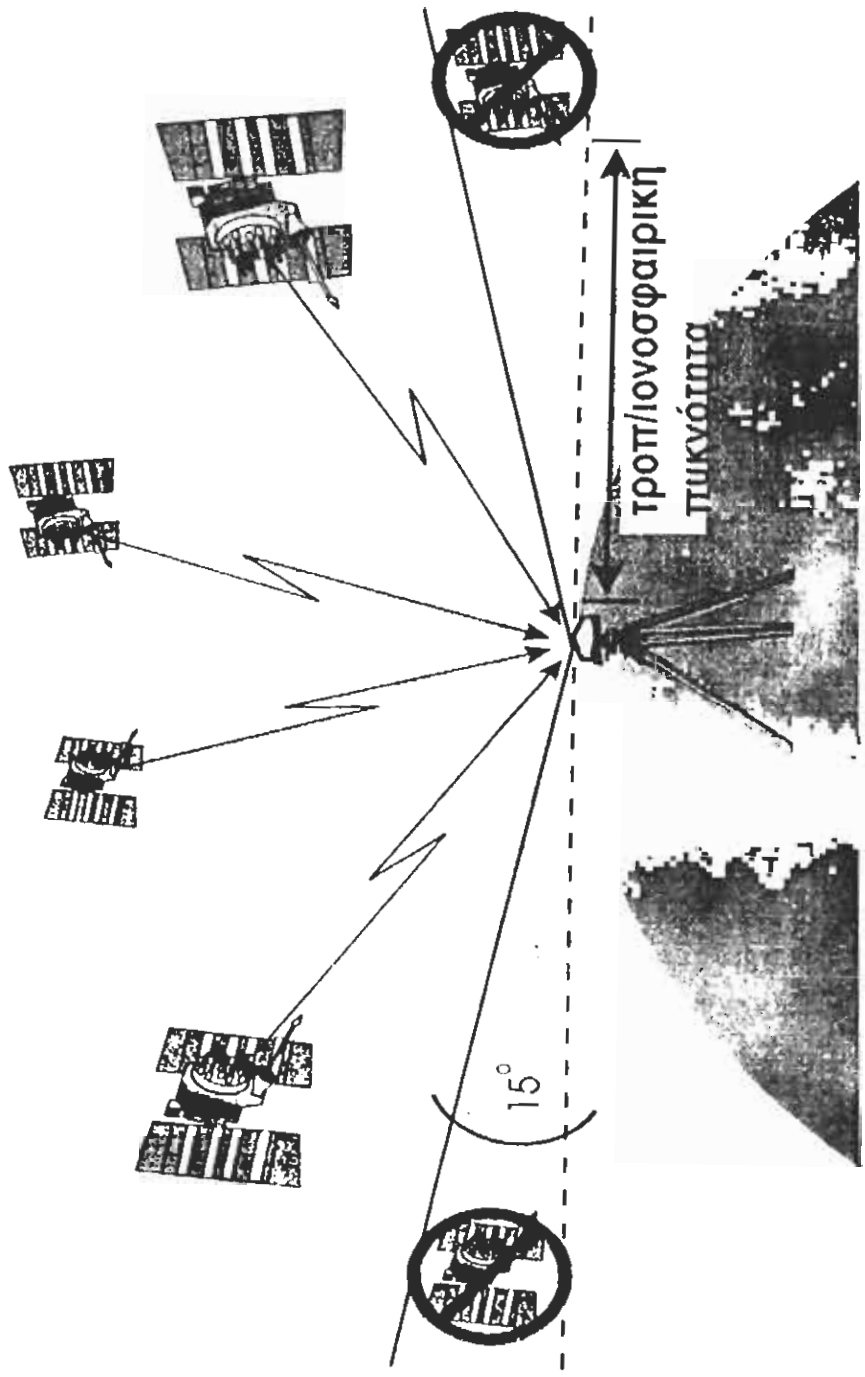
Όσον αφορά τον Ιονόσφαιρα το πρόβλημα εντοπίζεται στα φορτισμένα σωματίδια τα οποία τραβούν το σήμα, ενώ το πρόβλημα στην Τροπόσφαιρα έγκειται στα στρώματα του αεριοποιημένου νερού. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όταν ο δορυφόρος βρίσκεται χαμηλά στον ορίζοντα, γιατί σε αυτήν την θέση συναντά παχύτερο στρώμα ατμόσφαιρας το σήμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διάθλαση αλλάζει όταν αλλάζουν και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Υπάρχουν δυο τρόποι για να αντισταθμίσουμε το πρόβλημα της διάθλασης. Ο ένας από αυτούς είναι ο εξής: οι NAV-msg του δορυφόρου περιέχουν ένα μοντέλο διάθλασης της ατμόσφαιρας το οποίο διορθώνει το λάθος κατά 50-70%.

Μια πιο αποτελεσματική μέθοδος για την διάθλαση από την ιονόσφαιρα είναι να χρησιμοποιήσουμε έναν δέκτη ο οποίος λαμβάνει ταυτόχρονα και τις δυο φέρουσες συχνότητες L1 και L2. Επειδή η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της ποσότητας της διάθλασης του σήματος, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές και ταυτόχρονα εκπεμπόμενες συχνότητες, οι οποίες περνούν την ίδια στιγμή από το ίδιο στρώμα της ατμόσφαιρας, κάνουν εύκολο τον υπολογισμό της διάθλασης και το ποσό αυτό της διάθλασης παίρνει θέση για την αντιστάθμιση. Δυστυχώς οι επιδράσεις της τροπόσφαιρας δεν βρίσκονται σε αναλογία με την συχνότητα και έτσι δεν μπορούν να διορθωθούν με αυτή την μέθοδο.

Γωνία απόκρυψης δορυφόρου

Ενώ οι δέκτες διπλής συχνότητας λύνουν κάπως το πρόβλημα της διάθλασης, παρόλα αυτά είναι πολύ ακριβοί για το κοινό. Όμως υπάρχει μια πιο απλή λύση που περιορίζει σημαντικά το πρόβλημα και η οποία είναι γνωστή ως **Γωνία Απόκρυψης**. Το όνομα αυτό το πήρε από την ειδική λειτουργία του δέκτη λήψεως ενός μόνο φέροντος κύματος και η οποία διαγράφει τα σήματα που προέρχονται από δορυφόρο ο οποίος βρίσκεται σε γωνία από 15° έως 20° πάνω από τον ορίζοντα.



Το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει είναι ότι ο δέκτης ενεργοποιώντας αυτήν τη λειτουργία, μπορεί να διαγράψει έναν δορυφόρο που βρίσκεται σε αυτή την γωνιακή κατάσταση και έτσι δεν θα έχει στην διάθεση του τους 4 δορυφόρους που είναι η ελάχιστη ποσότητα που απαιτείται για να έχουμε έναν σωστό εντοπισμό θέσης. Αν όμως βρισκόμαστε σε τόσο δύσκολη θέση τότε μπορούμε να παρακάμψουμε τη λειτουργία αυτή και να δεχτούμε τον δορυφόρο εκείνο ο οποίος μπορεί να βρίσκεται ακόμα και σε γωνία μηδέν μοιρών από τον ορίζοντα. Όμως είναι σίγουρο ότι θα πάρουμε ένα λανθάνον σήμα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι καλό να κρατάμε αυτή τη λειτουργία σε επίπεδα των 15-20 μοιρών και να περιμένουμε την στιγμή που θα εμφανιστούν 4 δορυφόροι στον ουρανό προκειμένου να πάρουμε ένα σωστό σήμα.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας πηγής λάθους είναι ο εσωτερικός θόρυβος που παράγεται από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του δέκτη και εμπλέκεται στο εισερχόμενο σήμα με αποτέλεσμα να το παραμορφώνει. Σε αυτή την περίπτωση που ο θόρυβος είναι αρκετά μεγάλος οι περισσότεροι χρήστες εφαρμόζουν φίλτρα εξασθένησης του θορύβου.

Λάθη από ανάκλαση

Μια ακόμα πηγή λαθών που εμφανίζεται είναι η ανάκλαση του σήματος του δορυφόρου που προκαλείται από την πρόσπτωση του σήματος πάνω σε διάφορες επιφάνειες με αποτέλεσμα στον δέκτη να εμφανίζονται δύο σήματα. Ένα είναι το σήμα του δορυφόρου και το άλλο είναι το ανακλώμενο σήμα.

Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι ότι το ανακλώμενο σήμα είναι μακρύτερο από το δορυφορικό σήμα και έτσι δημιουργείται το πρόβλημα ποιο από τα δυο σήματα είναι το σωστό. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να εξαλείψουμε αυτό το πρόβλημα. Οι περισσότεροι δέκτες είναι εφοδιασμένοι με κάποια δεδομένα και συγκρίνουν το σωστό με το λάθος σήμα. Καθώς το ανακλώμενο σήμα είναι μεγαλύτερο από το ευθύ σήμα, θα φτάσει στον δέκτη κατά ένα κλάσμα του δευτερολέπτου αργότερα και θα είναι επίσης κατά μια κλασματική μονάδα ασθενέστερο από ότι το ευθύ σήμα. Ο δέκτης τότε καταλαβαίνει αυτή την διαφορά και απορρίπτει το αργότερο και ασθενέστερο σήμα, μειώνοντας έτσι το πρόβλημα.

Επιλεκτική διαθεσιμότητα

Η επιλεκτική διαθεσιμότητα είναι η μεγαλύτερη πηγή λάθους η οποία μπορεί να δώσει ανακρίβεια έως και 70 μέτρα. Η επιλεκτική διαθεσιμότητα είναι ένας σκόπιμος εκφυλισμός του σήματος είτε προσβάλλοντας τα ρολόγια των δορυφόρων είτε διαταράσσοντας τις πληροφορίες που αφορούν τις τροχιές των δορυφόρων και με αυτό τον τρόπο παράγουν αλλοιωμένα αποτελέσματα. Ο σκοπός είναι να μειώσουν την ακρίβεια, για αυτούς που δεν είναι εξουσιοδοτημένοι χρήστες του PPS, γύρω στα 100 μέτρα. Το λάθος διογκώνεται μέσα στα ρολόγια του δορυφόρου και στα δεδομένα ελέγχου του και συνεχίζει να ποικίλλει σε κάποιο βαθμό κατά τις χρονικές περιόδους. Αυτό σημαίνει ότι το λάθος δεν μπορεί να ισορροπηθεί με τις περιοδικές συλλογές δεδομένων πριν περάσουν ορισμένες ώρες.

Διάλυση ακρίβειας

Ο αθροιστικός UERE (User Equivalent Range Error) πολλαπλασιάζεται κατά ένα παράγοντα συνήθως από 1 έως 6 και ο οποίος εκπροσωπεί την αξία του DOP. Η DOP είναι ένα μέτρο μέτρησης της γεωμετρικής κατανομής των δορυφόρων.

Η ιδεατή διάταξη τεσσάρων ή περισσότερων δορυφόρων θα ήταν μια συμμετρική διαστημική διάταξη γύρω από το δέκτη, πάνω και κάτω από αυτόν. Όμως αυτό δεν γίνεται γιατί το ημισφαίριο της Γης κρύβει τον έναν δορυφόρο.

Η πιο καλή μορφή διάταξης είναι ο ένας δορυφόρος ακριβώς από πάνω και οι άλλοι τρεις ομοιόμορφα κατανεμημένοι γύρω από τον δέκτη στο γωνιακό επίπεδο των 25-30 μοιρών για να υπερνικηθεί η διάθλαση του ορίζοντα.

Όσο καλύτερη είναι η κατανομή των δορυφόρων γύρω από τον δέκτη τόσο μικρότερος είναι ο βαθμός του DOP. Η τιμή του DOP μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του χρόνου, εξαιτίας της τροχιακής κίνησης των δορυφόρων.

Γιατί η γεωμετρία των δορυφόρων μπορεί να επηρεάζει σε τόσο μεγάλο βαθμό την ακρίβεια; Επειδή όπως έχουμε αναφέρει για τις πηγές των λαθών, υπάρχει μια προκαθορισμένη ακτίνα των πιθανών λαθών στον υπολογισμό της απόστασης από κάθε δορυφόρο. Αυτή η ακτίνα λάθους είναι μεταβλητή αλλά εφαρμόζεται σε όλες τις ακτίνες κυμάτων που παράγονται από όλους τους δορυφόρους.

Όταν οι δορυφόροι βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους τότε η επικαλυπτόμενη ζώνη των δυο πιθανών δορυφορικών ακτίνων λάθους είναι πολύ μικρή και ονομάζεται **Περιοχή Ασάφειας Εντοπισμού**.

Όταν οι δορυφόροι είναι πολύ κοντά μεταξύ τους τότε η επικαλυπτόμενη περιοχή των ακτίνων των πιθανών λαθών των δορυφόρων, είναι ασύγκριτα μεγαλύτερη από αυτήν που θα υπήρχε όταν οι δορυφόροι ήταν πολύ μακριά μεταξύ τους.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός DOP συνιστωσών. Ο γενικός GDOP περιλαμβάνει :

PDOP η οποία είναι και ο πιο κοινή και βασίζεται στην τρισδιάστατη κατανομή,

HDOP είναι η ανάλυση σε δυο οριζόντιες διαστάσεις. Αυτή η ανάλυση είναι λιγότερο ακριβής από την PDOP γιατί αγνοεί την κάθετη διάσταση,

VDOP είναι η ανάλυση στην κάθετη διάσταση,

TDOP είναι η ανάλυση της ακριβείας της θέσης βασιζόμενη στον χρόνο.

Κατά την παραμονή μας μέσα στις πόλεις όπου τα κτίρια είναι ψηλά και μεγάλα έχουμε το πρόβλημα του ότι κρύβουν τους δορυφόρους. Το πολύ να έχουμε θέα μόνο στον κατακόρυφο δορυφόρο. Βέβαια τα σήματα μπορούν να φτάνουν στον δέκτη μας μέσα από τις ανακλάσεις των κτιρίων με κίνδυνο όμως να υπερφορτωθεί ο δέκτης.

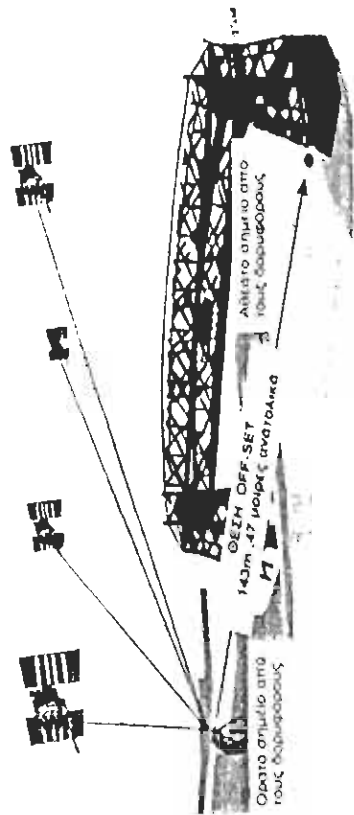
Όμως το πρόβλημα αυτό δεν εμφανίζεται μόνο μέσα στις πόλεις αλλά και στην ύπαιθρο όταν τυχαίνει να κινούμαστε κοντά σε γραμμές υψηλής τάσης ή ακόμα και όταν βρισκόμαστε μέσα σε πυκνό δάσος. Υπάρχουν όμως μέθοδοι για να ξεπεράσουμε αυτά τα προβλήματα και τις οποίες τις αναφέρουμε στην συνέχεια.

OFF-SET θέσεις

Ένας τρόπος επίλυσης αυτού του προβλήματος είναι να κάνουμε off-set το επιθυμητό σημείο, που σημαίνει να προσδιορίσουμε με ακρίβεια το σημείο αυτό χωρίς να χρειαστεί ο απ'ευθείας προσδιορισμός. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους.

Ένας τρόπος είναι να δώσουμε, μέσω του λογισμικού του δέκτη την πληροφορία στον δορυφόρο και να του πούμε ότι το σημείο που ζητάμε είναι κάπου κοντά σε εμάς και μακρύτερα. Παραδείγματος χάρη ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να προσδιορίσουμε την θέση μιας πυροσβεστικής κάνουλας που βρίσκεται κάτω από μια γέφυρα. Έχουμε τον δέκτη μας σε κάποια απόσταση από το αντικείμενο που θέλουμε να παρατηρήσουμε και σε τέτοια θέση ώστε να είναι θεατός από τους δορυφόρους. Μετά μετράμε την απόσταση (περίπου) από το σημείο που θέλουμε να μετρήσουμε και την διεύθυνση προσανατολισμού από τον δέκτη στο σημείο και περνάμε αυτές τις πληροφορίες στον δέκτη μας με την βοήθεια ενός πληκτρολογίου. Ο δέκτης τότε θα αρχίζει να ψάχνει για αυτή την εξισορρόπηση (offset) και θα δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Μια άλλη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε μια EDM συσκευή. Αυτή είναι μια συσκευή εκπομπής δέσμης λέιζερ δύο δρόμων, όπου σημαδεύει πρώτα το προς μέτρηση αντικείμενο και μετά εκπέμπει την δέσμη του λέιζερ η οποία αναπηδά πάνω στο αντικείμενο και επιστρέφοντας μας δίνει την απόσταση μας από αυτό.



Προβολή αποστολής

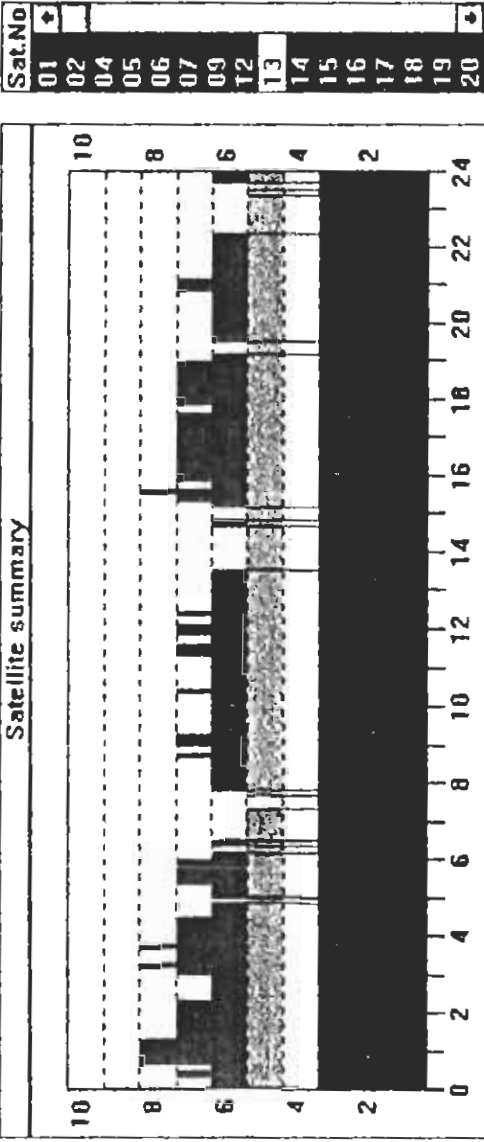
Αυτό το διάγραμμα δείχνει απεικόνιση από ένα πρόγραμμα. Όλα αυτά τα προγράμματα δείχνουν ουσιαστικά την ίδια πληροφορία, με παραλλαγές μόνο στο πώς αυτή παρουσιάζεται. Σ' αυτήν την περίπτωση το διάγραμμα δείχνει πόσοι και ποιοι ενεργοί δορυφόροι ήταν διαθέσιμοι στο St. Louis για ολόκληρο το 24ωρο την 24/4/1994.

Η κόκκινη (κατώτερη) ζώνη υποδεικνύει ότι λιγότεροι από το απαραίτητο ελάχιστο των 4 δορυφόρων είναι διαθέσιμοι. Η κίτρινη (μεσαία) ζώνη προειδοποιεί τον χρήστη ότι ενώ υπάρχει ο ελάχιστος αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων, δεν υπάρχουν εφεδρείες εάν κάποιος από τους δορυφόρους γίνει αθέατος για οποιαδήποτε αιτία.

Αυτό που θέλει πραγματικά ο χρήστης είναι στην πράσινη και μπλέ (ανώτερες) ζώνες οι οποίες υποδεικνύουν ότι υπάρχει διαθέσιμος ένας επαρκής αριθμός δορυφόρων με εφεδρείες εάν το κλειδωμα χαθεί σε έναν ή περισσότερους από αυτούς.

Άλλη μία πληροφορία που αυτό το πρόγραμμα προβολής αποστολής μπορεί να παρουσιάσει είναι οι ενεργές υποτυπώσεις από τους δορυφόρους όπως αυτοί αφήνουν ίχνη στον ουρανό κατά τη διάρκεια της επιλεγμένης χρονικής περιόδου.

ST LOUIS 35°50'N 90°30'W 250m Time: GMT-05.00
 Date: 05/17/94 Window: 00.00 - 24.00 Cut-off angle: 15' Almanac from: 04/24/94



Sky Vis Sum DOP Elev Table

Ημερολόγια

Όλη αυτή η συζήτηση για προβολή, προκαλεί δύο ερωτήσεις: πώς το πρόγραμμα σχεδιαγραμμάτων ξέρει που και πότε θα είναι οι δορυφόροι και πώς οι δέκτες ξέρουν τι δορυφόρους να δούν για όταν αυτοί ενεργοποιηθούν στην επιφάνεια; Και οι δύο απ'αυτές τις ερωτήσεις απαντιούνται μέσα από τη χρήση των ημερολογίων που είναι βιβλιοθήκες από δεδομένα δορυφορικών τροχιών όπως χρόνοι ανύψωσης και τοποθέτησης, γωνίες ανύψωσης, θέσεις στο διάστημα κ.λ.π. Τα δεδομένα του ημερολογίου στέλνονται περιοδικά από τους δορυφόρους σε μια κατάλληλη βάση από το τμήμα ελέγχου και διαρκούν για 60 ημέρες.

Τα ημερολόγια μπορούν να φορτωθούν κατ' ευθείαν από τους δορυφόρους μέσω του δέκτη. Αυτό γίνεται αυτόματα όποτε η μονάδα συγκεντρώνει δεδομένα για παρατεινόμενες περιόδους χρόνου. Αυτό διαρκεί κατά προσέγγιση 12.5 λεπτά από ένα συνεχές και αδιάσπαστο κλείδωμα σε ένα δορυφόρο να ολοκληρώσει τη μετάδοση μολονότι που στην πραγματικότητα, συνήθως διαρκεί κάτι παραπάνω από αυτό διότι ποτέ δεν φαίνεται να αποτυγχάνει εκείνη η κρίσιμη δορυφορική κίνηση έξω από τη θέα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της φόρτωσης απαιτώντας επανέναρξη. Αυτές οι λειτουργίες είναι όλες ευδιάκριτες στο χρήστη. Οι περισσότεροι δέκτες ενημερώνουν το εσωτερικό ημερολόγιο όποτε συγκεντρώνουν ένα καινούργιο, μολονότι μερικά απαιτούν ένα είδος μονογραφής προκειμένου να ενημερωθούν ότι ένα νέο ημερολόγιο είναι διαθέσιμο.

Τα ημερολόγια μπορούν επίσης να φορτωθούν σε ένα προσωπικό υπολογιστή από οποιοδήποτε αριθμό πηγών όπως είναι το Λιμενικό Σώμα των Η.Π.Α, η Εθνική Γεωδαιτική Υπηρεσία Τοπογράφησης και ένας αριθμός άλλων ιδιωτικών και δημόσιων υπηρεσιών. Το τεχνικό έργο του προγράμματος προβολής του προσωπικού υπολογιστή θα χρησιμοποιήσει τότε αυτές τις πληροφορίες για να κάνει τις προβλέψεις του. Το ενημερωμένο ημερολόγιο μπορεί επίσης να φορτωθεί από τον προσωπικό υπολογιστή στον δέκτη έτσι ώστε ο δέκτης να ξέρει άμεσα τι δορυφόρους να αρχίσει να ψάχνει για όταν ενεργοποιηθεί. Το αντίθετο είναι επίσης εφικτό. Ένα επίκτητο ημερολόγιο από τον δέκτη μπορεί να φορτωθεί σε ένα υπολογιστή για χρήση σε ένα πρόγραμμα προβολής. Τα περισσότερα προγράμματα θα ειδοποιήσουν το χρήστη όταν ένα νέο ημερολόγιο απαιτηθεί.

Αυτόνομη ακρίβεια

Για το μεγαλύτερο τμήμα μέχρι τώρα, ασχολούμαστε μόνο με τη χρήση ενός μοναδικού δέκτη μόνο του ή ανεξάρτητου. Αυτό συχνά λέγεται ως **Απόλυτος Εντοπισμός**.

Χρησιμοποιώντας ένα μοναδικό δέκτη με επιλεγόμενη διαθεσιμότητα, οι χρήστες μπορούν μόνο να ελπίζουν για ακρίβεια εντοπισμού κάπου κάτω από 100m χωρίς να λογαριάζουν τι τύπος δέκτη χρησιμοποιείται. Αυτό είναι ωστόσο, εκτενώς μεταβλητό εξαρτώμενο από την ποσότητα του τρεμοπαίγματος που είναι εφαρμοσμένο στο σήμα του δορυφόρου σε οποιαδήποτε στιγμή, με το βαθμό του τρεμοπαίγματος συνεχώς διαφορετικό. Με απενεργοποιημένη την επιλεγόμενη διαθεσιμότητα εκείνη η εμφάνιση θέσης μπορεί να βελτιωθεί κάπου ανάμεσα στα 10 και 30 μέτρα (εξαρτώμενη από τις ιονοσφαιρικές καταστάσεις) με δέκτες που έχουν καλό φιλτράρισμα θορύβου.

Πολιτικοί με P-κώδικα δέκτες μπορούν να επιτύχουν αυτόνομη ακρίβεια 8 έως 12 μέτρων με απενεργοποιημένη επιλεγόμενη διαθεσιμότητα, μολονότι τέτοιοι δέκτες σπάνια χρησιμοποιούνται αυτόνομα διότι τείνουν να γίνουν πολύ δαπανηροί. Με επιλεγόμενη διαθεσιμότητα το σήμα P-κώδικα υποβιβάζεται στο ίδιο επίπεδο των 100m όπως ο C/A-κώδικας. Οι στρατιωτικοί δέκτες P-κώδικα απ'την άλλη, μπορούν να δούν ανάμεσα απ'την επιλεγόμενη διαθεσιμότητα και εν τούτοις πετυχαίνουν επίπεδο 8 με 12 μέτρων. Στην πραγματικότητα οι στρατιωτικοί δέκτες P/Y-κώδικα όντως πετυχαίνουν ακρίβεια 3 έως 5 μέτρων κάτω από πραγματικές καταστάσεις.

Ενώ η πραγματική ακρίβεια των πολιτικών δεκτών C/A-κώδικα είναι στην περιοχή των 10 έως 30 μέτρων μέχρι των 100m, το **δυναμικό** μπορεί να είναι τόσο χαμηλά όσο στα 3m (θυμηθείτε, είπαμε νωρίτερα ότι το φαινομενικό δυναμικό απαιτεί δύο δέκτες). Η ερώτηση είναι πώς πετυχαίνουμε αυτό το δυναμικό;

| | SA On | SA Off | Δυναμικό |
|----------------|------------------|-----------------|--------------|
| C/A κώδικας | <100 M | <30 M | 3 M |
| P κώδικας | <100 M | 8 - 12 M | 30 Cm |
| Y κώδικας | 8 - 12 M | 8 - 12 M | 30 Cm |

Κεφάλαιο 3

Διαφορική διόρθωση

Μέχρι τώρα αναφερόμαστε για μοναδικούς δέκτες ή για αυτόνομες λειτουργίες. Χρησιμοποιώντας ένα μοναδικό δέκτη C/A κώδικα, δεν μπορούμε ποτέ να ελπίζουμε με ρεαλισμό να δούμε καλύτερη ακρίβεια από αυτή των 10 με 30 μέτρων. Αυτό γίνεται εξαιτίας του συνδυασμού όλων αυτών των παραγόντων χρήσης ισοδύναμου σφάλματος εμβέλειας. Το πρόβλημα είναι χειρότερο όταν η επιλεγόμενη διαθεσιμότητα είναι μέσα στους παράγοντες. Χωρίς κανένα είδος αναφοράς, ο δέκτης δεν ξέρει ότι δίνει ένα σφάλμα θέσης μπορεί μόνο να αναφέρει τι βλέπει και αν αυτό που βλέπει είναι λάθος τότε ο δικός του επιλεγόμενος εντοπισμός θέσης θα είναι επίσης λανθασμένος.

Το κλειδί εδώ είναι η αναφορά. Εάν υπήρχε κάποιος τρόπος να πούμε στον δέκτη ότι υπήρχε ένα X πόσο σφάλματος στο σήμα που λάμβανε, θα μπορούσε να εξουδετερώσει ίδιο ποσό. Αυτός ο τρόπος υπάρχει και καλείται **Διαφορικό Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης**.

Στο διαφορικό εντοπισμό θέσης, χρησιμοποιούνται δύο δέκτες. Ο ένας απ'αυτούς είναι τοποθετημένος σ'ένα γνωστό σημείο όπως είναι η Εθνική Γεωδαιτική Υπηρεσία Τοπογράφησης. Αυτός συχνά αναφέρεται ως βασικός δέκτης. Ο δεύτερος δέκτης που καλείται φορέας συγκεντρώνει δεδομένα από άγνωστα σημεία πάνω στην επιφάνεια με πολύ μεγάλη ομοιότητα όπως γίνεται η συγκέντρωση δεδομένων στον αυτόνομο εντοπισμό θέσης. Είναι πάρα πολύ σημαντικό και οι δύο δέκτες να συγκεντρώνουν τα ίδια δεδομένα από τους ίδιους δορυφόρους στον ίδιο χρόνο.

Ο βασικός δέκτης γνωρίζει την ακριβή τοποθεσία του. Δέχεται επίσης ένα εντοπισμό θέσης από τους δορυφόρους συχνά μαζί με ένα συστατικό σφάλματος. Από τη διαφορά μεταξύ της γνωστής θέσης και της θέσης που προέρχεται από το GPS, μπορεί να υπολογιστεί μια μετατόπιση διανύσματος ή διαφορικού η οποία τότε μπορεί να εφαρμοστεί στα δεδομένα του φορέα.

Το ακόλουθο διάγραμμα επεξηγεί τη διαφορική έννοια. Το άνω τμήμα του διαγράμματος δείχνει την κεραιά του δέκτη πάνω από τη δική του θέση. Η θέση που καταγράφεται στο δέκτη από την περιοχή του δορυφόρου είναι μετατοπισμένη σε κάποια απόσταση και κατεύθυνση από το γνωστό σημείο. Για το πρόγραμμα είναι τότε μια

Σταθμός Βάσης

Διαφορά μεταξύ της αληθινής και της θέσης από το GPS

θέση μέσω GPS



η υπολογισμένη από τη βάση διαφορά εφαρμόζεται στη θέση του Φορέα

Αληθινή θέση (γνωστή)

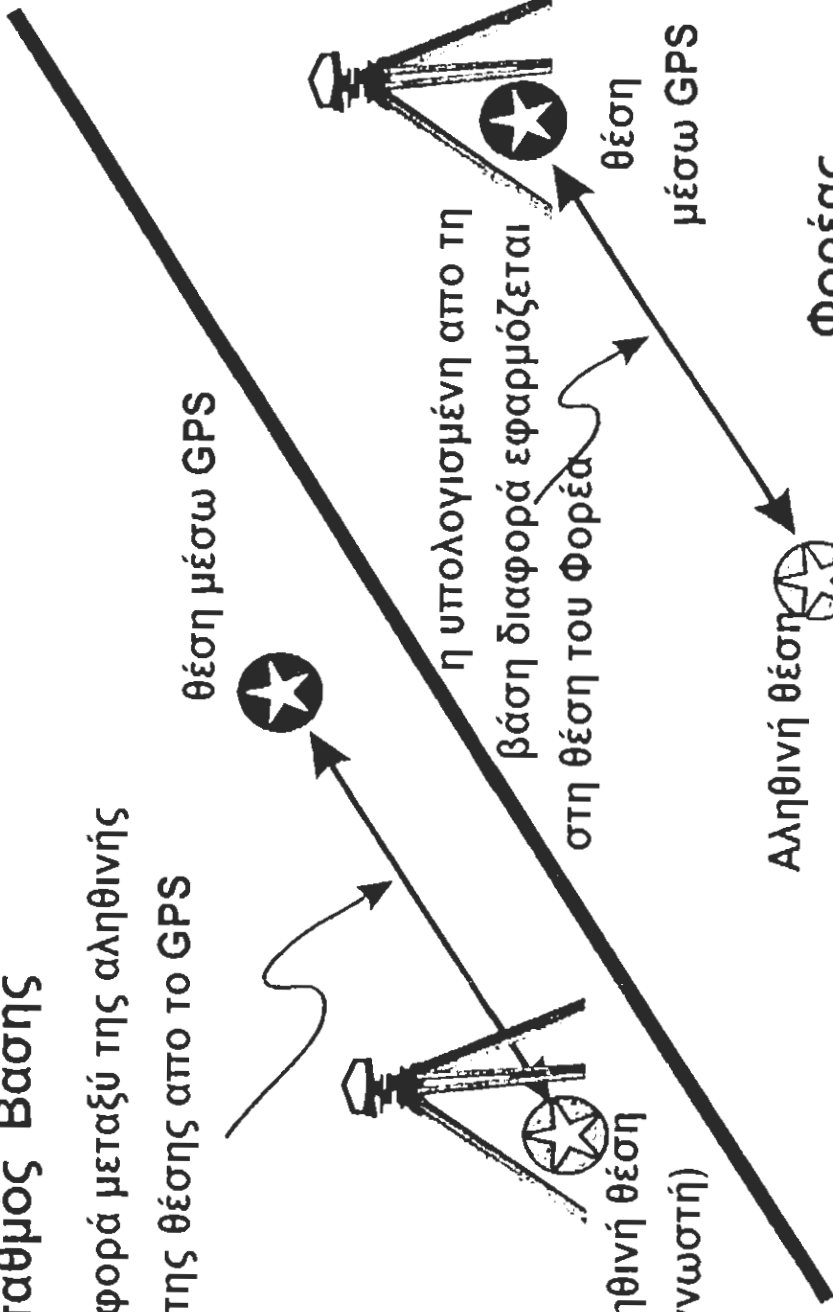


θέση

μέσω GPS

Αληθινή θέση (άγνωστη)

Φορέας



ευθεία λειτουργία να υπολογίσει τη μετατόπιση ή το διάνυσμα παρουσιαζόμενη στο διάγραμμα με το βέλος διπλής κατεύθυνσης.

Στον ίδιο χρόνο ο φορέας στο κάτω τμήμα του διαγράμματος έχει καταγράψει από μόνο του μια θέση του GPS. Επειδή τα περισσότερα από τα συστατικά είναι ουσιαστικά ταυτόσημα και για τους δύο δέκτες, οποιαδήποτε διαφορική διόρθωση που υπολόγισε η βασική μονάδα θα μπορούσε να εφαρμοστεί στη θέση του GPS την καταγραμμένη από το φορέα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι παράγοντες σφάλματος διαρκώς αλλάζουν είναι πολύ κρίσιμο και οι δύο δέκτες να καταγράφουν τα ίδια δεδομένα GPS από τους ίδιους δορυφόρους κατά τη διάρκεια των ίδιων περιόδων χρόνου.

Άλλο ένα πολύ σημαντικό ζήτημα είναι το μήκος της βασικής γραμμής δηλ. η απόσταση μεταξύ των δύο δεκτών. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό διότι εάν ο φορέας είναι σε μια αξιόλογη απόσταση από το βασικό δέκτη, π.χ 500Km τότε είναι πιθανό οι δύο δέκτες να παρατηρούν ένα ή περισσότερους δορυφόρους. Είναι επίσης πιθανό οι ιονοσφαιρικές/τροποσφαιρικές συνθήκες να είναι διαφορετικές. Το μέγεθος σφάλματος, σε κάποια απόσταση μακριά, δεν θα είναι ταυτόσημο και για τους δύο δέκτες και η ακρίβεια της διαφορικής διόρθωσης προσδευτικά θα μειωθεί.

Οι αποστάσεις των βασικών γραμμών πρέπει να κρατούνται κάτω από τα 300Km για διαφορικό εντοπισμό με κώδικα. Για φέρον συγχρονισμένο διαφορικό εντοπισμό το μήκος της βασικής γραμμής είναι πολύ περισσότερο κρίσιμο προσθέτωντας ανάμεσα από 1 και 10 μέρη του εκατομμυριοστού λάθους. Αυτό σημαίνει ότι μια βασική γραμμή των 100Km θα μπορούσε να προσθέσει ανάμεσα από 10cm και 1m λάθους. Επομένως οι βασικές γραμμές για φέρον συγχρονισμό κρατούνται κάτω από 20Km.

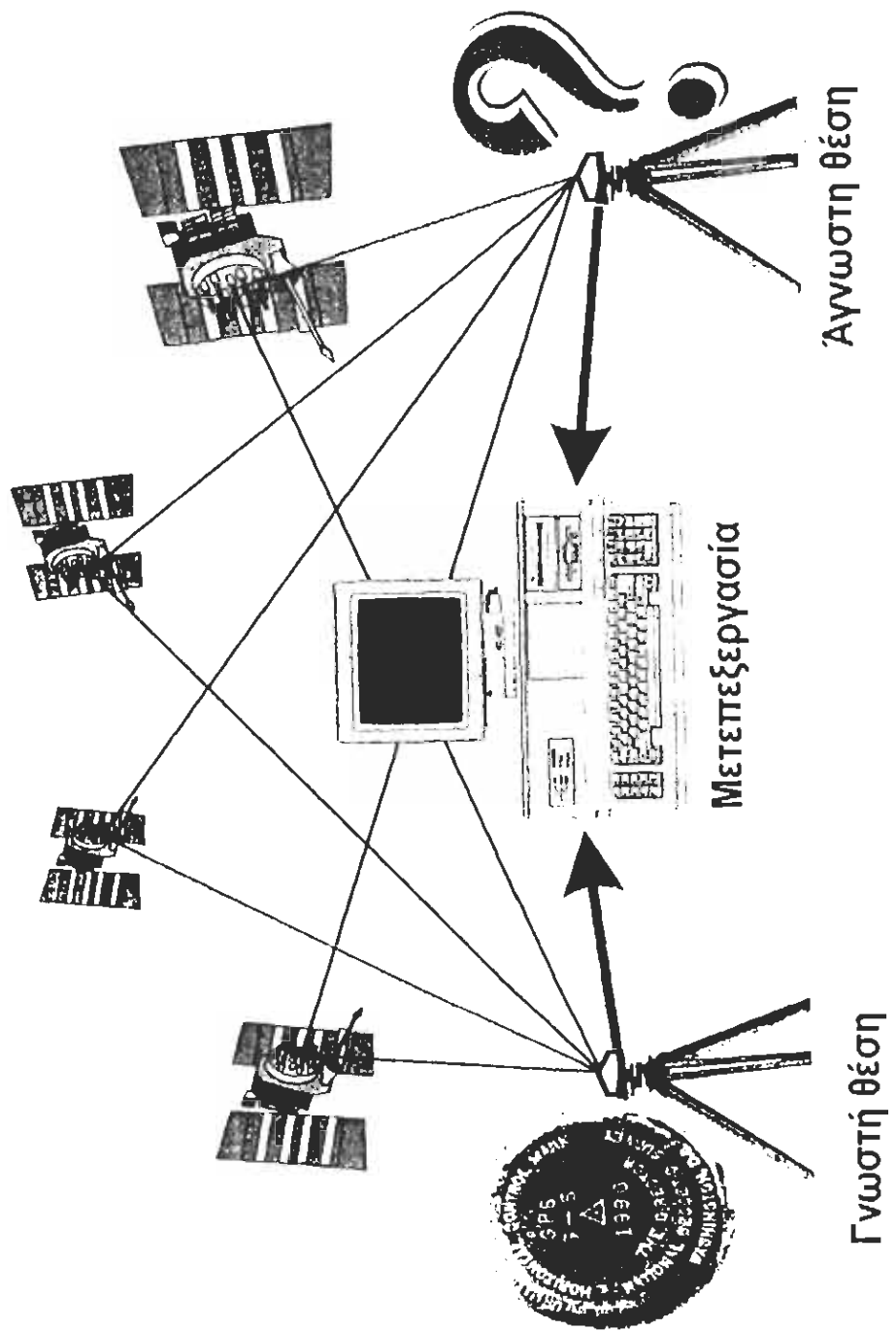
Διορθώσεις μετεπεξεργασίας

Η μετεπεξεργασία είναι η πιο κοινή μέθοδος για διαφορική διόρθωση και δεν απαιτεί ενεργή σύνδεση μεταξύ των δύο δεκτών, που είδαμε πιο πάνω, κατά τη διάρκεια των αντίστοιχων περιόδων συλλογής δεδομένων. Η διόρθωση δεδομένων που προέρχεται από τη βάση τοποθετείται στα δεδομένα που συλλέγονται από τον άλλο δέκτη λίγο αργότερα. Πρέπει πάλι να δηλωθεί με έμφαση ότι και οι δύο δέκτες πρέπει να συλλέγουν δεδομένα από τους ίδιους δορυφόρους την ίδια στιγμή. Είναι δεκτό εάν η βασική μονάδα συγκεντρώνει δεδομένα πριν τον άλλο δέκτη, ή αν συνεχίζει τη συγκέντρωση δεδομένων ακόμα και μετά το τέλος του άλλου δέκτη. Το αντίστροφο δεν είναι όμως δεκτό. Με άλλα λόγια ολόκληρη η χρονική διάρκεια της συλλογής δεδομένων από το φορέα πρέπει να ταιριάζει απόλυτα με τα δεδομένα του βασικού δέκτη. Εάν αυτό δεν γίνει, τότε τα δεδομένα του φορέα δεν θα είναι εντελώς διορθωμένα και θα πρέπει να ξαναπαρθούν.

Τυπικά, η βασική μονάδα ενεργοποιείται στην αρχή της ημέρας και διαρκώς συλλέγει δεδομένα μέχρι την επιστροφή του φορέα. Αυτός ενεργοποιείται μόνο όταν τα δεδομένα εντοπισμού είναι έτοιμα να συλλεχθούν και σβήνει όταν αυτό ολοκληρώνεται σε εκείνη την τοποθεσία. Τότε ενεργοποιείται πάλι για να συλλέξει δεδομένα στην επόμενη τοποθεσία και η διαδικασία συνεχίζεται.

Όταν ο φορέας τελειώσει τη συγκέντρωση δεδομένων η βάση μπορεί επίσης να σταματήσει. Τα δεδομένα και από τους δύο δέκτες φορτώνονται σε ένα υπολογιστή όπου ένα ιδιαίτερα σχεδιασμένο πρόγραμμα τοποθετεί τα διορθωμένα, καθορισμένα από τη βάση διανύσματα στις θέσεις δεδομένων του φορέα.

Τα περισσότερα προγράμματα έχουν κάποια φόρμα από στοιχειώδη λειτουργία χαρτογράφησης που επιτρέπει στο χρήστη να δει μια γραφική παρουσίαση από τα διορθωμένα δεδομένα. Μερικά επιτρέπουν στο χρήστη να δει ταυτόχρονα και τα αδιόρθωτα αλλά και τα διορθωμένα δεδομένα.



Δεδομένα διαφορικής μετεπεξεργασίας

Ακατέργαστα δεδομένα ψευδοπεριοχών που συγκεντρώνονται για πολλές ώρες μπορούν γρήγορα να αρχίσουν να δεσμεύουν τεράστιες ποσότητες αποθηκευτικού χώρου στους υπολογιστές. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η κατάσταση, συμπιέζουμε συνήθως τα δεδομένα. Δυστυχώς, πολλές υπηρεσίες δεκτών συγκεντρώνουν και αποθηκεύουν τα δεδομένα τους σε δικά τους ιδιοκτησιακά πρωτόκολλα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μια ασυμβατότητα μεταξύ κατασκευαστών.

Για να ξεπεράσουμε το πρόβλημα, αναπτύχθηκε μια συλλογή από πρότυπα τα οποία θα επέτρεπαν τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ δεκτών. Αυτή καλείται ως **Ανεξάρτητη Ανταλλαγή Δέκτη (RINEX)**. Εικονικά όλοι οι κατασκευαστές έχουν μοντέλα στα δικά τους προγράμματα επεξεργασίας για να επιτρέψουν τη συγχώνευση των δεδομένων του RINEX στη διόρθωση λύσεων τους από διαφορικό GPS μολονότι μερικά είναι πιο εύκολα στη χρήση από άλλα. Ευκολία στη χρήση είναι κάτι που πρέπει να προειδοποιεί λαμβανομένου υπόψη την αγορά ενός δέκτη ο οποίος αναμένεται να χρησιμοποιηθεί με εξωτερικές πηγές διόρθωσης διαφορικού GPS.

Η χρήση των δεδομένων της ανεξάρτητης ανταλλαγής δέκτη επιτρέπει σε ένα χρήστη να εφαρμόσει διορθώσεις στα δεδομένα τους ακόμα και όταν αυτές μπορεί να μην έχουν βασικό δέκτη από μόνες τους. Ένας πραγματικός πειρασμός είναι να αποκτήσουμε διόρθωση δεδομένων ανεξάρτητης ανταλλαγής δέκτη από οποιαδήποτε αξιόπιστη πηγή. Ωστόσο, πρέπει να έχουμε υπόψη το μήκος της βασικής γραμμής διότι μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην παραγόμενη ακρίβεια.

Ταυτόχρονη διόρθωση

Πολλές φορές είναι αναγκαίο να έχουμε ταυτόχρονα διορθωμένα τα δεδομένα εντοπισμού θέσης. Για παράδειγμα, ένα επιβατικό αεροσκάφος που έρχεται για προσγείωση χρειάζεται να ξέρει που είναι τη συγκεκριμένη στιγμή.

Η βασική έννοια της ταυτόχρονης επεξεργασίας του διαφορικού GPS (RTDGPS) θεωρητικά είναι η ίδια με τις μετεπεξεργασμένες διορθώσεις. Σ' αυτό που διαφέρουν είναι ότι αντί να φορτωθούν τα

δεδομένα από τους δύο δέκτες σ'ένα υπολογιστή και να επεξεργαστούν αργότερα, γίνεται ακαριαίος υπολογισμός τους στη βάση και με κάποια μέθοδο μεταδίδονται στο φορέα. Τυπικά αυτή η μέθοδος είναι μια ραδιοφωνική μετάδοση μιας κατεύθυνσης από τη βάση στον φορέα ο οποίος είναι εφοδιασμένος με ένα κατάλληλο ραδιοφωνικό δέκτη. Είναι επίσης δυνατό ο βασικός δέκτης να μεταφέρει τα δεδομένα διόρθωσης με μια κυψελλοειδή τηλεφωνική γραμμή μολονότι γίνεται πολύ πιο δαπανηρή με αυτή τη μέθοδο η συγκέντρωση δεδομένων από το να αγοραστεί ένας κατάλληλος ραδιοφωνικός δέκτης.

Μέχρι πρόσφατα, η ακρίβεια ήταν το τίμημα που πληρώναμε για αυτή τη φόρμα επεξεργασίας. Τυπικά η ταυτόχρονη διόρθωση δεδομένων μείωνε την ακρίβεια κατά 2 έως 3 μέτρα. Σήμερα, ωστόσο η ακρίβεια για ταυτόχρονο C/A-κώδικα είναι στα επίπεδα υποδιαιρέσεων του μέτρου. Επιπλέον, μέχρι πρόσφατα δεν ήταν απλά εφικτή η ταυτόχρονη διόρθωση δεδομένων φέρον συγχρονισμού και απαιτούνταν να παρατηρούνται για πολύ ώρα οι μετακινήσεις του αστερισμού των δορυφόρων για τη διόρθωση δεδομένων. Αυτή η κατάσταση έχει αλλάξει δραματικά. Μοντέρνοι γεωδαιτικοί δέκτες έχουν σχεδιαστεί να πετυχαίνουν ταυτόχρονη ακρίβεια φέρον συγχρονισμού σε βαθμό 2-3cm. Δυστυχώς υπάρχει και η άλλη όψη: το κόστος αυτών των δεκτών ανέρχεται στα \$50000.

Διαφορικά δεδομένα ταυτόχρονης διόρθωσης

Τα διαφορικά δεδομένα ταυτόχρονης διόρθωσης μπορούν να μεταδοθούν με διάφορους τρόπους. Ωστόσο, είναι αναγκαίο ο φορέας να είναι ιδιαίτερα σχεδιασμένος να δέχεται και να εφαρμόζει αυτό το σήμα διόρθωσης.

Οι περισσότεροι από τους δέκτες είναι σχεδιασμένοι να επιτρέπουν την είσοδο των δεδομένων ταυτόχρονης διόρθωσης. Αλλά όπως και στην περίπτωση των δεδομένων μετεπεξεργασμένης διόρθωσης ήταν αναγκαίο να αναπτυχθεί μια κοινή γλώσσα για το ταυτόχρονο σήμα. Αυτή η καθολική γλώσσα καλείται **RTCM SC-104**.

Η **RTCM SC-104** δεν είναι η μόνη γλώσσα διόρθωσης μετάδοσης που υπάρχει, μολονότι είναι η πιο διαδεδομένη και η πιο καθολικά εφαρμόσιμη. Μερικές άλλες είναι η **RTCA-WAAS** και η **RTCA-LADGPS** σε συνδυασμό με μια μεγάλη ποικιλία από ιδιοκτησιακά ειδικά κατασκευαστικά πρωτόκολλα.

Σύγκριση

Υπάρχει ένας αριθμός από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στη χρήση κάθε μιας από τις δύο γενικές μεθόδους του διαφορικού δορυφορικού συστήματος πλοήγησης (DGPS) και ένας αριθμός από παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η **μετεπεξεργασία** δίνει την υψηλότερη ακρίβεια που φτάνει τα μερικά χιλιοστά. Η **ταυτόχρονη επεξεργασία** δεν χρησιμοποιεί μετρήσεις φέρον συγχρονισμού και επομένως δίνει ακρίβεια γύρω στο 0.5m. Ο ταυτόχρονος φέρον συγχρονισμός μπορεί να δώσει ακρίβεια 2-3cm αλλά με πολύ υψηλό κόστος εξοπλισμού. Το κόστος εξοπλισμού για την μετεπεξεργασία μπορεί να είναι χαμηλότερο όταν χρησιμοποιηθεί ένας αριθμός από ελεύθερες πηγές διόρθωσης DGPS μιας και απαιτείται μόνο ένας δέκτης. Από την άλλη όμως, το κόστος για εξοπλισμό μπορεί να αυξηθεί εάν χρησιμοποιηθεί ο δεύτερος δέκτης σαν βάση.

Όταν χρησιμοποιείται μια από τις διάφορες πηγές των δεδομένων διόρθωσης του DGPS, απαιτείται μόνο ένας χειριστής στο χώρο και έτσι το προσωπικό που χρειάζεται να μεταφέρεται, μειώνεται. Ωστόσο, εάν χρησιμοποιηθεί ένας δεύτερος δέκτης σαν βάση, θα πρέπει αυτός ο εξοπλισμός να μεταφέρεται από και προς τη βάση και έτσι ένα δεύτερο άτομο πρέπει να τον προσέχει από κλεψιά ή βανδαλισμούς.

Το RTDGPS έχει το φανερό πλεονέκτημα της αμεσότητας δίνοντας μια διορθωμένη θέση. Αλλά με εξαίρεση τις εφαρμογές στην ναυσιπλοΐα αυτό δεν είναι πάντα αναγκαίο. Το RTDGPS από εμπορικές ή κυβερνητικές πηγές δεν απαιτεί περισσότερο του ενός άτομου στο χώρο. Ωστόσο συνεπάγεται επιπλέον κόστος έχοντας άλλο ένα ραδιοφωνικό δέκτη να συλλέγει το σήμα RTCM. Το κόστος και τα λογιστικά προβλήματα συνθέτονται εάν χρησιμοποιηθεί ο δεύτερος δέκτης σαν βάση στο οποίο θα είναι αναγκαίο να χωροθετηθεί ένας ραδιοφωνικός πομπός RTCM.

Έτσι λοιπόν, η απόφαση για ποια από τις δύο μεθόδους να χρησιμοποιηθεί απαιτεί πολύ σκέψη. Εξαρτάται από τις απαιτήσεις του χρήστη για εντοπισμό και από την οικονομική του δυνατότητα.

Πηγές διαφορικών δεδομένων

Υπάρχει ένας αριθμός πηγών από τις οποίες μπορεί να αποκτηθεί διαφορική διόρθωση δεδομένων και για την μετεπεξεργασία αλλά και για την ταυτόχρονη επεξεργασία του DGPS. Αρχικά είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί ο βασικός δέκτης και να τοποθετηθεί σε ένα γνωστό τοπογραφικά σημείο. Αυτό έχει το πλεονέκτημα της διατήρησης όλων των προσανατολισμών από τον εντοπισμό στον χρήστη. Τα μειονεκτήματα έχουν να κάνουν με το κόστος για το προσωπικό και για τον εξοπλισμό. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μετεπεξεργασία αλλά και για την ταυτόχρονη επεξεργασία (ορίζουμε ότι είναι διαθέσιμη η ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ του δέκτη και της βάσης).

Πολλά τμήματα μηχανικής των πανεπιστημίων, όπως στο πανεπιστήμιο του Τέξας συγκεντρώνουν και αποθηκεύουν τα δικά τους δεδομένα DGPS. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν ελεύθερα από δημόσια ανακοινώσιμους πίνακες μολονότι είναι λογιστικά δύσκολο το να βρεθεί τέτοια πηγή τόσο κοντά στην επιθυμητή τοποθεσία ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα της βασικής γραμμής.

Υπάρχει ένας αριθμός από ιδιωτικές υπηρεσίες πώλησης δεδομένων διόρθωσης DGPS που χρησιμοποιούν μια ποικιλία μεθόδων για να δώσουν τα δεδομένα στο χρήστη. Μερικές από αυτές τις μεθόδους περιλαμβάνουν στη χρήση δικούς τους δορυφόρους και δέκτες. Οι κατασκευαστές GPS διαθέτουν δεδομένα μετεπεξεργασίας και/ή ταυτόχρονης επεξεργασίας και δευτερεύοντες ραδιοφωνικούς σε FM φορείς. Καθένα από αυτά συνεπάγει κάποιο κόστος, άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο.

Τελικά, όμως υπάρχουν και κυβερνητικές πηγές, οι οποίες παρέχουν δεδομένα στο χρήστη χωρίς να τον επιβαρύνουν οικονομικά όπως το δίκτυο μετεπεξεργασίας CORS και η Ακτοφυλακή των Η.Π.Α με ταυτόχρονη διόρθωση.

Δίκτυο CORS

Η εθνική γεωδαιτική τοπογράφηση (NGS) προσφέρει υψηλή ακρίβεια, L1 και L2 κώδικες και δεδομένα διαφορικής διόρθωσης φέρον συγχρονισμού μέσα από ένα δίκτυο **Σταθμών Αναφοράς Συνεχούς Λειτουργίας (CORS)** που είναι τοποθετημένο σε όλη την επικράτεια

των Η.Π.Α. Το σύστημα CORS παρέχει δυνατότητες μόνο μετεπεξεργασίας.

Τα πρότυπα ακρίβειας των δεδομένων CORS καθορίζονται στα 2cm οριζοντίως χρησιμοποιώντας φέρον συγχρονισμό (όταν οι συχνότητες L1, L2 είναι διαθέσιμες και οι βασικές γραμμές είναι λιγότερες από 20km) και 1m οριζοντίως με C/A-κώδικα σε συχνότητα L1. Από τα χαρακτηριστικά του CORS δεν υπάρχουν περιορισμοί στην πρόσβαση χρηστών.

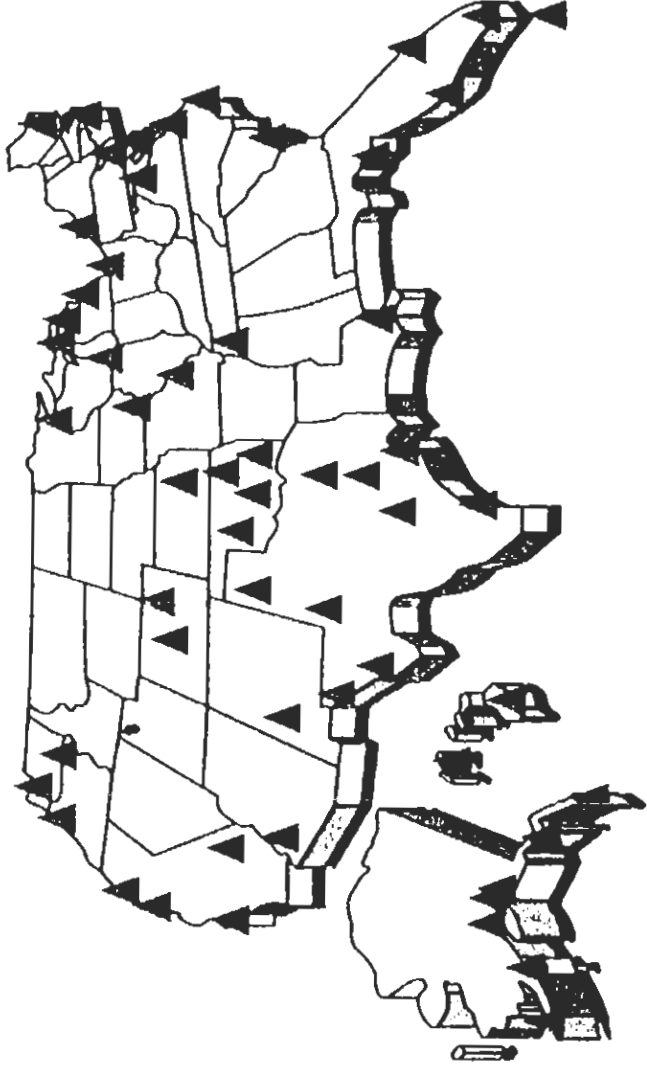
Η πλειοψηφία των σταθμών είναι συντονισμένοι και λειτουργούν υπο την Εθνική Διοίκηση Ωκεανών και Ατμόσφαιρας και είναι και αυτοί τοποθετημένοι μαζί με τους σταθμούς της Ακτοφυλακής των Η.Π.Α. Πρόσφατα λειτουργούν 47 οι οποίοι περιλαμβάνουν όλη την ηπειρωτική χώρα των Η.Π.Α και το περισσότερο μέρος από την Αλάσκα. Αρχικά η Ακτοφυλακή των Η.Π.Α εγκατέστησε σημαντικές μόνο ταυτόχρονου διαφορικού GPS για την ναυσιπλοΐα. Ωστόσο, αποκαλύφθηκε ότι με περίπου \$10000 για κάθε σταθμό, ήταν δυνατό να εφοδιαστούν με μετεπεξεργασμένα δεδομένα στα γεωδαιτικά επίπεδα ακρίβειας. Άρα όλοι οι σημαντικές της Ακτοφυλακής είναι στα πρότυπα του CORS.

Πρόσφατα, οι επιχειρήσεις μηχανικών του αμερικάνικου Στρατού τοποθετούν σταθμούς CORS κατά μήκος όλων των κυριότερων νησιών στα αμερικάνικα χωρικά ύδατα. Σε τελευταία ανάλυση, το δίκτυο CORS θα αποτελείται από πάνω από 100 σταθμούς παρέχοντας γεωδαιτική ποιότητα διαφορικών δεδομένων για σχεδόν όλη την επικράτεια των Η.Π.Α.

Ο ακόλουθος χάρτης παρουσιάζει τις τοποθεσίες των 47, ήδη λειτουργικών συστημάτων CORS. Αυτή η εικόνα είναι πιθανό να έχει ουσιαστικά αλλάξει, τη στιγμή που διαβάζετε αυτές τις γραμμές, εξαιτίας της ραγδαίας εφαρμογής του δικτύου μέσα από τις συνδυασμένες προσπάθειες όλων των υπηρεσιών που προαναφέρθησαν.

Εντός δύο έως τεσσάρων χρόνων, προσδοκείται ότι πάνω από 100 σταθμοί θα είναι λειτουργικοί. Ήδη σχεδιάζονται χάρτες για ένα δίκτυο 200 πανεθνικών σταθμών που θα παρέχουν γεωδαιτική ποιότητα δεδομένων DGPS για σχεδόν ολόκληρη την επικράτεια των Η.Π.Α.

Σταθμοί Αναφοράς Συνεχούς Λειτουργίας



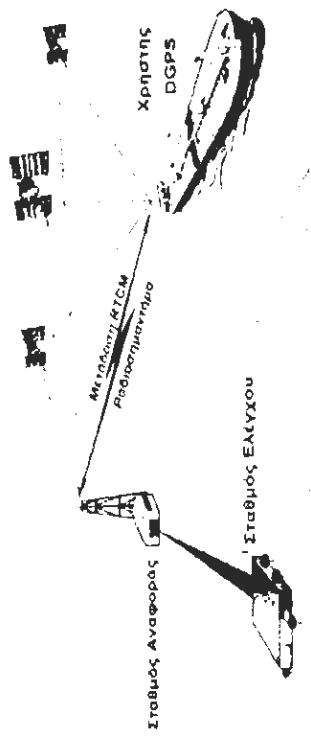
Σημαντήρες

Η αμερικάνικη Ακτοφυλακή μεταδίδει ένα ταυτόχρονο διορθωτικό σήμα διαφορικού GPS σε σημαντήρες για ελεύθερη χρήση στα κρίσιμα χωρικά ύδατα των Η.Π.Α. Ο σκοπός αυτού του συστήματος σημαντήρων είναι να παρέχει ταυτόχρονη διόρθωση στη ναυσιπλοΐα σε σημαντικά ακτοπλοϊκά και νησιωτικά ύδατα.

Οι διορθώσεις RTDGPS εκπέμπονται σαν διαμόρφωση από σταθερούς θαλάσσιους ραδιοσημαντήρες λειτουργώντας στην περιοχή συχνοτήτων 285-325KHz χρησιμοποιώντας το γνωστό RTCM-SC104. Το σήμα μπορεί να αποκτηθεί από ένα θαλάσσιο δέκτη ραδιοσημαντήρα στην μικρή τιμή των \$500. Ορίζοντας ότι ο δέκτης GPS είναι συμβατός με το RTCM, απλά καλωδιώνουμε το δέκτη στην είσοδο του RTCM και ειδοποιώντας το δέκτη ότι είναι διαθέσιμο ένα σήμα RTCM (μερικοί δέκτες ανιχνεύουν το RTCM σήμα αυτόματα).

Η κάλυψη όλων των ακτογραμμών των Η.Π.Α ανέρχεται πρόσφατα στα 92.6 Km και σε ποσοστό, αυτή τη στιγμή, 99.7%. Οι απαιτήσεις στη ναυσιπλοΐα προσδιορίζουν την κάλυψη γύρω από τον σημαντήρα στα 20Km, μολονότι οι χρήστες δέχονται συχνά έγκυρες διορθώσεις και στα 300Km.

Ενώ οι απαιτήσεις στην ακρίβεια προσέγγισης προσδιορίζονται στα 10m οριζοντίως, το σύστημα είναι στην πραγματικότητα σχεδιασμένο να παρέχει οριζόντια ακρίβεια στα 5m. Στην πράξη οι σημαντήρες παρέχουν τακτικά οριζόντια ακρίβεια 3m κάτω από πραγματικές καταστάσεις. Η κάθετη ακρίβεια στην τιμή των 5m μπορεί επίσης να αναμένεται.



Διαφορική κάλυψη ραδιοσημαντήρα

Ο χάρτης δείχνει τις θέσεις των DGPS ραδιοσημαντήρων που τοποθετήθηκαν από την κοινοπραξία των μηχανικών του αμερικάνικου Στρατού και της αμερικάνικης Ακτοφυλακής. Μέχρι την 8/3/1996, 55 σημαντήρες, είτε ήταν λειτουργικοί, είτε ήταν υπό κατασκευή.

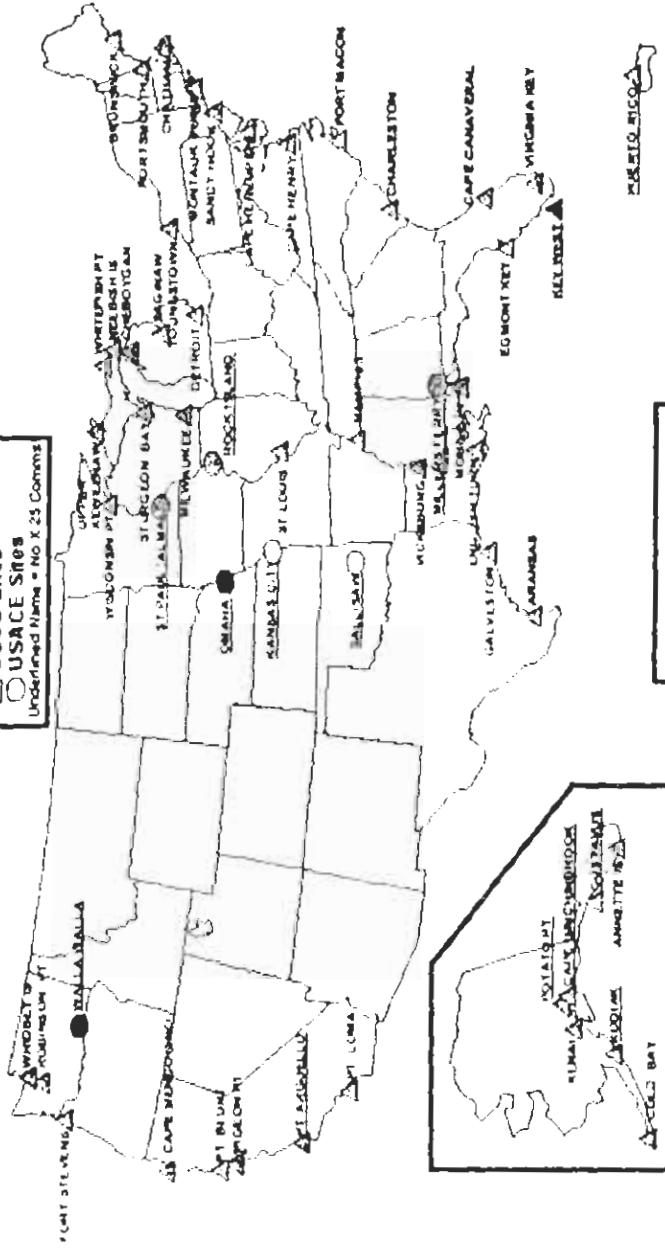
Στις 30/1/1996 το σύστημα αναφερόταν ως IOC δηλ. **Αρχική Λειτουργική Ικανότητα**. Το σύστημα έχει ήδη ολοκληρωθεί από το 1996 και στη διάρκεια αυτής της περιόδου, ολοκληρώθηκαν οι παραδόσεις υλικού software και hardware στο σταθμό ελέγχου και έτσι ανυψώθηκαν οι κεραιές των ραδιοσημαντήρων.

Ήδη συνεχίζονται οι συζητήσεις με διάφορες κυβερνητικές υπηρεσίες για επιπλέον θέσεις δυτικά του Μισσισιππή. Εάν εκπληρωθεί το ολοκληρωμένο σχεδιασμένο σύστημα των 102 σημαντήρων, τότε θα είναι διαθέσιμη η μετάδοση ταυτόχρονης διαφορικής διόρθωσης GPS τριών μέτρων για σχεδόν ολόκληρες τις Η.Π.Α και για μεγάλο μέρος των νότιων канаδικών περιφερειών.

55 Τοποθεσίες DGPS

03/08/96

- Transmitting DGPS
- Under Construction
- Future
- USCG Sites
- USACE Sites
- Undefined Name - No X 25 Comms



HONOLULU HI

KEY WEST FL
 KEY LARGO FL
 KEY WEST FL

W.A.A.S

Είδαμε νωρίτερα ότι από τους κύριους καρπωτές του GPS θα είναι και αυτοί που χρησιμοποιούν την καθ'οδόν ναυσιπλοΐα και τα συστήματα προσέγγισης και προσγείωσης υψηλής ακρίβειας όπως οι εταιρείες αερογραμμών. Συνεπώς, η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (FAA) κινήθηκε γρήγορα να αρχίσει την εκτέλεση του **Συστήματος Μεγέθυνσης Ευρείας Περιοχής (WAAS)**. Το σύστημα WAAS είναι ένα μέρος από το **Σύστημα Ευρείας Περιοχής (WAS)**. Το άλλο είναι το **LADGPS** ή σύστημα **Τοπικής Περιοχής Διαφορικού GPS**. Η κάλυψη του WAAS είναι έως τα 30.500m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας στις Η.Π.Α και περιλαμβάνει την Αλάσκα, την Χαβάη, το Πουέρτο Ρίκο και αρκετή περιοχή από τον Κόλπο του Μεξικού ικανοποιώντας όλες τις απαιτήσεις ακρίβειας για όλες τις φάσεις της πτήσης από την Κατηγορία I (17.5m οριζόντια, 4.1m κάθετα), Κατηγορία II (5.2m οριζόντια, 1.7m κάθετα) και την Κατηγορία III (4.1m οριζόντια, 0.6m κάθετα). Οι απαιτήσεις ακρίβειας προσέγγισης βρίσκονται από το συστατικό LADGPS.

Εάν ολοκληρωθεί όπως σχεδιάστηκε, τότε το σύστημα FAA WAAS θα αποτελείται από **Γεωστατικούς Δορυφόρους Επικοινωνιών, Σταθμούς Αναφοράς Ευρείας Περιοχής (WRS)** και **Κύριους Σταθμούς Ευρείας Περιοχής (WMS)**. Τα δεδομένα GPS θα γίνονται δεκτά από τους WRS οι οποίοι θα τα προωθούν στους WMS. Αυτοί θα προσδιορίζουν τις διαφορικές διορθώσεις και θα τις μεταδίδουν στους γεωστατικούς δορυφόρους όπου τα σήματα DGPS θα ξαναμεταδίδονται στο χρήστη σε συχνότητα L1. Η ολοκλήρωση αναμένεται μέσα στο 1998.

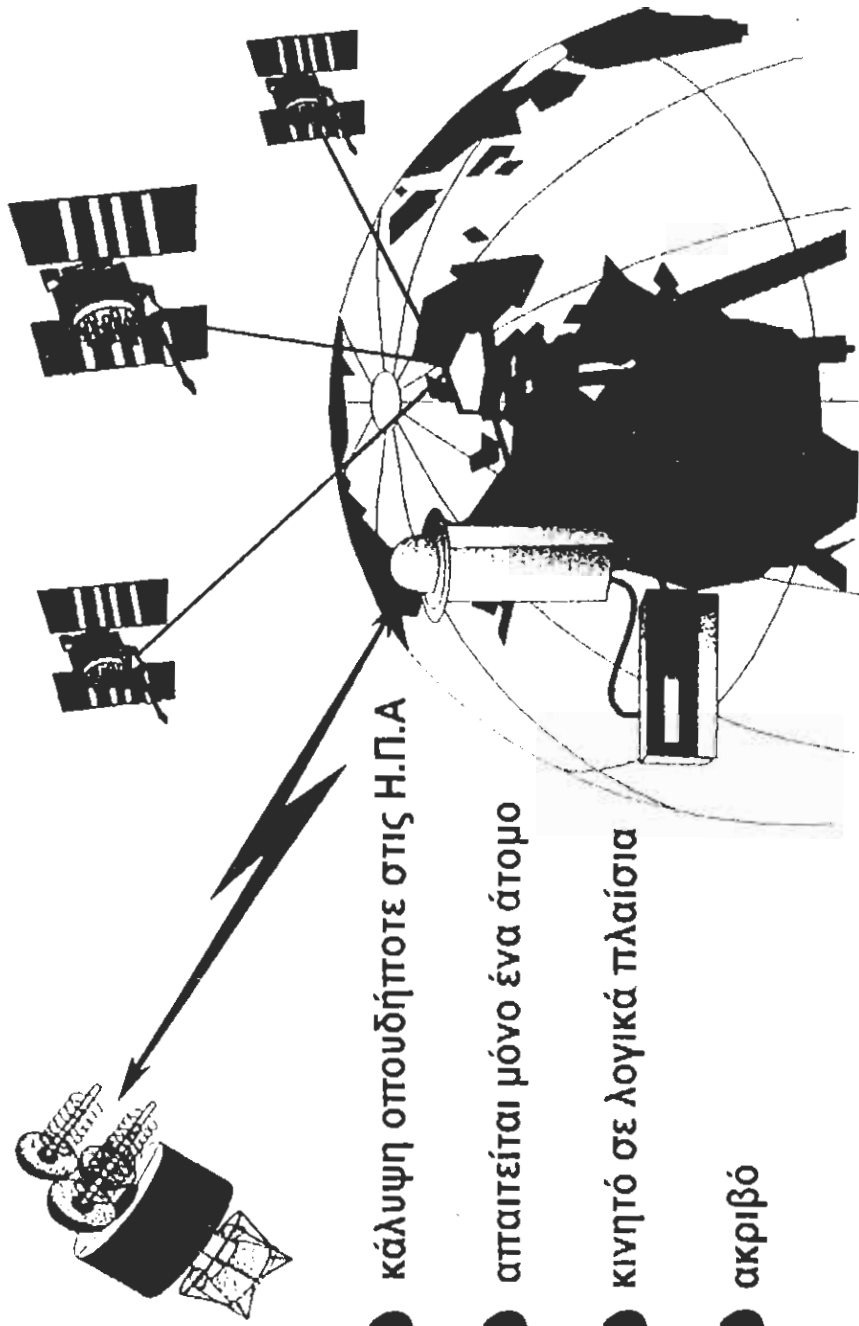
Το LADGPS θα εξυπηρετεί αεροδρόμια που χρησιμοποιούν επίγειους πομπούς που καλούνται ψευδοδορυφόροι γιατί εξομοιώνουν τα σήματα των δορυφόρων GPS. Το σύστημα θα μεταδίδει ένα ακριβές σήμα DGPS για χρήση σε υψηλής ακρίβειας συστήματα προσγείωσης Κατηγορίας II και III. Εξαιτίας του χαμηλού υψομέτρου του πομπού, η εμβέλεια του σήματος DGPS θα είναι σχετικά χαμηλά στο επίπεδο του εδάφους και αντίθετα προς το συστατικό WAAS στο διάστημα, θα είναι περιορισμένης χρήσης για τις περισσότερες επίγειες εφαρμογές. Επιπροσθέτως καθένα από τα συστατικά του WAS, μιας και δεν θα είναι συνεργάσιμα με το RTCM, θα απαιτούν δικούς τους δέκτες αφού θα μεταδίδουν τα σήματά τους σε διαφορετικές συχνότητες από εκείνες που χρησιμοποιούνται για το GPS.

Εμπορικοί γεωστατικοί δορυφόροι

Οι εμπορικές επιχειρήσεις συχνά προσφέρουν μερικά διαφορετικά μέσα της ταυτόχρονης διαφορικής διόρθωσης. Τα πιο σύγχρονα μέσα είναι τα τοποθετημένα στο διάστημα, όπου οι ιδιωτικοί πωλητές έχουν εκτοξεύσει τους δικούς τους δορυφόρους οι οποίοι εκπέμπουν στο χρήστη σήματα διόρθωσης. Οι περισσότεροι χρησιμοποιούν γεωστατικούς δορυφόρους σε ύψος 40000Km. Σαν αποτέλεσμα, ο ίδιος δορυφόρος είναι συνέχεια διαθέσιμος πάνω από μεγάλες περιοχές. Ωστόσο, υπάρχει ένα μειονέκτημα: εάν για κάποιο λόγο το σήμα του διαφορικού δορυφόρου γίνει αθέατο ή διακοπεί, τότε ο χρήστης θα είναι αποκομμένος χωρίς σήμα διόρθωσης, αντίθετα με το σήμα GPS το οποίο παρέχεται από 12 δορυφόρους οποιαδήποτε στιγμή, επιτρέποντας στον δέκτη GPS την επιλογή.

Οι δέκτες και οι κεραιές είναι σχετικά φορητά και δεν θέτουν κανένα πρόβλημα όταν τοποθετούνται σε οχήματα όπως τα αεροσκάφη ή τα αυτοκίνητα. Μπορούν να γίνουν πιο δύσκολοι στο χειρισμό όταν μεταφέρονται στο χώρο για ταυτόχρονη τοπογράφηση.

Το πραγματικό μειονέκτημα είναι ότι συγκριτικά είναι ακριβοί. Ένας τυπικός δέκτης μπορεί να κοστίσει κάπου ανάμεσα στα \$4000 και \$5000 και σε ετήσιες συνδρομές για χρήση μπορούν να κοστίσουν επιπλέον \$3000. Αυτό είναι επιπρόσθετο μαζί με όλα τα άλλα έξοδα για τους δέκτες GPS σε συνεργασία με software και hardware. Ωστόσο μερικές φορές είναι αναγκαίο. Σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές όπως η κεντρική Αφρική ή η νότια Αμερική, οι κοντινότεροι σταθμοί βάσης μπορεί να είναι χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά, μειώνοντας σημαντικά τη διόρθωση. Ο διαφορικός δορυφορικός δέκτης ενεργεί σαν εικονικός βασικός σταθμός με βασική γραμμή την απόσταση μεταξύ του δέκτη GPS και του διαφορικού δέκτη, η οποία συνήθως είναι μερικά μέτρα. Αυτό μπορεί να δώσει αυτόνομο δυναμικό ακρίβειας στην τιμή των 30-50 εκατοστών εξαρτώμενο από το δέκτη που χρησιμοποιείται.



- κάλυψη οπουδήποτε στις Η.Π.Α

- απαιτείται μόνο ένα άτομο

- κινητό σε λογικά πλαίσια

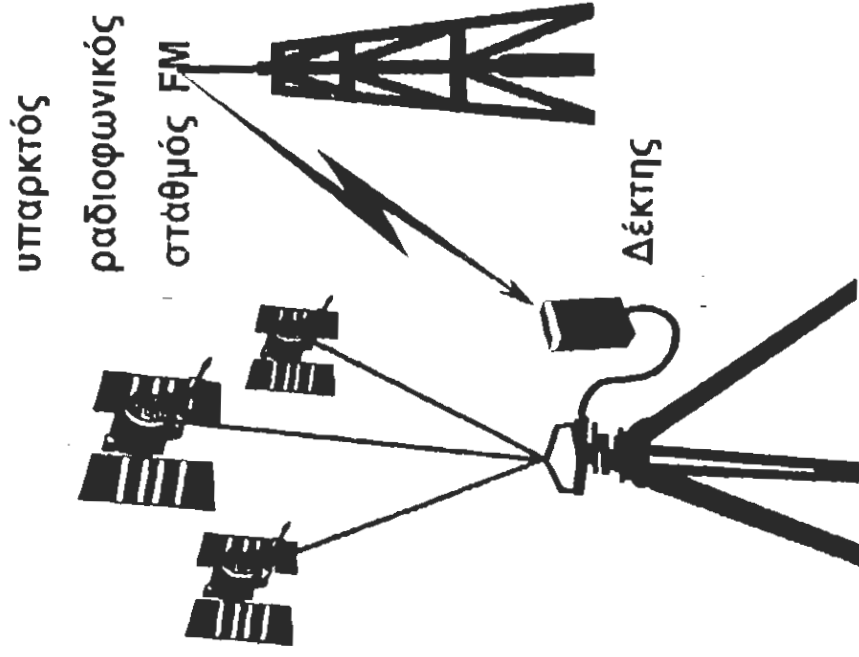
- ακριβό

Ταυτόχρονη διόρθωση με φορείς FM

Οι ταυτόχρονες διαφορικές διορθώσεις μπορούν επίσης να σταλούν με ραδιοφωνικά σήματα FM. Ένα διαφορικό RTCM σήμα διόρθωσης μπορεί να χορηγηθεί στους χρήστες εντός εμβέλειας ενός ικανού πομπού RTCM χρησιμοποιώντας σαν επικοινωνιακή σύνδεση ήδη υπάρχοντες ραδιοφωνικούς σταθμούς.

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν τα **Ραδιοφωνικά Συστήματα Δεδομένων (RDS)** ή τα **Συστήματα Δεδομένων Ραδιοφωνικής Μετάδοσης (RBDS-US)** για την εκπομπή ψηφιακών δεδομένων χρησιμοποιώντας φορείς διαμόρφωσης σε ήδη υπάρχοντες ραδιοφωνικούς σταθμούς.

Μειονεκτεί στο ότι η εμβέλεια είναι συχνά μικρή, στην τιμή των 50 έως 75 χιλιομέτρων, αφήνοντας πολλά κενά σήματος στο σύστημα. Οι εταιρείες που προμηθεύουν το σύστημα ισχυρίζονται ότι προς το παρόν καλύπτουν πάνω από 90% του πληθυσμού (οχι της επιφάνειας) βορείως του Μεξικού και εκφράζουν την αισιοδοξία ότι θα επιτύχουν μέσα στα επόμενα δύο ή τρία χρόνια κάλυψη επιφάνειας σε ποσοστό 80-90%. Αν και αυτές οι εκτιμήσεις είναι προς το παρόν υπεραισιόδοξες υπάρχουν έγγραφα του Τμήματος Μεταφορών που προβλέπουν ότι η πλήρης εγκατάσταση του συστήματος θα παρέχει κάλυψη μετάδοσης σε ποσοστό 96% στον πληθυσμό και 80% στην επιφάνεια της βόρειας Αμερικής.



- μεταδίδει μέσω σταθμού FM
- φθηνό
- μικρό μέγεθος
- ταυτόχρονη διόρθωση με ακρίβεια μικρότερη του μέτρου
- περιορισμένη κάλυψη
- μικρή εμβέλεια μετάδοσης

Ακρίβεια

Ο εξοπλισμός που θα χρειαστεί ο χρήστης, εξαρτάται από τις απαιτήσεις εντοπισμού και από το πόσο είναι διατεθημένος να πληρώσει την άμεση σχέση μεταξύ κόστους και ακρίβειας.

Στο διαφορικό εντοπισμό φέρον συχρονισμού, μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια μισού εκατοστού σε ακινησία και δύο ή τρία εκατοστά σε κίνηση. Αλλά αυτό συνεπάγεται υψηλό κόστος που ξεπερνά τις \$50000 για κάθε δέκτη.

Όμως οι εμπορικοί χαμηλού κόστους δέκτες που συχνά δεν ξεπερνούν τα \$200 δεν γίνεται να επιτύχουν ακρίβεια πολύ κάτω από 100m με την SA ενεργοποιημένη ή γύρω στα 30m με την SA απενεργοποιημένη. Ωστόσο, αυτή η ακρίβεια για αυτούς που ψυχαγωγούνται είναι περισσότερο από ικανοποιητική. Οι πωλήσεις αυτών των μονάδων εκτινάσσονται εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους και του μικρού τους κόστους.

Όπως έχουμε δει υπάρχουν και οι δέκτες C/A-κώδικα που μπορούν να επιτύχουν ακρίβεια μερικών εκατοστών (20-30) όπου με κόστος κάτω των \$8000 μπορούν να αποκτηθούν με το απαιτούμενο κατάλληλο software.

Όλα αυτά παρουσιάζουν την τωρινή κατάσταση της τεχνολογίας και του κόστους. Όταν η παραγωγή αυξάνεται, οι τιμές στα ηλεκτρονικά προϊόντα τείνουν να πέσουν τάχιστα και έτσι πρέπει να αναμένουμε οι τιμές και τα μεγέθη των συσκευών να μειώνονται, ενώ η ακρίβεια και η ευκολία χρήσης να βελτιώνονται.

Σφάλματα

Μέχρι τώρα συζητάμε για διάφορα μεγέθη ακρίβειας. Βασικά όταν μιλάμε για ακρίβεια ή σφάλμα αναφερόμαστε στο πόσο μακριά από την αληθινή θέση μπορεί να είμαστε.

Η βασική μονάδα σφάλματος στο GPS είναι η DRMS δηλ. η ενεργός τιμή της απόστασης. Αυτή η έννοια παριστάνει την απόσταση στην οποία θα πέσουν το 68% των σημείων. Ίσως είναι καλύτερα να σκεφτούμε ότι αυτή η τιμή παριστάνει την πιθανότητα με την οποία μια θέση να είναι μέσα στην τιμή RMS. Σαν εξαγωγή συμπεράσματος υπάρχει μια πιθανότητα 32% μια θέση να είναι έξω από την τιμή RMS. Εάν έχουμε τιμή 2RMS σημαίνει ότι υπάρχει 95% πιθανότητα ένα σημείο να είναι μέσα στην επιθυμητή τιμή σφάλματος. Συνήθως αυτές οι τιμές δηλώνονται ως ΣΙΓΜΑ δηλ. 1 ΣΙΓΜΑ (1σ) ή 2 ΣΙΓΜΑ (2σ).

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι για παρουσίαση τιμών σφαλμάτων στις οποίες ο χρήστης πρέπει να είναι σε εγρήγορση. Αναφέρουμε χαρακτηριστικά τον CEP δηλ. το κυκλικό πιθανό σφάλμα, που παριστάνει την πιθανότητα, 50%, για ένα σημείο να πέσει εντός στην δοσμένη αληθινή εικόνα στον οριζόντιο άξονα και τον SEP δηλ. το σφαιρικό πιθανό σφάλμα που είναι σχετικά ίδιο στον ορισμό, μόνο που πλέον αναφερόμαστε στο χώρο.

Ο πιο πλατιά αποδεκτός όρος είναι ο 2DRMS δηλ. η 95% πιθανότητα, αν και στα τεχνικά εγχειρίδια πωλήσεων συχνά αναφέρονται οι τιμές CEP και SEP.

Κεφάλαιο 4

Γεωδαιτικά εναρμονισμένα συστήματα

Ένα γεωδαιτικό εναρμονισμένο σύστημα μπορεί να οριστεί σαν ένα σύνολο από κανόνες για να προσδιορίσουμε πώς οι εναρμονισμένες τιμές αποδίδονται σε θέσεις στην επιφάνεια της Γης σχεδιασμένη σε άξονες X, Y και Z .

Μπορεί να νομίζουμε τη Γη σαν μια σφαίρα όπως για παράδειγμα η σφαίρα του μπιλιάρδου. Στην πραγματικότητα, το γενικό σχήμα μοιάζει περισσότερο σαν πεπλατυμένο αυγό με μια διόγκωση στο κάτω μέρος ή ακόμα χειρότερα με την επιφάνεια πατάτας με ουσιαστικά αναρίθμητο αριθμό εξογκωμάτων και επίπεδων επιφανειών. Το μεταβαλλόμενο σχήμα της Γης οδηγεί σε ένα ευρείας εμβέλειας δυναμικό βαρύτητας όπου άλλες περιοχές έχουν υψηλότερη βαρύτητα από άλλες.

Έχουμε συνηθίσει να ορίζουμε τα ύψη σαν την απόσταση από την επιφάνεια της θάλασσας. Υπάρχουν ωστόσο προβλήματα με αυτή την γραμμή αναφοράς όταν προσπαθούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια θέσεις. Εάν φανταστούμε ότι η επιφάνεια της θάλασσας ήταν ικανή να καλύπτει εντελώς την επιφάνεια της Γης μέσα από βουνά και πεδιάδες τότε η επιφάνεια που θα δημιουργούνταν θα ήταν ισοδυναμική και θα καλούνταν **Γεωειδής**.

Εξαιτίας του γεγονότος της απεριόριστης πολυπλοκότητας αυτής της επιφάνειας δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί. Αντί αυτής ορίζουμε το **Ελλειψοειδές** σχήμα το οποίο είναι πιο εύκολο από μαθηματικής πλευράς.

Σύγκριση

Η έλλειψη είναι μια καμπύλη δύο διαστάσεων όπου το άθροισμα της απόστασης δύο καθορισμένων σημείων από οποιοδήποτε άλλο σημείο είναι σταθερή. Αποτέλεσμα της περιστροφής μιας έλλειψης γύρω από τον ελάσσων άξονα, είναι μια ελλειψοειδής ανακύκλιση, ή πιο απλά ένα ελλειψοειδές. Ένα ελλειψοειδές είναι μια απλή γεωμετρική επιφάνεια η οποία μπορεί να οριστεί από μια μαθηματική εξίσωση. Εξαιτίας της απλότητάς του, ένα ελλειψοειδές μπορεί

να οριστεί από μόνο δύο παραμέτρους: από το μισό του κύριου άξονα (a) και από την εκκεντρότητα (e). Η εκκεντρότητα ορίζεται από την εξίσωση:

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad \text{όπου } b \text{ είναι το μισό του}$$

ελάσσων άξονα.

Τα ελλειψοειδή χρησιμοποιούνται σαν αξιόπιστη και επαναλαμβανόμενη βασική γραμμή από την οποία μπορούν να γίνουν μετρήσεις θέσης, αλλά μιας και είναι απλά ένα μαθηματικό κατασκεύασμα δεν μπορεί να εντοπιστεί από όργανα. Το γεωειδές από την άλλη είναι μια φυσικά μετρήσιμη επιφάνεια.

Μιας και η γεωειδής επιφάνεια είναι τόσο πολύπλοκη, είναι σχεδόν αδύνατο να πάρουμε αξόπιστες προβλέψεις από αυτή. Αντιθέτως χρησιμοποιείται το ελλειψοειδές σχήμα που ταιριάζει καλύτερα στο γεωειδές. Τα ύψη τότε μετρούνται σαν X απόσταση πάνω από το ελλειψοειδές. Συμβαίνει που και που το ύψος να είναι κάτω από την ελλειψοειδή επιφάνεια και σ'αυτές τις περιπτώσεις δίνεται σαν αρνητικός αριθμός.

WGS 84

Η αρχή του παγκόσμιου γεωδαιτικού συστήματος (WGS 84) είναι το κέντρο μάζας της Γης. Το WGS 84 χρησιμεύει σαν αφετηρία ή επιφάνεια αναφοράς, που είναι ουσιαστικά ίδιο με τη Βόρεια Αμερικάνικη Αφετηρία (NAD 83).

Η Υπηρεσία Αμυντικής Χαρτογράφησης (DMA) έχει ενεργά εμπλακεί, από το 1960 στην ανάπτυξη WGS. Τέσσερα τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί: WGS 60 WGS 66, WGS 72 και WGS 84, με το καθένα πιο ακριβές. Το τελευταίο, το WGS 84 απεικονίζει ένα καλλιτεχνικό μοντέλο της Γης από μια γεωμετρική, γεωδαιτική και βαρυτική σκοπιά χρησιμοποιώντας τα δεδομένα, τις τεχνικές και την τεχνολογία που ήταν διαθέσιμη μέχρι το 1984. Μιας και η κατανόησή μας για το σχήμα της Γης βελτιώνεται, πρέπει να αναμένουμε να δούμε και άλλο WGS στο μέλλον σαν τμήμα της θαυμαστής ακρίβειας του GPS.

Ύψη του GPS

Τα ύψη που μετρούνται από το GPS είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, μιας και δεν ανταποκρίνονται σε αυτό που συνήθως καταλαβαίνουμε με τον όρο 'υψόμετρο'. Αυτά τα ύψη ορίζονται με αναφορά στην ελλειψοειδή και όχι στην γεωδαιτική επιφάνεια την οποία χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή.

Σαν ορθομετρικό ύψος καλούμε το επιφανειακό ύψος από την απεριόριστη άμορφη ενεργό επιφάνεια της Γης πάνω ή μερικές φορές κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι αυτά τα ύψη δεν είναι τόσο ακριβή όσο οι οριζόντιες θέσεις του GPS. Αυτό γίνεται διότι η Γη μπλοκάρει την ορατότητα των κάτωθι δορυφόρων. Συνεπώς, εμπειρικά το δυναμικό κάθετο σφάλμα για οποιαδήποτε θέση GPS θα είναι δύο φορές μεγαλύτερο από το οριζόντιο σφάλμα για την ίδια θέση.

Γεωδαιτικά ύψη

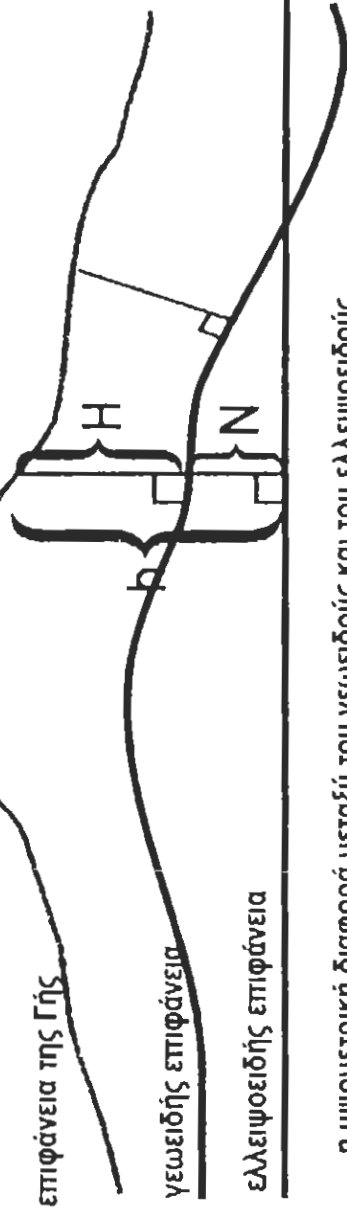
Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει τις τρεις επιφάνειες που πρέπει να έχουμε υπόψη όταν προσδιορίζουμε ύψη. Η γεωειδής επιφάνεια ορίζεται ως Χ μέτρα πάνω ή κάτω από το ελλειψοειδές WGS 84. Αυτή η τιμή που καλείται ως N είναι γνωστή σαν γεωειδές ύψος ή γεωειδής διακύμανση.

Το ορθομετρικό ύψος (H) είναι το ύψος της επιφάνειας της Γης πάνω από τη γεωειδή επιφάνεια το οποίο συχνά αναφέρεται ως ύψος πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Αυτό το ύψος μετρείται πάντα ορθομετρικά. Επομένως, εάν η επιφάνεια διακύμανσης από το γεωειδές συμβαίνει να έχει κλίση με την τοποθεσία όπου το ύψος της πρέπει να μετρηθεί, αυτό θα μετρηθεί κάθετα με την υπό κλίση επιφάνεια.

Σε γενικές γραμμές, το ελλειψοειδές ύψος (h) είναι ίσο με το άθροισμα του ορθομετρικού ύψους και της γεωειδούς διακύμανσης δηλ. $h = H + N$. Εάν αυτό ήταν εντελώς αληθινό δεν θα υπήρχε κανένα απολύτως πρόβλημα στο να γίνουν άμεσες μετατροπές από τη μια μορφή στην άλλη. Η δυσκολία είναι στο γεγονός ότι το ορθομετρικό ύψος, που παραμένει κάθετο με το γεωειδές, μπορεί να γίνει μεγαλύτερο από το προηγούμενο άθροισμα. Η μεταβολή είναι συνήθως μικρή και σπανίως είναι πρόβλημα. Ωστόσο, για υψηλής ακρίβειας μέτρηση, αυτό το πρόβλημα μπορεί να επηρεάσει την

- ορθομετρικό ύψος (H) που αναφέρεται στο Γεωειδές
- ύψος (h) που αναφέρεται στο Ελλειψοειδές
- το h είναι αυτό που μετρά το GPS

$$h = H + N$$



επιφάνεια της Γής

γεωειδής επιφάνεια

ελλειψοειδής επιφάνεια

η υψομετρική διαφορά μεταξύ του γεωειδούς και του ελλειψοειδούς καλείται Γεωειδής Διακύμανση (N)

προσδιοριζόμενη θέση με ένα σφάλμα αρκετά σημαντικό. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ακριβής μετατροπή του ελλειψοειδούς ύψους απαιτεί επακριβή γνώση της γεωειδούς διακύμανσης.

Τεχνικές συλλογής δεδομένων

Όλα τα δεδομένα χώρου μπορούν να παρασταθούν είτε με ένα σημείο είτε με μια γραμμή είτε με μια περιοχή. Ένα σημείο ορίζεται με ένα ζευγάρι συντεταγμένων (X,Y). Έτσι το σημείο ορίζεται σε δύο διαστάσεις. Μιας όμως που το GPS λειτουργεί σε τρεις διαστάσεις ένας καλύτερος ορισμός του σημείου θα ήταν ο τρισδιάστατος (X,Y,Z). Μια γραμμή είναι απλά ένα χαρακτηριστικό που ορίζεται από δύο τουλάχιστον σημεία. Συνεχίζοντας τους ορισμούς μπορούμε να προσδιορίσουμε και την περιοχή σαν χαρακτηριστικό που έχει σαν όρια τρία σημεία.

Το GPS είναι κατάλληλα προσαρμοσμένο και στα τρία αυτά στοιχεία δεδομένων. Τα σημεία έχουν τη δική τους δυναμική. Αν ενώσουμε ένα ζευγάρι από σημεία GPS θα έχουμε μία γραμμή. Συνεχίζοντας, εάν προσθέσουμε και ένα τρίτο σημείο ή περισσότερα και τα ενώσουμε διαδοχικά θα αποκτήσουμε μία περιοχή. Αυτό είναι που κάνει το GPS.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που μπορούν να απασχοληθούν με τον προσδιορισμό σημείου και γραμμής με το GPS και οι οποίες έχουν ένα συγκεκριμένο όρο που υπονοεί την χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Προσέξτε ότι δεν περιλαμβάνεται η περιοχή στα όσα αναφέραμε πριν από λίγο. Αυτό γίνεται διότι η περιοχή είναι μια προέκταση των δεδομένων των σημείων και των γραμμών και σαν τέτοια δεν έχει τη δική της συγκεκριμένη αναφορά.

Διαφορικά διορθωμένες, C/A-κώδικα, θέσεις αναφέρονται απλά σαν **Διαφορικές Θέσεις**. Εάν η θέση δεν είναι διαφορικά διορθωμένη τότε χρησιμοποιούμε τον όρο **Θέση με Κωδικοποιημένο Συγχρονισμό**. Ενώ είναι δυνατό και μερικές φορές επιθυμητό να αποκτήσουμε δεδομένα γραμμής από μια σειρά από μεμονωμένες κωδικοποιημένες θέσεις, αυτά συνήθως αποκτιούνται εν κινήσει. Η συλλογή δεδομένων γραμμής εν κινήσει χρησιμοποιώντας C/A-κώδικα ορίζεται ως **Δυναμική Συλλογή Δεδομένων**.

Όταν αναφερόμαστε σε συλλογή δεδομένων σημείου φέρον συγχρονισμού ο όρος που χρησιμοποιούμε είναι η **Στατική Θέση**. Έξ ορισμού οι θέσεις φέρον συγχρονισμού είναι διαφορικά διορθωμένες, είτε μέσα από την διόρθωση με μετεπεξεργασία είτε από την

ταυτόχρονη διόρθωση και έτσι ο προηγούμενος όρος χρησιμοποιείται και για τις δύο περιπτώσεις. Όσο για τα δεδομένα γραμμής φέρον συγχρονισμού C/A κώδικα μπορούν να συλλεχθούν μέσα από την απόκτηση μεμονωμένων θέσεων. Αλλά συνήθως συλλέγονται σε κίνηση. Σε αυτή την περίπτωση ο όρος που χρησιμοποιείται είναι η **Κινηματική Συλλογή Δεδομένων**.

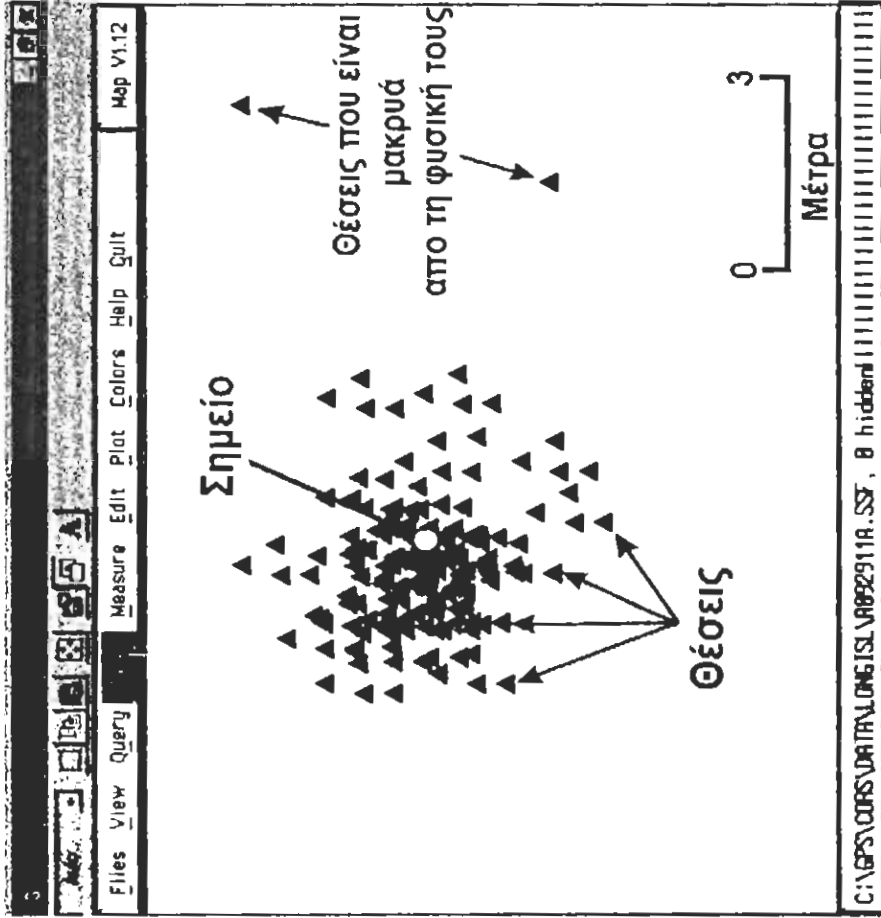
Διαβάζοντας όλο αυτόν τον πλούτο από έγγραφα για το GPS ερχόμαστε αντιμέτωποι με μια κατάχρηση όρων. Αυτό γίνεται διότι τα πρώτα χρόνια αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνταν συχνά εναλλακτικά. Σήμερα όμως αυτοί οι όροι έχουν αποκτήσει συγκεκριμένες έννοιες.

Σύγκριση σημείων-θέσεων

Μέσα από όλες αυτές τις αναφορές χρησιμοποιείται προσεκτικά ο όρος **θέσεις** από τον όρο **σημεία**. Αυτό γίνεται διότι μέσα στο GPS αυτά τα δύο έχουν διαφορετικές ερμηνείες. Οι δέκτες του GPS δεν συλλέγουν δεδομένα με μια ομαλή συνεχή μέθοδο. Αντιθέτως, τα δεδομένα συλλέγονται σε **Εποχές**. Μια εποχή είναι ένα στιγμιαίο συμβάν μέτρησης που μερικές φορές αναφέρεται λανθασμένα σαν διάστημα μεταξύ των μετρήσεων. Το πιο κοινό διάστημα είναι το ένα δευτερόλεπτο. Επομένως ένα λεπτό συλλογής δεδομένων θα περιέχει 60 εποχές. Κάθε εποχή αποτελεί μια μοναδική θέση.

Όταν μια τοποθεσία απασχολείται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα συλλέγεται ένας αριθμός θέσεων και το πρόγραμμα επεξεργασίας βγάζει το μέσο όρο των θέσεων. Με αυτή τη μέθοδο η διακύμανση σε μια σειρά από μοναδικές θέσεις ελαχιστοποιείται αποτελώντας ένα εναρμονισμένο σημείο το οποίο είναι πιο ακριβές από αυτό που δίνεται από μια μοναδική θέση. Η τεχνική χρησιμοποιείται και για τον κωδικοποιημένο και για τον φέρον συγχρονισμένο εντοπισμό. Η διαφορά είναι στην ποσότητα της διακύμανσης μεταξύ της ομάδας των θέσεων. Για C/A-κώδικα αυτή η διακύμανση μπορεί να είναι πολλά μέτρα ενώ για φέρον συγχρονισμό μπορεί να είναι μόνο μερικά εκατοστά.

Σε μερικά προγράμματα αυτός ο μέσος όρος των θέσεων είναι προφανής στο χρήστη. Σε άλλα είναι δυνατόν να εξεταστεί η κάθε μία συστατική θέση του σημείου. Αυτό έχει το πλεονέκτημα του να επιτρέπεται η απομάκρυνση των ορατών σημείων που είναι έξω από τη φυσική τους θέση. Κανονικά, το μέγιστο χρονικό διάστημα για κωδικοποιημένη συλλογή είναι γύρω στα πέντε λεπτά. Οποιαδήποτε μεγαλύτερη σε χρόνο συλλογή είναι υπερβολική.



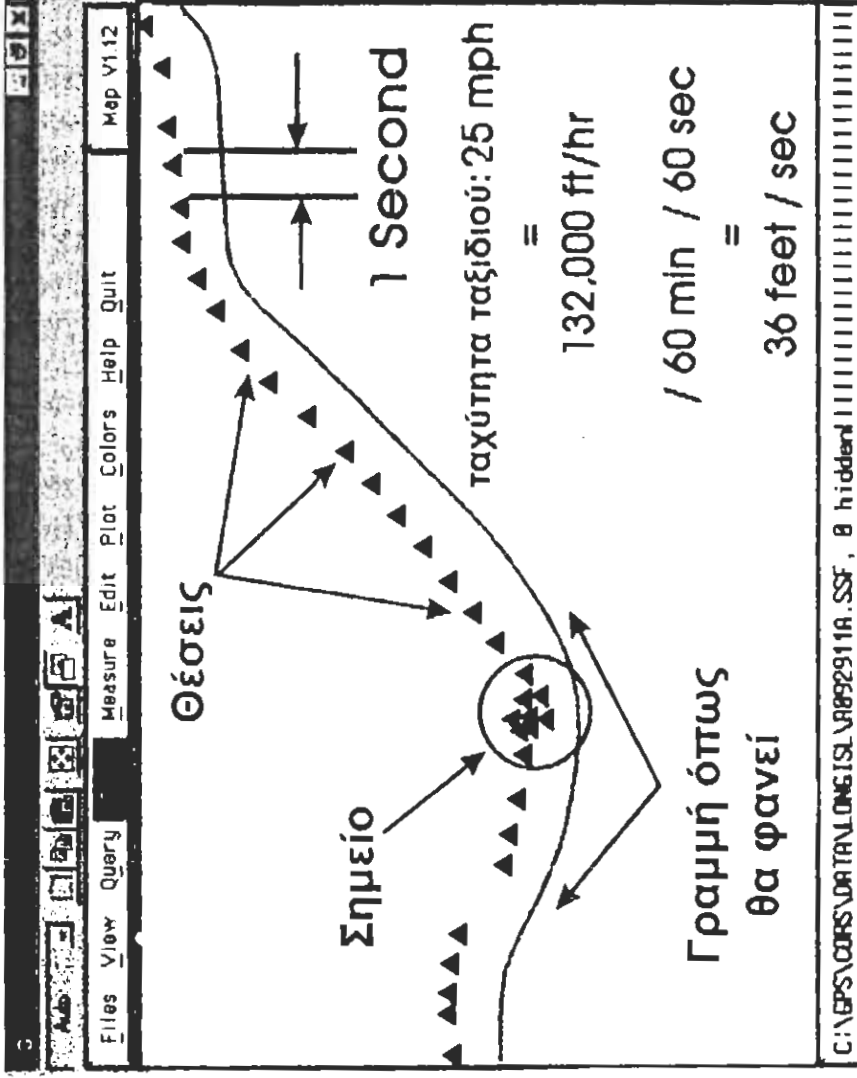
Δημιουργία γραμμών από σημεία

Όπως ειπώθηκε νωρίτερα, οι γραμμές είναι απλά μια σειρά από σημεία. Βασικά όπως κινείται ο δέκτης, συλλέγει μια σειρά από μεμονωμένες θέσεις οι οποίες μπορούν να ενωθούν μαζί από ένα πρόγραμμα.

Η 'θολότητα' της γραμμής εξαρτάται από την ταχύτητα του δέκτη και από το διάστημα της εποχής. Επομένως, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αυτοί οι δύο παράγοντες, όταν σχεδιάζεται συλλογή δεδομένων.

Επειδή ο δέκτης δεν μπορεί να παίρνει το μέσο όρο μιας ομάδας θέσεων οπουδήποτε, αυτό θα έχει αντίκτυπο στην συνολική ακρίβεια της δημιουργίας της γραμμής. Αυτό μπορεί μερικώς να αποκατασταθεί με το να σταματά ο δέκτης περιοδικά και να συλλέγει μια ομάδα θέσεων. Έτσι θα δοθεί ένα καλύτερο αποτέλεσμα θέσης.

Είναι σημαντικό να ενημερώσουμε το δέκτη για το ποια φόρμα δεδομένων να συλλέγει. Εάν αυτός συλλέγει δεδομένα σημείου όταν στην πραγματικότητα έπρεπε να συλλέγει δεδομένα γραμμής, τότε αυτόματα θα βγάξει το μέσο όρο των θέσεων και το αποτέλεσμα θα είναι ένα παράξενο σημείο που λίγο θα έχει να κάνει με αυτό που επιδιωκόταν. Οι περισσότεροι κατασκευαστές θα επιτρέψουν στο χρήστη να ενσωματώσει σημεία ανάμεσα στα χαρακτηριστικά γραμμής ώστε να δώσει τα σημεία που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.



Map V112

Files View Query Measure Edit Plot Colors Help Quit

Θέσεις

Σημείο

1 Second

ταχύτητα ταξιδιού: 25 mph

= 132,000 ft/hr

= / 60 min / 60 sec

= 36 feet / sec

Γραμμή όπως

θα φανεί

C:\GPS\CORS\DRITAN.DMG\ISL\VR892911A.SSF, B hidden

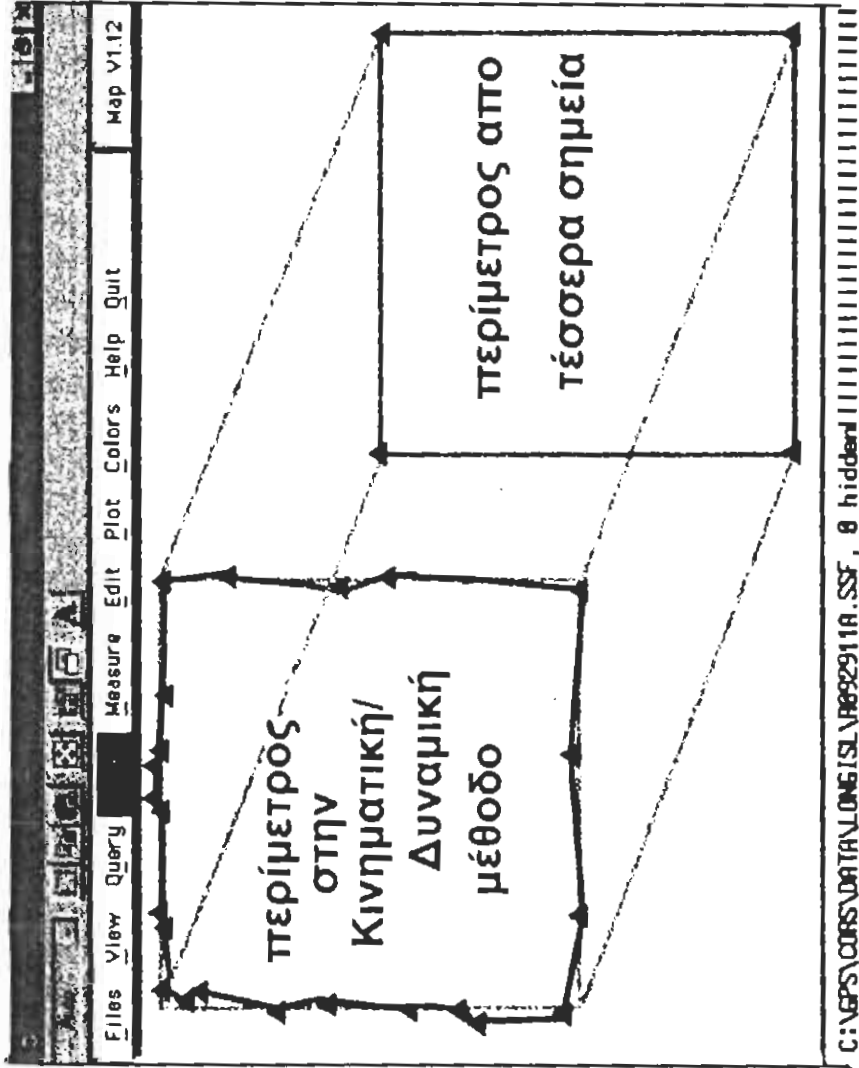
Δημιουργία περιοχών από σημεία

Οι περιοχές μπορούν να οριστούν σαν κλειστά όρια τριών ή περισσότερων συνδεδεμένων σημείων. Τα περισσότερα προγράμματα επεξεργασίας GPS έχουν ένα μηχανισμό με τον οποίο μπορεί να παραχθεί μια περιοχή από ένα σύνολο σημείων.

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι από τις οποίες μια περιοχή μπορεί να αποκτηθεί από το GPS. Η πρώτη είναι να ενεργοποιήσουμε το δέκτη και να τον ενημερώσουμε ότι θα συλλέξει χαρακτηριστικά γραμμής. Το πρόγραμμα αργότερα θα υπολογίσει την εσωτερική περιοχή. Εξαιτίας της κυμάτωσης μεταξύ διαδοχικών σημείων, μπορεί επίσης να παρουσιαστεί κυμάτωση γύρω από την αληθινή γραμμή. Όταν συλλέγουμε την περίμετρο μιας ακανόνιστης περιοχής, είναι αποδεκτή μια τέτοια κυμάτωση.

Όταν συλλέγουμε την περίμετρο μιας περιοχής με κανονικές πλευρές, παίρνουμε μια σειρά από θέσεις στις κορυφές ή στις γωνίες τις περιοχής. Το πρόγραμμα τότε ενημερώνεται να ενώσει τα σημεία και να υπολογίσει την περιοχή. Αυτό έχει το πλεονέκτημα να μην απαιτείται από το χρήστη να ακολουθεί ακριβώς την περιμετρική γραμμή και επίσης να μην υπάρχει περιττή κυμάτωση.

Επι προσθέτως, συλλέγοντας δεδομένα θέσεων σε κάθε κορυφή θα συλλεχθούν μεμονωμένα δεδομένα σημείων μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα. Σαν αποτέλεσμα, η ακρίβεια θα είναι υψηλότερη από αυτή που θα ήταν στις δυναμικά και κινηματικά παραγόμενες θέσεις γραμμής. Η συλλογή δεδομένων στατικού C/A κώδικα είναι και παραμένει πιο ακριβής από τα δεδομένα με δυναμικό/κινηματικό τρόπο.



Διαφορικές εφαρμογές

Σε αυτήν την ενότητα θα δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή στις διαφορικές εφαρμογές περισσότερο από τις αυτόνομες, εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι περισσότερο επαγγελματικές. Οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές μπορούν να χωριστούν σε τομείς όπως: **Χαρτογράφησης, Τοπογράφησης και Ναυσιπλοΐας**. Αυτές οι τρεις κύριες κατηγορίες μπορούν περαιτέρω να χωριστούν σε ταυτόχρονες και μετεπεξεργασμένες εφαρμογές. Αυτό εξαρτάται από τις απαιτήσεις του κάθε τομέα.

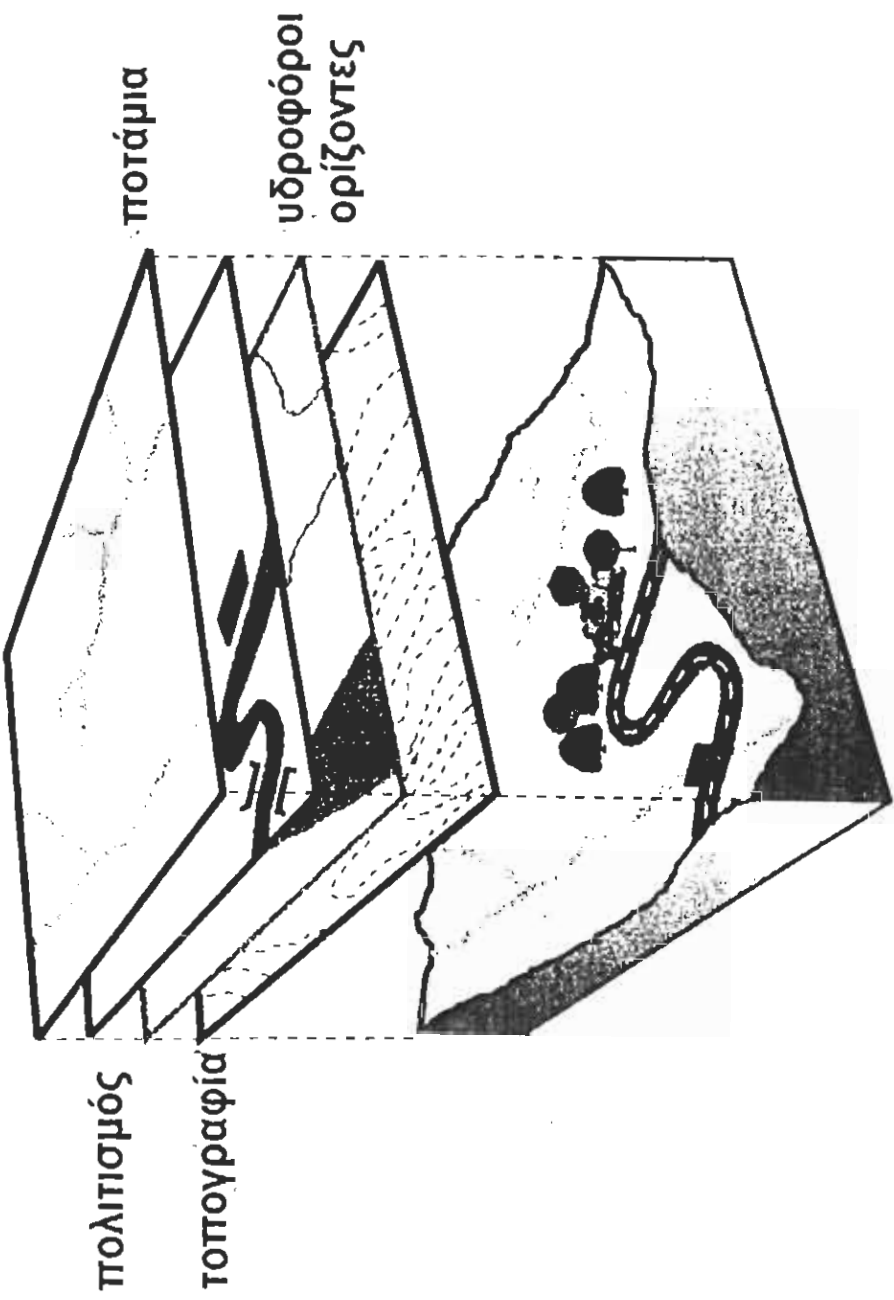
Τα **Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφόρησης (GIS)** και οι **εφαρμογές Χαρτογράφησης**, ασχολούνται γενικά με προϊόντα που δεν εξαρτώνται άμεσα από το χρόνο. Επομένως, υπάρχει μικρή ανάγκη για ταυτόχρονη διόρθωση των δεδομένων χώρου του GPS. Οι απαιτήσεις πληροφόρησης των εφαρμογών GIS/Χαρτογράφησης μπορούν να υλοποιηθούν με μετεπεξεργασία και περιλαμβάνουν τα δεδομένα σημείου γραμμής και περιοχής που ασχοληθήκαμε νωρίτερα.

Οι εφαρμογές επακριβούς τοπογράφησης δεν απαιτούν γενικά ταυτόχρονη διόρθωση δεδομένων. Υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις. Για παράδειγμα, η αποκατάσταση ενός μνημείου που έχει χαθεί μέσα στο χρόνο και από τις ιδιοτροπίες της φύσης, μπορεί να βοηθηθεί όταν ο τοπογράφος, ξέροντας τις ακριβείς συντεταγμένες του χαμένου μνημείου, τις περάσει στον δέκτη GPS και οδηγηθεί στο σωστό σημείο. Όπως και προηγούμενα, η τοπογράφηση ασχολείται με τα δεδομένα σημείου γραμμής και περιοχής.

Η ναυσιπλοΐα διαφέρει διότι είναι απαραίτητο ο χρήστης να ξέρει που είναι τη συγκεκριμένη στιγμή μιας και η θέση του αλλάζει συνεχώς. Οι εφαρμογές ναυσιπλοΐας ενδιαφέρονται περισσότερο για τη στιγμιαία θέση, ταχύτητα και κατεύθυνση δηλ. πού είναι τώρα, πού πηγαίνει και πόσο γρήγορα θα φθάσει.

Συστήματα γεωγραφικής πληροφόρησης

Τα συστήματα γεωγραφικής πληροφόρησης ή αλλιώς GIS μπορούν να οριστούν ως συστήματα σχεδιασμένα να υποστηρίξουν τον έλεγχο, το χειρισμό, την ανάλυση και την έκθεση δεδομένων που αναφέρονται στο χώρο, για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων. Είναι απλά μια μέθοδος οργάνωσης και παρουσίασης ουσιαστικά



οποιασδήποτε πληροφορίας για τον κόσμο που μας περιβάλλει. Αυτές οι πληροφορίες αναφέρονται για παράδειγμα: σε υδάτινα συστήματα, σε τοπογράφηση, σε χρήση γης και συνήθως σε χάρτες δρόμων, σε γραμμές υπονόμων στις πόλεις, σε θέσεις τηλεφωνικών θαλάμων, σε θέσεις πυροσβεστικών κρουνών και σε πολλά άλλα.

Το GPS ταιριάζει απόλυτα με τις απαιτήσεις του GIS. Όλες οι προηγούμενες πληροφορίες και πολλές άλλες ακόμη, μπορούν να αποκτηθούν με την τεχνολογία του GPS εύκολα και με ακρίβεια. Ο δέκτης του GPS μπορεί να συλλέξει τις απαραίτητες πληροφορίες και να τις διαθέσει κατευθείαν στο GIS με πολύ μικρή δαπανώμενη ενέργεια.

Ο συνδυασμός GPS και GIS είναι πραγματικά πέρα από κάθε προσδοκία. Έτσι ο σημερινός άνθρωπος έχει βρει αυτό το συνδυασμό πολύ χρήσιμο σε όλες τις καθημερινές ασχολίες του.

Εφαρμογές του GIS

Πέρα από τη δημιουργία χαρτών, οι τυπικές εφαρμογές του GIS περιλαμβάνουν και πολλά περισσότερα. Για παράδειγμα μια εταιρεία γκαζιού μπορεί να θέλει ένα λεπτομερή και ακριβή χάρτη για τις διαδρομές των σωλήνων παροχής ούτως ώστε εάν κάποιος θέλει να σκάψει στη γη να μπορεί να προσδιορίσει γρήγορα εάν είναι ασφαλές.

Ένα άλλο παράδειγμα αφορά την αστυνόμευση. Μέσω του GIS και με τη συνεργασία του GPS, η αστυνομία μπορεί άμεσα να προσδιορίσει τα σημεία εκείνα στην πόλη με εγκληματική συμπεριφορά κάποιων πολιτών και να αυξήσει τις περιπολίες. Επίσης το GIS μπορεί να τους ενημερώσει πού συμβαίνουν ατυχήματα με αυτοκίνητα και έτσι μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι φταίει ο δρόμος, ή ότι αυτές οι περιοχές έχουν ελλιπή σήμανση, ή τέλος, ότι το όριο ταχύτητας πρέπει να τροποποιηθεί.

Το ταχυδρομείο χρειάζεται να ξέρει τις τοποθεσίες όλων των κατοίκων σε μια περιοχή, έτσι ώστε οι απαραίτητες μεταφορικές διαδρομές να υπολογιστούν από το GIS.

Η υπηρεσία που ασχολείται με την προστασία των εθνικών Δρυμών είναι η πλέον ωφελημένη από το σύστημα GIS. Για παράδειγμα οι λίμνες και τα δάση πρέπει να χαρτογραφηθούν έτσι ώστε οποιαδήποτε αλλαγή να μπορεί να ανιχνευθεί γρήγορα. Από τότε που το GIS αποθηκεύει τα δεδομένα ψηφιακά, οποιοδήποτε τμήμα τους μπορεί να ενημερωθεί σε οποιοδήποτε χρόνο με πολύ μικρή προσπάθεια.

Ο τρόπος που χρησιμοποιεί το GPS για να παρέχει δεδομένα στο GIS μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες. Ο πρώτος είναι απλά η εφαρμογή μιας αναφοράς ελέγχου σε κάποια άλλη πηγή δεδομένων από την οποία το GIS να συγκεντρώσει τις πληροφορίες που χρειάζεται. Ο δεύτερος είναι να χρησιμοποιηθεί το GPS ώστε να δώσει τις πληροφορίες του GIS άμεσα.

Αεροφωτογραφίες

Το GIS αποκτά τις πληροφορίες του από μια ποικιλία πηγών. Αυτές περιλαμβάνουν επίγειες τοπογραφήσεις, χάρτες που προϋπάρχουν και αεροφωτογραφίες. Οι τοπογραφήσεις και οι χαρτογραφήσεις έχουν σχεδόν εξ ορισμού κάποια φόρμα γεωγραφικής αναφοράς παραχωρημένης σ'αυτούς.

Από την άλλη μεριά, οι αεροφωτογραφίες ενώ παρέχουν ουσιαστικά απεριόριστη ποσότητα εικονικής πληροφορίας για την καλυπτόμενη περιοχή αντιμετωπίζουν κάποια προβλήματα. Πιο αναλυτικά δεν μπορεί να διακρίνει που βρίσκεται για παράδειγμα ο κάθε δρόμος. Αυτό συνήθως αναφέρεται από κάποια μορφή γεωδαιτικού ή γεωγραφικού συστήματος όπως το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Αλλά παρά την τεράστια ποσότητα πληροφορίας που είναι διαθέσιμη από την φωτογραφική εικόνα, αυτή η κρίσιμη πληροφορία δεν παρέχεται.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να πάρουμε μια αεροφωτογραφία με γεωγραφικές αναφορές έτσι ώστε το GIS να εξαγάγει χρήσιμες πληροφορίες από αυτή. Ένας τρόπος είναι να ανιχνευθεί ένα σημείο π.χ. μια γωνία δρόμου, σε ένα χάρτη. Το πρόβλημα είναι ότι οποιαδήποτε σφάλματα στο χάρτη μεταφέρονται και στη φωτογραφία. Και είναι πασίγνωστο ότι οι χάρτες είναι ανακριβείς. Ένας άλλος τρόπος είναι να στείλουμε ένα τοπογράφο στην ίδια γωνία του δρόμου. Δυστυχώς, αυτός ο τρόπος κοστίζει.

Το GPS λύνει όλα αυτά τα προβλήματα με την ταχύτητά του την ακρίβειά του και το χαμηλό του κόστος. Ο δέκτης του μπορεί απλά να τοποθετηθεί στην ίδια γωνία του δρόμου για λίγα λεπτά και να αποκτήσει δεδομένα θέσης. Τότε οποιαδήποτε επιθυμητή γεωγραφική πληροφορία μπορεί να συλλεχθεί από το GIS.

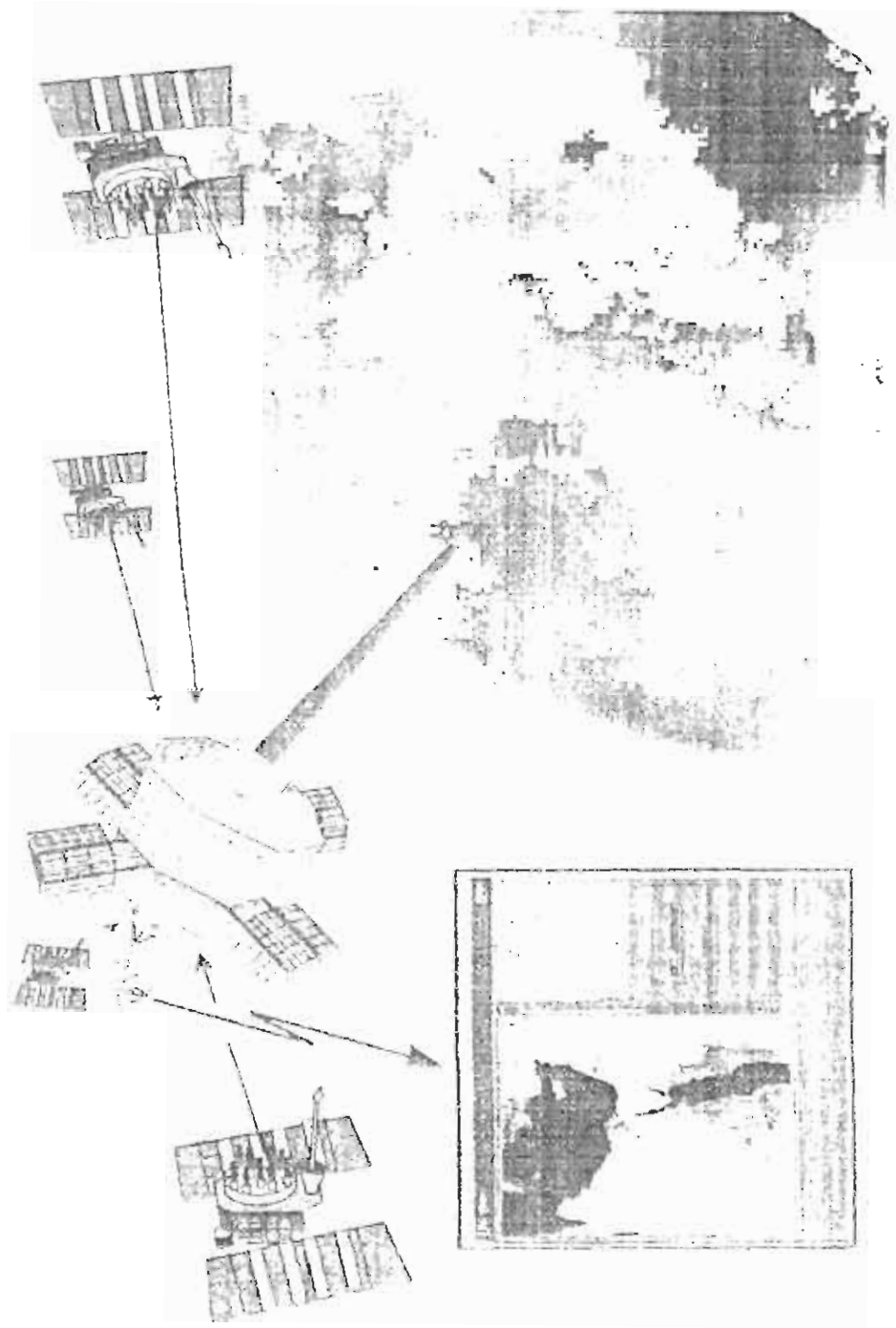
Δορυφορικές αναπαραστάσεις

Ο αριθμός των δορυφόρων που περιστρέφονται σε τροχιά γύρω από τη Γη συνεχίζει να αυξάνεται. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από αυτούς που βγάζουν φωτογραφίες σχεδόν σε οποιοδήποτε τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μερικοί από αυτούς είτε είναι μετεωρολογικοί είτε είναι δορυφόροι radar με δυνατότητα ανίχνευσης ακόμα και κάτω από την επιφάνεια της Γής.

Οι δυνατότητες των δορυφόρων ξεπερνούν πλέον κάθε φαντασία. Αν σκεφτούμε ότι για παράδειγμα μπορούν να ανιχνεύουν πορείες τεράστιων ποταμών που κάποτε κυλούσαν στην περιοχή που τώρα είναι η έρημος Σαχάρα μέχρι και να εξετάζουν την κατάσταση της υγείας των φύλλων στα δάση τότε καταλαβαίνουμε σε τι σημείο έχουν φθάσει οι τεχνολογικές τους δυνατότητες. Ποιος ξέρει σε τι βαθμό εξέλιξης έχουν φθάσει και οι στρατιωτικοί δορυφόροι;

Το GPS εφαρμόζεται στη δορυφορική αναπαράσταση σε δύο επίπεδα. Το πιο φανερό είναι ότι οι δορυφορικές εικόνες πρέπει με κάποιο τρόπο να αποσταλούν στη Γη ώστε να δοθεί σε αυτές γεωγραφική ερμηνεία. Το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον έλεγχο ή στη γεωγραφική αναφορά αυτών των αναπαραστάσεων με σχεδόν ίδιο τρόπο που εξετάσαμε με τις αεροφωτογραφίες.

Το άλλο επίπεδο στο οποίο εφαρμόζεται το GPS είναι για την πλοήγηση των ίδιων των δορυφόρων. Έτσι υπάρχουν πάνω στους δορυφόρους, δέκτες GPS και συστήματα συγκράτησης θέσης. Ακόμα και το Διαστημικό Λεωφορείο της NASA πετά μέσω πλοήγησης GPS.



Δεδομένα σημείου

Η συνεργασία GPS και GIS είναι πολύ σημαντική και συνάμα χρήσιμη όταν υπάρχουν προβλήματα ευκρίνειας κάποιων αντικειμένων στις αεροφωτογραφίες και στους χάρτες. Δέκτες σχεδιασμένοι για συλλογή δεδομένων GIS μπορούν να τοποθετηθούν σε αυτά τα αντικείμενα όπως τηλεφωνικοί θάλαμοι και πυροσβεστικοί κρουνοί και με ειδικό πρόγραμμα να καταγράψουν όλες τις αναγκαίες πληροφορίες δηλ. σε τι κατάσταση είναι, αριθμός μετασχηματιστών, αριθμός σειράς και βέβαια την ακριβή γεωγραφική τους θέση.

Όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να φορτωθούν στο GIS και στη συνέχεια να αναλυθούν και να παρουσιαστούν σε μορφή χάρτη. Με αυτή την τεχνική εκατοντάδες τέτοιων αντικειμένων μπορούν να καταγραφούν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

Δεδομένα γραμμής

Οι διαφορές μεταξύ της παραδοσιακής χαρτογράφησης και του GIS γίνονται συγκριτικά μη ευδιάκριτες. Η συμβατική χαρτογράφηση αφομοιώνεται από τον ψηφιακό κόσμο του GIS. Προς αυτή την κατεύθυνση, το GPS βοηθά αυτή την ψηφιακή επανάσταση. Δεν απαιτείται πλέον από τους χαρτογράφους και τους τεχνικούς να στέκονται με τις ώρες σε σχεδιαστικά γραφεία και να δημιουργούν χάρτες δρόμων. Αντί αυτού, με το GPS τα πάντα γίνονται πιο εύκολα και γρήγορα.

Οι καταγραφόμενοι δρόμοι έχουν και αυτοί ιδιότητες και διάφορες χαρακτηριστικές τιμές, όπως η κατάσταση, το πλάτος και το υλικό κατασκευής. Όλη αυτή η συλλογή δεδομένων είναι ένα παιχνιδάκι για το GPS.

Δημιουργία περιοχών από σημεία

Συχνά το GIS χρησιμοποιείται για χαρτογράφηση περιοχών όπως περιβάλλον όπου ζούν πουλιά, λίμνες, παραλίες με άμμο και πολλές άλλες. Αυτό είναι άλλη μια εφαρμογή όπου το GPS διαπρέπει. Η απόκτηση τέτοιων πληροφοριών είναι μια προέκταση της συλλογής

δεδομένων γραμμής. Το μόνο που έχει να κάνει ο χρήστης είναι να διατρέξει το σύνορο της ενδιαφερόμενης περιοχής. Όλα τα υπόλοιπα τα κάνει ο συνδυασμός δέκτη και προγράμματος. Οι περιοχές μπορούν να υπολογιστούν κατευθείαν από το εσωτερικό πρόγραμμα του δέκτη ή από το πρόγραμμα μετεπεξεργασίας ή να φορτωθούν στο GIS και στη συνέχεια να κάνει αυτό τους υπολογισμούς. Σε κάθε περίπτωση οποιαδήποτε δυσκολία που αφορά την απόκτηση τέτοιας πληροφορίας δεν έχει να κάνει με συλλογή, υπολογισμό ή έλεγχο των δεδομένων.

Πηγές εξωτερικών δεδομένων

Το GIS εξαρτάται από τις τιμές των ιδιοτήτων των αντικειμένων. Αυτό είναι τυπικά μια διαδικασία δύο βημάτων: πρώτα να πάρει την θέση του αντικειμένου και μετά να με κάποιο τρόπο να καταγράψει την πληροφορία (τιμή της ιδιότητας) του αντικειμένου. Εάν αυτή η πληροφορία της ιδιότητας τυχαίνει να είναι για παράδειγμα είδη δέντρων ή το χρώμα ενός πυροσβεστικού κρουνού, τότε όπως έχουμε δει ο συλλέκτης δεδομένων απλά χτυπά το κουμπί 'GO' στο δέκτη και στη συνέχεια εισάγει τις πληροφορίες αυτές στο 'σημειωματάριο' του GIS. Το πρόγραμμα τότε ταιριάζει τα δεδομένα του αντικειμένου στα δεδομένα θέσης, για μελλοντική χρήση από το GIS.

Υπάρχουν ωστόσο, δεδομένα GIS που μπορεί να ενδιαφέρουν έναν ερευνητή. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι ταχύτητα ανέμου θερμοκρασία, ή ραδιενέργεια που είναι μεταβλητά στοιχεία όσον αφορά τον εντοπισμό. Τέτοια δεδομένα δεν μπορούν να εισαχθούν εύκολα σε δέκτη GIS εξαιτίας της συνεχούς μεταβλητής φύσης των δεδομένων.

Για να αντιμετωπιστεί αυτή η δυσκολία, συνδυασμοί δέκτη και προγράμματος επιτρέπουν την άμεση εισαγωγή των εξωτερικών δεδομένων, τα οποία είναι στιγμιαία συνδεδεμένα με τα δεδομένα θέσης σε μια συνεχή βάση. Σαν παράδειγμα ας αναφέρουμε κάποια ωκεανογραφικά δεδομένα τα οποία είναι αυτόνομα καταγεγραμμένα μαζί με δεδομένα θέσης GPS. Αυτά τα δεδομένα, του βάθους της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, της περιεκτικότητας σε αλάτι και πολλά άλλα καταγράφονται στο σκάφος. Κατά την κίνηση του σκάφους στην θαλάσσια περιοχή, αυτή η πληροφορία διαρκώς ενημερώνεται και παρουσιάζεται με γεωγραφική ακρίβεια σε ένα χάρτη. Επιπροσθέτως, η θέση του σκάφους παρακολουθείται διαρκώς.

Τοπογράφηση με GPS

Η τοπογράφηση με GPS έχει μια ιδιαίτερη ερμηνεία. Τοπογράφηση σημαίνει εντοπισμός θέσης με ακρίβεια που εκτελείται από επαγγελματίες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τεχνικές και από το GPS και από την παραδοσιακή τοπογράφηση. Οι τοπογράφοι ενδιαφέρονται πάρα πολύ για την ακρίβεια των μετρήσεών τους και για το να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Η τοπογράφηση, όπως και η χαρτογράφηση, έχει ωφεληθεί πάρα πολύ από το GPS το οποίο μπορεί να τοπογραφήσει σημεία εντός μερικών λεπτών, όταν οι συμβατικές τοπογραφικές μέθοδοι απαιτούσαν ώρες ή ακόμα και μέρες. Οι δέκτες GPS έχουν υψηλή ακρίβεια κατά την εκτέλεση της τοπογράφησης. Αυτοί οι δέκτες είναι συνήθως δυαδικής συχνότητας για να εξαλείψουν την ιονοσφαιρική ανάκλαση. Οι βασικές γραμμές περρορίζονται κάτω από τα 20Km ώστε να ελαχιστοποιηθεί οποιαδήποτε κυμάτωση. Για να είναι εγγυημένα τα υψηλότερα επίπεδα ακρίβειας δικτυώνονται πολλαπλά σημεία. Αυτό επιτρέπει στον τοπογράφο να προσδιορίσει και να διορθώσει το πρόβλημα αφού οποιαδήποτε σφάλματα είτε θα επεξεργαστούν κατά το μέσο όρο, είτε θα γίνουν φανερά.

Τα δεδομένα που πληροφορούν για τη θέση των δορυφόρων στο διάστημα που μεταδίδονται στους δέκτες είναι πολύ σωστά, αν και υπάρχει η πιθανότητα κάποιου σφάλματος. Αυτά τα δεδομένα είναι οι ενεργές, υπολογισμένες θέσεις των δορυφόρων κατά την χρονική περίοδο που εκδηλώθηκε το ενδιαφέρον. Προφανώς, αυτή η πληροφορία μπορεί να αποκτηθεί μόνο μετά το γεγονός και είναι διαθέσιμη από διάφορες πηγές τρεις με πέντε ημέρες αργότερα.

Ναυσιπλοΐα με GPS

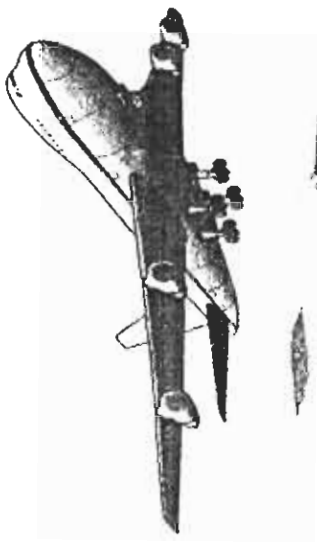
Η ναυσιπλοΐα, αντίθετα με τις εφαρμογές που ήδη έχουν συζητηθεί, ασχολείται με τη στιγμιαία θέση, ταχύτητα και κατεύθυνση.

Οι ταυτόχρονες εφαρμογές ναυσιπλοΐας που αφορούν αεροπορικά ταξίδια και χρησιμοποιούν συστήματα όπως WAAS και ILS που ήδη έχουν συζητηθεί, αποκτούν ευρεία αποδοχή και υπό τις παρούσες συνθήκες μεγάλα συστήματα είτε σχεδιάζονται είτε εγκαθίστανται. Ήδη υπάρχει ακριβής ναυσιπλοΐα στο μεγαλύτερο μέρος των χωρικών υδάτων των Η.Π.Α με χρήση διαφορικής μετάδοσης σημαντήρων. Ακόμη και στη γεωργία γίνεται κανονική χρήση του GPS



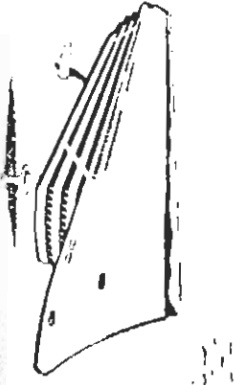
ΑΕΡΑΣ

WAAS/ILS



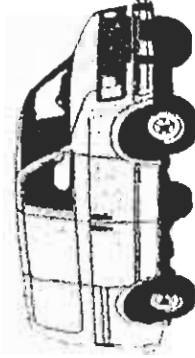
ΘΑΛΑΣΣΑ

ΣΗΜΑΝΤΗΡΕΣ



ΣΤΕΡΙΑ

IVHS



για ταυτόχρονη οδήγηση των γεωργικών μηχανημάτων με αρκετή ακρίβεια ώστε να υπάρχει ευθυγράμμιση στα αυλάκια. Γίνονται ακόμη δοκιμές σε πειραματικό στάδιο με πλήρη αυτοματοποιημένα οχήματα που ουσιαστικά οδηγούν από μόνα τους στα χωράφια.

Μια από τις πιο ανερχόμενες εφαρμογές του GPS με άμεση επίδραση στο μέσο άνθρωπο είναι η ναυσιπλοΐα στο έδαφος. Αυτή περιλαμβάνει οδήγηση τρένων φορτηγών, οχημάτων άμεσης βοήθειας (αστυνομικά, πυροσβεστικά, ασθενοφόρα κ.α) καθώς φυσικά και των ιδιωτικών αυτοκινήτων μας. Όλες αυτές οι εφαρμογές αναφέρονται ως **IVS** δηλ. **Έξυπνα Συστήματα Οχημάτων** ή πιο συγκεκριμένα ως **IVHS** δηλ. **Έξυπνα Συστήματα Οχημάτων Εθνικής Οδού**. Ένας άλλος όρος που αρχίζει να έχει μια αναπτυσσόμενη ευρεία χρήση είναι ο **AVL** δηλ. **Θέση Αυτοματοποιημένου Οχήματος**. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των IVS και AVL και είναι ουσιαστικά συνώνυμες. Από την άλλη όμως ο όρος IVHS τείνει να γίνει πιο συγκεκριμένος για τα οχήματα του δρόμου.

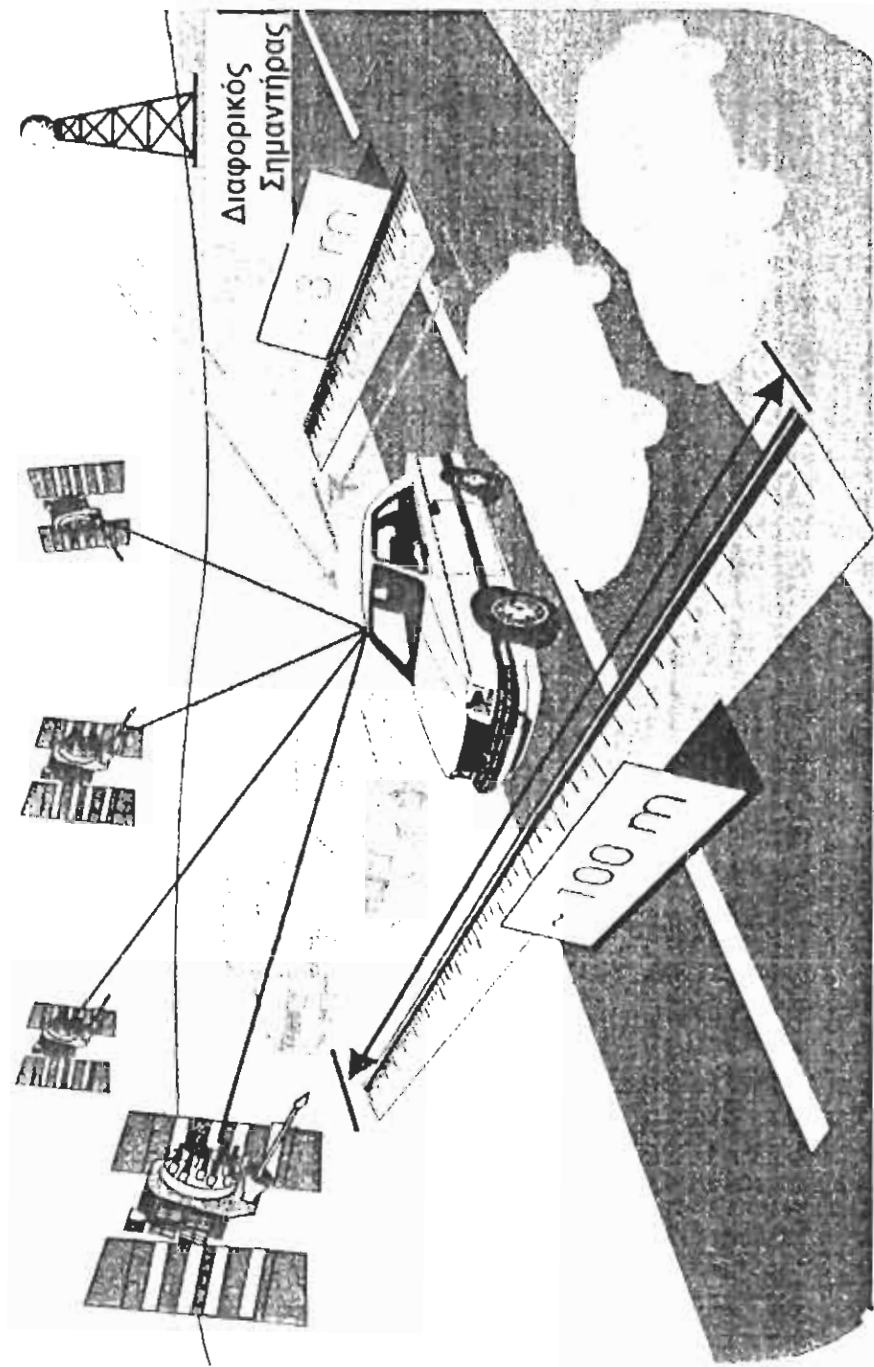
IVHS

Αυτός ο όρος είναι πολύ ευρύς και μπορεί να περικλείει σχεδόν οποιαδήποτε μορφή μεταφοράς στο δρόμο, που χρησιμοποιεί κάποιο σύστημα καθοδήγησης. Ωστόσο, αυτός ο όρος, γενικά, σημαίνει κάποια μορφή καθοδήγησης με GPS. Αυτό μπορεί να κυμαίνεται από την απλή τοποθέτηση ενός φθηνού δέκτη στον πίνακα οργάνων του αυτοκινήτου μέχρι την εγκατάσταση ενός πολύπλοκου συνδυασμού από GPS δέκτες αδρανειακά συστήματα καθοδήγησης και επικοινωνία δύο δρόμων.

Γενικά, το IVHS μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες: **Ανεξάρτητα Συστήματα IVHS**, **Συστήματα Γοργού Ελέγχου Συμβουλευτικά Συστήματα IVHS** και **Συστήματα Απογραφής IVHS**.

Ανεξάρτητα IVHS

Τα ανεξάρτητα IVHS είναι η πιο απλή μορφή καθοδήγησης. Είναι ακριβώς το ίδιο με τον αυτόνομο εντοπισμό που συζητήθηκε πιο πριν. Κάποιος που τοποθετεί ένα δέκτη των \$200 στον πίνακα οργάνων του αυτοκινήτου του χρησιμοποιεί ένα ανεξάρτητο IVHS διότι καθοδηγούνται χωρίς να μεταδίδουν καμιά πληροφορία πίσω.



Αυτά τα συστήματα συνήθως περιλαμβάνουν ένα κινούμενο χάρτη που δείχνει την θέση του αυτοκινήτου σε μια οθόνη και πάντα στο κέντρο της. Μερικά από τα πιο εξελιγμένα συστήματα περιλαμβάνουν επίσης και φωνητικές λειτουργίες που ενημερώνουν τον οδηγό για επερχόμενες στροφές ή του προσφέρουν τις πιο βολικές για αυτόν κατευθύνσεις.

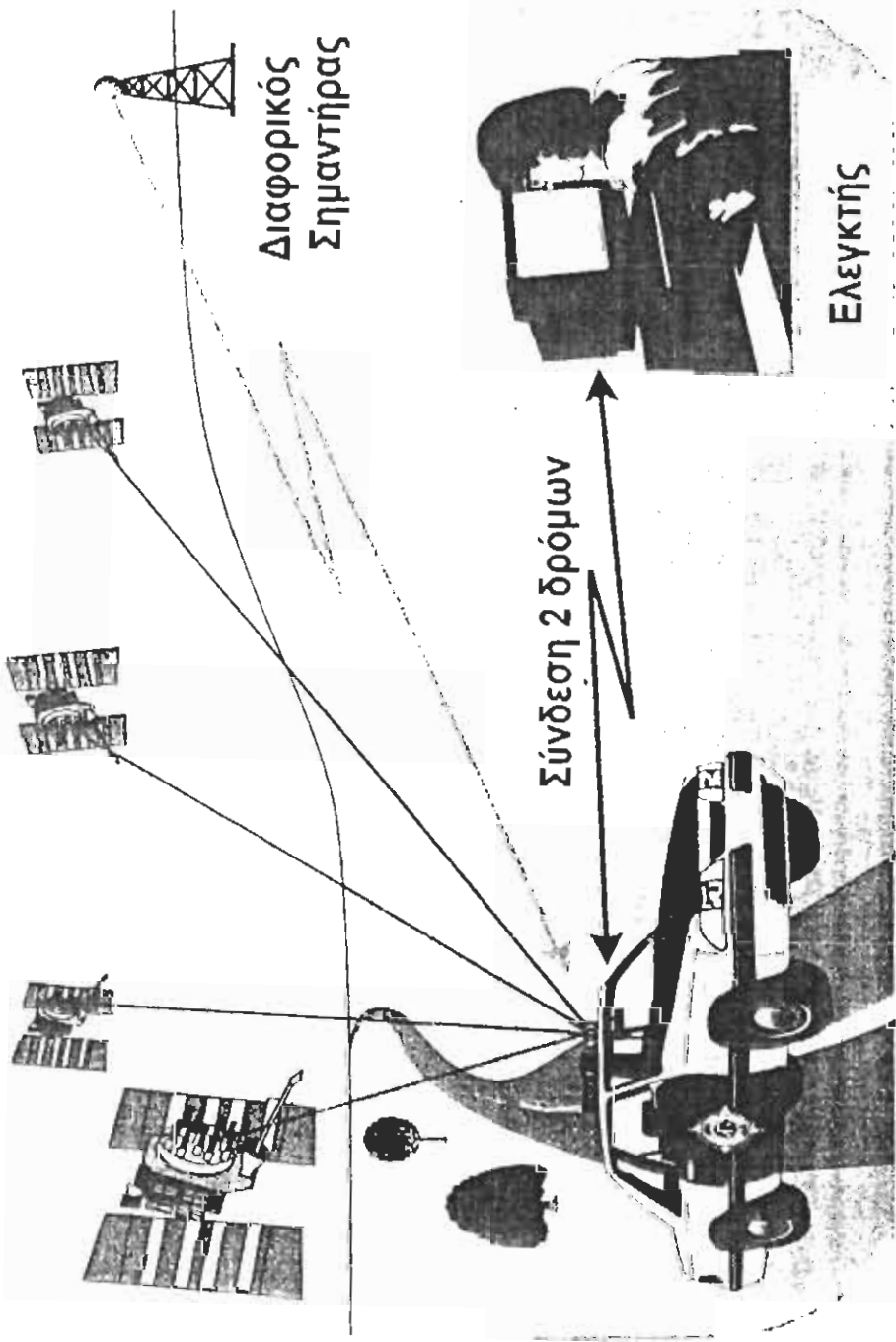
Αφού αυτά τα συστήματα εξαρτώνται μόνο από το GPS, το σφάλμα εντοπισμού θα είναι στην τιμή των περίπου 100m με ενεργοποιημένη την επιλεγόμενη διαθεσιμότητα. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα δεν γνωρίζει πραγματικά σε ποια λωρίδα του δρόμου είναι το αυτοκίνητο. Βασισμένο στην τοποθεσία και υπολογίζοντας την κατεύθυνση του ταξιδιού, το πρόγραμμα του χάρτη μπορεί να μαντέψει σε ποια λωρίδα βρίσκεται το αυτοκίνητο.

Μερικά συστήματα περιέχουν δυνατότητες διαφορετικής διόρθωσης. Αυτή ρίχνει την τιμή του σφάλματος στα 3m και έτσι το αυτοκίνητο ανιχνεύεται στη δική του λωρίδα στο δρόμο. Άλλα συστήματα περιέχουν ακόμη και αδρανειακά συστήματα καθοδήγησης για να κρατούν το ίχνος του οχήματος όταν το σήμα του δορυφόρου διακόπτεται προσωρινά, όταν για παράδειγμα οδηγούμε μέσα σε σήραγγες. Συνήθως αυτό γίνεται με το να κρατούμε την τιμή της ταχύτητας του οχήματος με ειδικούς αισθητήρες και με κατάλληλες πυξίδες την κατεύθυνσή του.

Συστήματα γοργού ελέγχου

Τα συστήματα γοργού ελέγχου IVHS επιτρέπουν τον γρήγορο εντοπισμό. Σε αυτά τα συστήματα, τα οχήματα έχουν δέκτες GPS με διαφορετική διόρθωση συνδεδεμένους με ραδιομεταδότες που στέλνουν το ίχνος του οχήματος πίσω σε μια κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας.

Αυτό έχει μια ευρεία περιοχή εφαρμογών. Για παράδειγμα όταν εμφανίζονται αυτοκίνητα της αστυνομίας, ο ελεγκτής θα γνωρίζει άμεσα πιο όχημα είναι πιο κοντά στο συμβάν και μπορεί να πάει στο σημείο γρήγορα. Τα ασθενοφόρα μπορούν να πάνε κατευθείαν εκεί που τα έχουν ανάγκη, στον ελάχιστο δυνατό χρόνο, μέσω αυτής της καθοδήγησης. Τέτοια συστήματα τοποθετούνται ήδη σε δήμους και η εμπιστοσύνη σε αυτά συνεχώς αυξάνεται. Εξαιτίας του συγκριτικά χαμηλού τους κόστους αναμένεται ότι ακόμη και οι μικρότερες κοινωνίες θα εγκαταστήσουν τέτοια συστήματα τα επόμενα χρόνια.

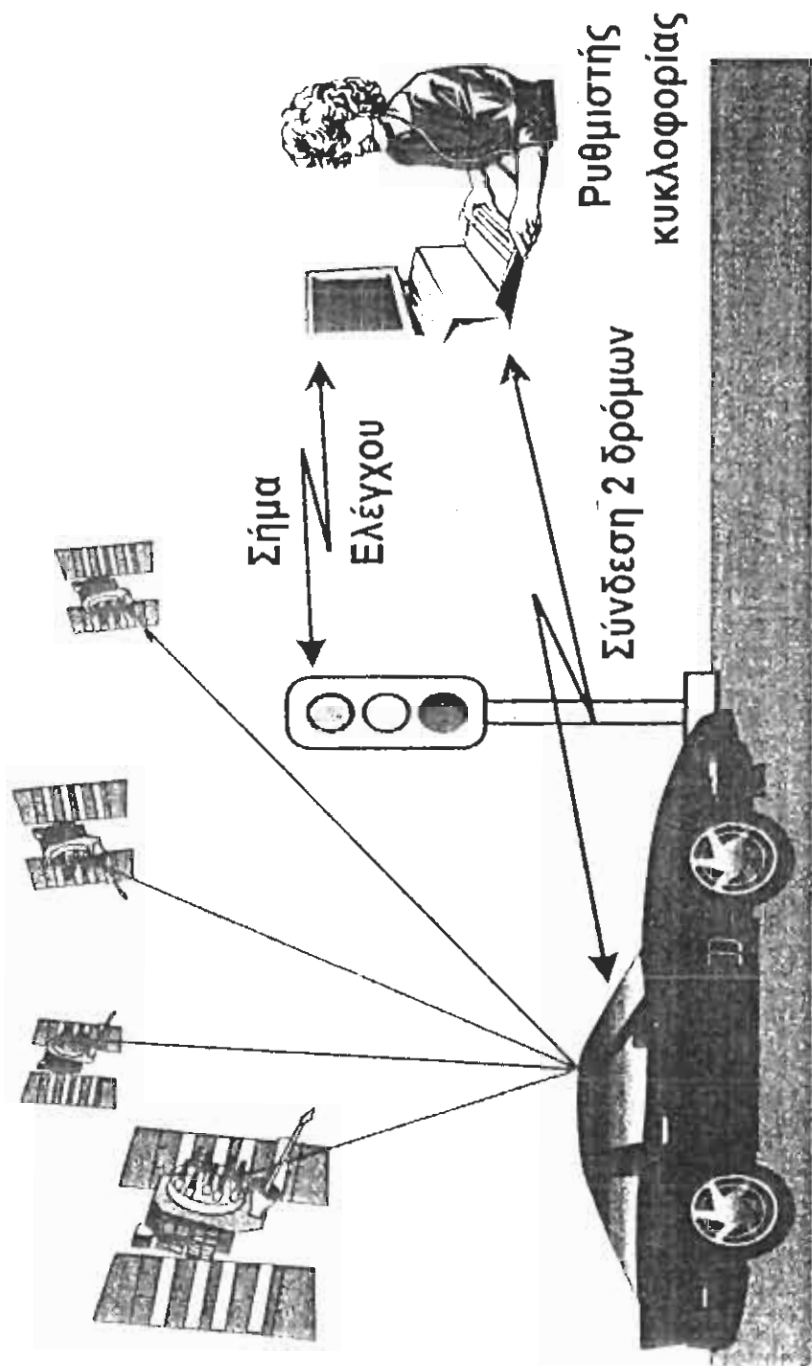


Όμως αυτά τα συστήματα δεν σταματούν σε εφαρμογές άμεσης ανάγκης. Για παράδειγμα, ναυτιλιακές και μεταφορικές εταιρείες αποδέχονται αυτή την τεχνολογία όσο γίνεται πιο γρήγορα. Ξέροντας ανα πάσα στιγμή που είναι τα πλοία τους ή τα φορτηγά τους μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα.

Συμβουλευτικά συστήματα IVHS

Αυτά τα συστήματα είναι μια προέκταση των προηγούμενα αναφερθέντων συστημάτων. Είναι σχεδιασμένα να εξομαλύνουν τη ροή της κίνησης, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Σε αυτήν την περίπτωση, οι χρήστες εγγράφονται σε μια συμβουλευτική υπηρεσία η οποία θα τους αναγνωρίζει κατά τη διάρκεια της μετακίνησής τους. Ανιχνεύοντας τις συνθήκες κίνησης, οι ελεγκτές ενημερώνουν τους χρήστες που μπαίνουν σε αυτά τα κυκλοφοριακά προβλήματα και τους προσφέρουν εναλλακτικές κινήσεις. Επίσης μπορούν να διευθετούν τη ροή της κίνησης με το να επεμβαίνουν στους σηματοδότες και έτσι να μειώνουν τα μποτιλιαρίσματα.

Μέχρι πρόσφατα αυτά τα συστήματα δεν έχουν πλήρως εγκατασταθεί. Ωστόσο έχουν σχεδιαστεί με εξαιρετική λεπτομέρεια για πολλές κεντρικές αστικές περιοχές. Με τις συνθήκες κίνησης συνεχώς να επιδεινώνονται, αναμένεται στα επόμενα χρόνια η εγκατάστασή τους μιας και αναζητούνται απεγνωσμένα λύσεις.



Σήμα

Ελέγχου

Ρυθμιστής
κυκλοφορίας

Σύνδεση 2 δρόμων

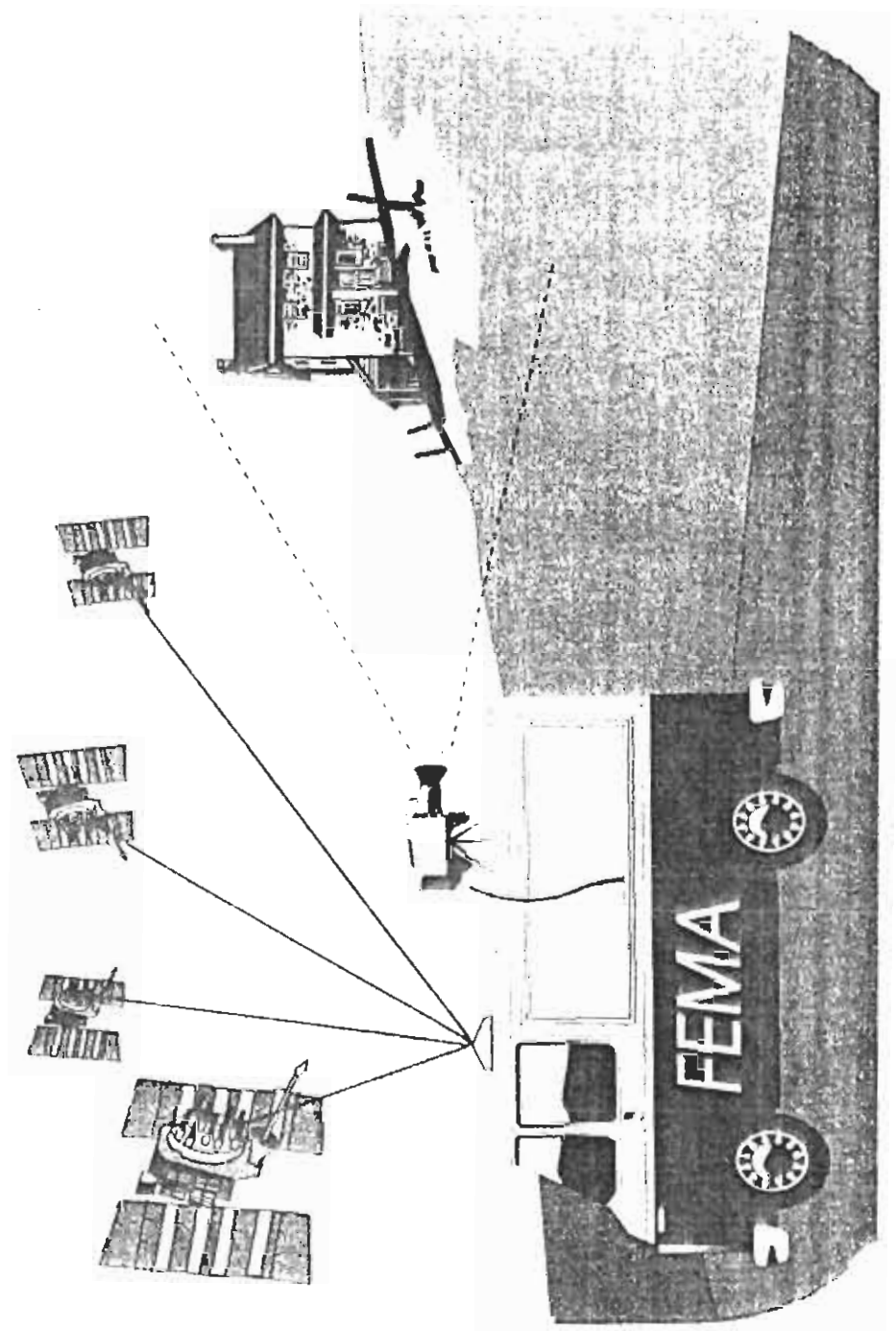
Συστήματα απογραφής IVHS

Τα συστήματα απογραφής σχεδιάζονται να επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων χωρίς να χρειάζεται η φυγή από την εθνική οδό ή το δρόμο. Τυπικά, ένα τέτοιο σύστημα θα περιλαμβάνει ένα δέκτη GPS προσαρμοσμένο με μια συσκευή καταγραφής όπως μια ψηφιακή κάμερα η οποία θα παίρνει την ψηφιακή εικόνα του αντικειμένου και θα καταγράφει τις γεωγραφικές συντεταγμένες του.

Ένα παράδειγμα αυτού του συστήματος είναι ήδη σε χρήση από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Έκτακτου Ελέγχου (FEMA) η οποία το χρησιμοποιεί για την καταγραφή πληροφοριών γύρω από κατασκευές που έχουν υποστεί ζημιές εξαιτίας φυσικών καταστροφών ή που θα είναι σε κίνδυνο από μελλοντικά τέτοια γεγονότα.

Μια άλλη εφαρμογή αυτής της μορφής του IVHS είναι στην ακίνητη κτηματική περιουσία όπου οι κτηματομεσίτες είναι σε θέση να καταγράφουν δεδομένα για τα οικοδομήματα που έχουν στην αγορά.

Επειδή αυτά τα συστήματα είναι ψηφιακά, μπορούν εύκολα και γρήγορα να φορτωθούν στα Γεωγραφικά Συστήματα όπου μπορούν να αποτιμηθούν είτε κίνδυνοι είτε κτηματομεσιτικές αξίες.



Δέκτες

Επειδή η τεχνολογία των δεκτών GPS συνεχώς βελτιώνεται είναι λίγο παρακινδυνευμένο να μιλάμε για συγκεκριμένους τύπους. Παρ'όλα αυτά, μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες: χαρτογράφησης, τοπογράφησης και εντοπισμού χαμηλών απαιτήσεων. Οι δέκτες της τελευταίας κατηγορίας είναι τόσο χαμηλού κόστους όσο και δυνατοτήτων. Σαν τυπικό κόστος αυτών των δεκτών είναι η τιμή των \$200 έως \$500. Έχουν συνήθως ένα ή δύο κανάλια, ικανά να συγκεντρώνουν δεδομένα από ένα ή δύο δορυφόρους. Αυτές οι μονάδες δεν έχουν διαφορική δυνατότητα και σαν αποτέλεσμα η ακρίβεια με ενεργοποιημένη την επιλεκτική διαθεσιμότητα είναι γύρω στα 100m. Όμως, το χαμηλό κόστος και η ευκολία στη χρήση τους καθιστά χρήσιμους σε εμπορικές εφαρμογές.

Η χαρτογράφηση και τα υψηλής ανάλυσης συστήματα ναυσιπλοΐας έχουν ευρύτερες εφαρμογές και είναι πιο ακριβή εξαιτίας του ότι έχουν διαφορικές δυνατότητες. Επι προσθέτως οι δέκτες χαρτογράφησης έχουν δυνατότητα εφαρμογών GIS. Η ακρίβεια αναμένεται να είναι γύρω στα 3-5m και το κόστος κυμαίνεται μεταξύ των \$400 και \$2000. Εάν η ακρίβεια είναι ακόμη πιο χαμηλή τότε το κόστος αυξάνεται και φτάνει να κυμαίνεται από \$1500 έως \$8000.

Οι δέκτες τοπογράφησης κοστίζουν από \$6000 αν χρησιμοποιούν μία συχνότητα και έχουν ακρίβεια μερικών δεκάτων έως \$50000 για τα διπλής συχνότητας και μεγαλύτερης ακρίβειας γεωδαιτικά συστήματα. Όπως βλέπουμε υπάρχει μια στενή συσχέτιση μεταξύ του πόσο πληρώνει κάποιος και του πόση ακρίβεια συστήματος απολαμβάνει. Σημειώστε ότι αυτές οι τιμές είναι ενδεικτικές και είναι πιθανό να μεταβληθούν γρήγορα και διαρκώς.

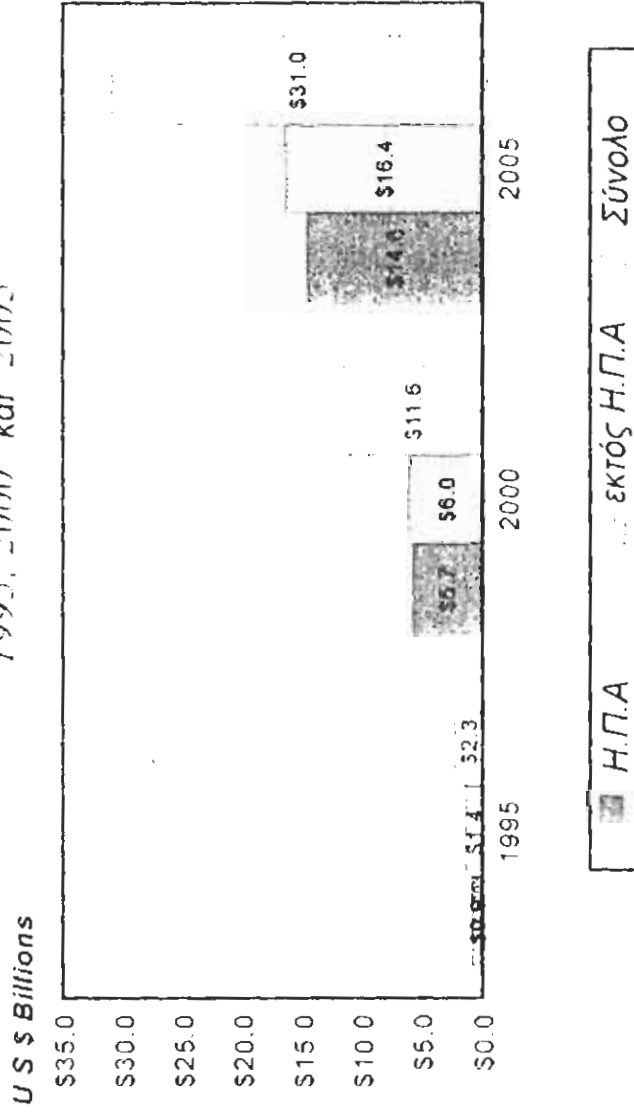
Το μέλλον του GPS

Σύμφωνα με τα στοιχεία της NAPA (βιομηχανία τοπογράφησης) για το 1995 οι παγκόσμιες πωλήσεις δεκτών GPS ήταν πάνω από τα \$2.3 δισ ενώ στις Η.Π.Α ο αριθμός αυτός ήταν \$1 δισ. Ωστόσο, σε δέκα χρόνια αναμένεται οι πωλήσεις να φτάσουν στα \$31 δισ.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, εξαιτίας του υποβιβασμού του σήματος από την επιλεκτική διαθεσιμότητα, απειλεί να κατασκευάσει και να εκτοξεύσει το δικό της σύστημα GPS. Μιας και δεν θα

Παγκόσμια αγορά GPS

1995, 2000 και 2005



Source: NAPA 1995 Industry Survey

περιλαμβάνει στρατιωτικές εφαρμογές, θα είναι πιο φθηνό από το σύστημα των Η.Π.Α και θα παρέχει υψηλότερη ακρίβεια. Εάν συμβεί κάτι τέτοιο θα αποτελέσει ισχυρό πλήγμα στις Η.Π.Α μιας και θα χάσει τον έλεγχο αυτής της εξαιρετικά προσοδοφόρας επιχείρησης και μαζί δισεκατομμύρια δολάρια σε αμερικάνικες δουλειές.

Όσο περνούν τα χρόνια και η τεχνολογία εξακολουθεί να κάνει άλματα τόσο και οι πιο εξωφρενικές εικασίες δεν θα αργήσουν να πραγματοποιηθούν. Μέχρι πριν από λίγα χρόνια σχεδόν όλη η παραγωγή των δεκτών γίνονταν στις Η.Π.Α. Τώρα που και οι Ιάπωνες έχουν αρχίσει την μαζική παραγωγή δεκτών, τα συστήματα έχουν αρχίσει αιφνίδια να γίνονται πιο φθηνά και πιο μικρά. Ακόμη και η Νότιος Κορέα με την Ταϊβάν προσβλέπουν στη δική τους γραμμή παραγωγής. Πού θα μας οδηγήσει αυτό; Αυτή τη στιγμή υπάρχουν συστήματα στα αυτοκίνητα που μας μιλούν και μας ενημερώνουν για το που πήγαμε, πού θα πάμε και σε πόση ώρα. Αεροπλάνα ουσιαστικά πετούν μόνα τους από την απογείωση μέχρι να προσγειωθούν. Δεν είναι πολύ μακριά η στιγμή που θα φοράμε δέκτες GPS στον καρπό του χεριού μας. Άλλωστε το μέγεθος συνεχώς μειώνεται και από αυτό ενός πακέτου τσιγάρων που είναι αυτή τη στιγμή θα καταλήξουμε σε αυτό ενός ρολογιού. Ας περιμένουμε...

Βιβλιογραφία

- 1.Πολεμική Αεροπορία
- 2.Gregory French T. Understanding the GPS
- 3.Περιοδικό "Πτήση & Διάστημα"
- 4.Περιοδικό "Τεχνική Εκλογή"

