



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Με θέμα:

Εισαγωγή στη τεχνολογία Παγκόσμιου Συστήματος Θεσιθεσίας (GPS Global Positioning System), τον τρόπο λειτουργίας του, επισκόπηση των κύριων εφαρμογών του και μελέτη του τρόπου πλοήγησης ενός κινητού χρήστη.

Εξεταζόμενος: Καραδήμος Παναγιώτης

Επιβλέποντες καθηγητές:

Φιλιππόπουλος Παναγιώτης

Ναστάκος Μιχαήλ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	σελ:
<i>A. Λίστα συντομογραφιών.....</i>	<i>5</i>
<i>B. Λίστα εικόνων.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1 Πρόλογος.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2 Η δομή της εργασίας.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3 Ιστορική αναδρομή.....</i>	<i>10</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
<i>2.1 Γενική περιγραφή λειτουργίας του συστήματος / Η βασική ιδέα..</i>	<i>11</i>
<i>2.2 Τα τμήματα του GPS.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.1 Τμήμα ελέγχου</i>	<i>15</i>
<i>2.2.1.1 Περιγραφή σταθμών παρακολούθησης</i>	<i>17</i>
<i>2.2.1.2 Περιγραφή Κεντρικού Σταθμού Ελέγχου (MCS)</i>	<i>18</i>
<i>2.2.1.3 Περιγραφή σταθμών εκπομπής πληροφορίας</i>	<i>19</i>
<i>2.2.2 Το Δορυφορικό Τμήμα</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2.1 Ο αστερισμός των δορυφόρων, γενικά χαρακτηριστικ.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.2.2 Χαρακτηριστικά των δορυφόρων</i>	<i>25</i>
<i>2.2.3 Διαμόρφωση δορυφορικού σήματος GPS</i>	<i>29</i>
<i>2.2.3.1 Μήνυμα πλοήγησης</i>	<i>32</i>
<i>2.2.3.2 Σκόπιμη μείωση της ακρίβειας</i>	<i>33</i>

2.2.4 Το τμήμα του χρήστη - Υπηρεσίες GPS	35
2.2.4.1 Κεραία	36
2.2.4.2 Συσκευή εισόδου / εξόδου (input / output device)	36
2.2.4.3 Κυρίως δέκτης	37
2.2.4.4 Προενισχυτής	39
2.2.4.5 Μονάδες τροφοδοσίας	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΗΓΕΣ ΛΑΘΩΝ ΣΕ GPS

3.1 Επιλεκτική Διαθεσιμότητα	40
3.1.1 Γεωμετρία Δορυφόρων	41
3.1.2 Δορυφορική Γεωμετρία	45
3.2 Σφάλματα και πηγές σφαλμάτων GPS	47
3.2.1 Ατμοσφαιρικές επιδράσεις	48
3.2.2 Σχετικά αποτελέσματα	50
3.3 Βελτίωση της ακρίβειας	53
3.3.1 Διαφορικό GPS (DGPS)	53
3.3.2 Τα συστήματα εκπομπής διορθωτικών σημάτων WAAS και EGNOS	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εφαρμογές

4.Εφαρμογές του συστήματος GPS	56
--------------------------------------	----

<i>4.1 Οδικές εφαρμογές</i>	<i>57</i>
<i>4.1.1 Αυτόματη εξαγωγή ορθογώνιων οδικών σημάνσεων</i>	<i>58</i>
<i>4.1.1.1 Συστατικά του χρησιμοποιούμενου Κινητού Συστήματος Χαρτογράφησης</i>	<i>68</i>
<i>4.1.1.2 Συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας</i>	<i>60</i>
<i>4.1.1.3 Εκτίμηση αποτελεσμάτων</i>	<i>61</i>
<i>4.1.2 Άλλες εφαρμογές</i>	<i>62</i>
<i>4.1.3 Εφαρμογές στη ναυσιπλοΐα.....</i>	<i>63</i>
<i>4.1.4 Βοηθητικές εφαρμογές στην αεροπορία.....</i>	<i>63</i>
<i>4.1.5 Συνδυασμός GPS - GIS.....</i>	<i>64</i>
<i>4.2 Εφαρμογές στον ελλαδικό χώρο</i>	<i>64</i>
<i>4.2.1. Μητρώο οδών</i>	<i>64</i>
<i>4.2.1.1 Περιεχόμενα Μητρώου Οδών</i>	<i>66</i>
<i>4.2.1.2 Σύστημα Καταγραφής Στοιχείων Οδών -Απαιτήσεις του Συστήματος</i>	<i>67</i>
<i>4.2.1.3 Λογισμικό</i>	<i>70</i>
<i>4.2.2. Άλλες εφαρμογές</i>	<i>71</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΔΟΜΕΤΡΙΑΣ GPS.

<i>5.1.1 Προβλήματα οδικού κόμβου και μέθοδοι εντοπισμού τους.....</i>	<i>74</i>
<i>5.1.2 Επιλύσεις από gprs στην κυκλοφοριακή συμφόρηση.....</i>	<i>75</i>
<i>5.1.3 Χρήσιμες ερωτήσεις από οδηγούς σε GPS.....</i>	<i>76</i>
<i>5.1.4 Βοηθητικές εφαρμογές των GPS για τους επαγγελματίες.....</i>	<i>76</i>

<i>5.1.5 GPS tracker</i>	77
--------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

<i>6.1 ΤΙ ΕΠΙΦΥΛΑΣΣΕΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ</i> ...	80
---	----

<i>6.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ GPS</i>	81
----------------------------------	----

<i>6.2.2 GPS logger</i>	85
-------------------------------	----

<i>6.2.3 GPS Pet logger</i>	85
-----------------------------------	----

<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	86
---------------------------	----

Α. Λίστα συντομογραφιών

GPS: Global Positioning System
MCS: Master Control Station
OCS: Operational Control System
IAG: International Association of Geodesy
IGS: International GPS Service
TT&C: Telemetry Tracking and Command
IOC: Initial Operational Capability
FOC: Full Operational Capability
SVN: Space Vehicle Number
PRN: Pseudo Random Voice
SV: Space Vehicle
SA: Selective Availability
CDU: Control Display Unit
AOC: Auxiliary Output Chips
WAAS: Wide Area Augmentation System
EGNOS: European Geostationary Navigation Service
GIS: Geographical Information System
GNSS: Global Navigation Satellite System
ADAS: Advanced Driver Assistance Systems

B. Λίστα εικόνων

Εικόνα 1.1: Δίκτυο δορυφόρων σε τροχιά που μεταδίδουν στη γη.

Εικόνα 2.1: Η βασική ιδέα του τρόπου λειτουργίας του GPS

Εικόνα 2.2: Τέσσερις ταυτόχρονα εντοπισμένους δορυφόρους απαιτεί το GPS

Εικόνα 2.2.1.1.1 Σταθμός παρακολούθησης δορυφόρων στην Hawaii

Εικόνα 2.2.1.1.2: Το δίκτυο των επίγειων σταθμών παρακολούθησης

Εικόνα 2.2.1.2.1: Οι εγκαταστάσεις του MCS

Εικόνα 2.2.2.1: GPS δορυφόρος σε τροχιά

Εικόνα 2.2.2.1.1: Δορυφόρος στο εργαστήριο κατά την διάρκεια δοκιμών

Εικόνα 2.2.2.1.2: γράφημα 24^{th} δραστηριότητας των δορυφόρων GPS

Εικόνα 2.2.2.2.1: Block I

Εικόνα 2.2.2.2.2: Δορυφόρος γενιάς Block II A

Εικόνα 2.2.2.2.3: Δορυφόρος γενιάς Block IIF

Εικόνα 2.2.2.2.3: Block 3

Εικόνα 2.2.3.1.1: συνιστώσες μεταδιδόμενου σήματος

Εικόνα 2.2.4.3.1: Δέκτης GPS σε ναυτική χρήση

Εικόνα 3.1.1: Οικόπεδο του προσδιορισμού θέσης με και χωρίς A.E

Εικόνα 3.1.1.1: Καλή γεωμετρική ευθυγράμμιση των δύο δορυφόρων

Εικόνα 3.1.1.2: Κακή γεωμετρική ευθυγράμμιση των δύο δορυφόρων

Εικόνα 3.1.1.3: Σφάλμα κατά την εκτίμηση του ύψους σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη

Εικόνα 3.1.2.1: δορυφορική γεωμετρία

Εικόνα 3.2.1.1: Επηρεασμένος διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από τη γήινη ατμόσφαιρα

Εικόνα 3.2.1.2: Προσδιορισμού θέσης χωρίς και με την ατμοσφαιρική διορθώσεις με τη χρήση της δεύτερης συχνότητας σε δέκτη δύο συχνοτήτων.

Εικόνα 3.3.2.1: Η γενική θέση των 38 σταθμών αναφοράς, τους 2 σταθμούς πλοιάρχων , και τους τέσσερις σταθμούς εδάφους

Εικόνα 4.1.2.1.1: Οι εικόνες που αποκτώνται από τις κατακόρυφες και τις οριζόντιες (κάτω) βάσεις.

Εικόνα 4.1.3.1: GPS plotter

Εικόνα 4.2.1.3.1: Οι δυνατότητες του λογισμικού με τον εντοπισμό θέσης, διαστάσεων, μορφής και τύπου θεματικής οντότητας και διασύνδεσή του με άλλα λογισμικά επεξεργασίας εικόνας.

Εικόνα 5.4.1.1: GPS Tracker.

Εικόνα 6.2.1: Ενδείξεις συσκευής πλοήγησης GPS.

Εικόνα 6.2.2: GPS δορυφορική πλοήγηση, σε smartphone, πάνω σε ποδήλατο.

Εικόνα 6.1.2.1: gps logger

Εικόνα 6.1.3.1: gps pet tracker

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Πρόλογος

Η παρακάτω εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας από τον φοιτητή Καραδήμο Παναγιώτη για το τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Τεχνολογικού Ιδρύματος Καλαμάτας(Παράρτημα Σπάρτης).

Βασικός στόχος της εργασίας είναι η κατανόηση βασικών αρχών, εννοιών και μεθοδολογιών μετρήσεων και επεξεργασίας που εμπλέκονται στο πρόβλημα προσδιορισμού θέσεως με το GPS όπως επίσης και η επισκόπηση των κύριων εφαρμογών του και η μελέτη του τρόπου πλοήγησης ενός κινητού χρήστη. Με το συνδυασμό γεωδαιτικών και τοπογραφικών εφαρμογών η ευκρίνεια της πλοήγησης των μερικών μέτρων μπορεί να φτάσει της ακρίβεια του εκατοστού και με τη πάροδο του χρόνου εξελίσσεται ακόμη καλύτερα. Σαν όργανο το GPS είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια Μηχανικών, Επιστημόνων, Ναυτικών και με τη βελτίωση της τεχνολογίας που έχει επέλθει έχει αντικαταστήσει πλήρως παραδοσιακά όργανα που χρησιμοποιούνταν.

Σε μετακινήσεις στην εναέρια κυκλοφορία είναι απαραίτητα τα GPS για δρομολογήσεις ταξιδιών, ρύθμιση κυκλοφορίας για τυχόν αποφυγή δυστυχημάτων. Το ίδιο ισχύει και στη ναυσιπλοΐα σε δρομολογήσεις ναυτικών οδών, σε μετρήσεις υφαλοκρηπίδων και σε πολλά άλλα σημεία. Είναι ουσιαστικά τα ‘μάτια’ και τα αυτιά στην επικοινωνία αυτών με τις εταιρίες τηλεπικοινωνίας.

Το GPS επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στη ζωή των ανθρώπων γιατί με το πλοηγό του έχει βοηθήσει άμεσα τις μετακινήσεις όπως σε μια μεγαλούπολη μέχρι και σε ένα επαρχιακό δίκτυο.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας προς τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ναστάκο για τη συμβολή και το ενδιαφέρον που επέδειξε στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας.

1.2 Η δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει αποτελείται από πέντε (6) κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο, δηλαδή το παρών, είναι εισαγωγικό και γίνεται μια σύντομη αναφορά του αντικειμένου της πτυχιακής εργασίας, καθώς επίσης και της δομής της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια γενική περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος. Αναλύονται τα τμήματα του gps, περιγράφονται αναλυτικά οι σταθμοί παρακολούθησης-εκπομπής πληροφορίας, καθώς επίσης και η περιγραφή του κεντρικού σταθμού ελέγχου MCS. Γίνεται εκτενής αναφορά στα χαρακτηριστικά των δορυφόρων, στη διαμόρφωση του δορυφορικού σήματος gps. Επίσης αναλύεται το τμήμα του χρήστη και τα βασικά μέρη του (κεραία, συσκευή εισόδου-εξόδου, κυρίως δέκτης, προενισχυτής και μονάδες τροφοδοσίας).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πηγές λαθών σε gps. Έπειτα αναπτύσσεται το θέμα της γεω-δορυφορικής γεωμετρίας και γίνεται λόγος σε σφάλμα και πηγές σφαλμάτων, καθώς και στις αιτίες που δημιουργούνται. Κατόπιν γίνονται προτάσεις για την βελτιστοποίηση ακρίβειας των gps.

Το κεφάλαιο τέταρτο αναφέρεται στην παρουσίαση των εφαρμογών gps καθώς επίσης και σε άλλες εφαρμογές όπως η ναυσιπλοΐα και η εναέρια κυκλοφορία. Προβάλλονται κάποιες εφαρμογές

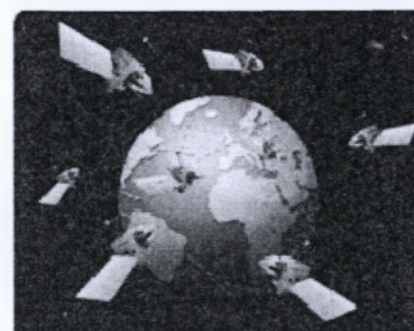
στον ελλαδικό χώρο, όπως περιεχόμενα μητρώου οδών, και περιγραφή του λογισμικού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις εφαρμογές οδομετρίας του GPS, στις εφαρμογές αυτού στην καθημερινότητα όπως επίσης και σύνηθες ερωτήσεις από χρήστες.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μικρή αναφορά για το μέλλον των δορυφόρων και για την εξέλιξη των gps.

1.3 Ιστορική αναδρομή

Το GPS είναι το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης. Είναι ένα δίκτυο δορυφόρων σε τροχιά που μεταδίδουν στη Γη ακριβείς αναλυτικές πληροφορίες σχετικές με τη θέση τους στο διάστημα. Τα σήματα λαμβάνονται από συσκευές GPS, όπως είναι οι συσκευές δορυφορικής πλοήγησης και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ακριβούς θέσης, της ταχύτητας με την οποία κινείται ένα όχημα και της ακριβούς ώρας της ημέρας στη συγκεκριμένη θέση.



Εικόνα 1.1: Δίκτυο δορυφόρων σε τροχιά που μεταδίδουν στη γη.

Το GPS είναι γνωστό για τις στρατιωτικές του εφαρμογές και αναπτύχθηκε αρχικά από τις ΗΠΑ προκειμένου να συμβάλλει στις παγκόσμιες κατασκοπευτικές τους δραστηριότητες κατά την περίοδο της κορύφωσης του Ψυχρού Πολέμου.

Ωστόσο, από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και μετά, το GPS είναι διαθέσιμο προς χρήση σε όλους όσοι διαθέτουν ένα δέκτη GPS. Αεροπορικές εταιρείες, ναυτιλιακές εταιρείες, εταιρείες οδικών μεταφορών και οδηγοί σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη χρησιμοποιούν το σύστημα GPS για να παρακολουθούν οχήματα, να ακολουθούν την καλύτερη διαδρομή που θα τους οδηγήσει το συντομότερο δυνατό από το σημείο Α στο σημείο Β.

Το πρώτο σύστημα GPS αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του 1960 προκειμένου να παρέχει στα σκάφη του πολεμικού ναυτικού των ΗΠΑ τη δυνατότητα να διαπλέουν τους ωκεανούς με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το πρώτο σύστημα διέθετε πέντε δορυφόρους και παρείχε στα σκάφη τη δυνατότητα να ελέγχουν τη θέση τους ανά μία ώρα. Σήμερα, οι φορητές συσκευές δορυφορικής πλοήγησης μπορούν να παρέχουν στους οδηγούς την ακριβή θέση τους με απόκλιση λίγων μέτρων, μία επαρκώς ακριβή ένδειξη για την οδική κυκλοφορία. Οι στρατιωτικές εφαρμογές έχουν σαφώς μεγαλύτερη ακρίβεια με αποτέλεσμα μία θέση να μπορεί να εντοπισθεί με απόκλιση λίγων εκατοστών.

Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS) NAVSTAR των ΗΠΑ είναι το μόνο πλήρως επιχειρησιακό παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS) που επί τους παρόντος παρέχει δεδομένων προσδιορισμού θέσης με παγκόσμια κάλυψη. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναπτύσσει επί του παρόντος το δικό της σύστημα GPS, γνωστό ως το σύστημα προσδιορισμού θέσης Galileo που θα τεθεί σε λειτουργία έως το 2013. Η Κίνα διαθέτει ένα τοπικό σύστημα που μπορεί να το επεκτείνει σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ η Ρωσία αποκαθιστά επί του παρόντος το δικό της σύστημα GLONASS..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

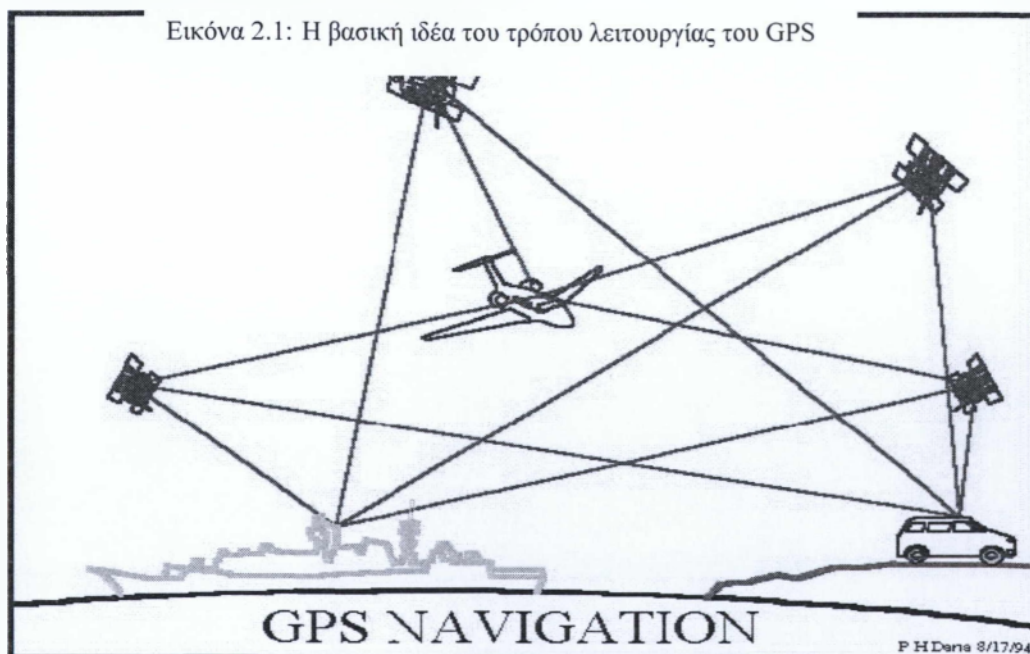
2.1 Γενική περιγραφή λειτουργίας του συστήματος / Η βασική ιδέα

Βασικός προορισμός του συστήματος από το 1978 που έγινε η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, ήταν ο έλεγχος της κίνησης οχημάτων, πλοίων και αεροπλάνων σε παγκόσμια κλίμακα, για την ικανοποίηση των αναγκών του αμερικανικού στρατού. Με την πάροδο του χρόνου όμως και με την βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος, οι εφαρμογές του επεκτάθηκαν και εξακολουθούν να επεκτείνονται και σε

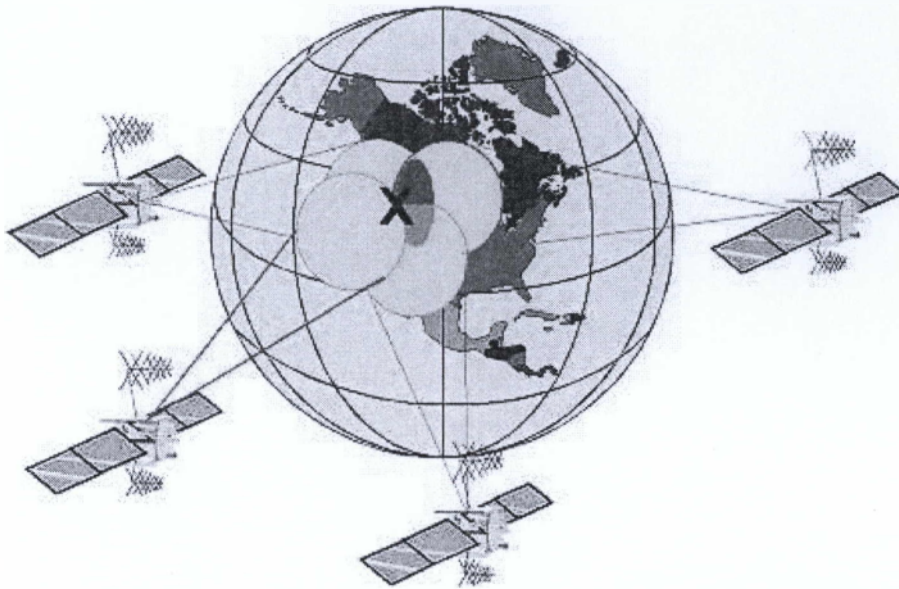
άλλους τομείς. Τα βασικά ερωτήματα που έρχεται να απαντήσει είναι:

- Που βρίσκομαι;
- Που πηγαίνω;
- Που βρίσκονται όλα τα άλλα;
- Πότε θα συμβεί;

Η πλοήγηση μέσω του συστήματος GPS στηρίζεται στη μετάδοση πληροφοριών από το δορυφόρο προς τους επίγειους δέκτες. Η βασική λοιπόν ιδέα πίσω από το GPS είναι σχετικά απλή. Αν οι αποστάσεις από ένα σημείο στη γη, στην περίπτωση μας ο δέκτης του GPS, προς τρεις δορυφόρους GPS είναι γνωστές, όπως και τα σημεία των δορυφόρων, τότε η θέση του σημείου (δέκτη) μπορεί να προσδιοριστεί ακολουθώντας συγκεκριμένη μεθοδολογία. Το ερώτημα που τίθεται τώρα είναι πως μπορούμε να πάρουμε τις αποστάσεις των δορυφόρων όπως και τις ακριβείς θέσεις των σημείων αυτών (El – Rabbany Ahmed , 2002:8).



Όπως θα παρατηρηθεί και στη συνέχεια κάθε δορυφόρος GPS



εκπέμπει συνεχώς ραδιοκύματα. Όταν ένας δέκτης GPS μπαίνει σε λειτουργία λαμβάνει τα σήματα του δορυφόρου μέσω της κεραίας του και τα

Εικόνα 2.2: Τέσσερις ταυτόχρονα εντοπισμένους δορυφόρους απαιτεί το GPS

τις αποστάσεις προς τους δορυφόρους μέσω ενός ψηφιακού κώδικα όπως και τον χρόνο που χρειάστηκε το σήμα για να διανύσει την απόσταση αυτή (ταχύτητα μετάδοσης ήχου στον αέρα=344m/sec). Θεωρητικά λοιπόν μόνο τρεις αποστάσεις από τρεις ταυτόχρονα εντοπισμένους δορυφόρους χρειάζεται για να εντοπίσουμε ένα σημείο πάνω στη γη. Στην περίπτωση αυτή η θέση του δέκτη θα βρίσκεται στην τομή 3 σφαιρών με τις αποστάσεις προς τους δορυφόρους μέσω ενός ψηφιακού κώδικα όπως και τον χρόνο που χρειάστηκε το σήμα για να διανύσει την απόσταση αυτή (ταχύτητα μετάδοσης ήχου στον αέρα=344m/sec).

Θεωρητικά λοιπόν μόνο τρεις αποστάσεις από τρεις ταυτόχρονα εντοπισμένους δορυφόρους κέντρα τα σημεία των δορυφόρων και ακτίνες τις αντίστοιχες αποστάσεις των δορυφόρων προς τον δέκτη (EI –

Rabbany Ahmed , 2002:8).

Από την πρακτική όμως πλευρά του θέματος χρειάζονται τέσσερις παρατηρήσεις από τέσσερις δορυφόρους για τον προσδιορισμό της θέσης του δέκτη, αλλά και του χρόνου ως προς το σύστημα αναφοράς χρόνου του συστήματος GPS (χρόνος GPS). Αυτό συμβαίνει γιατί σκοπός της πλοήγησης είναι ο προσδιορισμός της θέσης σε πραγματικό χρόνο, ώστε να είναι δυνατή η λήψη αποφάσεων για την παραπέρα πορεία του πλοηγούμενου μέσου (πλοίου, αεροπλάνου, οπλικού συστήματος).

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με την μέθοδο αυτή ήταν μέχρι πρόσφατα περιορισμένη στα 100 m στον οριζόντιο άξονα, 156m στον κάθετο άξονα και 340ns όσον αφορά το χρόνο, σε ένα γενικό επίπεδο ακρίβειας 95%.

Αυτό ακριβώς το χαμηλό επίπεδο ακρίβειας είναι το αποτέλεσμα μιας τεχνικής μεθόδου σκόπιμης μείωσης της ακρίβειας του συστήματος (επιλεκτική διαθεσιμότητα). Με τις πρόσφατες όμως αποφάσεις τερματισμού της μεθόδου αυτής (απόφαση προέδρου Κλίντον Μάιος 2000), η οριζόντια ακρίβεια του σημείου βελτιώθηκε κατά 10 φορές. Ένας χρήστης του συστήματος, μπορεί πλέον να προσδιορίσει στιγμιαία τη θέση του με ακρίβεια καλύτερη από 10m και την ταχύτητά του με ακρίβεια 0,1 του κόμβου, όμως αν χρησιμοποιήσει το σύστημα ταυτόχρονα με ένα σταθμό αναφοράς, που κι αυτός μετράει προς τους ίδιους δορυφόρους, τότε μπορεί να προσδιορίσει τη θέση του ως προς το σταθμό αναφοράς με ακρίβεια 0,5 του μέτρου και την ταχύτητά του με ακρίβεια 0,05 του κόμβου. Στη δορυφορική γεωδαισία, ειδικές μετρήσεις και μέθοδοι επεξεργασίας επιτρέπουν τον εντοπισμό ενός ακίνητου σημείου ως προς ένα σταθμό αναφοράς με ακρίβεια μερικών εκατοστών σε αποστάσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων. Τα σήματα των δορυφόρων

μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα, το γυαλί και το πλαστικό, αλλά όχι τα συμπαγή στερεά αντικείμενα, όπως τα κτίρια και τα βουνά.

Το GPS στηρίζεται σε ένα αστερισμό 24^{ων} δορυφόρων που για πρώτη φορά συμπληρώθηκε τον Ιούλιο του 1993. Για να εξασφαλιστεί πλήρη και παγκόσμια κάλυψη οι δορυφόροι τοποθετήθηκαν σε 6 προμελετημένες τροχιές όπου στην κάθε μια αντιστοιχούσαν 4 δορυφόροι. Στόχος του συγκεκριμένου γεωμετρικού αστερισμού ήταν κάθε στιγμή να γίνονται ορατοί από κάθε σημείο πάνω στη γη, τουλάχιστον 4 δορυφόροι, ενώ πολλές φορές ορατοί μπορούσαν να γίνουν ακόμη και 10 δορυφόροι.

Στις 17 Ιουλίου 1995 το σύστημα του GPS μπαίνει επίσημα σε ένα νέο καθεστώς εξασφαλίζοντας την χρησιμότητα για τουλάχιστον 24 δορυφόρους σε τροχιά. Από εκείνη τη στιγμή και μετά ο αριθμός των δορυφόρων τους συστήματος ήταν πάντα μεγαλύτερος του 24 (El – Rabbany Ahmed, 2002:2). Να προστεθεί επίσης ιστορική απόφαση των ΕΠΑ στις 2/5/2000 να επιτραπεί στους πολίτες-χρήστες του συστήματος η λήψη παγκοσμίως, ενός σήματος χωρίς την υποβάθμιση ποιότητας που ήταν επιβεβλημένη μέχρι τότε "Selective Availability". Έτσι δόθηκε μεγάλη ώθηση στα εμπορικά συστήματα και εφαρμογές GPS και δημιουργήθηκε μία αγορά με κέρδη της τάξης των 10 δις \$ (πρόβλεψη για το 2013) από συνδρομές σε υπηρεσίες θέσης (Location Based Services) που χρησιμοποιούν GPS (<http://www.electronics.ca/publications/products/World-GPS-Market-Forecast-to-2013.html>)

2.2 Τα τμήματα του GPS



Το σύστημα «παντός καιρού και ώρας», GPS, αποτελείται από τρία τμήματα:

- Το τμήμα ελέγχου, όπου εμπεριέχονται οι επίγειοι σταθμοί ελέγχου και παρακολούθησης των δορυφόρων
- Το δορυφορικό τμήμα
- Το τμήμα του χρήστη, που αποτελείται από τους δέκτες GPS.

2.2.1 Τμήμα ελέγχου

Το τμήμα ελέγχου (OCS) είναι υπεύθυνο για την διαχείριση του συστήματος GPS. Αποτελείται από τους σταθμούς παρακολούθησης των δορυφόρων, τους σταθμούς εκπομπής πληροφορίας προς τους δορυφόρους και το κεντρικό σταθμό ελέγχου (MCS) που βρίσκεται στην Αεροπορική Βάση στο Colorado Springs των ΗΠΑ. Στις αρμοδιότητες του OCS συμπεριλαμβάνονται:

- α) η συνεχής παρακολούθηση των δορυφόρων,
- β) η υγιής συμπεριφορά τους σε θέματα όπως συγχρονισμός ρολογιών, επίπεδο αποθεμάτων πηγών ενέργειας, εκπομπή ραδιοκυμάτων και δεδομένων και τέλος
- γ) εργάζεται για την επίλυση τυχόν προβλημάτων – ανωμαλιών (<http://tycho.usno.navy.mil/gpsinfo.html#gpssa>)

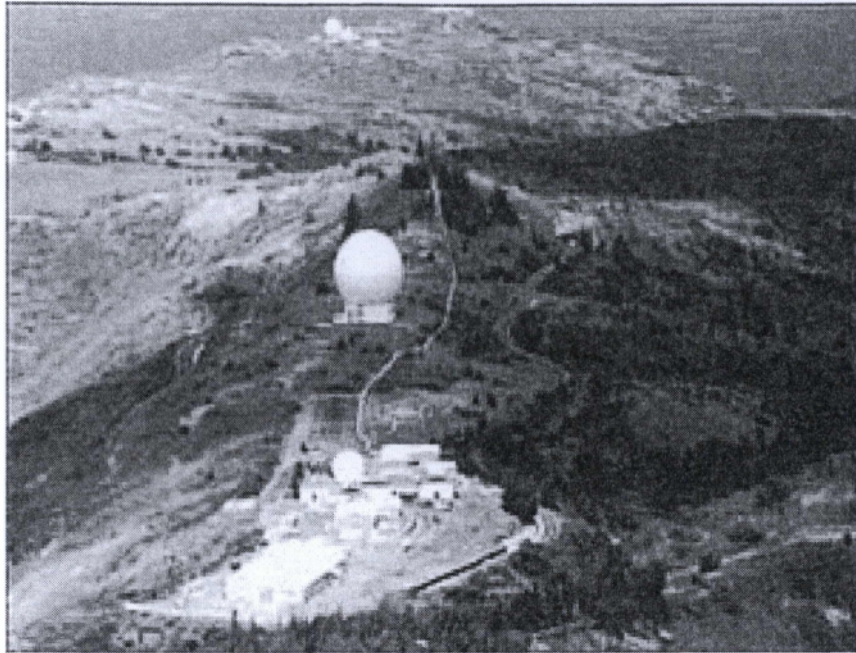
Ανάλογα με τον σκοπό της χρήσης η κατανομή των σταθμών μπορεί να χαρακτηριστεί ως ικανοποιητική ή περιορισμένη. Για γεωδαιτικούς σκοπούς δεν θεωρείται ικανοποιητική, ενώ για τους σκοπούς της πλοήγησης θεωρείται πως επαρκεί. Για το λόγο αυτό το δίκτυο CIGNET και το δίκτυο FLINN της NASA, όπως και άλλα ανεξάρτητα δίκτυα παρακολούθησης με γεωδαιτικές προδιαγραφές,

ξεκίνησαν προσπάθειες για τη οργανωμένη παρακολούθηση των δορυφόρων και τον υπολογισμό των τροχιών τους. Φτάνουμε στο 1993 όπου η IAG προχώρησε στην αναγνώριση της Διεθνούς Υπηρεσίας GPS ή όπως λέγεται παγκοσμίως, της IGS από το 1993. Η υπηρεσία αυτή είχε αναλάβει τον σημαντικό ρόλο της διαχείρισης και διάθεσης παρατηρήσεων και δεδομένων GPS από 1/1/1994. Το κεντρικό γραφείο της IGS έχει την έδρα του στο JPL στην Pasadena της California. Σήμερα, η IGS διαθέτει 250 μόνιμους σταθμούς GPS σε όλο τον κόσμο, 16 Κέντρα Διαχείρισης Δεδομένων, 5 Περιφερειακά και 3 Παγκόσμια κέντρα δεδομένων καθώς και 7 Κέντρα Ανάλυσης Δεδομένων.

Επίσης 19 κέντρα ασχολούνται πυρετωδώς με την πύκνωση του Παγκόσμιου Συστήματος Αναφοράς σε περιφερειακή βάση. Όσον αφορά τις σχέσεις της IGS με άλλους οργανισμούς πρέπει να ειπωθεί ότι μέσα στην IGS έχουν εκπροσώπους 90 οργανισμοί από 30 χώρες ενώ 76 οργανισμοί συνεργάζονται σε μόνιμη βάση (<http://www.flagship.gr/el-gr/Info.aspx?ElementID=1291d10c-bdc8-4c21-b147-4955120c9c8d>).

2.2.1.1 Περιγραφή σταθμών παρακολούθησης

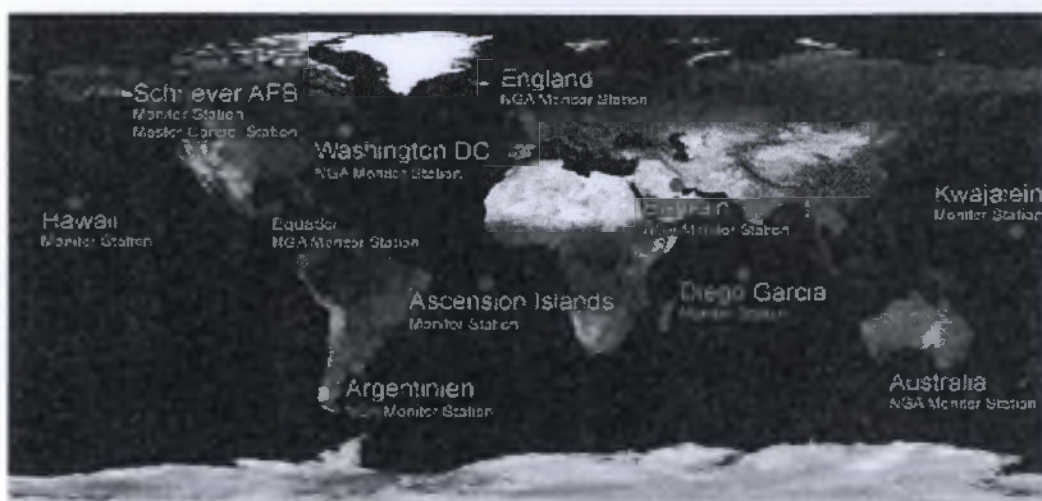
Οι σταθμοί παρακολούθησης είναι 5. Βρίσκονται κατανεμημένοι στο Colorado Springs, στην Hawaii, στη νήσο Ascension στο Νότιο Ατλαντικό, στο Diego Garcia στον Ινδικό ωκεανό και στο Kwajalein



Εικόνα 2.2.1.1.1 Σταθμός παρακολούθησης δορυφόρων στην Hawaii

στο Νότιο Ειρηνικό ωκεανό ενώ τέλος ένας έκτος σταθμός στο Cape Canaveral στη Φλόριντα επρόκειτο να λειτουργήσει και αυτός . Όλοι οι σταθμοί είναι εφοδιασμένοι με δέκτες οι οποίοι συνεχώς μετρούν ψευδοαποστάσεις (γίνονται μετρήσεις κάθε 1,5 δευτερόλεπτο) των ‘ορατών’ δορυφόρων στις συχνότητες L1 / L2. Αυτές μετά από μια αρχική επεξεργασία μεταδίδονται στον κύριο σταθμό ελέγχου. Στον MCS επίσης συγκεντρώνονται οι παρατηρήσεις από 5 επιπλέον σταθμούς του στρατού των ΗΠΑ ενώ τέλος υπολογίζονται οι διαθέσιμες ακριβείς ‘εφημερίδες’ (Μπαντέλας Α.Γ., Σαββαΐδης Π.Δ., Υφαντής Ι.Μ., Δούκας Ι.Δ., 1998:278).

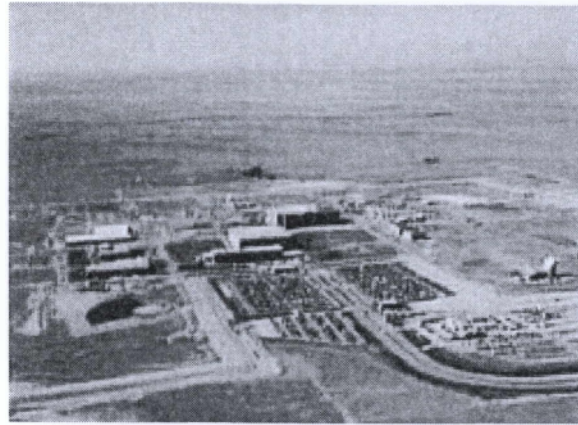
Οι σταθμοί παρακολούθησης είναι μη επανδρωμένες εγκαταστάσεις και παρέχουν κάλυψη των δορυφόρων περίπου 92%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δορυφόροι δεν είναι συνεχώς ‘ορατοί’ από τους σταθμούς.



Εικόνα 2.2.1.1.2: Το δίκτυο των επίγειων σταθμών παρακολούθησης

2.2.1.2 Περιγραφή Κεντρικού Σταθμού Ελέγχου (MCS)

Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου (MCS) ήταν εγκατεστημένος στο Vandenberg AFB, στην California αλλά μεταφέρθηκε στην Βάση Falcon Air Force στο Colorado των ΗΠΑ. Είναι επανδρωμένος 24 ώρες το 24ωρο από ανθρώπους των Αμερικανικών Αεροπορικών Δυνάμεων ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία όλων των συστημάτων. Στον MCS γίνεται επεξεργασία όλων των παρατηρήσεων που λαμβάνονται από τους σταθμούς παρακολούθησης ενώ καθορίζονται (προβλέπονται) οι δορυφορικές τροχιές καθώς και οι παράμετροι των ρολογιών τους. Στη συνέχεια οι σχετικές παράμετροι μεταδίδονται στους σταθμούς εκπομπής πληροφορίας οι οποίοι είναι τέσσερις (Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein, Capa Canaveral). Οι παράμετροι αποτελούν την μεταδιδόμενη εφημερίδα που στηρίζεται στην ανάλυση των προηγούμενων παρατηρήσεων.

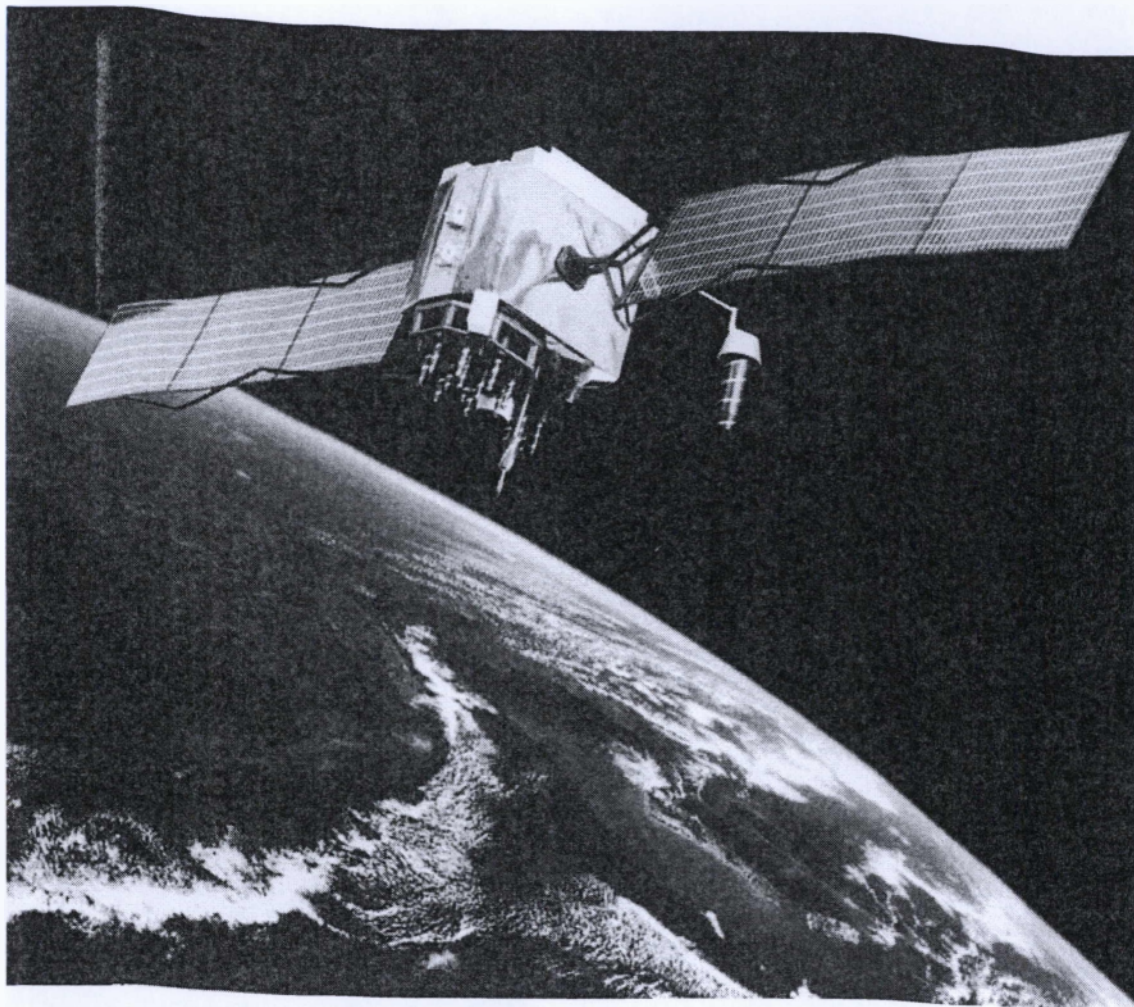


Εικόνα 2.2.1.2.1: Οι εγκαταστάσεις του MCS

2.2.1.3 Περιγραφή σταθμών εκπομπής πληροφορίας

Οι σταθμοί εκπομπής πληροφορίας είναι ενσωματωμένοι στους σταθμούς παρακολούθησης του Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein και Capa Canaveral. Λειτουργούν ως ο συνδετικός κρίκος επικοινωνίας με τους δορυφόρους. Η επιλογή των συγκεκριμένων σταθμών δεν είναι τυχαία αλλά έγινε για την όσο το δυνατόν καλύτερη κάλυψη των δορυφόρων. Αποτελούνται κυρίως από επίγειες κεραιές που διαχειρίζονται και ελέγχουν τις δορυφορικές κινήσεις ενώ ταυτόχρονα δέχονται μηνύματα και αλλά δεδομένα των δορυφόρων που ονομάζονται TT&C. Η ‘μεταδιδόμενη εφημερίδα’ και πληροφορίες σχετικές με τα ρολόγια των δορυφόρων υπολογίζονται στο MCS και αποστέλλονται στους δορυφόρους μέσω της S ραδιοσυχνότητας.

2.2.2 Το Δορυφορικό Τμήμα



Εικόνα 2.2.2.1: GPS δορυφόρος σε τροχιά

2.2.2.1 Ο αστερισμός των δορυφόρων, γενικά χαρακτηριστικά

Οι ελάχιστες απαιτήσεις του δορυφορικού τμήματος του NAVSTAR GPS κάνουν λόγο για έναν αστερισμό 24^{ω} δορυφόρων. Το

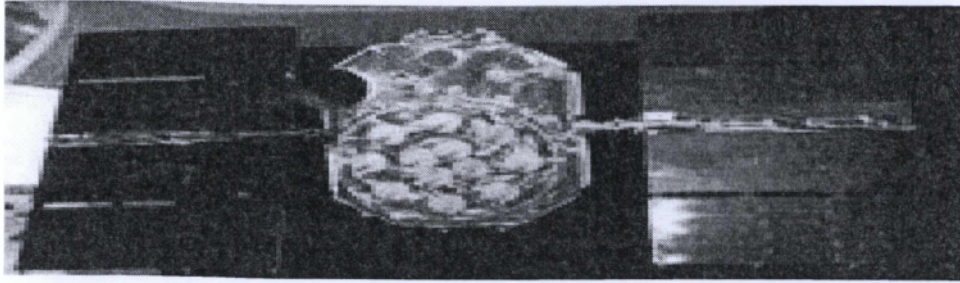
1986 ο αριθμός των δορυφόρων σε τροχιά φτάνει τους 18. Για πρώτη φορά ο αστερισμός των δορυφόρων φτάνει τον αριθμό των 24^{ων} αρχικά με το καθεστώς της (IOC), τον Ιούλιο του 1993 (ακολούθησε επίσημη ανακοίνωση στις 8 Δεκεμβρίου του ίδιου έτους) και συνεχίστηκε με το νέο καθεστώς της (FOC).

Το νέο καθεστώς επιτευχθεί στις 17 Ιουλίου 1995. Συνολικά, μετρώντας από την πρώτη απογείωση δορυφόρου GPS, πάνω από 50 δορυφόροι προς χρήση του συστήματος έχουν απογειωθεί μέχρι σήμερα (El-Rabbany,Ahmed,2002)

(http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

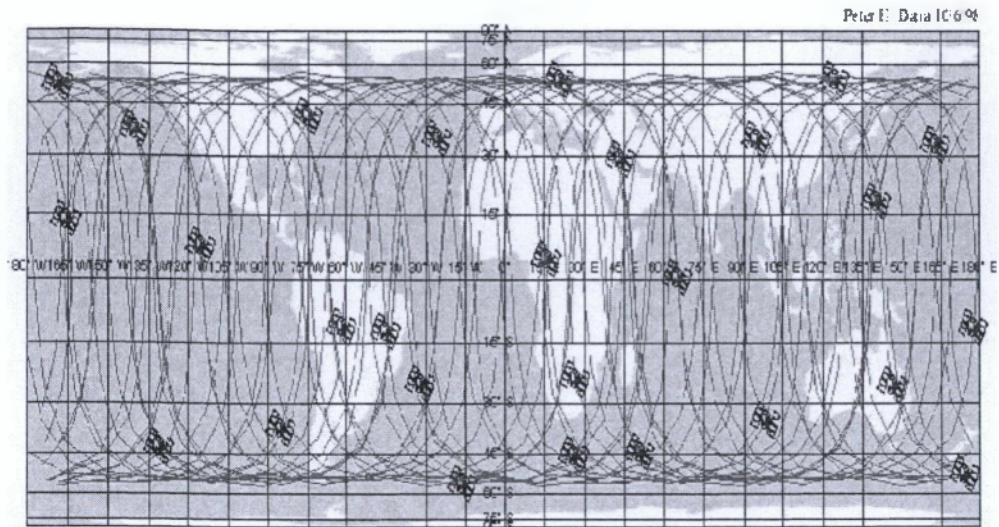
Τον Σεπτέμβριο του 2005 ο "αστερισμός" των δορυφόρων του GPS αποτελούνταν από 28 δορυφόρους, 4 περισσότερους από τους 24 που κρίνονταν απαραίτητοι για τον εντοπισμό σημείου. Οι δορυφόροι αυτοί αναλυτικά ήταν: 1 Block II, 14 Block IIA, 12 Block IIR και 1 BlockIIR-M1. Κατανέμονται σε 6 τροχιακά επίπεδα με κλίση 55^ο προς τον άξονα του ισημερινού και συμβολίζονται με τα στοιχεία A, B, C, D, E, F. Οι τροχιές των δορυφόρων είναι συμμετρικά σχεδιασμένες ανά 60^ο ενώ βρίσκονται σε ύψος 20.110Km (10.900 miles) από την γη. Η τροχιά τους είναι ελλειπτικής εκκεντρότητας $e=0,015$ (Kaplan D. Elliot, 1996: 61).

Το σύνολο του γεωμετρικού σχεδιασμού των τροχιών των δορυφόρων πραγματοποιήθηκε με γνώμονα την δυνατότητα κάθε στιγμή και από κάθε σημείο επάνω στη γη να γίνονται 'ορατοί' τουλάχιστον 5 δορυφόροι που να μεταδίδουν πληροφορίες. Αντίστοιχα ο μεγαλύτερος αριθμός δορυφόρων που μπορούν να γίνουν 'ορατοί' είναι 12.



Εικόνα 2.2.2.1.1: Δορυφόρος στο εργαστήριο κατά την διάρκεια δοκιμών

Σε κάθε τροχιακό επίπεδο τοποθετούνται δορυφόροι σε διαφορετικές υποδοχές (slots) και συμβολίζονται με τους αριθμούς 1, 2, 3, 4, 5. Για παράδειγμα ο δορυφόρος που ακούει στον κωδικό τροχιάς C3 αναφέρεται στον δορυφόρο 3 που βρίσκεται στην τροχιά C. Όλες οι τροχιές έχουν 5 δορυφόρους εκτός από την τροχιά C που έχει μόνο 4.



Global Positioning System Satellites and Orbits
 for 27 Operational Satellites on September 29, 1998
 Satellite Positions at: 00:00:00 9/29/98 with 24 hours (2 orbits) of Ground Tracks to 00:00:00 9/30/98

Εικόνα 2.2.2.1.2: γράφημα 24^{ης} δραστηριότητας των δορυφόρων GPS

Η περίοδος των δορυφόρων είναι 11 ώρες 58 λεπτά και 2 δευτερόλεπτα. Έτσι την ίδια εικόνα ο αστερισμός την εικονίζει 2 φορές κάθε μέρα. Μια περιστροφή της γης συμπίπτει με 2 περιόδους του

δορυφόρου. Συνεπάγεται ότι ο δορυφόρος περνά πάνω από τα ίδια σημεία κάθε 24 ώρες. Κάθε δορυφόρος παίρνει την ταυτότητα του από 2 αριθμούς. Τον αύξοντα αριθμό εκτόξευσης (SVN) και τον αριθμό PRN ο οποίος είναι ένας ειδικός κωδικός που σχετίζεται με τον P-κώδικα και είναι το αποτέλεσμα μια Καθαρά ντετερμινιστικής διαδικασίας. Ένας τρίτος αριθμός προσδίδεται στον δορυφόρο από την NASA (Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001:13). Για παράδειγμα ο PRN07, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 1.1, είναι ο 37^{ος} δορυφόρος GPS, γενιάς Block IIΑ που εκτοξεύτηκε και βρίσκεται στην τροχιά C-4.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει επίσης ραδιοκύματα στη συχνότητα L1=1575,42 MHz και στην συχνότητα L2=1227,60 MHz (σήματα άνω των 30 MHz διαπερνούν την ιονόσφαιρα). Το σήμα που έρχεται μέσω της συχνότητας L1 περιέχει ένα ακριβή κώδικα τον C/A κώδικα. Το σήμα που έρχεται μέσω της συχνότητας L2 φέρει μόνο τον P-κώδικα (P-code). Ο κώδικας P χρησιμοποιείται για την διόρθωση της καθυστέρησης των σημάτων που αναφέρεται στην ιονόσφαιρα. Και οι δυο αυτοί κώδικες χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Τα ραδιοκύματα εκπέμπονται ανά γνωστά και σταθερά χρονικά διαστήματα και ελέγχονται από ατομικά χρονόμετρα (2 ρουβιδίου Rb και 2 Κασίου Cs) που βρίσκονται στον δορυφόρο. Οι δορυφόροι γενιάς IIR χρησιμοποιούν μόνο ρολόγια ρουβιδίου. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι δυο δορυφόροι, οι PRN05 και PRN06 είναι εφοδιασμένοι με ειδικούς γωνιακούς ανακλαστήρες ώστε να βρίσκεται η θέση τους μέσω laser.

Ένας τρίτος κωδικός είναι ο κώδικας δεδομένων ή αλλιώς D-κώδικας (Datacode), που υπερτίθεται στις συχνότητες L1 / L2 και περιέχει πληροφορίες τύπου πρόβλεψης θέσης δορυφόρου, χρονικές

καθυστερήσεις δορυφορικών χρονομέτρων κλπ.. Είναι ένα σύνηθες δυαδικό μήνυμα των ηλεκτρονικών υπολογιστών, το οποίο μπορεί με βάση το γνωστό FORMAT, να μετατραπεί σε άμεσα χρησιμοποιούμενη αλφαριθμητική μορφή. Στα δεδομένα επίσης περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων παράμετροι που επιτρέπουν τον προσδιορισμό της θέσης του δορυφόρου κάθε στιγμή, οι οποίες είναι γνωστές με το όνομα μεταδιδόμενη εφημερίδα (broadcast ephemeris) σε αντιδιαστολή με την ακριβή εφημερίδα (precise ephemeris) η οποία δεν είναι διαθέσιμη κατά τον χρόνο των παρατηρήσεων.

2.2.2.2 Χαρακτηριστικά των δορυφόρων

Οι δορυφόροι του συστήματος GPS χωρίζονται σε σειρές ή BLOCK. Υπάρχουν έξι γενιές δορυφόρων και είναι οι Block I, Block II, Block IIA, Block IIR, Block IIF, Block III.

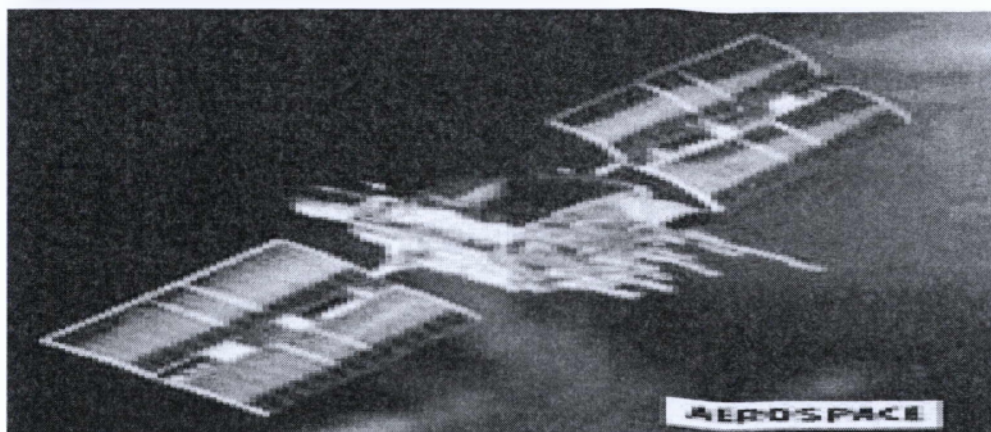
Block 0

Οι πρώτοι δορυφόροι GPS ονομαστήκαν SVs, Block0, 1 και 2. Κατασκευάστηκαν από την Naval Research Lab και χρησιμοποιήθηκαν για την ισχυροποίηση κάποιων σκοπών. Χαρακτηριστικό είναι δε ότι μαζί με τους SVs 1 και 2, πρώτη φορά απογειώθηκαν για το διάστημα ατομικά ρολόγια. Τα πειράματα με τους συγκεκριμένου τύπου δορυφόρους κράτησαν σύντομο χρονικό διάστημα.

Block I

Ακολουθώντας τα πρώτα πειράματα προέκυψαν οι πρώτης γενιάς

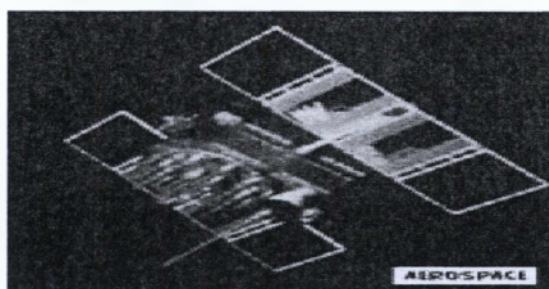
δορυφόροι Block I. Κατασκευάστηκαν από την Rockwell International. Οι δορυφόροι πρώτης γενιάς χαρακτηρίστηκαν ως δορυφόροι επίδειξης, ενώ ο σκοπός τους ήταν κυρίως πειραματικός. Το βάρος του δορυφόρου ήταν 845 Kg ενώ η ικανότητα του για αυτόνομη πλοήγηση χωρίς την επέμβαση επίγειου σταθμού ήταν 3-4 ημέρες (Leick Alfred, 1995: 60). Ο πρώτος δορυφόρος αυτής της γενιάς μπήκε σε τροχιά στις 22 Φεβρουαρίου 1978 και ο τελευταίος στις 9 Οκτωβρίου 1985. Κανένας πλέον από τους δορυφόρους Block I δεν είναι σε λειτουργία (18 Νοεμβρίου 1995 τέθηκε εκτός λειτουργίας ο τελευταίος). Οι απογειώσεις των δορυφόρων έγιναν στην California από την αεροπορική βάση του Vandenberg. Αν εξαιρέσουμε μια αποτυχημένη απογείωση το 1981, όλες οι υπόλοιπες 10 εκτοξεύσεις έγιναν με επιτυχία. Η διάρκεια ζωής των Block I δορυφόρων ήταν τα 4,5 έτη (Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001:13).



Εικόνα 2.2.2.2.1: Block I

Block II, IIA

Οι δεύτερης γενιάς δορυφόροι είναι οι χαρακτηρισμένοι "επιχειρησιακής" γενιάς δορυφόροι Block II, ενώ με ορισμένες τροποποιήσεις έχουμε και τους "προχωρημένους" (advanced) γενιάς δορυφόρους Block IIΑ. Οι Block II δορυφόροι είναι τροποποιημένοι ως προς τους Block I και έχουν τους αριθμούς SV 13-21. Έχουν διαφορές στο σχήμα, το βάρος (1500 Kg), την γωνία κλίσης που αντί για 63° είναι 55° , την διάρκεια ζωής που φτάνει τα 7,5 έτη και την αυτονομία πλοήγησης που είναι 14 ημέρες (Leick Alfred, 1995:61). Μια ακόμα βασική διαφορά είναι ότι στους δορυφόρους σειράς II, προστέθηκαν κάποια συστήματα ασφαλείας, όπως και συστήματα σκόπιμης μείωσης της ακρίβειας. Τα συστήματα αυτά είναι το λεγόμενο σύστημα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA) και το σύστημα Anti-spoofing (A-S). Οι δορυφόροι δεύτερης γενιάς απογειώθηκαν από το Διαστημικό Κέντρο Kennedy στο Cape Canaveral της Florida. Ο πρώτος δορυφόρος Block II (SVN14) στοίχισε περίπου 50.000.000\$ και εκτοξεύθηκε στις 14/02/1989 ενώ μπήκε σε τροχιά στις 14/04/1989 (Bill Clarke, 1998:11). Στο μεσοδιάστημα από τον Φεβρουάριο του 1989 έως τον



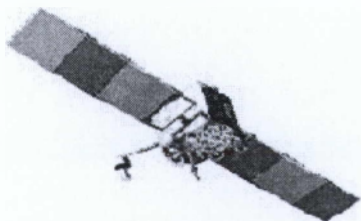
Εικόνα 2.2.2.2.2: Δορυφόρος γενιάς Block IIΑ

Νοέμβριο του 1997 εκτοξεύθηκαν συνολικά 28 δορυφόροι δεύτερης γενιάς, 9 Block II και 19 Block IIΑ ενώ κατασκευάστρια εταιρεία ήταν και πάλι η Rockwell International.

Οι Block IIΑ δορυφόροι, όπως αναφέρθηκε, είναι η βελτιωμένη έκδοση των Block II δορυφόρων και έχουν τους αριθμούς SV από 22 και άνω. Τα στοιχεία βελτίωσης αφορούν κυρίως την χρησιμότητα αποθήκευσης δεδομένων πλοήγησης από 14 ημέρες για τον Block II σε 180 ημέρες για τον Block IIΑ. Μερικοί από αυτούς διαθέτουν ανακλαστήρες και μπορούν να εντοπιστούν και από laser. Για την εξασφάλιση ορισμένων χαρακτηριστικών ασφαλείας προστέθηκε στους δορυφόρους δεύτερης γενιάς το σύστημα της εκλεκτικής διαθεσιμότητας στοιχείων (SA). Ο πρώτος δορυφόρος Block IIΑ απογειώθηκε τον Νοέμβριο του 1990 (Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001:13, 14).

Block IIF

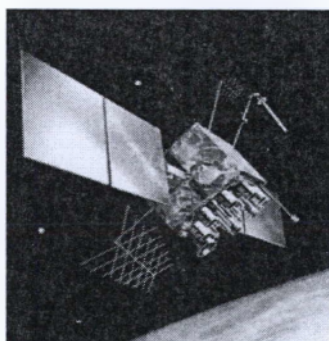
Οι τελευταίας γενιάς δορυφόροι GPS και οι πιο σύγχρονοι παράλληλα είναι οι δορυφόροι Block IIF. Την γενιά αυτή αποτελούν 33 νέοι δορυφόροι. Την κατασκευή τους έχει αναλάβει η Boeing North American και θα πραγματοποιηθεί σε τρεις φάσεις των 6, 15 και 12 δορυφόρων αντίστοιχα. Το συνολικό κόστος των 33^{ων} δορυφόρων ανέρχεται σε 1.3δισ \$ (16.5δισ ευρώ). Η διάρκεια ζωής τους είναι αυξημένη σημαντικά και φτάνει τα 15 έτη πλοήγησης. Αυτή την στιγμή δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικές



με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των IIF δορυφόρων. Το μόνο που έχει ανακοινωθεί επίσημα από τις Αεροπορικές Δυνάμεις των ΗΠΑ είναι ότι θα υπάρχει ένας extra χώρος που θα ονομάζεται reserve auxiliary payload, για την πιθανότητα ειδικών αποστολών. Στους δορυφόρους σειράς IIF θα ανατεθούν επιπλέον νέες αρμοδιότητες μέσω του προγράμματος εκσυγχρονισμού του GPS, ενώ ταυτόχρονα προβλέπεται η σημαντική εκ νέου βελτίωση της αυτονομίας και της ακρίβειας της θέσης του δορυφόρου, πράγμα που σημαίνει ότι η παρέμβαση από τους επίγειους σταθμούς θα είναι σχεδόν τυπική. Ο πρώτος δορυφόρος Block IIF είναι σχεδιασμένο να μπει σε τροχιά εντός του έτους 2008 (Clarke Bill, 1998:13).

Block III

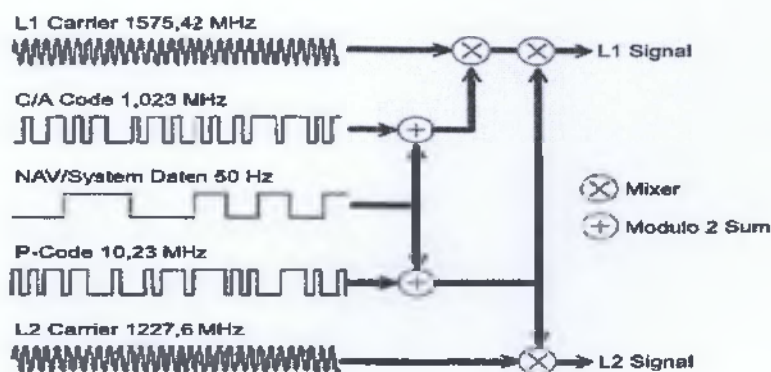
Μετά από 5 χρόνια μελετών οι υπεύθυνοι του JPO αναθεώρησαν ορισμένες από τις απόψεις τους πάνω σε θέματα του δορυφόρου σειράς III. Η ημερομηνία εκτόξευσης του πρώτου Block III δορυφόρου, παίρνει αναβολή ενός έτους από το 2012 για το 2013. Ο βασικός λόγος της καθυστέρησης αυτής είναι η αναπροσαρμογή ορισμένων συστημάτων για βελτιώσεις ως προς τις στρατιωτικές και πολιτικές απαιτήσεις. Για πρώτη φορά επίσης τα γραφεία της GPS JPO έδωσαν έμφαση στο γεγονός του ανοιχτού διαγωνισμού για την επιλογή της εταιρείας που θα αναλάβει να σχεδιάσει και θα κατασκευάσει τον Block III δορυφόρο .



2.2.3.1 Διαμόρφωση δορυφορικού σήματος GPS

Το ατομικό ρολόι του δορυφόρου, εκτός από τη διατήρηση της κλίμακας του χρόνου, παράγει μια θεμελιώδης συχνότητα $f_0=10.23$ MHz, από την οποία προκύπτουν οι δυο βασικές συμφασικές φέρουσες συχνότητες ή κύματα φορείς (carrier frequencies, carrier waves):

Η συχνότητα $L_1 = 154$ με $f_0 = 154 \times 10.23 \text{MHz} = 1575.42 \text{MHz}$ με μήκος κύματος $\lambda \cong 19.03 \text{cm}$ Η συχνότητα $L_2 = 120$ με $f_0 = 120 \times 10.23 \text{MHz} = 1227.60 \text{MHz}$ με μήκος κύματος $\lambda \cong 24.42 \text{cm}$. Ο προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο απαιτεί τη μέτρηση αποστάσεων μεταξύ δεκτών και δορυφόρων. Επειδή οι μετρήσεις είναι "μιας κατεύθυνσης", δηλαδή τα σήματα εκπέμπονται μόνο κατά τη φορά "δορυφόροι > δέκτης", χρησιμοποιούνται δυο εκπεμπόμενοι μετρητικοί κώδικες, ο C/A (Coarse Acquisition Code) και ο P(Precision Code) (στην πραγματικότητα αντί του P ο κρυπτογραφημένος κώδικας P(Y)) που δεν είναι παρά δυαδικές ακολουθίες από κάποιους αλγόριθμους. Οι κώδικες αυτοί δεν μπορούν όμως να μεταδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις και για αυτό το λόγο προστίθενται πάνω τα δυο σήματα φορείς της δέσμης L_1 , την L_1 (διαμόρφωση από C/A και P(Y)) και την L_2 (διαμόρφωση μόνο από P(Y)). Η διαμόρφωση είναι τέτοια, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση του χρόνου διάδοσης ή χρόνου ταξιδιού του σήματος (travel time) από το δορυφόρο στο δέκτη. Ο C/A και ο P είναι κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου (PRN codes). Ταυτόχρονα οι δυο φορείς διαμορφώνονται και από το μήνυμα πλοήγησης ή μήνυμα ναυσιπλοΐας (navigation message) ή μήνυμα δεδομένων (Data) για την παροχή πρόσθετων πληροφοριών, όπως είναι τα στοιχεία της τροχιάς των δορυφόρων (δορυφορική εφημερίδα) και παράμετροι για το συγχρονισμό των ρολογιών.



Εικόνα 2.2.3.1.1: συνιστώσες μεταδιδόμενου σήματος

Κάθε δορυφόρος GPS εκπέμπει ένα εξαιρετικά σύνθετο σήμα. Οι υψηλές φέρουσες συχνότητες, της τάξης του 1.5 GHz της δέσμης L (12 GHz), δεν έχουν επιλεγεί τυχαία, ούτε το είδος των συγκεκριμένων κωδίκων και ο τρόπος διαμόρφωσης. Παράμετροι που ελήφθησαν υπόψη στο σχεδιασμό του σήματος ήταν η ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης και ταχύτητας σε πραγματικό χρόνο, η παγκόσμια κάλυψη, η ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλών χρηστών, η μη απαίτηση ατομικών χρονομέτρων από τους δέκτες GPS, η ανθεκτικότητα των δορυφορικών σημάτων σε παρεμβολές, καθώς και η μείωση της επίδρασης των σφαλμάτων της ιονόσφαιρας. Ας σημειωθεί ότι η χρήση δυο συχνοτήτων (L1 και L2) επιτρέπει την εξάλειψη της ιονοσφαιρική επίδρασης.

Για τη διαμόρφωση των φορέων L1 και L2, χρησιμοποιούνται δυο διακριτές τεχνικές/μέθοδοι: η μέθοδος της δυαδικής διαφασικής διαμόρφωσης (binary biphase modulation, binary phaseshift keying / BSPK), που αφορά στη διαμόρφωση ενός ημιτονοειδούς φορέα από μια δυαδική ακολουθία.

Σύμφωνα με τη μέθοδο BSPK ένας φορέας σταθερής συχνότητας π.χ. ο L1, διαμορφώνεται ως προς τη φάση (αλλάζει η φάση για να μεταφέρει πληροφορία) από μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων 1 και 0, έτσι ώστε κάθε αλλαγή στην ακολουθία των ψηφίων από 0 σε 1 ή από 1 σε 0, να επιφέρει αλλαγή στη φάση του φορέα κατά 180° , διαφορετικά η φάση του φορέα παραμένει αμετάβλητη. Έτσι, η διαμόρφωση της φάσης του φορέα έχει δυο καταστάσεις: την κανονική κατάσταση φάσης (

normal state) όπου η φάση δεν έχει αλλάξει και η οποία αντιστοιχεί στον αριθμό +1 και την αντεστραμμένη/κατοπτρική (mirror image state) κατάσταση η οποία αντιστοιχεί στον αριθμό 1 όπου η φάση του φορέα έχει αλλάξει κατά 180°. Η διαμόρφωση των δυαδικών 0 και 1 μιας ακολουθίας πάνω στο φορέα υλοποιείται με πολλαπλασιασμό του σήματος του φορέα είτε με +1 είτε με 1.

Επειδή ο φορέας L1 διαμορφώνεται από δυο κώδικες, τον C/A και τον P, η διαδοχική υπέρθεση δεν είναι μοναδική και έτσι ο φορέας L1 διαχωρίζεται πριν διαμορφωθεί, με έναν διαχωριστή τάσης, σε δυο συνιστώσες εκ των οποίων η μια μετατίθεται ηλεκτρονικά ώστε να προηγείται κατά 90° ως προς τη φάση σε σχέση με άλλη συνιστώσα (phase quadrature, Quasi Phase Shift Keying). Η συνιστώσα που προηγείται κατά 90° διαμορφώνεται από το αποτέλεσμα της άθροισης (D+ C/A), ενώ η άλλη από το αποτέλεσμα (D+P). Τέλος, οι δυο συνιστώσες συντίθενται ηλεκτρονικά πριν από την εκπομπή. Ο φορέας L2 διαμορφώνεται μόνο από το αποτέλεσμα της άθροισης (D+P). Τα σήματα των διαμορφωμένων φορέων συντίθενται ηλεκτρονικά και το προκύπτον τελικό σήμα εκπέμπεται από την κεραία του δορυφόρου.

Ο δέκτης GPS λαμβάνει τα σήματα από όλους τους ορατούς δορυφόρους για επεξεργασία/ανάκτηση των επιμέρους συνιστωσών και την εκτέλεση των μετρήσεων. Όταν το λαμβανόμενο σήμα πολλαπλασιαστεί με το αντίγραφο του κώδικα (αφού γίνει η συσχέτιση) ή και ακόμα αν το λαμβανόμενο σήμα πολλαπλασιαστεί με τον εαυτό του.

2.2.3.2 Μήνυμα πλοήγησης

Για να υπολογισθεί η θέση του δέκτη σε πραγματικό χρόνο απαιτούνται οι συντεταγμένες των δορυφόρων σε κάθε εποχή παρατήρησης. Τη δυνατότητα αυτή προσφέρει το εκπεμπόμενο μήνυμα δεδομένων ή μήνυμα πλοήγησης/ναυσιπλοΐας (Data code, broadcast

message, navigation message) που μεταδίδεται και από τους δυο φορείς L1 και L2.

Το μήνυμα πλοήγησης είναι μια δυαδική ακολουθία που αντιστοιχούν σε γράμματα και αριθμούςδεδομένα, τα οποία παράγονται με συχνότητα 50 Hz ή ψηφιακό ρυθμό 50 bps, και είναι τακτοποιημένα σε πλαίσια (Frames) των 1500 bits.

Η διάρκεια ενός ψηφίου είναι $1/50 \text{ sec} = 0.02 \text{ sec} = 20 \text{ ms}$ και άρα ένα ψηφίο δεδομένων περιέχει ακριβώς 20 C/A κώδικες ή $20 \times 1023 = 20460$ C/Aψηφία ή $10 \times 20460 = 204600$ Pψηφία ή $154 \times 204600 = 31508400$ L1κύκλους.

Ένα πλαίσιο των 1500 bits διαρκεί 30 sec (1500/50). Κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε πέντε υποπλαίσια (subframes), διάρκειας 6 sec το καθένα και μήκους 300 bits, με το κάθε υποπλαίσιο να περιέχει 10 λέξεις (words) των 30 bits. Τα υποπλαίσια 1,2 και 3 επαναλαμβάνονται κάθε 30 sec ενώ τα υποπλαίσια 4 και 5 ολοκληρώνονται σε 25 επαναλήψεις, παρέχοντας κάθε φορά μια από τις 25 σελίδες τους. Έτσι το πλήρες μήνυμα διαρκεί 12.5 min ($25 \times 30 / 60$). Η επανάληψη των υποπλαισίων 1,2 και 3 κάθε 30 sec γίνεται επειδή τα δεδομένα που περιέχουν είναι σημαντικά για τη παρακολούθηση

Μόλις ο δέκτης συσχετίσει το δορυφορικό σήμα με τον κώδικα C/A, και διαβάσει τη λέξη HOW από το μήνυμα δεδομένων, μπορεί αμέσως να αρχίσει τη διαδικασία συσχέτισης με τον κώδικα P, αφού γνωρίζει ακριβώς ποιο τμήμα του P εκπέμπεται. Αυτός είναι και ο λόγος που η λέξη HOW ονομάστηκε κατά αυτόν τον τρόπο, καθώς προσφέρει 'ένα χέρι βοήθειας' για τη γρήγορη συσχέτιση με τον κώδικα P.

Η συσχέτιση με τους κώδικες επιτρέπει εν συνεχεία και την απομάκρυνσή τους από το δορυφορικό σήμα (πολλαπλασιασμό με το αντίγραφο), το διάβασμα του μηνύματος δεδομένων, την εν συνεχεία απομάκρυνση των δεδομένων και την παραπέρα επεξεργασία του

καθαρού φορέα, που απομένει, για τη μέτρηση των φάσεων.

2.2.3.3 Σκόπιμη μείωση της ακρίβειας

Η παραποίηση του σήματος του GPS εφαρμόζεται από τις στρατιωτικές υπηρεσίες των ΗΠΑ με σκοπό τη μείωση της ακρίβειας του συστήματος GPS, όταν αυτό χρησιμοποιείται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες.

-Η κατάσταση της 'αντίεξαπάτησης' (AS: Antispoofing) :

Η μέθοδος Antispoofing, αποκρύπτει τον κώδικα P, πολλαπλασιάζοντάς τον με κάποιον μυστικό κώδικα W, με σκοπό την προστασία του από εχθρική εξαπάτηση. Ο κώδικας P δεν είναι σε ελεύθερη χρήση από το σύστημα, αλλά μεταδίδεται ως κώδικας Y(Y1, Y2) μέσω μιας διαδικασίας απόκρυψης που προκύπτει από τον συνδυασμό του P με τον μυστικό κώδικα W.

Η άμεση πρόσβαση στον P είναι δυνατή μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες στους οποίους είναι γνωστός ο μυστικός αλγόριθμος. Παρόλα αυτά, η εξέλιξη των τεχνικών είναι τέτοια που καθιστά δυνατή και τη μέτρηση του P χωρίς να είναι γνωστός ο Y, με κάπως μικρότερη ακρίβεια. Οι γεωδαιτικοί δέκτες που προσαρμόζονται αυτόματα στην κατάσταση AS, δηλαδή αναγνωρίζουν αν είναι ενεργή ή όχι και ανάλογα εφαρμόζουν τις κατάλληλες τεχνικές συσχέτισης για την επανάκτηση των συνιστωσών του δορυφορικού σήματος.

Η σημασία της κατάστασης AS για τον προσδιορισμό θέσης υψηλής ακρίβειας, όπου χρησιμοποιούνται οι γεωδαιτικοί δέκτες, είναι μικρή, επειδή για τις υψηλές ακρίβειες που απαιτούνται χρησιμοποιούνται οι παρατηρήσεις φάσης και όχι ψευδό-αποστάσεων από τον κώδικα P. Παρόλα αυτά, για κάποιες εφαρμογές, η μέτρηση ψευδό-αποστάσεων βοηθά και διευκολύνει σημαντικά μέσω κατάλληλων

αλγοριθμικών τεχνικών.

-Η κατάσταση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA):

Η μέθοδος της επιλεκτικής διαθεσιμότητας SA ίσχυσε στο διάστημα Ιούλιος 1991Μάιος 2000. Με τον μηχανισμό αυτό η μείωση της ακρίβειας επιβάλλεται με δυο διαφορετικές τεχνικές: α) με την τεχνική 'epsilon' (ϵ) μέσω της μείωσης της ακρίβειας των παραμέτρων της εκπεμπόμενης δορυφορικής εφημερίδας, με αποτέλεσμα οι συντεταγμένες των δορυφόρων να υπολογίζονται με μεγάλη αβεβαιότητα.

Τα σφάλματα της κατάστασης SA στις παρατηρήσεις εμφανίζουν μια περιοδικότητα της τάξης των μερικών ωρών και μερικών λεπτών αντιστοίχως και επηρεάζουν τις ψευδοαποστάσεις και τις φάσεις με σφάλματα της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων.

Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης με έναν δέκτη σε πραγματικό χρόνο (λύση πλοήγησης) επηρεάζεται άμεσα από την κατάσταση SA. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό θα πρέπει ο χρήστης να είναι εξουσιοδοτημένος και άρα να διαβάζει και τις κρυπτογραφημένες διορθώσεις είτε να χρησιμοποιεί τη μέθοδο του σχετικού προσδιορισμού θέσης όπου τα σφάλματα αυτά σχεδόν απαλείφονται, ιδιαίτερα με χρήση των εφημερίδων ακρίβειας και όχι των εκπεμπόμενων εφημερίδων.

Με ανενεργή την κατάσταση SA, η ακρίβεια του απόλυτου προσδιορισμού θέσης στη λύση πλοήγησης, είναι της τάξης των μερικών μέτρων, ενδεικτικά 5-15 m. Με ενεργή την κατάσταση SA, η ακρίβεια υποβιβάζεται από το τμήμα ελέγχου στα 100 m για την οριζόντια θέση (φ, λ), στα 156 m στο γεωμετρικό υψόμετρο (h) και στα 340 ns στο χρόνο για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

2.2.4 Το τμήμα του χρήστη - Υπηρεσίες GPS

Το τρίτο και τελευταίο τμήμα του GPS, είναι το τμήμα του χρήστη. Αποτελείται από τους δέκτες του GPS οι οποίοι με την συνεχιζόμενη ανάπτυξη νέων επαναστατικών τεχνολογιών, εξελίσσονται διαρκώς. Στις αρχές του 1970 οι πρώτοι δέκτες ήταν ογκώδης και με μεγάλο βάρος. Στις μέρες μας οι δέκτες είναι μικρές συσκευές, χαμηλού βάρους με ευκολία στην χρήση. Αποτελούνται από:

- Την κεραία
- Την συσκευή εισόδου / εξόδου (input / output device)
- Τον κυρίως δέκτη
- Τον προενισχυτή
- Τις μονάδες τροφοδοσίας

2.2.4.1 Κεραία

Τα δορυφορικά σήματα φτάνουν στον δεκτή μέσω της κεραίας. Η κεραία είναι δεξιόστροφη (RHCP) και η μέγιστη κάλυψη είναι περίπου το μισό ημισφαίριο (160°), όταν αυτή βρίσκεται σε γωνία κλίσης 10° προς τον κάθετο άξονα της. Όταν η κλίση είναι μικρότερη των 10° , τότε η κάλυψη είναι μικρότερη ενώ χρειάζεται προσοχή ώστε να λαμβάνει τα σήματα των δορυφόρων απευθείας από αυτούς και όχι από ανακλάσεις στο έδαφος γιατί τότε δημιουργούνται σφάλματα. Η κεραία έχει πολλές παραλλαγές, από σχήμα κογχυλιού έως και ενός στύλου. Η επιλογή της κεραίας είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι και απαιτεί την λήψη πολλών παραμέτρων όπως ο τύπος της κεραίας, η αεροδυναμική μορφή, η σταθερότητα του κέντρου της. Στην περίπτωση που ο δέκτης GPS λαμβάνει μόνο τον P(Y) – κώδικα, θα πρέπει η κεραία (και ο δέκτης) να είναι στραμμένη στην συχνότητα των 20.46 MHz. Αντιστοίχως αν λαμβάνει μόνο τον C/A – κώδικα, θα πρέπει η κεραία να είναι στραμμένη

στην συχνότητα των 2.046 MHz (Elliot D. Kaplan, 1996:69).

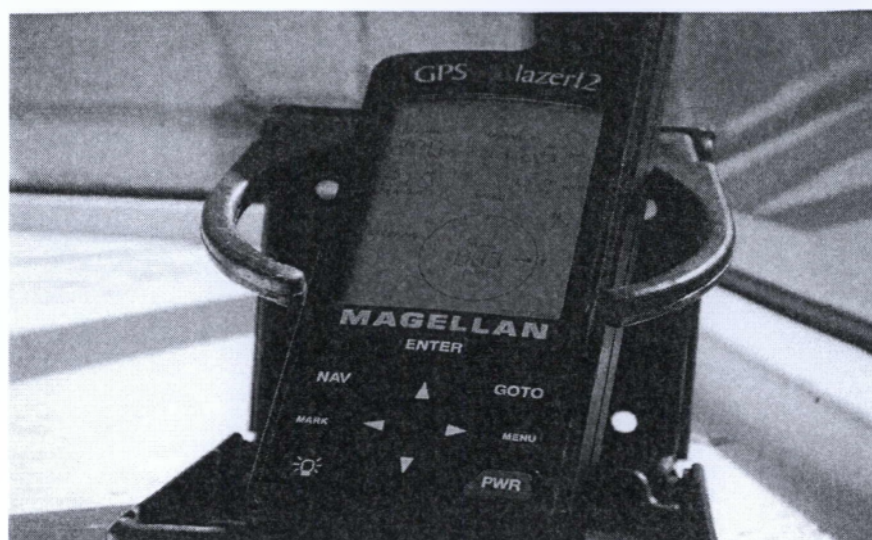
2.2.4.2 Συσκευή εισόδου / εξόδου (input / output device)

Η συσκευή I/O αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ του gps και του χρήστη. Υπάρχουν δυο τύποι συσκευών: οι εξωτερικές και οι ενσωματωμένες. Σε πολλές εφαρμογές η συσκευή I/O λειτουργεί ως μονάδα ελέγχου (CDU) δεδομένων. Οι περισσότεροι δέκτες χειρός έχουν ενσωματωμένες τις μονάδες CDU. Μερικοί τύποι συσκευών I/O είναι οι ARINC 429, MIL-STD-1553B, RS-232, RS-422 (Elliot D. Kaplan, 1996:71).

2.2.4.3 Κυρίως δέκτης

Οι βασικοί τύποι δεκτών που υπάρχουν σήμερα είναι:

- αυτοί που έχουν την δυνατότητα λήψης ψευδοαποστάσεων από τον C/A κώδικα,
- αυτοί που έχουν την δυνατότητα λήψης της φέρουσας συχνότητας και του C/A-κώδικα,
- αυτοί που έχουν την δυνατότητα λήψης του P-κώδικα,
- αυτοί που έχουν την δυνατότητα λήψης του Y-κώδικα



Εικόνα 2.2.4.3.1: Δέκτης GPS σε ναυτική χρήση

Δεκτές ψευδοαποστάσεων από τον C/A – κώδικα

Αυτοί οι τύποι δεκτών είναι συνήθως συσκευές χειρός. Τις χρησιμοποιούν οι περιηγητές, τα σκάφη αναψυχής κλπ.. Έχουν το μέγεθος κινητού. Μπορούν να είναι τετρακάναλοι ή και με περισσότερα κανάλια δέκτες εάν προορίζονται για εφαρμογές που προϋποθέτουν κίνηση (Holfmann - Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001: 21 - 23).

Δέκτες της φέρουσα συχνότητας και C/A – κώδικα

Οι δεκτές αυτοί εκτελούν παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων από τον C/A – κώδικα, από την φέρουσα συχνότητα L1. Διαθέτουν από 4 έως 12 κανάλια. Παραλλαγή του τύπου αυτού αποτελούν οι δέκτες που μπορούν να μετρούν επίσης και φάσεις της L2 με τεχνικές ανεξάρτητες του κώδικα ώστε να μειώνεται η ιονοσφαιρική επίδραση (Holfmann - Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001: 21 - 23).

P – κώδικα

Αυτοί οι τύποι δεκτών παρακολουθούν και τις δυο συχνότητες L1 / L2. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται είναι της τάξεως των μερικών cm για αποστάσεις 100 Km. Ένας από τους πρώτους δέκτες αυτού του τύπου κατασκευάστηκε το 1984 και ήταν ο TI-4100. Ο TI-4100 κατασκευάστηκε έχοντας περισσότερο στρατιωτικές προοπτικές παρά πολιτικές. Με το σύστημα Anti-spoofing οP – κώδικας αντικαταστάθηκε από τον άγνωστο Y – κώδικα (Holfmann - Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001:21 - 23).

Y – κώδικα

Αυτοί οι τύποι δεκτών προϋποθέτουν την πρόσβαση στον P – κώδικα παρά την εφαρμογή του συστήματος Anti-spoofing. Για να υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης, θα πρέπει να αποθηκευτεί σε κάθε κανάλι του δέκτη το AOC, στο οποίο όμως έχουν πρόσβαση μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ (Holfmann - Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001: 21 - 23).

2.2.4.4 Προενισχυτής

Δουλειά του προενισχυτή είναι να ελέγχει και να δίνει εντολές στον δέκτη μέσω των συχνοτήτων διαχείρισης.

2.2.4.5 Μονάδες τροφοδοσίας

Οι μονάδες τροφοδοσίας μπορεί να είναι είτε ενσωματωμένες είτε εξωτερικές είτε ένας συνδυασμός των δυο. Αλκαλικές ή μπαταρίες λιθίου χρησιμοποιούν οι ενσωματωμένες μονάδες δεκτών. Αεροπλάνα, πλοία,

τροχοφόρα, χρησιμοποιούν πλατφόρμες συσσωρευτών με την χρήση μετασχηματιστών και ρυθμιστών. Τις περισσότερες φορές βέβαια υπάρχει ένας εναλλακτικός συσσωρευτής σε περίπτωση διακοπής σύνδεσης με τον κεντρικό συσσωρευτή (Elliot D. Kaplan, 1996:71).

Επίσης οι δέκτες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κανάλια. Κάθε κανάλι παρακολουθεί το σήμα που εκπέμπει ένας δορυφόρος στην συχνότητα L1 ή L2, ενώ αποτελείται από τα ψηφιακά ηλεκτρονικά, την ραδιοσυχνότητα και το πρόγραμμα παρακολούθησης. Τα κανάλια μπορεί να είναι κανάλια συσχέτισης ή κανάλια τετραγωνισμού. Στα κανάλια τετραγωνισμού λαμβάνεται μόνο η φέρουσα συχνότητα. Υπάρχουν δυο ομάδες δεκτών: οι πολυ-κάναλοι, όπου κάθε κανάλι παρακολουθεί ένα δορυφόρο (έως 12 κανάλια), και οι ακολουθιακοί που διαθέτουν 1 ή 2 κανάλια τα οποία συνεχώς αλλάζουν και παρακολουθούν διαφορετικούς δορυφόρους. Βέβαια οι πολύ-κάναλοι δέκτες έχουν το μειονέκτημα του υψηλότερου κόστους και της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας, είναι όμως πιο γρήγοροι και αποδοτικοί γι' αυτό έχουν σχεδόν αντικαταστήσει πλήρως τους ακολουθιακούς (Μπαντέλας Α.Γ., Σαββαΐδης Π.Δ., Υφαντής Ι.Μ., Δούκας Ι.Δ., 1998:279).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

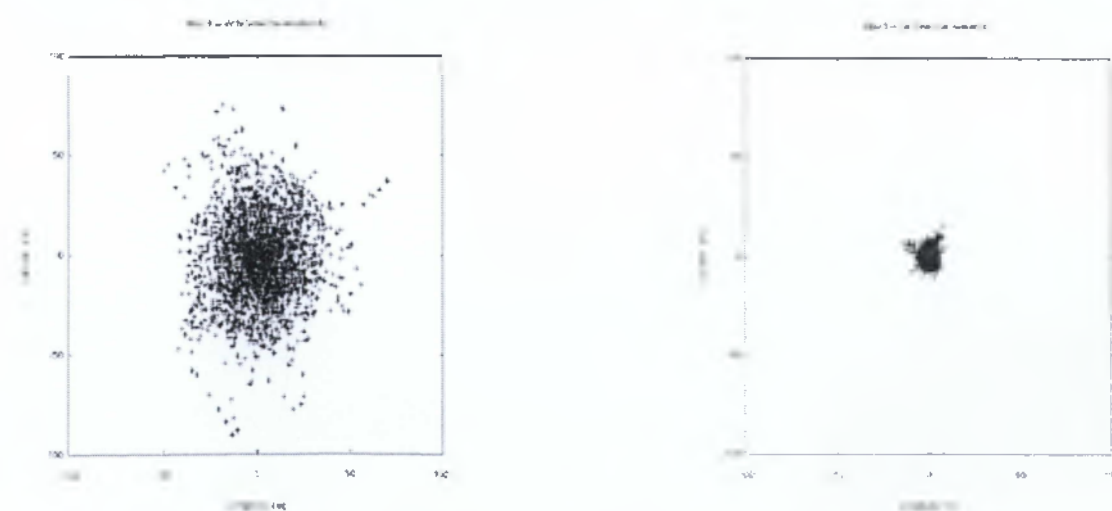
ΠΗΓΕΣ ΛΑΘΩΝ ΣΕ GPS

3.1 Επιλεκτική Διαθεσιμότητα

Το Αμερικάνικο Υπουργείο Αμύνης καθόρισε ότι παρέχοντας αυτής της τάξης την ακρίβεια στο κοινό, είναι εναντίον των συμφερόντων των Ηνωμένων Πολιτειών. Για αυτό τον λόγο το Υπουργείο εισήγαγε «εσκεμμένο» συστηματικό σφάλμα το οποίο υποβαθμίζει την ακρίβεια εντοπισμού θέσης στα 100 μέτρα. Αυτή η

υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος ονομάζεται "επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA)" και εφαρμόζεται παραποιώντας τα χρονόμετρα των δορυφόρων και μεταδίδοντας ανακριβή τροχιακή πληροφορία. Οι στρατιωτικοί δέκτες είναι εξοπλισμένοι με ειδικό "hardware" το οποίο εξαλείφει την επίδραση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας. Η επιλεκτική διαθεσιμότητα μπορεί να τεθεί On ή Off από τους επίγειους σταθμούς ελέγχου του GPS.

Από την 1η Μαΐου 2000, το Υπουργείο Αμύνης της Αμερικής έθεσε σε κατάσταση Off την Επιλεκτική Διαθεσιμότητα, με ανακοίνωση του εκπροσώπου Τύπου των Η.Π.Α. Σήμερα η ακρίβεια του GPS για εφαρμογές προς πολίτες είναι στην χειρότερη περίπτωση 7.8 μέτρα σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης. Η πραγματική ακρίβεια που μπορεί να πετύχουν οι χρήστες εξαρτάται από ατμοσφαιρικές συνθήκες και την ποιότητα των δεκτών και μπορεί να φτάσει και κάτω από τα 3 μέτρα οριζόντια ακρίβεια με χρήση υψηλής ποιότητας SPS δεκτών (<http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>).



Εικόνα 3.1.1: Οικόπεδο του προσδιορισμού θέσης με και χωρίς A.E

3.1.1 Γεωμετρία Δορυφόρων

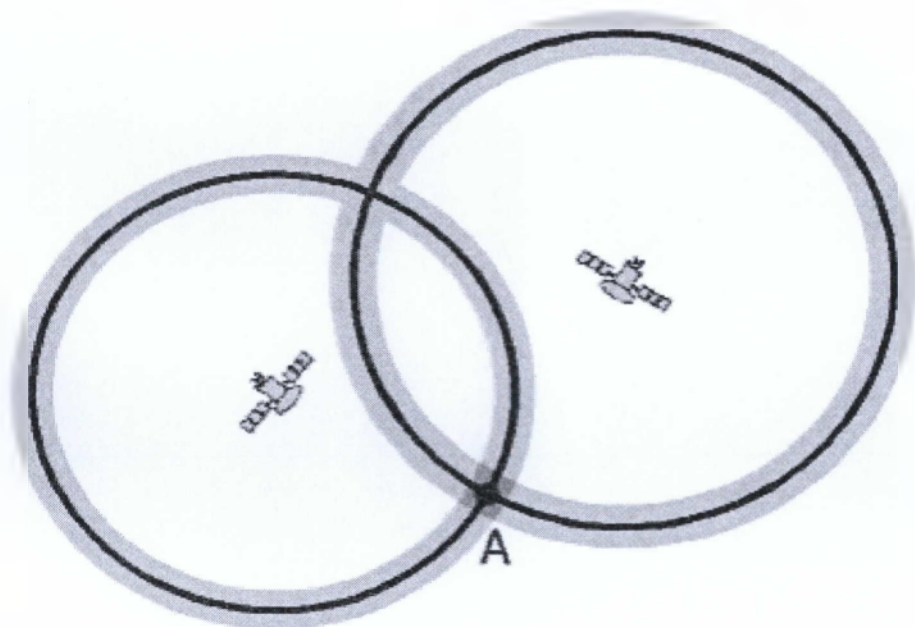
Ένας παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του GPS είναι η γεωμετρία των δορυφόρων. Με απλά λόγια, η γεωμετρική θέση των δορυφόρων είναι το σημείο που βρίσκεται ο καθένας σε σχέση με τους άλλους δορυφόρους, όπως φαίνεται από το GPS. Αν τώρα ένα GPS έχει στην εμβέλειά του τέσσερις δορυφόρους (που είναι αρκετοί για να δώσουν ένα ακριβές στίγμα) αλλά και οι τέσσερις είναι π.χ. βορειοδυτικά σε σχέση με το GPS, η γεωμετρία των δορυφόρων είναι πολύ κακή. Στην πραγματικότητα, το GPS μπορεί να μην είναι σε θέση να δώσει καν στίγμα. Αυτό συμβαίνει γιατί όλες οι μετρήσεις της απόστασης από όλους τους δορυφόρους προέρχονται από την ίδια διεύθυνση, ΒΔ. Δηλαδή, τα τριγωνομετρικά δεδομένα που λαμβάνει το GPS όσον αφορά την περιοχή στην οποία βρίσκεται το στίγμα μας είναι ασαφή, η περιοχή που ορίζεται από τις τιμές των αποστάσεων είναι πολύ μεγάλη έτσι ο ακριβής προσδιορισμός θέσης του GPS είναι αδύνατος.

Στην αντίθετη περίπτωση, με τέσσερις δορυφόρους στην εμβέλεια του GPS κατανεμημένους στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα, η ακρίβεια του στίγματος είναι η μέγιστη δυνατή. Η καλύτερη γεωμετρία των δορυφόρων είναι όταν αυτοί βρίσκονται ανά 90 μοίρες σε σχέση με το GPS. Το στίγμα μας βρίσκεται στην περιοχή που ορίζεται εκεί που τέμνονται οι διευθύνσεις της απόστασης από τους τέσσερις δορυφόρους, και η περιοχή αυτή είναι τώρα πάρα πολύ μικρή. Προσοχή λοιπόν, γιατί η ακρίβεια που δίνει κάθε κατασκευαστής για το GPS του, είναι θεωρητική και μόνο κάτω από βέλτιστες συνθήκες.

Η ακρίβεια του GPS επίσης είναι μικρότερη όταν κινούμαστε με μεγάλη ταχύτητα ή όταν βρισκόμαστε ανάμεσα σε ψηλά βουνά ή άλλα

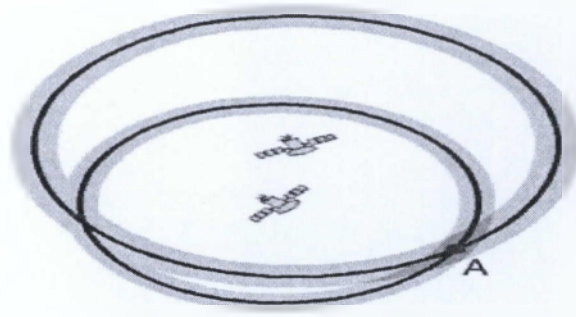
εμπόδια. Όταν το σήμα δεν φτάνει μέχρι το GPS λόγω των φυσικών εμποδίων, οι δορυφόροι υπολογίζουν τη θέση τους σε σχέση με τους υπόλοιπους και το GPS μπορεί τότε να καταλάβει εάν είναι σε θέση να δώσει ένα ακριβές στίγμα. Ένα καλό GPS μπορεί να δώσει ένδειξη όχι μόνο ποιοι δορυφόροι είναι εντός εμβέλειας και εν λειτουργία, αλλά και που ακριβώς βρίσκονται (αζιμούθιο και υψόμετρο), ώστε ο χρήστης του GPS να καταλάβει τι βαθμό αξιοπιστίας έχει το στίγμα που του δίνει το όργανο.

Το ακόλουθο γράφημα δείχνει τη δισδιάστατη περίπτωση



Εικόνα 3.1.1.1: Καλή γεωμετρική ευθυγράμμιση των δύο δορυφόρων

Αν οι δύο δορυφόροι είναι σε πλεονεκτική θέση, από την άποψη του δέκτη μπορεί να θεωρηθεί πως βρίσκονται σε μια γωνία περίπου 90° ο ένας από τον άλλο. Οι δυνατές θέσεις χαρακτηρίζεται από τους γκρι κύκλους. Το σημείο τομής A των δύο κύκλων είναι κάπως μικρό, λιγότερο ή περισσότερο τετραγωνικό πεδίου (μπλε), η καθοριστική στάση θα είναι αρκετά ακριβείς.



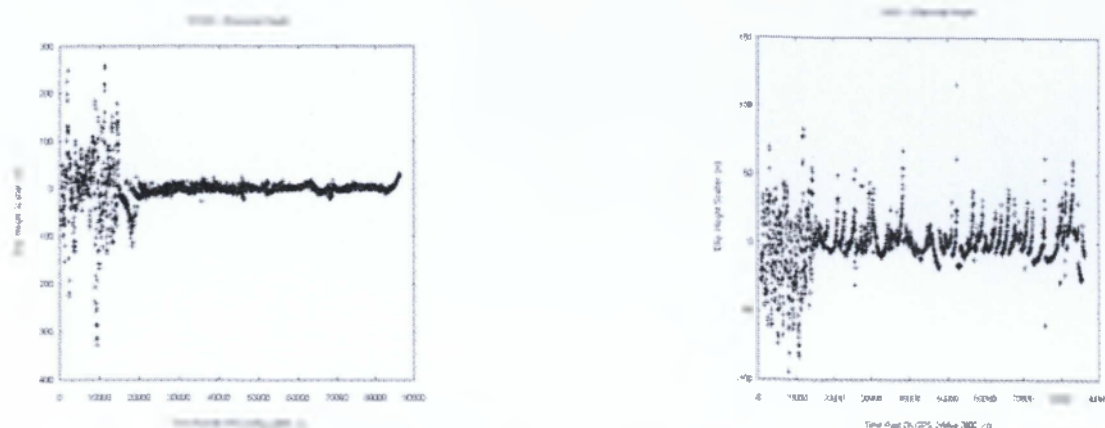
Εικόνα 3.1.1.2: Κακή γεωμετρική ευθυγράμμιση των δύο δορυφόρων

Από την άλλη, αν οι δορυφόροι περισσότερο ή λιγότερο τοποθετημένοι σε μία γραμμή από την άποψη του δέκτη, το επίπεδο της τομής των πιθανών θέσεων είναι σημαντικά μεγαλύτερο και επιμήκης. Ο προσδιορισμός της θέσης είναι λιγότερο ακριβής.

Η γεωμετρία των δορυφόρων είναι επίσης σημαντική όταν ο δέκτης χρησιμοποιείται σε οχήματα ή κοντά σε υψηλά κτήρια. Εάν μερικά από τα σήματα μπλοκάρονται, οι υπόλοιποι δορυφόροι καθορίζουν την ποιότητα του προσδιορισμού θέσης και εάν μια αποτύπωση θέσης είναι δυνατή. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε κτίρια κοντά σε παράθυρα. Εάν ένας προσδιορισμός θέσης είναι δυνατός, συνήθως δεν είναι πολύ ακριβής. Όσο μεγαλύτερη είναι η κρυμμένη επιφάνεια του ουρανού, το πιο δύσκολος είναι ο προσδιορισμός της θέσης.

Οι περισσότεροι δέκτες GPS όχι μόνο δείχνουν τον αριθμό λαμβανόμενων δορυφόρων, αλλά και τη θέση τους στο στερέωμα. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη να κρίνει, εάν ένας σχετικός δορυφόρος κρύβεται από ένα εμπόδιο και αν αλλάζοντας τη θέση για μερικά μέτρα θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ακρίβεια. Πολλά όργανα δηλώνουν την ακρίβεια των μετρούμενων τιμών, που ως επί το πλείστον βασίζονται σε

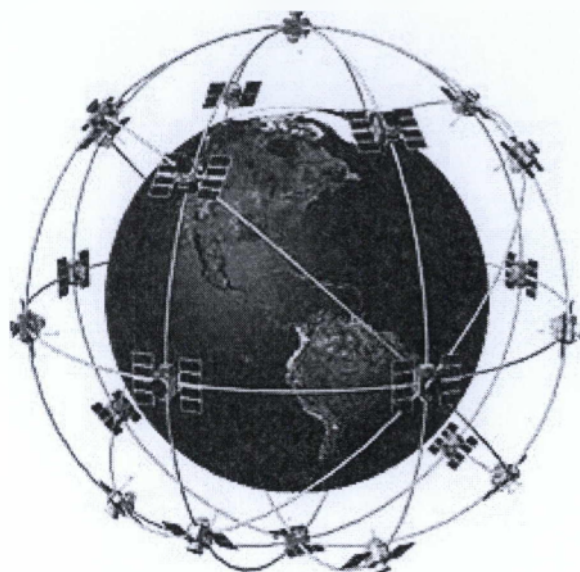
ένα συνδυασμό διαφορετικών παραγόντων (όπου ο κατασκευαστής δεν είναι πρόθυμος να αποκάλυψη).



Εικόνα 3.1.1.3: Σφάλμα κατά την εκτίμηση του ύψους σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη

3.1.2 Δορυφορική Γεωμετρία

Δορυφορική γεωμετρία είναι πολύ καλή αφού απόσταση μετρήσεις από όλες τις κατευθύνσεις. Από τον κοινό χώρο όπου οι τέσσερις απόσταση τέμνονται μετρήσεις είναι πολύ μικρότερη, πράγμα που σημαίνει ότι είμαστε πολύ πιο σίγουροι όπου η θέση μας είναι ακριβής. Σε αυτό το σενάριο, ακόμη και με SA, η ακρίβεια μας μπορεί να είναι στα πλαίσια των 100 ποδών, ή καλύτερη.



Εικόνα 3.1.2.1: δορυφορική γεωμετρία

Δορυφορική γεωμετρία γίνεται επίσης ένα θέμα κατά τη χρήση ενός δέκτη GPS σε κάποιο όχημα, κοντά ψηλά κτίρια, ή σε ορεινές περιοχές ή φαράγγι. Όταν GPS είναι σήματα της μπλοκαριστεί από πολλούς δορυφόρους, η σχετική θέση των υπόλοιπων δορυφόρων θα καθορίσει πόσο ακριβής η θέση GPS θα είναι (και ο αριθμός των υπόλοιπων δορυφόρων, θα καθορίσει εάν μία θέση μπορεί ακόμη να προσδιοριστεί). Καθώς όλο και περισσότερα του ουρανού εμποδίζεται από κτίρια ή το έδαφος, καθίσταται όλο και πιο δύσκολο να προσδιοριστεί μια θέση. Η ποιότητα του δέκτη GPS δείχνει όχι μόνο ποιοι δορυφόροι είναι διαθέσιμα για χρήση, αλλά όταν είναι στον ουρανό (αζιμούθιο και υψόμετρο), έτσι ώστε να μπορούν να αποφασίζουν εάν το σήμα ενός συγκεκριμένου δορυφόρου είναι να παρεμποδίζονται.

3.2 Σφάλματα και πηγές σφαλμάτων GPS

Διακρίνουμε μια σειρά σφαλμάτων, συστηματικού κυρίως χαρακτήρα (systematic errors), που επηρεάζουν τον προσδιορισμό θέσης με παρατηρήσεις GPS. Τα τυχαία σφάλματα (random errors), που προφανώς είναι αναπόφευκτα, κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, ονομάζονται συνήθως ως θόρυβος (noise, white noise).

Τα σφάλματα GPS μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

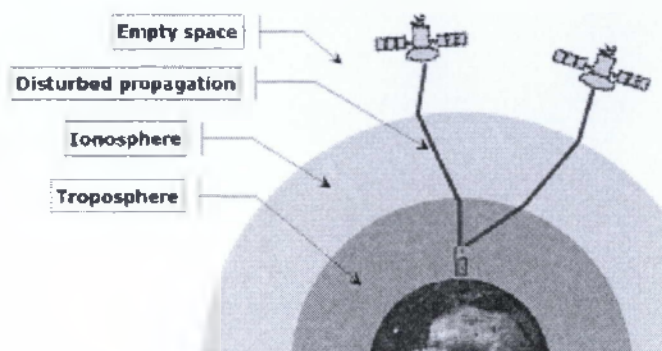
✦σφάλματα που σχετίζονται με τους δορυφόρους: το σφάλμα της δορυφορικής εφημερίδας ή τροχιάς, το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου και το σφάλμα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας

✦σφάλματα που σχετίζονται με τους δέκτες: το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη, το σφάλμα της μεταβολής του κέντρου φάσης της κεραίας, το τυχαίο σφάλμα παρατήρησης ή ο θόρυβος, το σφάλμα εξαιτίας της αβεβαιότητας του γνωστού σημείου κατά την επίλυση μιας βάσης

✦σφάλματα που σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος: τα ατμοσφαιρικά σφάλματα (τροποσφαιρικό και ιονοσφαιρικό σφάλμα), το σφάλμα πολυανάκλασης, το σφάλμα της ολίσθησης των κύκλων.

Πραγματοποιήθηκε σημαντική προσπάθεια για τον έλεγχο και μοντελοποίηση των σφαλμάτων GPS. Η εκτίμησή τους πριν από τη συνόρθωση δεν μπορεί να γίνει πάντα με την ακρίβεια που απαιτείται για το σχετικό προσδιορισμό θέσης. Η μοντελοποίησή τους, αν και ικανοποιητική στις περισσότερες περιπτώσεις, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των άγνωστων παραμέτρων στα μοντέλα συνόρθωσης και τη μείωση της ισχύος της λύσης. Πέρα από τα παραπάνω σφάλματα, τον προσδιορισμό θέσης και χρόνου επηρεάζει και η γεωμετρική μορφή του δορυφορικού σχηματισμού.

3.2.1 Ατμοσφαιρικές επιδράσεις



Εικόνα 3.2.1.1: Επηρεασμένος διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από τη γήινη ατμόσφαιρα

Μια άλλη πηγή της ανακρίβειας είναι η μειωμένη ταχύτητα της διάδοσης στην τροπόσφαιρα και ιονόσφαιρα. Ενώ ραδιοσήματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός στο διάστημα, ο διαδοσή τους στην ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα είναι πιο αργή.

Στην ιονόσφαιρα σε ύψος 80 έως 400 χιλιόμετρα, μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων και θετικών φορτισμένων ιόντων σχηματίζονται από την ιονίζουσα δύναμη του ήλιου. Τα ηλεκτρόνια και ιόντα συγκεντρώνονται σε τέσσερα αγωγίμα στρώματα στην ιονόσφαιρα (D-, E-, F1-και F2-layer). Αυτά τα στρώματα διαθλούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα από τους δορυφόρους, με αποτέλεσμα μια αυξημένου χρόνου εκτέλεσης των σημάτων.

Αυτά τα λάθη συνήθως διορθώνονται από το δέκτη με υπολογισμούς. Οι τυπικές διακυμάνσεις της ταχύτητας, περνώντας στην ιονόσφαιρα, για χαμηλές και υψηλές συχνότητες είναι γνωστές για

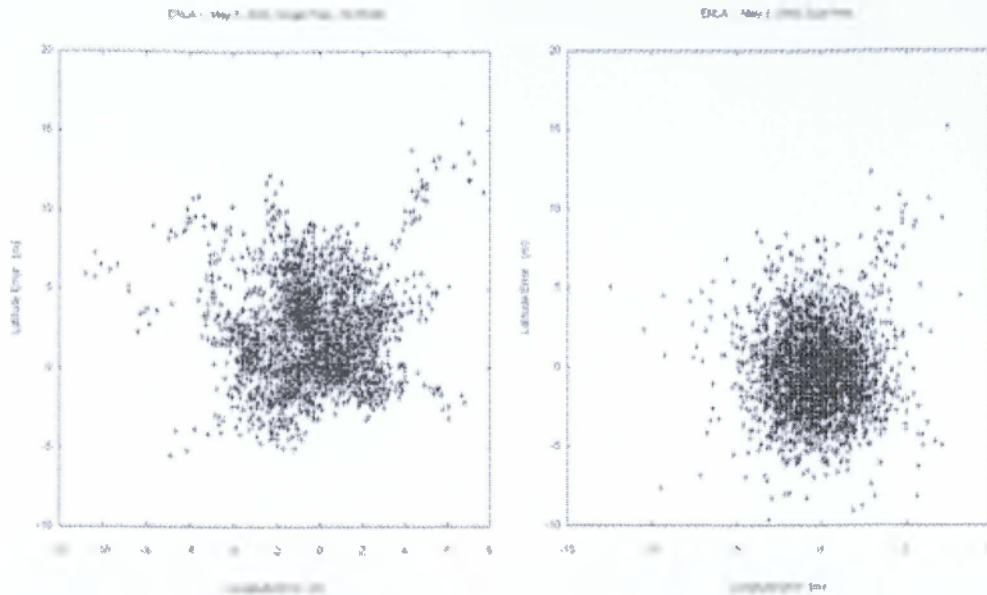
κανονικές συνθήκες. Οι Διατριβές διακυμάνσεως λαμβάνονται υπόψη για όλους τους υπολογισμούς των θέσεων. Ωστόσο αστικοί δέκτες δεν είναι σε θέση να διορθώνουν απρόβλεπτες αλλαγές χρόνου εκτέλεσης, για παράδειγμα, από ισχυρούς ηλιακούς ανέμους.

Είναι γνωστό ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα επιβραδύνονται αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της συχνότητας τους ($1 / f^2$) καθώς διασχίζουν την ιονόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με χαμηλότερες συχνότητες επιβραδύνονται περισσότερο από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με υψηλότερες συχνότητες. Οι στρατιωτικοί δέκτες GPS κάνουν χρήση των σημάτων και των δύο συχνοτήτων (L1 και L2), οι οποίοι επηρεάζονται κατά διαφορετικό τρόπο από την ιονόσφαιρα και είναι σε θέση να εξαλείψουν μια άλλη ανακρίβεια με υπολογισμό.

Το τροποσφαιρικό αποτέλεσμα είναι ένας επιπλέον παράγον αυξάνοντας το χρόνο εκτέλεσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την διάθλαση. Οι λόγοι για την διάθλαση είναι οι διαφορετικές συγκεντρώσεις υδρατμών στην τροπόσφαιρα, που προκαλούνται από διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Το λάθος που προκαλείται με αυτόν τον τρόπο είναι μικρότερο από τον ιονοσφαιρικό λάθος, αλλά δεν μπορεί να εξαλειφθεί με υπολογισμό. Μπορεί μόνο κατά προσέγγιση να υπολογισθεί από έναν γενικού τύπου υπολογισμό.

Τα ακόλουθα δύο διαγράμματα απεικονίζουν το ιονοσφαιρικό σφάλμα. Και τα δύο διαγράμματα έχουν περίπου την ίδια κλίμακα (Αριστερά: γεωγραφικό πλάτος -15 έως +10 μ. μ., μήκος -10 m έως +20 m, Δεξιά: γεωγραφικό πλάτος -12 m έως 8 μ., μήκος -10 m έως +20 m). Το δεξιό γράφημα δείχνει σαφώς λιγότερες ακραίες τιμές, ενώ η μέση

ακρίβεια της θέσης για το 95% των στοιχείων δεν είναι σημαντικά ενισχυμένη από τη διόρθωση του ιονοσφαιρικού λάθους.



Εικόνα 3.2.1.2: Προσδιορισμού θέσης χωρίς και με την ατμοσφαιρική διορθώσεις με τη χρήση της δεύτερης συχνότητας σε δέκτη δύο συχνοτήτων.

3.2.2 Σχετικά αποτελέσματα

Το τμήμα που ακολουθεί, μας παρουσιάζει μια περιεκτική εξήγηση της θεωρίας της σχετικότητας. Στην κανονική ζωή είμαστε αρκετά απληροφόρητοι σχετικά με τη θεωρίας της σχετικότητας. Ωστόσο, έχει μια επιρροή σε πολλές διεργασίες, μεταξύ των οποίων και η ορθή λειτουργία του συστήματος GPS. Όπως έχουμε ήδη μάθει, ο χρόνος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την πλοήγηση GPS και πρέπει να έχει ακρίβεια 20 έως 30 nanoseconds για να εξασφαλιστεί η αναγκαία ακρίβεια. Κατά συνέπεια, η γρήγορη κίνηση των δορυφόρων (περίπου 12000 χλμ/ώρα) πρέπει να

ληφθούν υπόψη. Για δορυφόροι κινούνται με μια ταχύτητα των 3874 m / s, ρολόγια τρέχει πιο αργά όταν αντιμετωπίζεται από τη γη. Αυτή η σχετιστική χρονική διαστολή οδηγεί σε μια ανακρίβεια του χρόνου περίπου 7,2 microsecond ανά ημέρα (1 microsecond = 10^{-6} δευτερόλεπτα).

Η θεωρία της σχετικότητας λέει επίσης ότι όσο πιο αργά κινείται ο χρόνος τόσο ισχυρό είναι το πεδίο της βαρύτητα. Για έναν παρατηρητή στην επιφάνεια της γης το ρολόι στο σκάφος ενός δορυφόρου τρέχει γρηγορότερα (δεδομένου ότι ο δορυφόρος σε 20000 χλμ ύψους εκτίθεται σε έναν πολύ πιο αδύνατο τομέα της βαρύτητας από τον παρατηρητή. Και αυτή η δεύτερη επίδραση είναι έξι φορές ισχυρότερη από τη χρονική διαστολή που εξηγείται ανωτέρω.

Συνολικά, τα ρολόγια των δορυφόρων φαίνεται να τρέχουν πιο γρήγορα. Η μετατόπιση του χρόνου στον παρατηρητή στη γη θα ήταν περίπου 38 χιλιοστά του δευτερολέπτου ανά ημέρα και θα αποζημιώνει ένα συνολικό λάθος περίπου 10 χλμ ανά ημέρα. Προκειμένου τα εν λόγω σφάλματα να διορθωθούν συνεχώς, τα ρολόγια των δορυφόρων έχουν οριστεί σε 10,229999995453 Mhz αντί των 10,23 Mhz, αλλά λειτουργούν σαν να είχαν 10,23 MHz. Με αυτό το τέχνασμα το σχετικιστικό επιπτώσεις αντισταθμίζονται μια για πάντα..

Υπάρχει και μια άλλη σχετικό αποτέλεσμα, που δεν θεωρείται κανονικό για τον προσδιορισμό θέσης από GPS. Λέγεται Sagnac-Effect και προκαλείται από την κίνηση του παρατηρητή στην επιφάνεια της γης, που επίσης κινείται με ταχύτητα έως και 500 m / s (στον ισημερινό) λόγω της περιστροφής του πλανήτη. Η επιρροή αυτού του αποτελέσματος είναι πολύ μικρή και περιπλέκει τον υπολογισμό δεδομένου ότι εξαρτάται από τις οδηγίες του κινήματος. Ως εκ τούτου, μελετάται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

Τα σφάλματα του συστήματος GPS, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι επιμέρους τιμές δεν είναι σταθερές αξίες, αλλά υπόκεινται σε διακυμάνσεις. Όλοι οι αριθμοί είναι κατά προσέγγιση .

Ιονοσφαιρική επίδραση	± 5 μέτρα
Μετατοπίσεις στις δορυφορικές τροχιές	$\pm 2,5$ μέτρο
Λάθη των ρολογιών των δορυφόρων »	± 2 μέτρων
Πολλαπλών διαδρομών επίδραση	± 1 μέτρο.
Τροποσφαιρική επίδραση	$\pm 0,5$ μέτρο
Υπολογισμός στρογγυλοποίησης λαθών	± 1 μέτρο.

Διορθώσεις με συστήματα όπως το WAAS και το EGNOS, τα οποία μειώνουν κατά κύριο λόγο ιονόσφαιρας αποτελέσματα, αλλά επίσης και την αύξηση τροχιές και ρολοί σφαλμάτων, το συνολικό σφάλμα μειώνεται σε περίπου $\pm 3 - 5$ μέτρα. (<http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>)

3.3 Βελτίωση της ακρίβειας

3.3.1 Διαφορικό GPS (DGPS)

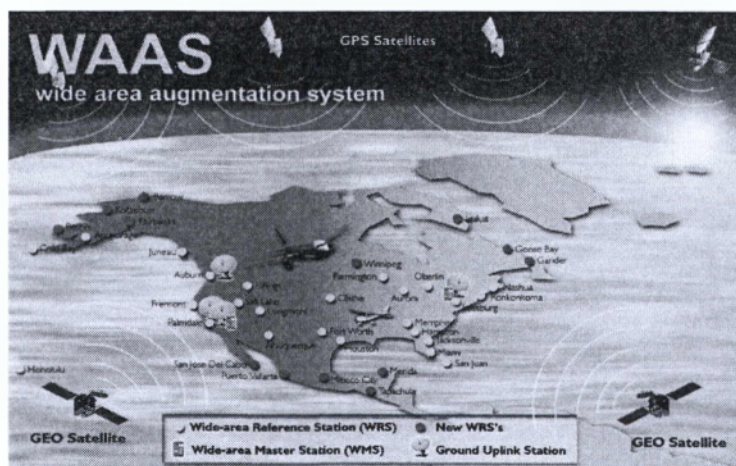
Στις DGPS εφαρμογές αν οι διορθώσεις εκπέμπονται από τον "base" δέκτη στον "rover" σε πραγματικό χρόνο (μέσω ενός radio-link), τότε η μέθοδος εντοπισμού ονομάζεται real-time DGPS κατά την οποία μπορούμε να πάρουμε ακριβή αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η μέθοδος απαιτείται για εφαρμογές χάραξης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

Η DGPS μεθοδολογία βασίζεται στις μετρήσεις των αποστάσεων προς τους δορυφόρους με χρήση του κώδικα του φέροντος κύματος. Οι μετρήσεις με χρήση του κώδικα είναι σαν μια μετροταινία η οποία έχει διαβαθμίσεις μέτρου και μόνο. Οι διαβαθμίσεις εμφανίζονται αυτόματα όταν εγκλωβίσουμε το σήμα των δορυφόρων με τον δέκτη μας, επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις ως προς τους δορυφόρους άμεσα αλλά όχι με μεγάλη ακρίβεια.

3.3.2 Τα συστήματα εκπομπής διορθωτικών σημάτων WAAS και EGNOS

Τα συστήματα WAAS (Ευρύ σύστημα Αύξηση Χώρου) και EGNOS αποτελούν την Αμερικανική και Ευρωπαϊκή προσπάθεια αντιστοίχως για την βελτίωση της ακρίβειας των σημάτων του GPS. Το σύστημα των δορυφόρων που εκπέμπουν σήματα GPS ελέγχεται από τις Αμερικανικές ένοπλες δυνάμεις, και μέχρι τα τέλη του 2000 η πολιτική του χρήση περιοριζόταν σε **ακρίβεια 100m (SA)**. Όταν αναφερόμαστε σε ακρίβεια 100m εννοούμε ότι στο 95% των περιπτώσεων το σήμα που λαμβάνουμε στον δέκτη του GPS μας θα βρίσκεται μέσα σε ένα κύκλο με ακτίνα 100m από την πραγματική του θέση. Με την κατάργηση του Selective Availability η ακρίβεια του στίγματος για πολιτική χρήση έχει **βελτιωθεί στα 15-20m** περίπου.

Τα συστήματα WAAS και EGNOS με την χρήση επίγειων και δορυφορικών σταθμών διόρθωσης των σημάτων βελτιώνουν κατά πολύ την ακρίβεια των σημάτων GPS, στα **επίπεδα των 3-5m**. Το σύστημα WAAS λειτουργεί ήδη στις ΗΠΑ και το ευρωπαϊκό EGNOS έχει τεθεί σε λειτουργία από **τέλη του 2004**.



Εικόνα 3.3.2.1: Η γενική θέση των 38 σταθμών αναφοράς, τους 2 σταθμούς πλοιάρχων, και τους τέσσερις σταθμούς εδάφους

Τα σήματα WAAS και EGNOS θα είναι **συμβατά το ένα με το άλλο**, και έτσι οι συσκευές που υποστηρίζουν σήμερα το WAAS Θα μπορούν με την κατάλληλη αναβάθμιση του εσωτερικού τους λογισμικού να ανταποκρίνονται και στην λήψη των σημάτων του EGNOS.

Προκειμένου να ξεκαθαρίσουμε μερικές από τις προσδοκίες των χρηστών του συστήματος WAAS και EGNOS πρέπει να επισημάνουμε τα εξής:

Τα συστήματα αυτά έχουν σχεδιασθεί κατ' αρχήν για βελτίωση της ακρίβειας στίγματος για την ναυσιπλοΐα και την αεροπλοΐα. Επομένως η χρήση τους προϋποθέτει την ύπαρξη **επαρκούς ανοικτού ορίζοντα**, όπως στο πέλαγος για τα σκάφη ή στο αέρα για τα αεροπλάνα. Η χρήση τους σε περιοχές με σημαντικά εμπόδια του οπτικού ορίζοντα, όπως π.χ. μέσα στις πόλεις ή σε πυκνά δάση, ελαχιστοποιεί ή αδρανοποιεί τελείως την δυνατότητα λήψης των διορθωτικών σημάτων WAAS και EGNOS.

Επισκόπηση του Τυπικές ακρίβειες

Χαρακτηριστική ακρίβεια του GPS διαφορικού (DGPS)	± 3 έως 5 Μετρητής
Χαρακτηριστική ακρίβεια με WAAS / EGNOS	± 1 έως 3 Μετρητής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εφαρμογές

4. Εφαρμογές του συστήματος GPS

Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS) σχεδιάστηκε αρχικά για στρατιωτικές και κατασκοπευτικές εφαρμογές κατά την περίοδο της κορύφωσης του Ψυχρού Πολέμου, τη δεκαετία του 1960. Ωστόσο, από τη δεκαετία του 1980 και ύστερα, το GPS είναι διαθέσιμο για πολιτικές εφαρμογές. Σήμερα, εκατομμύρια χρηστών βασίζονται στη δορυφορική πλοήγηση για να προσδιορίζουν τη διαδρομή τους από το σημείο Α προς το σημείο Β και για πολλές άλλες εφαρμογές εκτός από αυτό.

Η πλέον προφανής εφαρμογή GPS είναι η δορυφορική πλοήγηση για οχήματα, αεροσκάφη και πλοία. Παρέχει σε όλους όσοι διαθέτουν ένα λήπτη GPS τη δυνατότητα να προσδιορίζουν τη ταχύτητα και τη θέση τους στο χάρτη, στον αέρα ή στη θάλασσα, με εξαιρετική ακρίβεια. Οι οδηγοί μπορούν να χρησιμοποιούν φορητές συσκευές δορυφορικής πλοήγησης αυτοκινήτου για να ακολουθήσουν μία διαδρομή, να εντοπίζουν εναλλακτικά δρομολόγια για την παράκαμψη κυκλοφοριακών προβλημάτων και με το εγκαταστημένο πρόσθετο λογισμικό να λαμβάνουν ενημερώσεις και προειδοποιήσεις σχετικές με τις θέσεις καμερών ασφάλειας.

Το GPS χρησιμοποιείται από μία πληθώρα διαφορετικών χρηστών. Άτομα που πεζοπορούν και άλλοι φυσιολάτρες μπορούν να χρησιμοποιούν δέκτες GPS για να ελέγχουν κατά πόσον ακολουθούν την επιλεγμένη

διαδρομή και να επισημαίνουν σημεία συνάντησης κατά μήκος αυτής.

4.1 Οδικές εφαρμογές

Τα Κινητά Συστήματα Χαρτογράφησης, καθότι αφορούν σε δυναμική απόκτηση δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε οδικές εφαρμογές, όπως είναι

(Rongxing Li, 1996):

- ο η απογραφή οδικών πινακίδων και οδικών σημάνσεων,
- ο η καταγραφή παραβιάσεων ορίων ταχύτητας και στάθμευσης,
- ο η παραγωγή βάσεων δεδομένων οδικών δικτύων,
- ο ο έλεγχος της κατάστασης της επιφάνειας του οδοστρώματος με τη βοήθεια της τεχνολογίας των *laser* κ.ά.

Η χρήση της τεχνολογίας των Κινητών Συστημάτων Χαρτογράφησης σε οδικές εφαρμογές παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Η απόκτηση των δεδομένων πραγματοποιείται χωρίς την ανάγκη διακοπής της κυκλοφορίας για κανονικές ταχύτητες, για παράδειγμα της τάξης, των 70 km/h. Επίσης, εφόσον τα δεδομένα συλλέγονται και επεξεργάζονται σε μικρό χρονικό διάστημα, είναι εφικτές οι συχνές και επαναλαμβανόμενες οδικές χαρτογραφήσεις. Αντικείμενα όπως οδικά σήματα, κολώνες φωτισμού, γέφυρες, οδικές διαγραμμίσεις, κλπ., συνήθως αναπαρίστανται ως σαφείς οντότητες στις ακολουθίες των εικόνων και επομένως διακρίνονται εύκολα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη δόμηση μίας χωρικής βάσης δεδομένων.

4.1.2 Αυτόματη εξαγωγή ορθογώνιων οδικών σημάνσεων

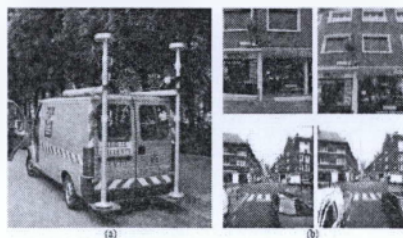
Η εργασία που παρουσιάζεται ως παράδειγμα στη συνέχεια, αναφέρεται σε έναν αυτόματο αλγόριθμο επανακατασκευής διαφορετικών τύπων ορθογώνιων οδικών σημάνσεων από στερεοζεύγη ενός Κινητού Συστήματος Χαρτογράφησης (B. Soheilian et al, 2007). Οι οδικές σημάνσεις αποτελούν χρήσιμα χαρακτηριστικά για την πλειονότητα των αστικών δρόμων, το δε μέγεθος και το σχήμα τους υπόκεινται σε αυστηρές προδιαγραφές. Στην αναφερόμενη εργασία, η επανακατασκευή οδικών σημάνσεων πραγματοποιείται με τη συνταύτιση οδικών σημάνσεων, που προέρχονται από επίγειες εικόνες ενός *MMS*, με τις ίδιες σημάνσεις που προέρχονται από αεροφωτογραφίες.

Οι οδικές σημάνσεις αποτελούν, εκτός από τα όρια των δρόμων, τα μοναδικά χαρακτηριστικά που μπορούν να προσδιορίσουν έναν δρόμο με ακρίβεια μερικών εκατοστών και να προσφέρουν χρήσιμη πληροφόρηση για τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας και το πλάτος τους. Επιπλέον, υπάρχει μία αυξανόμενη ανάγκη για βάσεις δεδομένων που να περιέχουν τέτοια στοιχεία, για χρήσεις σε εφαρμογές αυτόνομης πλοήγησης και συστήματα οδηγικής αρωγής.

4.1.2.1 Συστατικά του χρησιμοποιούμενου Κινητού Συστήματος Χαρτογράφησης

Το χρησιμοποιηθέν Κινητό Σύστημα Χαρτογράφησης ονομάζεται *Stereopolis* και αναπτύχθηκε στο εργαστήριο *MATIS* του *Institut Geographique National*. Περιλαμβάνει τρία στερεοσκοπικά ζεύγη ψηφιακών μηχανών ανάλυσης 4000×4000 pixels. Οι δύο οπίσθιες κάμερες σχηματίζουν

μία οριζόντια στερεοσκοπική βάση (1.5 m), επιτρέποντας την στερεο-απόδοση αστικών χαρακτηριστικών (στύλων φωτισμού, φωτεινών σηματοδοτών, οδικών σημάτων, δέντρων, κλπ.), ενώ οι δύο κατακόρυφες βάσεις (1 m), μία σε κάθε πλευρά του οχήματος, παρέχουν λήψεις των προσόψεων των κτιρίων και στις δύο πλευρές του δρόμου. Οι έξι φωτομηχανές είναι συγχρονισμένες με ακρίβεια 10μs και παρέχουν πολύ υψηλή ποιότητα εικόνων (SNR=300) με δυναμική ταχύτητα 12 bits, που είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση των αστικών μεταβολών του φωτισμού και των σκιάσεων. Το σύστημα είναι επιπλέον εξοπλισμένο με δύο κεραίες GPS. Τα εισαγόμενα στον αλγόριθμο επανακατασκευής οδικών σημάτων είναι τα στερεοζεύγη, που παρέχονται από την οριζόντια βάση του *Stereopolis*, στην πλήρη τους ανάλυση (Εικόνα 6.1 (b)). Η βαθμονόμηση των φωτομηχανών (εστιακή απόσταση, πρωτεύον σημείο και πολυωνυμικοί συντελεστές ακτινικής διαστρόφης) και του διανύσματος εκκεντρότητας των βάσεων υπολογίζονται *a priori* και θεωρούνται σταθερά.



Εικόνα 4.1.2.1.1: Οι εικόνες που αποκτώνται από τις κατακόρυφες και τις οριζόντιες (κάτω) βάσεις.

Στο σύστημα *Stereopolis* η εικόνα είναι το βασικό υποσύστημα για την εκτίμηση της σχετικής και απόλυτης θέσης, ενώ το *GPS* παρέχει μία πολύ προσεγγιστική αρχική επίλυση. Η γεωαναφορά παρέχεται μέσω ενός φωτοτριγωνισμού με δέσμες, που συνδυάζει μετρήσεις από εικόνες (σημεία σύνδεσης), μετρήσεις *GPS* με τις αβεβαιότητές τους και γεωμετρικές σχέσεις σε αντικείμενα επίγειου ελέγχου: σημεία τομής οριζόντιων και κάθετων γραμμών και ακριβείς οδικές γραμμές (π.χ. διαβάσεις πεζών), που προέρχονται από μία εξωτερική βάση δεδομένων. Ο σκοπός είναι η επίτευξη μιας ποιότητας γεωαναφοράς, που να επιτρέπει μετρήσεις εικόνων στις τρεις

διαστάσεις με σχετική και απόλυτη ακρίβεια εκατοστού.

4.1.2.2 Συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας

Η διαδικασία, που ακολουθείται στην περιγραφόμενη εφαρμογή, αποτελείται από **τρία βήματα**:

(α) αρχικά πραγματοποιείται **επανακατασκευή** των αλυσίδων των τρισδιάστατων ακμών (*3D edge chain reconstruction*) μέσω ενός δυναμικού προγράμματος βελτιστοποίησης της συνταύτισης ομόλογων επιπολικών γραμμών (*matching conjugate epipolar lines*),

(β) στη συνέχεια μέσω ενός βήματος **εντοπισμού** (*roadmark detection*) αναγνωρίζεται μία υπογραφή διακεκομμένων γραμμών (*dashed-line signature*) και παρέχεται ένα σύνολο υποψήφιων ευθύγραμμων τμημάτων και

(γ) τέλος μέσω ενός βήματος **μοντελοποίησης** (*strip montelling*) αναδομείται κατάλληλα κάθε λωρίδα των εντοπιζόμενων διακεκομμένων γραμμών.

Το βήμα της **επανακατασκευής**, που βασίζεται στην συνταύτιση των ακμών μεταξύ των στερεο-εικόνων συνοψίζεται στα εξής:

- Εντοπισμός ακμών σε κάθε εικόνα
- Περιορισμός του παραθύρου συνταύτισης σε μία περιοχή γύρω από το δρόμο
- Χρήση του βαθμού συσχέτισης για τον υπολογισμό της αρχικής τιμής συνταύτισης
- Τελική τιμή συνταύτισης, που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη δομική συνέχεια
- Συνταύτιση με ελαχιστοποίηση της συνολικής τιμής με τη χρήση δυναμικού προγραμματισμού
- Τελικά, προσδιορισμός μίας ομάδας αλυσίδων τρισδιάστατων ακμών, από την οποία με μία διαδικασία πολυγωνοποίησης εκτιμώνται τα γραμμικά

τμήματα.

Κατά το βήμα του **εντοπισμού** των οδικών σημάνσεων γίνεται προσπάθεια για τον εντοπισμό των τεσσάρων γωνιών κάθε λωρίδας. Επίσης, αν μία μη λωρίδα εμποδίζεται μερικώς από αυτοκίνητα ή πεζούς, ο εντοπισμός αποτυγχάνει και τότε η λύση είναι η εύρεση κάθε ζεύγους παράλληλων πλευρών και η ανακατασκευή των γωνιών με τη διασταύρωση των πλευρών των ακμών. Προκειμένου να περιοριστεί η πολυπλοκότητα, όλα τα ανακατασκευασμένα γραμμικά τμήματα προβάλλονται σε έναν περίπου επίπεδο δρόμο και το βήμα του εντοπισμού πραγματοποιείται στο διδιάστατο χώρο. Το αποτέλεσμα είναι υποψήφιες ομάδες γραμμικών τμημάτων.

Το βήμα της **μοντελοποίησης** αποτελείται από δύο βασικές εργασίες: (α) τη μοντελοποίηση των δύο μεγάλων πλευρών μίας λωρίδας σχήματος παραλληλόγραμμου, εφόσον οι υποψήφιες λωρίδες ικανοποιούν το γνωστό μέγεθος και (β) τη βελτίωση του μοντέλου με την αναζήτηση μη ανακατασκευασμένων εγκάρσιων πλευρών (Εικόνα 6.3).

4.1.2.3 Εκτίμηση αποτελεσμάτων

Για την εκτίμηση ορθότητας και ακρίβειας του αλγορίθμου πραγματοποιούνται δύο ειδών έλεγχοι: (α) εκτίμηση της γεωμετρικής ακρίβειας με τοπογραφικές μεθόδους, ακρίβειας μισού εκατοστού, με τον υπολογισμό της τιμής του *RMS* για τις ανασκευασμένες συντεταγμένες των οδικών σημάνσεων και (β) **εκτίμηση πληρότητας**, όπου συνυπολογίζονται οι επιτευχθέντες εντοπισμοί, η ποιότητά τους και οι λάθος εντοπισμοί (*false alarm rates*).

Η γεωμετρική ακρίβεια της μεθόδου, για όλες τις ανακατασκευασμένες λωρίδες διακεκομμένων γραμμών, αντιστοιχεί περίπου σε 2 cm. Για την εκτίμηση πληρότητας, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται σε μία ομάδα 150

διαδοχικών στερεοζευγών ανάλυσης 4000×4000 *pixels* και παρέχει ευοίωνα αποτελέσματα, με ένα βαθμό εντοπισμού μεγαλύτερο του 86%.

Ο αλγόριθμος και η διαδικασία, που περιγράφηκε, είναι αρκετά γενικός και μπορεί να εφαρμοστεί στην επανακατασκευή και άλλων επίπεδων παραλληλογράμμων (π.χ. παραθύρων) και να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή μιας πλήρους βάσης δεδομένων οδικών σημάνσεων για χρήσεις ακριβούς γεωαναφοράς *MMS* και αυτόνομων εργασιών πλοήγησης.

4.1.2 Άλλες εφαρμογές

Οι εφαρμογές των *MMS* εκτείνονται και σε άλλους τομείς εκτός από τις αυστηρά χαρτογραφικές εφαρμογές. Έτσι, λόγω του ότι μπορούν να καλύψουν ταχύτατα μεγάλες περιοχές, διευκολύνουν την παραγωγή **μεγάλης κλίμακας τρισδιάστατων μοντέλων**, που είναι χρήσιμα σε εφαρμογές στρατιωτικές, τουριστικές κλπ. Αυτή η εργασία γίνεται περισσότερο αποδοτική όταν το *MMS* συνδυάζει σαρωτές *laser* με μηχανές λήψης εικόνων (*frame imagers*). Αξίζει να αναφερθεί ότι το σύστημα *Stereopolis* παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές για την **ανακατασκευή** πολύ λεπτομερούς **γεωμετρίας προσόψεων** και υψής κτιρίων.

Οι γεωαναφερμένες εικόνες ενός *MMS* μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και αυτόνομα, ακόμα και χωρίς την εξαγωγή επιπρόσθετης χωρικής πληροφορίας από αυτές. Για παράδειγμα, σε εφαρμογές διαδικτύου, όταν κατά την διαδικασία αναζήτησης κάποιας επιχείρησης από το χρήστη, παρέχεται και η όψη του κτιρίου της επιχείρησης.

4.1.3 Εφαρμογές στη ναυσιπλοΐα

Το GPS είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των ναυτικών που κάνουν υπερατλαντικά ταξίδια ακόμα και στη χρήση κάποιων απλών ψαράδων ή αλιευτικών που κινούνται εντός στενών ορίων του πελάγους. Το GPS plotter είναι ένα βυθόμετρο που έχει εξυπηρετήσει ιδιαίτερα τους ανθρώπους που ταξιδεύουν και δουλεύουν στην θάλασσα. Κάνει ευκολότερη την εύρεση πορείας και την ασφάλεια αυτών που ταξιδεύουν.

Μπορεί να δει το βάθος του βυθού της θάλασσας, την κίνηση ψαριών στο βυθό, καθώς επίσης και το ανάγλυφο του βυθού.

Υπάρχουνε κάποια νέα GPS όπου μέσω κάποιου διαφορετικού GPS απεικονίζεται στην οθόνη ο βυθός. Το GPS plotter επίσης μπορεί και κάνει αποθήκευση πορείας, αποθήκευση πληροφοριών, μπορεί και βοηθάει στην ανίχνευση ψαριών, στην ένδειξη θερμοκρασίας της θάλασσας.



Εικόνα 4.1.3.1: GPS plotter

4.1.4 Βοηθητικές εφαρμογές στην αεροπορία

Καθοριστικό ρόλο έχει παίξει η συσκευή GPS και στην αεροπορική εναέρια κυκλοφορία. Αρχικά οι αεροπορικές εταιρίες χρησιμοποιούσαν πλοηγούς για τη διεκπεραίωση των δρομολογίων. Τα τελευταία 15 χρόνια η χρήση των GPS θεωρείται απαραίτητη καθώς έχει αντικαταστήσει εξ ολοκλήρου τους πλοηγούς. Η χρήση τους γίνεται στην πολιτική, αλλά και στην πολεμική αεροπορία. Στην πολιτική αεροπορία σε κάθε αεροπλάνο υπάρχει ένας δέκτης GPS που με τα ανάλογα ραδιοβοηθήματα

(VOR/DMF/HIS/RME/ILS) αντικαθιστούν απόλυτα τον πλοηγό.

4.1.5 Συνδυασμός GPS – GIS

Τα GIS είναι συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, που διαφέρουν από τα GPS διότι έχουν να κάνουν με την γενική εποπτεία περιοχής μελέτης, τον συνδυασμό πληροφοριών, τον διαμοιρασμό στοιχείων σε πολλούς χρήστες, την οπτικοποίηση της χωρικής ανάλυσης, αλλά και την υποστήριξη λήψης αποφάσεων.

Το συνταίριασμα των δυο αυτών τεχνολογιών θα μπορούσαμε να πούμε ότι βοηθάει στο να συμπληρώνει η μια τεχνολογία την άλλη. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ταχύτερη και οικονομικότερη διεκπεραίωση εργασιών. Για το λόγο αυτό παρατηρείται η υιοθέτηση των τεχνολογιών αυτών σε ολοένα και περισσότερους τομείς.

4.2 Εφαρμογές στον ελλαδικό χώρο

Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται αναφορά σε εφαρμογές των Κινητών Συστημάτων Χαρτογράφησης, που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον ελλαδικό χώρο.

4.2.1. Μητρώο οδών

Το Μητρώο Οδών είναι μια ηλεκτρονική Βάση Δεδομένων των πραγματικών (υλοποιημένων) στοιχείων των οδών, που, σε συνδυασμό με την οπτική τους απεικόνιση, αποτελεί πλήρη πηγή πληροφοριών των στοιχείων των υφισταμένων οδικών χαράξεων.

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές του Μητρώου Οδών είναι η **πρόληψη των ατυχημάτων** διότι, με συνδυασμούς των στοιχείων που περιέχονται στο Μητρώο, είναι δυνατός ο εντοπισμός οδικών τμημάτων και περιοχών όπου είναι πιθανό να συμβούν ατυχήματα (Βανιώτου & Καρακαϊδού & Ματσούκης, 2005). Οι συνδυασμοί αυτοί γίνονται μέσω

ειδικού προγράμματος Η/Υ, που συσχετίζει τα χαρακτηριστικά που «γεννούν» ατυχήματα. Παραδείγματα τέτοιων συσχετισμών είναι η συνύπαρξη:

- α) Ακτίνας καμπυλότητας (σε οριζοντιογραφία) μικρότερης από 180 μ. με λανθασμένη επίκλιση και μεγάλη κατά μήκος κλίση.
- β) Διαφορετικών ακτίνων καμπυλότητας μέσα στην ίδια στροφή με λανθασμένη επίκλιση και έλλειψη ορατότητας.
- γ) Μικρής ακτίνας κυρτής κατακόρυφης καμπύλης σε μηκοτομή με καμπύλη σε οριζοντιογραφία και έλλειψη ορατότητας.
- δ) Ισόπεδης διασταύρωσης με καμπύλη σε οριζοντιογραφία ή σε μηκοτομή.
- ε) Ευθύγραμμου τμήματος μεγάλου μήκους πριν από είσοδο σε οικισμό ή πριν από κλειστή στροφή.

Επίσης, το Μητρώο Οδών αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για τον προγραμματισμό και την παρακολούθηση της συντήρησης των οδικών έργων, καθώς και για την ιεράρχηση προτεραιοτήτων, την κατανομή των πιστώσεων και την στήριξη αποφάσεων υλοποίησης και χρηματοδότησης οδικών έργων. Η χώρα μας στερείται ενός τέτοιου μητρώου και η σύστασή του είναι προϋπόθεση για κάθε περαιτέρω αναπτυξιακή πορεία των χερσαίων μεταφορών και ειδικότερα των οδικών. Για τον λόγο αυτό έχει αποφασιστεί και ενταχθεί στο ισχύον και επόμενο αναπτυξιακό πρόγραμμα η σύσταση του Μητρώου Οδών.

Ήδη, στα πλαίσια του προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας», έχει προκηρυχθεί ένα πιλοτικό πρόγραμμα εφαρμογής ενός Μητρώου Οδών

προϋπολογισμού 1 εκατ. Ευρώ, καθώς και ένα πρόγραμμα *GIS*, ενώ για τα επόμενα έτη προβλέπονται διαδοχικές προκηρύξεις για διάφορα τμήματα του Εθνικού Οδικού Δικτύου.

4.2.1.1 Περιεχόμενα Μητρώου Οδών

Το Μητρώο Οδών περιέχει σε συνεχή απεικόνιση τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Βανιώτου & Καρακαϊδού & Ματσούκης, 2005):

- Οριζοντιογραφία
- Μηκοτομή
- Στοιχεία διατομών :
 - Πλάτος οδού
 - Διασταυρώσεις (ισόπεδες και ανισόπεδες)
 - Μεγάλα τεχνικά έργα (γέφυρες, σήραγγες)
 - Κατακόρυφη σήμανση
 - Οριζόντια σήμανση (διαγραμμίσεις)
 - Εξοπλισμό ασφαλείας (στηθαία ασφάλειας, οριοδείκτες κλπ.)
 - Άμεσο οδικό περιβάλλον (οικισμούς, καλλιέργειες κλπ.)
- Εγκάρσιες κλίσεις – επικλίσεις
- Ερείσματα
- Τάφρους
- Ορύγματα – επιχώματα
- Νησίδες

Για την περαιτέρω επεξεργασία τόσο των στοιχείων μελέτης της οδού και των τεχνικών της όσο και του σχετικού εξοπλισμού, το Μητρώο Οδών μπορεί και πρέπει να συνδυάζεται με Βάσεις Δεδομένων και με αρχεία

πληροφοριών που περιέχουν στοιχεία όπως:

- Επιφανειακή κατάσταση των οδοστρωμάτων των οδών
- Κατασκευαστικά στοιχεία των οδοστρωμάτων
- Αρχείο μικρών τεχνικών έργων
- Αρχείο υλοποιηθεισών επεμβάσεων και συντηρήσεων
- Βάση Δεδομένων οδικών Τροχαίων Ατυχημάτων (της Ε.Σ.Υ.Ε. και του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)
- Στοιχεία και πληροφορίες των Περιφερειακών Υπηρεσιών σχετικά με τα τροχαία ατυχήματα της περιοχής τους
- Στοιχεία της Τροχαίας, του Ε.Κ.Α.Β., της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας
- Κυκλοφοριακές Μετρήσεις

4.2.1.2 Σύστημα Καταγραφής Στοιχείων Οδών -Απαιτήσεις του Συστήματος

Το Σύστημα Καταγραφής πρέπει να διασφαλίζει την απαιτούμενη ακρίβεια ενός Μητρώου Οδών και να είναι παράλληλα αξιόπιστο στην πληρότητα των στοιχείων. Η σύσταση της Βάσης Δεδομένων της οδού επιτυγχάνεται με την **συνέργεια των παρακάτω μετρητικών συστημάτων:**

- 1 Σύστημα εντοπισμού θέσης, που αποτελείται από ένα δορυφορικό σύστημα (GNSS) σε συνδυασμό με ένα αδρανειακό σύστημα, καθώς και ένα σύστημα χιλιομέτρησης.
- 2 Φωτογραμμετρικό -Φωτοερμηνευτικό σύστημα ποιοτικής και ποσοτικής καταγραφής στοιχείων διατομής και εξοπλισμού οδού.
- 3 Κατάλληλο λογισμικό επεξεργασίας στοιχείων καταγραφής των παραπάνω συστημάτων.
- 4 Πλατφόρμα μεταφοράς των παραπάνω συστημάτων (κατάλληλα διασκευασμένο και εξοπλισμένο όχημα τύπου VAN).

Για τη συλλογή στοιχείων του οδοστρώματος απαιτείται η χρήση διαμηκών και εγκάρσιων προφίλόμετρων, υψής οδοστρώματος σε συνδυασμό με φωτογραμμετρική -φωτοερμηνευτική καταγραφή ρηγματώσεων και άλλων φθορών του οδοστρώματος.

Η καταγραφή πρέπει να είναι επίσης άμεσα συνδεδεμένη με διάφορα λογισμικά για την επεξεργασία, αναγνώριση, καταγραφή και καταχώρηση των διαφόρων θεματικών ενότητων, καθώς και με το πολλαπλό σύστημα εντοπισμού θέσης του οχήματος για τον άμεσο προσδιορισμό της θέσης της οποιαδήποτε θεματικής ενότητας με την προδιαγεγραμμένη ακρίβεια. Ειδικότερα, για την καταγραφή των ποικίλων φθορών του οδοστρώματος με δυνατότητα μετρητικής καταγραφής διαφόρων τύπων ρωγμών του οδοστρώματος, χρησιμοποιούνται και κατακόρυφες ψηφιακές κάμερες υπερυψηλής ανάλυσης για την αναγνώριση και μέτρηση ρωγμών πλάτους 1 mm.

Για τη φάση της συλλογής των στοιχείων τίθενται οι παρακάτω **απαιτήσεις**:

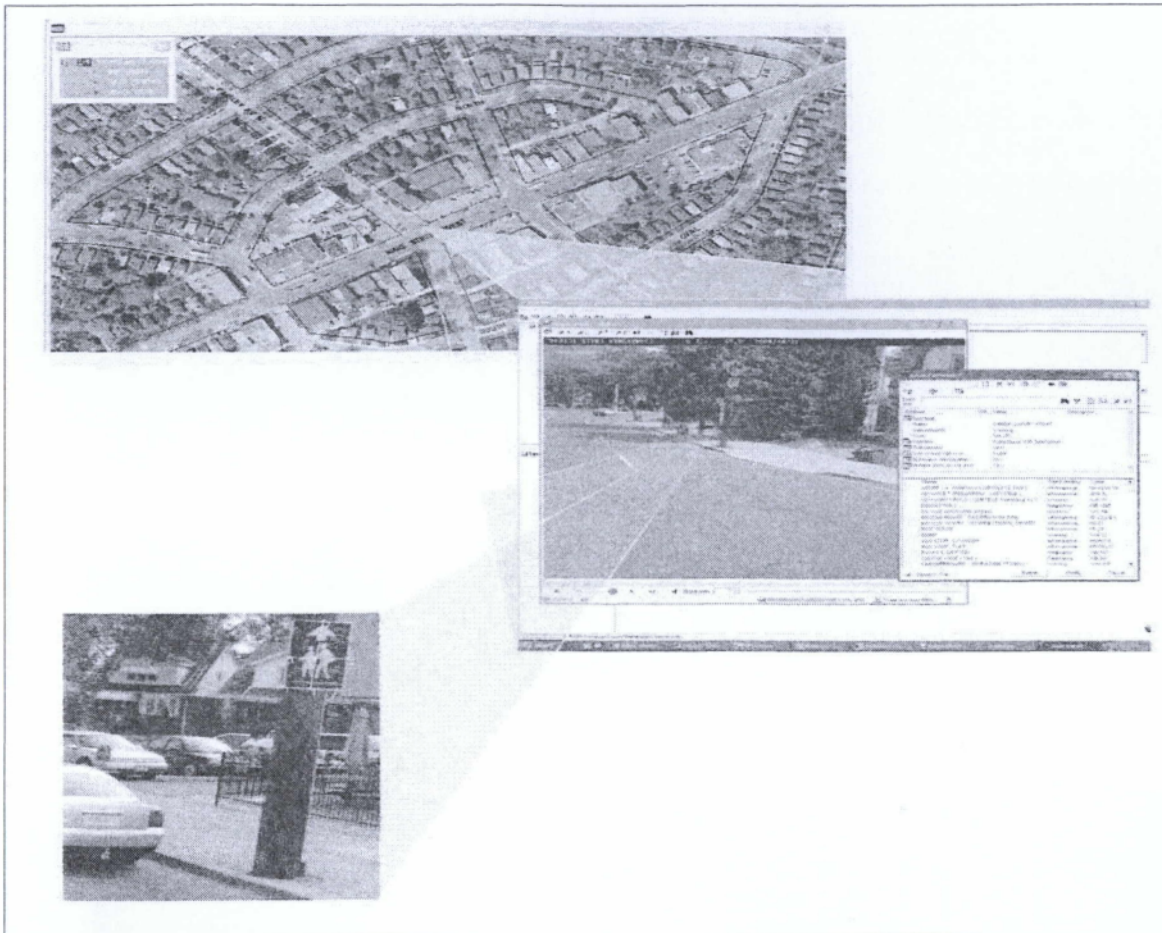
- ❖ Συνδυασμός τριών υποσυστημάτων, όπως έχουν προαναφερθεί:
 - (α) δορυφορικός εντοπισμός (θέση, ταχύτητα, κατεύθυνση),
 - (β) αδρανειακό σύστημα με 6 βαθμούς ελευθερίας και
 - (γ) σύστημα χιλιομέτρησης
- ❖ Διορθώσεις δορυφορικού σήματος με μέθοδο διαφορικού εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο
- ❖ Σύστημα αφομοίωσης και απόσβεσης σφαλμάτων λόγω κινηματικών ατελειών ή ανεπιθύμητων μετατοπίσεων του αμαξώματος του οχήματος
- ❖ Εξάλειψη χρόνου γωνιακής επιτάχυνσης αδρανειακού συστήματος (spin-up time)
- ❖ Αρχικός προσανατολισμός και προσαρμογή στη χάραξη της οδού εν κινήσει

- ❖ Αυτοβαθμονόμηση του υποσυστήματος χιλιομέτρησης
- ❖ Υστέρηση σημάτων μικρότερη από μερικά msec
- ❖ Συνδέσεις γραμμικές, ψηφιακές και Ethernet
- ❖ Καταγραφή παλμών χιλιομέτρησης, για παράδειγμα με ρυθμό 2000 ανά περιστροφή τροχού
- ❖ Ελάχιστη συχνότητα δορυφορικού σήματος 1 Hz
- ❖ Ελάχιστη συχνότητα λήψης δεδομένων αδρανειακού συστήματος 100 Hz
- ❖ Ελάχιστη ακρίβεια κλίσεων οριζόντιων και κατακόρυφων αξόνων οχήματος, της τάξεως π.χ. των 0.020 σε πραγματικό χρόνο διαφορικού εντοπισμού
- ❖ Ακρίβεια αζιμουθίου καλύτερη από 0.020g ανεξάρτητα από το γεωγραφικό πλάτος και τα δυναμικά δεδομένα .
- ❖ Ακρίβεια εκ των υστέρων (post-processing) προσδιορισμού της θέσης σημείων καλύτερη από 15 cm, ενώ η ακρίβεια προσδιορισμού του σημείου σε πραγματικό χρόνο να μην είναι χειρότερη από λίγα μέτρα (π.χ. 1.5 m) με διακοπή δορυφορικού σήματος για μερικά δευτερόλεπτα (π.χ. 60 sec)
- ❖ Αυτοδιαγνωστικό Σύστημα Ποιοτικού Ελέγχου πριν τις εργασίες πεδίου, τα αποτελέσματα του οποίου καταγράφονται σε ειδικό αρχείο για να ληφθούν ενδεχομένως υπόψη σε διαδικασία υπολογισμών εκ των υστέρων
- ❖ Μονο-ή πολυ-εικονική ψηφιακή απόδοση εικόνων βίντεο □
Υπερυψηλή διακριτική ικανότητα εικόνας (ανάλυσης τουλάχιστον 1920x1080 *pixels*)
- ❖ Συντονισμός μετρητικής καταγραφής εικόνας με τα λοιπά στοιχεία και υποσυστήματα θέσης (γεωαναφορά)

4.2.1.3 Λογισμικό

Το σύστημα συλλογής στοιχείων θα πρέπει να συνοδεύεται από το αντίστοιχο λογισμικό με βάση το οποίο θα γίνεται η επεξεργασία των στοιχείων και θα πραγματοποιείται η γεωαναφορά τους. Με βάση αυτό το λογισμικό θα μπορούν:

- να εξάγονται οι συντεταγμένες X , Y , Z οποιουδήποτε σημείου της καταγραφόμενης εικόνας (θεματικές οντότητες/ενότητες)
- να αναγνωρίζονται αυτόματα χαρακτηριστικά στοιχεία του εξοπλισμού της οδού και κυρίως η μορφή και ο τύπος της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, τύπος σηματοδότη, κράσπεδα κλπ. Τα στοιχεία εξόδου μπορούν εύκολα να καταχωρηθούν σε αρχεία που αναγνωρίζονται από τα τρέχοντα *GIS* λογισμικά, προκειμένου να γίνεται άμεση καταχώρηση σε αυτά και η υπηρεσία να είναι σε θέση να προβαίνει σε άμεση επεξεργασία των δεδομένων του *GIS*. Στην Εικόνα 6.5 φαίνονται χαρακτηριστικά οι δυνατότητες που πρέπει να έχει ένα τέτοιο λογισμικό, με βάση το οποίο προκύπτουν τα μετρητικά δεδομένα θέσης της οποιαδήποτε θεματικής οντότητας (X , Y , Z), τα χαρακτηριστικά της (μορφή, τύπος, χρώμα, διαστάσεις), καθώς και η ενδοεπικοινωνία και η συσχέτιση με άλλα υποσυστήματα συλλογής στοιχείων, αλλά και με άλλα λογισμικά διαχείρισης ενός μητρώου οδών (π.χ. με ένα *GIS*).



Εικόνα 4.2.1.3.1: Οι δυνατότητες του λογισμικού με τον εντοπισμό θέσης, διαστάσεων, μορφής και τύπου θεματικής οντότητας και διασύνδεσή του με άλλα λογισμικά επεξεργασίας εικόνας.

Οι δυνατότητες του λογισμικού με τον εντοπισμό θέσης, διαστάσεων, μορφής και τύπου θεματικής οντότητας και διασύνδεσή του με άλλα λογισμικά επεξεργασίας εικόνας (<http://www.roadware.com/>)

4.2.2. Άλλες εφαρμογές

Προς την ίδια κατεύθυνση, της πρόληψης δυστυχημάτων, προβλέπεται να συμβάλλει και η μελλοντική λειτουργία του ευρωπαϊκού συστήματος δορυφορικής πλοήγησης *Galileo*. Το *Galileo*, αναμένεται να ξεπεράσει σε

αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία το αμερικανικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS. Από το 2012 το Galileo θα παρέχει υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, ραδιοπλοήγησης και χρονικού προσδιορισμού στην παγκόσμια αγορά, οι οποίες προβλέπεται να ανοίξουν νέες προοπτικές στους διάφορους εμπορικούς τομείς και να βελτιώσουν την καθημερινή ζωή των πολιτών σ' όλο τον πλανήτη.

Μεταξύ, λοιπόν, των τομέων στους οποίους θα επικεντρωθεί το *Galileo* είναι και η **ασφάλεια στις οδικές μεταφορές**, στα πλαίσια των παραμέτρων που τέθηκαν από την πρωτοβουλία *eSafety*, η οποία εγκαινιάστηκε το 2002 από την Κομισιόν (Ε.Ε.) και την αυτοκινητοβιομηχανία, και αποβλέπει στην ανάληψη ορισμένων δράσεων σε κοινοτικό επίπεδο για μείωση των οδικών θανάτων. Προς αυτή την κατεύθυνση, η Κομισιόν βγήκε προς αναζήτηση νέων ιδεών για τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας και πιστότητας των ψηφιακών οδικών χαρτών πλοήγησης που θα προσφέρονται από το Galileo (<http://www.sdtv.gr/news-1177.html>). Μια ελληνική εταιρεία που εδρεύει στα Γιάννενα, η "*NIKI MEΠE*" υπέγραψε τα συμβόλαια με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) και έχει ξεκινήσει την υλοποίηση της πρώτης φάσης του έργου *ROADSCANNER*. Το έργο αφορά την μελέτη σκοπιμότητας για την δημιουργία ειδικού οχήματος δημιουργίας οδικών χαρτών υψηλής ακριβείας και πιστότητας με την αξιοποίηση του *EGNOS* (http://www.nikitec.gr/News/news_gr.htm).

Το ειδικό όχημα χαρτογράφησης *ROADSCANNER* («*a Galileo enabled probe vehicle for generation of precise digital maps*»), εφοδιασμένο με ειδικές συστάδες σαρωτών *laser*, κάμερα, αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας και με δυνατότητα καταγραφής σημείων αναφοράς, θα καταγράφει όλα τα απαραίτητα στοιχεία, τα οποία θα επεξεργάζονται με τη βοήθεια λογισμικού, εξάγοντας τη γεωμετρική υφή του οδοστρώματος. Παράλληλα, μια μεθοδολογία επεξεργασίας σημάτων δορυφορικής και αδρανειακής

πλοήγησης (που αξιοποιεί για τα μεν πρώτα το ευρωπαϊκό σύστημα δορυφορικής πλοήγησης, Galileo, και τα *GPS/EGNOS*, ενώ για τα δεύτερα αισθητήρες εδάφους), σε συνδυασμό με έναν ειδικό αλγόριθμο που βελτιστοποιεί επαναληπτικά τη

διαδρομή, καταγράφοντας τη διαφορική τροχιά ως προς τα αρχικά σημεία αναφοράς, δίνει τη δυνατότητα της μέγιστης ακρίβειας καταγραφής (εκατοστού) του οδικού δικτύου. Και όλα αυτά, ενώ το όχημα κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη των 60 χλμ. /ώρα, προκαλώντας ελάχιστη διαταραχή της κυκλοφορίας και χωρίς, φυσικά, να είναι αναγκαία η διακοπή της (<http://library.techlink.gr/4t/article-main.asp?mag=1&issue=580&article=12105>).

Είναι προφανή τα **οφέλη** της καινοτόμου αυτής μεθοδολογίας δημιουργίας της νέας γενιάς ψηφιακών χαρτών, που θα κατασκευαστούν με οδηγό το όχημα και θα καλύψουν το κενό των σημερινών συστημάτων. Με κατάλληλη επεξεργασία των γεωμετρικών δεδομένων και της υφής και των χαρακτηριστικών, εν γένει, του οδοστρώματος, μπορούν να δημιουργηθούν ψηφιακοί, τρισδιάστατοι χάρτες που θα αξιοποιηθούν από τα τμήματα έρευνας και εξέλιξης των αυτοκινητοβιομηχανιών σε πλήθος «έξυπνων» συστημάτων ασφαλείας, όπως τα νέας γενιάς συστήματα οδηγικής αρωγής *ADAS*, σε εφαρμογές έρευνας και διάσωσης, στην ανάλυση και στην κατανόηση των αιτιών πρόκλησης ατυχημάτων σε συγκεκριμένα σημεία του οδικού δικτύου, σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, ακόμα και στη μείωση της κατανάλωσης φορτηγών και βαρέων οχημάτων.

Ειδικά στον τομέα των κατασκευαστών αυτοκινήτων, πέραν των διαδραστικών συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας, σε συνδυασμό με εφαρμογές ψηφιακής μηχανικής, όπως της δυναμικής πολλαπλών σωμάτων ή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων, προκύπτουν δυνατότητες προσομοίωσης της οδικής συμπεριφοράς των αυτοκινήτων υπό διάφορες

συνθήκες, πάντα βασισμένες σε πραγματικά μοντέλα δρόμων. Βάσει αυτών, μπορούν, για παράδειγμα, να προκύψουν λεπτές, αλλά σημαντικές εθνικές διαφοροποιήσεις, μεταξύ άλλων, στο στήσιμο των αναρτήσεων, στις σχέσεις μετάδοσης και στη χαρτογράφηση του κινητήρα, ανάλογα με τη χώρα πώλησης κάθε μοντέλου. Και εδώ, βέβαια, η ακρίβεια των εξαγόμενων στοιχείων εξαρτάται απόλυτα από την ποιότητα των αρχικών δεδομένων, γεγονός που επιβάλλει την ύπαρξη όσο το δυνατόν αναλυτικότερων και, κατά συνέπεια, ρεαλιστικότερων ψηφιακών χαρτών .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΔΟΜΕΤΡΙΑΣ GPS.

5.1.1 Προβλήματα οδικού κόμβου και μέθοδοι εντοπισμού τους

Κατά την πραγματοποίηση επίγειων αποτυπώσεων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και τεχνικές. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι ψηφιακοί γεωδαιτικοί σταθμοί, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, επίγειοι σαρωτές laser και συστήματα δεκτών GPS. Εμείς τα αναλύσουμε την αποτύπωση κόμβων με τον συνδυασμό laser και gps.

Η χρήση της τεχνολογίας laser για τη συλλογή πληροφοριών σε εφαρμογές αποτύπωσης είναι σημαντική ειδικά όταν το αντικείμενο μελέτης είναι ένας οδικός κόμβος ή ένα οδικό δίκτυο και επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας και η πληρότητα πληροφοριών. Συνήθως χρησιμοποιούνται οχήματα με ενσωματωμένο σύστημα MMS (ολοκληρωμένο σύστημα ψηφιακής καταγραφής). Αυτά τα οχήματα, καλύπτοντας συνεχώς το χώρο που διεξάγεται η εργασία, βοηθούν στην συγκέντρωση όλων των απαραίτητων γεωμετρικών και περιγραφικών πληροφοριών. Επιπλέον τα οχήματα αυτά είναι συχνά εφοδιασμένα με δέκτες GPS για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης του οχήματος. Ένα τέτοιο όχημα διαθέτει έως και τέσσερις σαρωτές laser με σκοπό την παραγωγή πυκνών νεφών σημείων. Παράλληλα διαθέτει κάμερες υψηλής ανάλυσης και

σύστημα δορυφορικού εντοπισμού. Το σύστημα αυτό αποτελείται από 3 κεραίες και την αδρανειακή μονάδα (IMU). Οι 3 κεραίες είναι εγκατεστημένες με τέτοιο τρόπο ώστε να εντοπίζεται η θέση του οχήματος με μεγάλη ακρίβεια. Οι μετρήσεις με αυτήν την μέθοδο έχουν απόλυτη ακρίβεια 10cm και σχετική ακρίβεια 1cm. Η περιγραφή ενός πολύπλοκου οδικού κόμβου θα ήταν ένας ιδιαίτερα δύσκολος στόχος χρησιμοποιώντας μόνο επίγεια οχήματα. Σημαντικά προβλήματα δημιουργούνται όταν η αλλαγή πορείας του οχήματος δεν είναι εύκολη. Για αυτού του είδους τους οδικούς κόμβους κρίνεται απαραίτητη η κάλυψη όλης της διακλάδωσης έτσι ώστε να υπάρχει ολοκληρωμένη πληροφορία. Η χρήση επίγειων σαρωτών laser μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη ποσότητα πληροφορίας σε πολύ λίγο χρόνο. Πειραματικά στοιχεία δείχνουν ότι η τεχνολογία laser μπορεί να αποτελέσει μια βάσιμη λύση τόσο στην λεπτομερή περιγραφή της γεωμετρίας της οδού, όσο και στην ενημέρωση και επικύρωση της χαρτογραφίας μεγάλης και μεσαίας κλίμακας. Γενικότερα, η χρήση επίγειων σαρωτών laser σε έρευνες που αφορούν οδικά έργα αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική καθώς αποτελούν άκρως αποτελεσματικά εργαλεία. Αντίθετα με τα παραδοσιακά όργανα μέτρησης απόστασης όπου πολλές φορές γίνονται περισσότερες της μιας μετρήσεις, ο επίγειος σαρωτής διαθέτει πολύ πιο γρήγορο ρυθμό συλλογής πληροφορίας καθώς ενδέχεται να μην χρειάζεται πάνω από μία σάρωση. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, μειώνεται αισθητά ο χρόνος των εργασιών πεδίου και αποκτάται η δυνατότητα μετρήσεων σε υψηλής ταχύτητας οδικά τμήματα ανεξαρτήτως της ροής οχημάτων. Έτσι, δεν είναι απαραίτητη η διακοπή λειτουργίας του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια των τοπογραφικών εργασιών. Εκτός από το σημαντικό πλεονέκτημα της ασφάλειας, αποφεύγονται οι οικονομικές συνέπειες της διακοπής της κυκλοφορίας καθώς και η κοινωνική δυσαρέσκεια.

5.1.2 Επιλύσεις από gprs στην κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Στην σύγχρονη κοινωνία και στις μεγαλουπόλεις υπάρχει τα τελευταία χρόνια μεγάλη αύξηση οχημάτων και έλλειψη υποδομών και δρόμων π.χ. στις Η.Π.Α. από το 1982 έως το 2001 υπήρχε αύξηση πληθυσμού κατά 20% και αύξηση κίνησης των οχημάτων κατά 236%, οπότε για να εξομαλυνθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση θα έπρεπε να διεκπεραιωθεί η κίνηση των οχημάτων με τη βοήθεια της «ευφυΐας» των δρόμων.

Υπάρχει μια σειρά από εφαρμογές που συνδυάζει έξυπνες λύσεις σε αυτοκινητόδρομους και αυτοκίνητα όπως τα συστήματα gprs που χρησιμοποιούνε αισθητήρες στην άκρη των δρόμων και αναγνωριστικά

ραδιοσυχνοτήτων. Άμεσα αποτελέσματα είναι η μείωση της κίνησης και των ρύπων στην ατμόσφαιρα όπως συνέβη και στην Στοκχόλμη με το έξυπνο σύστημα διοδίων.

5.1.3 Χρήσιμες ερωτήσεις από οδηγούς σε GPS.

- Πως μπορώ να αποφύγω τον δακτύλιο της Αθήνας
- Πως μπορώ να αποφύγω διόδια.
- Πως μπορώ να αποφύγω χωματόδρομους.
- Πως μπορώ να αποφύγω δρόμο με κίνηση.
- Ποια είναι η μικρότερη διαδρομή σε μήκος.
Αυτές οι ερωτήσεις αφορούν την πλοήγηση.

- Πως μπορώ να αναζητήσω μια διεύθυνση.
- Πως μπορώ να βρω μια πόλη ή ένα χωριό.
- Πώς μπορώ να δω μια διασταύρωση.
Αυτές οι ερωτήσεις αφορούν την αναζήτηση.

5.1.4 Βοηθητικές εφαρμογές των GPS για τους επαγγελματίες

Τα GPS εφαρμόζουν και διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό τις δουλειές επαγγελματιών σε καθημερινή βάση. Διαδικασίες χρονοβόρες και κουραστικές γίνονται πολύ εύκολα, αποτελεσματικά και άμεσα. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα που συναντάμε στην καθημερινότητα μας:

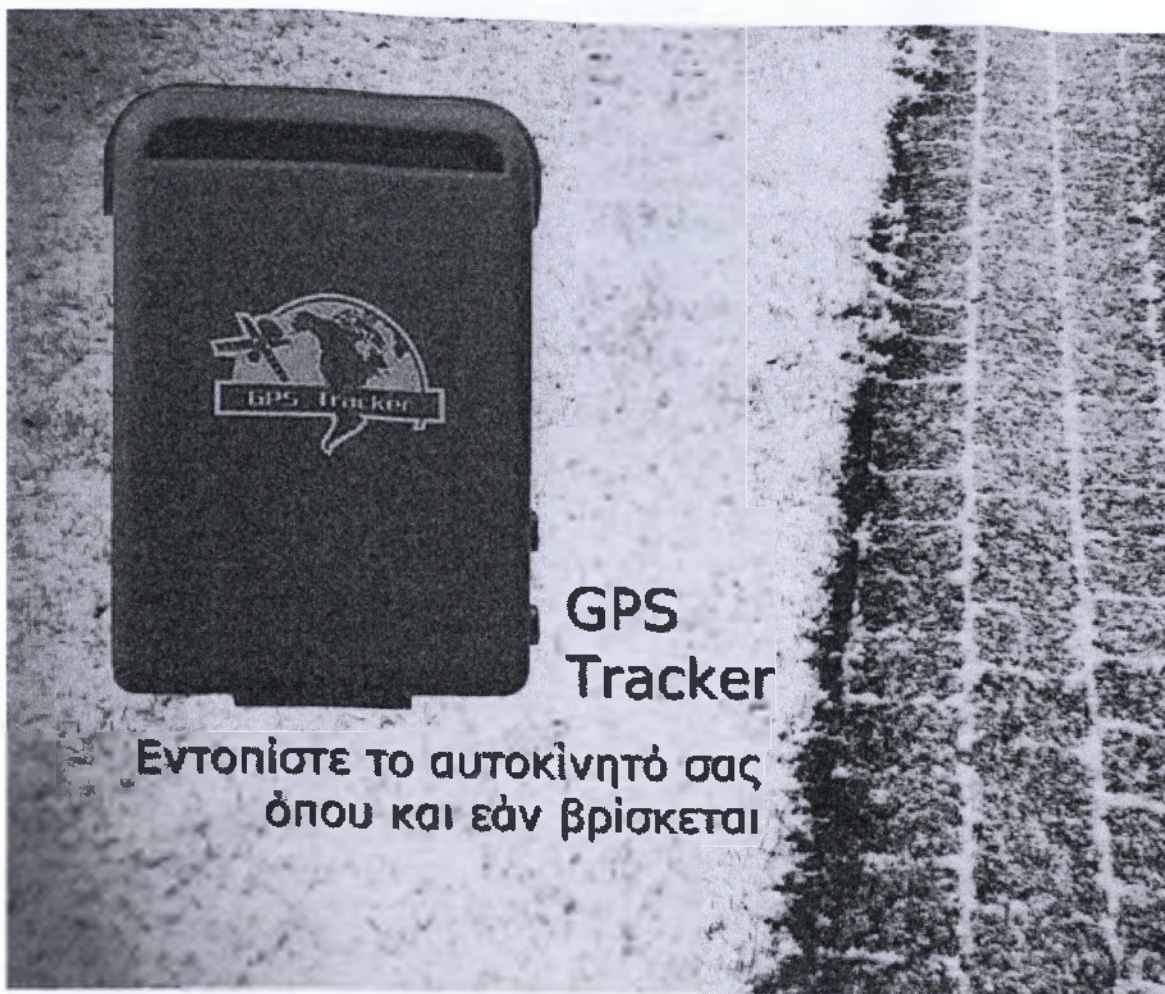
- Δημόσιες υπηρεσίες για την προστασία του πολίτη (αστυνομία, πυροσβεστική, εκάβ)
Στην περίπτωση αυτή που θεωρείται ανάγκης με το που γίνεται η τηλεφωνική κλίση στην αντίστοιχη υπηρεσία εμφανίζεται η περιοχή από όπου καλούν ούτος ώστε να επέμβουν στο σημείο ανάγκης έγκαιρα.

- Delivery
Με το που γίνεται η τηλεφωνική κλίση στο κατάστημα υπάρχει συσκευή GPS που εντοπίζει ακριβώς την διεύθυνση και τα στοιχεία του πελάτη (μέσω αποθηκευμένου αριθμού).
- Courier
Οι συσκευές και εδώ προβάλλουν συγκεκριμένα τις διευθύνσεις για την διευκόλυνση της παράδοσης των πακέτων από τους διανομείς.
- Ταξί
Στα ταξί πλέον είναι πιο συχνά εμφανιζόμενα, καθώς ιδιαίτερα στις μεγαλουπόλεις πληκτρολογώντας την διεύθυνση βρίσκουν άμεσα τον προορισμό τους.

5.1.5 GPS tracker

Το GPS TRACKER είναι μια mini δορυφορική συσκευή εντοπισμού αυτοκινήτων και προσώπων μέσω δορυφόρων.

Δέχεται κάρτα SIM και αποστέλλει με SMS τις συντεταγμένες του σημείου που βρίσκεται, καθώς και επιπλέον πληροφορίες για την ταχύτητα που κινείται ή το υψόμετρο που βρίσκεται.



Εικόνα 5.1.4.1: GPS Tracker.

ΑΜΕΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

Μόλις γίνει κλήση στην κάρτα SIM, αμέσως η συσκευή στέλνει SMS στο τηλέφωνο που την κάλεσε με όλες τις πληροφορίες και συντεταγμένες.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ

Η συσκευή έχει τη δυνατότητα αποστολής στίγματος ανά 30 δευτερόλεπτα.

ΦΩΝΗΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ

Σε αυτή τη λειτουργία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρακολουθήσει τις φωνητικές συνδιαλέξεις στο χώρο που βρίσκεται η συσκευή χάρη στο πολύ ευαίσθητο ενσωματωμένο μικρόφωνο που διαθέτει.

ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Όταν η συσκευή υπερβεί τα χλμ ανά ώρα που έχουμε ορίσει, θα έρθει

γραπτό μήνυμα που θα αναφέρει την ταχύτητα.

ΠΛΗΚΤΡΟ SOS

Με τη χρήση του πλήκτρου SOS το GPS TRACKER θα αποστέλει κάθε 3 λεπτά μήνυμα κινδύνου σε δηλωμένους από το χρήστη αριθμούς τηλεφώνου μαζί με τις συντεταγμένες.

Το GPS TRACKER έχει εφαρμογή σε **κάθε είδους όχημα** ή σκάφος και άμεσα μπορεί να στείλει πληροφορίες για την γεωγραφική του θέση.

Οι εφαρμογές του δεν περιορίζονται στην **ανεύρεση μόνο του κλεμμένου οχήματος**, αλλά και στον **έλεγχο εταιρικών και επαγγελματικών αυτοκινήτων** και στην **προστασία ηλικιωμένων ή παιδιών**.

Τα άτομα που συμμετέχουν στο παιχνίδι της γεωαναζήτησης, ένα είδος κυνηγιού θησαυρού της ψηφιακής εποχής που χρησιμοποιεί ακριβή σήματα GPS για να βοηθήσει τους παίκτες να εντοπίσουν μία κρυψώνα. Οι υπηρεσίες πρώτων βοηθειών, για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το δέκτες GPS όχι μόνο για να προσδιορίζουν τη διαδρομή προς το σημείο ενός συμβάντος πιο γρήγορα από ποτέ, αλλά και για να εντοπίζουν το σημείο ενός ατυχήματος παρέχοντας στο επικουρικό προσωπικό τη δυνατότητα να εντοπίσει γρήγορα το σημείο. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης στη θάλασσα και υπό ακραίες καιρικές συνθήκες στην ξηρά, όταν ο χρόνος μπορεί να αποτελεί ζήτημα ζωής ή θανάτου.

Οι επιστήμονες και οι μηχανικοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν δέκτες GPS στο πλαίσιο επιστημονικών πειραμάτων και για την παρακολούθηση της γεωλογικής δραστηριότητας, όπως π.χ. των σεισμικών δονήσεων, των σεισμών και της ηφαιστειακής βοής. Μπορούν να χρησιμοποιούν συσκευές GPS εγκαταστημένες σε στρατηγικά σημεία που τους συνδράμουν στην παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής και άλλων φαινομένων. Βασικά, το GPS μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για την κατάρτιση χαρτών εξαιρετικής

ακρίβεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 ΤΙ ΕΠΙΦΥΛΑΣΣΕΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ

«Η τεχνολογία των δορυφόρων αναπτύσσεται ταχύτερα από οποιαδήποτε άλλη», είπε ο Έιμπραμ Σναπφ, βετεράνος διευθυντής ανάπτυξης δορυφόρων. «Κι αυτό γίνεται ολοφάνερο στον τομέα των επικοινωνιών». Τα έσοδα που αποφέρουν οι δορυφορικές επικοινωνίες –από 11,4 δισεκατομμύρια δολάρια το 1992- αναμένεται να ξεπεράσουν τα 45 το 2002 και τα 74 το 2005. Είναι γεγονός ότι, στα τέλη του 20^{ου} αιώνα, ο τομέας των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων γνώρισε πραγματική επανάσταση. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ειρωνεία ότι το ανταγωνιστικό του πλεονέκτημα απέναντι στα εναλλακτικά επίγεια μέσα επικοινωνίας, και συνεπώς το μέλλον του, εξαρτάται όχι από τη διαστημική τεχνολογία αλλά από το κόστος και την απόδοση των επίγειων σταθμών εκπομπής και λήψης. Όλα δείχνουν, ωστόσο, ότι οι διαστημικές τηλεπικοινωνίες αποτελούν επικερδή επιχείρηση και υπόκεινται στους νόμους τις αγοράς. Η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA) για παράδειγμα, ιδρύθηκε το 1975 από δέκα δυτικοευρωπαϊκές χώρες και αποτέλεσε την ευρωπαϊκή απάντηση στο χώρο του διαστημικού ανταγωνισμού σε σχέση με τις Η.Π.Α και την τότε ΕΣΣΔ. (Τα δέκα ιδρυτικά μέλη της είναι η Γαλλία, η Δ. Γερμανία, η Ιταλία, η Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, η Δανία, η Ολλανδία, η Σουηδία και η Ελβετία. Πέντε ακόμη χώρες προστέθηκαν στον κατάλογο της ΕΣΖ, οι: Ιρλανδία, Αυστρία, Νορβηγία, Φιλανδία και Πορτογαλία, ενώ ο

Καναδάς μετέχει ως συνεργαζόμενη χώρα. Η Ελλάδα αποτελεί πλήρες μέλος από την 1^η Μαρτίου 2001.) Η ESA προσφέρει λύσεις στο χώρο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, των τηλεπικοινωνιών και της δορυφορικής πλοήγησης. Ωστόσο, οι διάφορες διαστημικές υπηρεσίες συνεργάζονται στα επιστημονικά προγράμματα.

Άλλη μια πολύτιμη εφαρμογή της τεχνολογίας των δορυφόρων, όπως προβλέπουν οι επιστήμονες, θα αφορά στις επιστήμες του περιβάλλοντος.

«Είναι ανεκτίμητη η συμβολή των δορυφόρων στην προσπάθειά μας να κατανοήσουμε το περιβάλλον – τις περίπλοκες αλληλεπιδράσεις των ωκεανών, της ατμόσφαιρας και των πολικών περιοχών», είπε ο δρ Ντέιβιντ Άτλας, πρώην επικεφαλής του εργαστηρίου Επιστημών της Ατμόσφαιρας της NASA.

6.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ GPS

Φορητές συσκευές GPS

Η μεγάλη εξάπλωση της χρήσης του GPS οφείλεται και στη διάδοση των, οικονομικά προσιτών, φορητών δεκτών GPS για πεζούς ή οχήματα και των γενικών υπολογιστικών συσκευών (όπως τα PDA) με ενσωματωμένο δέκτη GPS. Ένας φορητός δέκτης αποτελείται από:

- Την εσωτερική δορυφορική κεραία, η οποία λαμβάνει το σήμα GPS από τους δορυφόρους με τους οποίους έχει οπτική επαφή. Επίσης, λαμβάνει σήμα και από ανακλάσεις, π.χ. σε τοίχους, κάνοντας δυνατή τη λήψη σε δρόμους που περιβάλλονται από πολύ ψηλά κτήρια (στην καθιερωμένη αγγλόφωνη σχετική ορολογία, οι συνθήκες αυτές αποκαλούνται "urban canyon") ή ακόμη και σε κάποιους εσωτερικούς χώρους. Πάντως, αρκετοί δέκτες διαθέτουν υποδοχή για εξωτερική κεραία. Οι εξωτερικές δορυφορικές κεραίες διαθέτουν πάντα προενισχυτή και δίνουν καλύτερη

λήψη, λόγω της δυνατότητας τοποθέτησης πάνω από πιθανά εμπόδια (π.χ. στην οροφή του αυτοκινήτου) και της ενίσχυσης που διαθέτουν (στις εσωτερικές κεραίες δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπλέον στάδιο προενίσχυσης, καθώς αυτό θα οδηγούσε σε ανεπιθύμητη ανάδραση, λόγω της γειτνίασης με το αναλογικό τμήμα του δέκτη).

- Τον κυρίως δέκτη GPS ο οποίος χρησιμοποιεί κυκλώματα εξαιρετικά χαμηλού θορύβου και ειδικές τεχνικές επεξεργασίας σήματος ώστε να ξεχωρίζει τα εξαιρετικά ασθενή σήματα από τους δορυφόρους, από τον ισχυρό τηλεπικοινωνιακό θόρυβο ο οποίος έχει τη μορφή τυχαίου σήματος. Ο κυρίως δέκτης αποτελείται από το αναλογικό τμήμα εισόδου και το ψηφιακό, το οποίο περιέχει σύνθετο ψηφιακό υλικό (hardware), συνήθως κάποιο εξειδικευμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα τύπου ASIC και μικροελεγκτή (microcontroller) χαμηλής κατανάλωσης ισχύος. Αυτό το hardware χρησιμοποιεί λογισμικό με πολύ εξελιγμένους αλγορίθμους επεξεργασίας, για να μπορέσει να εξάγει χρήσιμο στίγμα σε συνθήκες urban canyon ή δύσκολης λήψης εν γένει. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ακρίβεια λήψης, λόγω των πολλαπλών σημάτων, τα οποία λαμβάνει η κεραία από τον ίδιο δορυφόρο, με χρονική καθυστέρηση μεταξύ τους (φαινόμενο ηχούς), μπορεί να υποβαθμίσει σημαντικά την ακρίβεια θέσης. Το αποτέλεσμα εξαρτάται έντονα από την ποιότητα των αλγορίθμων και βελτιώνεται σημαντικά από την μία γενιά δεκτών στην επόμενη.

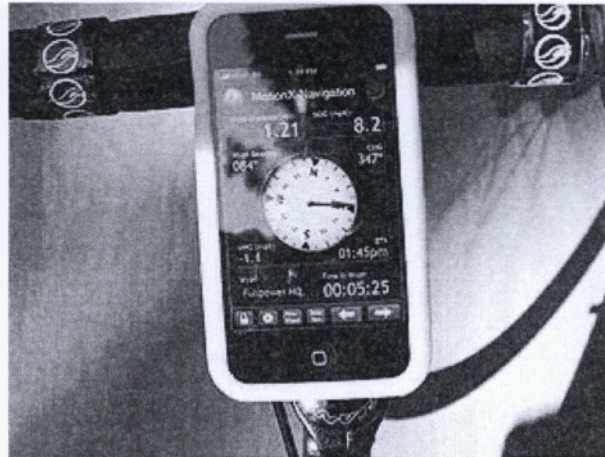


Εικόνα 6.2.1: Ενδείξεις συσκευής πλοήγησης GPS.

Η τελική έξοδος του δέκτη είναι το στίγμα (θέση) του και η ακριβής παγκόσμια ώρα UMT. Αυτά τα δύο δεδομένα, μαζί με άλλες χρήσιμες πληροφορίες όπως ο αριθμός των λαμβανόμενων δορυφορικών σημάτων και η στάθμη τους, αποστέλλονται σε μια θύρα επικοινωνίας του δέκτη, συνήθως σειριακής μορφής, δηλαδή ασύγχρονη (UART) ή σύγχρονη (π.χ. SPI). Ο ρυθμός με τον οποίο βγαίνει νέο στίγμα στην έξοδο του δέκτη είναι συνήθως 1 φορά το δευτερόλεπτο (δηλαδή 1 Hz), αν και υπάρχουν δέκτες που μπορούν να δίνουν στίγμα με ταχύτερους ρυθμούς (π.χ. 10 Hz). Σε συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία, ο κυρίως δέκτης GPS διαθέτει και καταστάσεις λειτουργίας όπου ο ρυθμός αποστολής στίγματος μειώνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ισχύος.

- Τον κυρίως μικροελεγκτή, την οθόνη απεικόνισης (συνήθως υγρών κρυστάλλων) και το υπόλοιπο hardware επικοινωνία με το χρήστη της συσκευής. Ο μικροελεγκτής αυτός, μέσω του ενσωματωμένου λογισμικού του, επεξεργάζεται το στίγμα που λαμβάνει από τον κυρίως δέκτη GPS, μέσω της αντίστοιχης σειριακής του θύρας. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι μια πιο κατανοητή μορφή για τον άνθρωπο μορφή του στίγματος και συνήθως εμφανίζεται σε οθόνη με δυνατότητες

γραφικών, πάνω σε ψηφιακό χάρτη, μαζί με άλλες πληροφορίες όπως ώρα, υψόμετρο και ταχύτητα κίνησης. Η ακρίβεια του ενσωματωμένου χάρτη μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη, στα ακριβότερα μοντέλα, ενώ συχνά υπάρχει η δυνατότητα αναβάθμισης ή επαύξησής του μέσω σύνδεσης με προσωπικό υπολογιστή (PC).



Εικόνα 6.2.2: GPS δορυφορική πλοήγηση, σε smartphone, πάνω σε ποδήλατο.

Οι ισχυροί μικροελεγκτές και η μεγάλη μνήμη των σύγχρονων φορητών δεκτών έχουν κάνει δυνατή την ύπαρξη διάφορων απλών και εξελιγμένων βοηθημάτων εύρεσης θέσης και πλοήγησης. Π.χ. μπορούμε να βλέπουμε τη διαδρομή που έχουμε ήδη κάνει, να κάνουμε μεγέθυνση πάνω στο χάρτη ή να εισάγουμε προορισμό και ο δέκτης να βρίσκει τη βέλτιστη διαδρομή (λειτουργία πλοήγησης). Σχεδόν πάντα υπάρχει η δυνατότητα ορισμού σημείων στο χάρτη ως προτιμώμενων ή ακόμη και κατάλογος με σημεία ενδιαφέροντος, όπως πρατήρια βενζίνης, καταστήματα και αξιοθέατα. Στα μοντέλα για αυτοκίνητο συνήθως υπάρχει η δυνατότητα φωνητικών οδηγιών, κατά τη λειτουργία πλοήγησης, ώστε ο οδηγός να μη χρειάζεται να κοιτά την οθόνη. Επίσης, κυκλώματα δεκτών GPS αρχίζουν να ενσωματώνονται και σε κινητά τηλέφωνα και άλλες συσκευές, όπως ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Στο κοντινό μέλλον οι φορητοί δέκτες GPS θα βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή και στα άτομα με αναπηρία, όπως οι τυφλοί, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να ζητούν προορισμό και να ακούν φωνητικές οδηγίες από το δέκτη GPS.

6.2.2 GPS logger

Κατασκοπική συσκευή δορυφορικής καταγραφής πορείας. Καταγράφει συντεταγμένες βάση χρόνου ή βάση απόστασης και τα αποθηκεύει σε μια εσωτερική μνήμη. Κατόπιν μέσω συνδέσεως στο διαδύκτιο και εισερχόμενο στο λογισμικό του υπολογιστικού συστήματος μπορεί μέσω χαρτών (google maps) ή (google earth) να γίνει παρακολούθηση της διαδρομής προς τον ενδιαφερόμενο.



Εικόνα 6.1.2.1: gps logger

6.2.3 GPS pet tracker

Εντοπισμός ζώων, κατοικίδιων και ανθρώπων. Λαμβάνει συντεταγμένες μέσω δορυφορικού δικτύου και με τη βοήθεια του GSM του χρήστη λαμβάνει μήνυμα και Link μέσω google maps για την ακριβή διεύθυνση του χαμένου κατοικιδίου.



Εικόνα 6.1.3.1: gps pet tracker

Βιβλιογραφία

1) http://users.art.sch.gr/iliaslamprou/index.php?option=com_content&task=view&id=65&Itemid=43

2) http://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

3) <http://tycho.usno.navy.mil/gpsinfo.html#gpsa>

4) <http://www.flagship.gr/el-gr/Info.aspx?ElementID=1291d10c-bdc8-4c21-b147-4955120c9c8d>

5) <http://www.kowoma.de/gps/Bodenstationen.htm> (εικόνα)

6) <http://www.kowoma.de/gps/Bodenstationen.htm> (εικόνα)

7) <http://www.kowoma.de/gps/Bodenstationen.htm> (εικόνα)

8) <http://www.kowoma.de/gps/Bodenstationen.htm> (εικόνα)

- 9) http://en.wikipedia.org/wiki/Image:GPS_Satellite_NASA_art-iif.jpg (εικόνα)
- 10) http://www.globalsecurity.org/space/systems/gps_3.htm
- 11) http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
- 12) http://media.defenseindustrydaily.com/images/SPAC_GPS_NAVSTAR_IIA_IIR_IIF_Constellation_lg.gif (εικόνα)
- 13) http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System (εικόνα)
- 14) <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gif/svs27.gif> (εικόνα)
- 15) http://www.af.mil/news/story_print.asp?storyID=123009123 (εικόνα)
- 16) <http://samadhi.jpl.nasa.gov/msl/QuickLooks/gps1QL.html> (εικόνα)
- 17) <http://samadhi.jpl.nasa.gov/msl/QuickLooks/gps2QL.html> (εικόνα)
- 18) <http://www.how-gps-works.com/images/g-block-iir-m.jpg> (εικόνα)
- 19) <http://www.sportfishing.gr/media/egnos.html>
- 20) <http://eanatia.ee.auth.gr/~aalexioy/gps.html>
- 21) <http://www.estia.hua.gr/8080/dspace.html>
- 22) <http://www.rcmaps.org>
- 23) <http://www.news.cnet.com>
- 24) <http://www.marinesuperstore.com>
- 25) <http://www.personalgps trackers.co.uk>