

Γεωδαιτικός Δορυφορικός Προσδιορισμός Ταχυτήτων και Δυνατοτήτων Ελιγμών Πλοίου

του

Δημήτρη Παραδείση,
αναπλ. καθηγητή
Τομέα Τοπογραφίας
Τμ. Αγρονόμων
- Τοπογράφων
Μηχανικών ΕΜΠ

Εισαγωγή.

Στο Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου του ΕΜΠ, μέσα στα πλαίσια των "θαλάσσιων δραστηριοτήτων", ελέγχουμε από την δεκαετία του 80 περίπου, για λογαριασμό ελληνικών ναυπηγείων, τις ελκτικές δυνατότητες πλοίων διαφόρων τύπων, επιδόσεων και εκτοπίσματος.

Οι πρώτοι έλεγχοι, εγένοντο με επίγειο σύστημα ραδιοεντοπισμού, που αποτελείτο από ένα σύστημα τηλεμετρίας στο πλοίο και 2 ή 3 αναμεταδότες στην ξηρά, ανάλογα με το εύρος της περιοχής που έπρεπε να καλυφθεί. Από το 1990, αρχίσαμε να χρησιμοποιούμε εξοπλισμό και μεθόδους δορυφορικής γεωδαισίας (έχοντας αναπτύξει ένα πλήρες σύστημα ελέγχων), επειδή τα αποτελέσματα ήσαν περισσότερο ακριβή, οι εργασίες πεδίου ευκολώτερες και το πλοίο, είχε πολύ μεγαλύτερη αυτονομία να κινηθεί, αφού δεν εξαρτάτο από τους σταθμούς ξηράς.

1. Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού.

Αυτές οι δυνατότητες της δορυφορικής γεωδαισίας, οφείλονται στην ανάπτυξη και λειτουργία του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού (NAVigation Satellite Timing And Ranging - NAVSTAR, Global Positioning System - GPS), με χρήση μετρήσεων προς τεχνητούς δορυφόρους, που αναπτύχθηκε από τις ΗΠΑ και είναι σε πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία, από το 1994.

Το σύστημα αυτό παρέχει με κάθε καιρό, σε 24ωρη βάση, ακριβή, παγκόσμιο, τριδιάστατο εντοπισμό και ταχύτητα, σε πραγματικό χρόνο (real time) και σε απεριόριστο αριθμό χρηστών στη γη, τη θάλασσα ή τον αέρα.

Η αρχή της λειτουργίας του συστήματος GPS, φαίνεται στο σχήμα 1. Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου πάνω στην επιφάνεια της γης (ή ενός κινήτου), βασίζεται στη μέτρηση τεσσάρων αποστάσεων προς τέσσερις δορυφόρους, επάνω από τον τοπικό

ορίζοντα του παρατηρητή.

Γνωρίζοντας τη θέση των δορυφόρων την χρονική στιγμή της μέτρησης, σε ένα κατάλληλο σύστημα αναφοράς, η θέση του παρατηρητή προσδιορίζεται με τη λύση ενός συστήματος 4 εξισώσεων με 4 αγνώστους (πλάτος, μήκος, υψόμετρο και χρόνος).

2. Το τμήμα ελέγχου.

Το τμήμα ελέγχου, αποτελείται από έναν κεντρικό σταθμό ελέγχου, πέντε σταθμούς παρακολούθησης και τρεις σταθμούς επικοινωνίας, σε διάφορα μέρη του κόσμου, με κύριο σκοπό να παρακολουθούν συνεχώς τους δορυφόρους, ώστε να ελέγχεται η καλή λειτουργία τους, να προσδιορίζεται η τροχιά τους και η συμπεριφορά των χρονομέτρων τους και η πληροφορία αυτή να μεταδίδεται στους δορυφόρους, ώστε να εκπέμπεται στους χρήστες.

3. Το τμήμα χρηστών.

Το τμήμα χρηστών αποτελείται από όλους τους χρήστες του συστήματος GPS, για οποιαδήποτε εφαρμογή.

4. Το τμήμα του διαστήματος.

Το σύστημα GPS σήμερα (Φεβ. 99), είναι επιχειρησιακά έτοιμο, με 26 δορυφόρους σε λειτουργία. Οι δορυφόροι περιστρέφονται γύρω από τη γη, σε κυκλικές τροχιές, σε απόσταση περίπου 20200 km, με μία πληρη περιστροφή, σε κάτι λιγότερο από 12 h. Είναι κατανεμημένοι σε έξι τροχιακά επίπεδα κλίσης 55° ως προς τον ισημερινό. Η πληροφορία μεταδίδεται στους χρήστες, με τη βοήθεια τεσσάρων ατομικών χρονομέτρων (ακριβείας, περίπου 10^{-13} ή 10^{-14}).

4.1 Το εκπεμπόμενο σήμα των δορυφόρων GPS.

Το σήμα των δορυφόρων GPS, αποτελείται από έναν συνδυασμό σημάτων, που όλα ελέγχονται από τα τέσσερα ατομικά χρονομέτρα. Η θεμελιώδης συχνότητα, που παράγεται, είναι 10.23 MHz. Από την θεμελιώδη

συχνότητα, παράγονται δύο φέρονσες συχνότητες, η L1 και η L2, πολλαπλασιάζοντάς τες επί 154 και 120, έτσι ώστε να είναι $L1 = 1575.42$ MHz και $L2 = 1227.60$ MHz

Η φέρονσα L1, διαμορφώνεται με έναν ακριβή κώδικα (P-code, Precise code) στα 10.23 MHz, έναν βοηθητικό κώδικα (C/A-code, Coarse / Acquisition code) στα 1.023 MHz και το μήνυμα ναυσιπλοίας στα 50 Hz. Η φέρονσα L2, διαμορφώνεται με τον (ίδιο) κώδικα P και το (ίδιο) μήνυμα ναυσιπλοίας.

Οι κώδικες P και C/A είναι κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου (Pseudorandom Noise Codes - PRN), δηλαδή σειρές δυαδικών αριθμών (-1 και 1), με ιδιότητες «θορύβου», οι οποίες μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, θα αρχίσουν να επαναλαμβάνονται.

Ο κώδικας P, είναι μία μεγάλη (μακριά) σειρά δυαδικών ψηφίων, που αρχίζει και επαναλαμβάνεται, μετά από περίπου 267 μέρες ή 37 εβδομάδες. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει μία εβδομάδα του κώδικα (πχ όταν ένας δέκτης παρακολουθεί τον δορυφόρο PRN18, παρακολουθεί τον δορυφόρο, που εκπέμπει την 18η εβδομάδα του κώδικα). Με τον τρόπο αυτό ο δέκτης, μπορεί να ξεχωρίσει τους δορυφόρους, έστω και αν όλοι εκπέμπουν στην L1 και L2, επειδή τα εβδομαδιαία τμήματα του κώδικα, είναι τελείως διαφορετικά μεταξύ τους. Το εβδομαδιαίο τμήμα του κώδικα κάθε δορυφόρου, εκπέμπεται από την αρχή του, κάθε Σάββατο προς Κυριακή τα μεσάνυχτα. Ο κώδικας C/A, είναι πολύ βραχύτερος, με διάρκεια 1msec, αλλά κάθε δορυφόρος εκπέμπει επίσης έναν μοναδικό κώδικα C/A. Οι αλγόριθμοι με τους οποίους παράγονται οι δύο κώδικες, έχουν δημοσιευθεί και είναι γνωστοί.

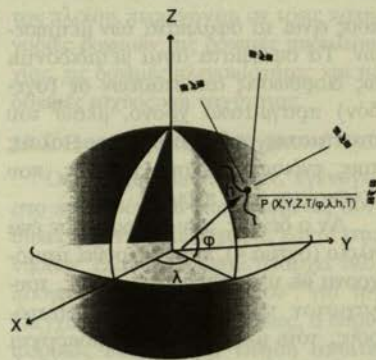
4.2 Το μήνυμα των δορυφόρων.

Το μήνυμα των δορυφόρων, περιέχει πληροφορία για τα τροχιακά στοιχεία, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η τροχιά του δορυφόρου, που εκπέμπει, ως προς τον χρόνο του συστήματος

GPS, τη συμπεριφορά των χρονομέτρων του δορυφόρου και τροχιακά στοιχεία μικρότερης ακριβείας για όλους τους άλλους δορυφόρους που λειτουργούν, ώστε, μέσω προβλέψεων, να υποβληθεί η αρχική ανίχνευση του δέκτη για δορυφόρους. Το μήνυμα επίσης, περιέχει πληροφορία, ώστε ένας δέκτης να μπορεί να αλλάξει από τον κώδικα C/A, που είναι πολύ εύκολο να αρχίσει να τον παρακολουθεί, στον κώδικα P, που είναι πολύ δύσκολο να αρχίσει να παρακολουθεί, χωρίς εξωτερική πληροφορία.

5. Το σύστημα αναφοράς.

Το σύστημα αναφοράς, που χρησιμοποιείται από το σύστημα GPS, είναι το καρτεσιανό γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς WGS-84 (World Geodetic System - 1984). Επειδή οι τροχιές των δορυφόρων εκλέπονται σε αυτό, κάθε χρήστης του συστήματος GPS, προσδιορίζει τη θέση του στο ίδιο σύστημα. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z), μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε γεωγραφικές, πλάτος, μήκος και υψόμετρο (φ , λ , h), επάνω από το ελλειψοειδές του WGS-84 (σχήμα 1).



Σχ. 1. Αρχή εντοπισμού με το σύστημα GPS Καρτεσιανές και γεωγραφικές συντεταγμένες.

6. Μετρήσεις.

Η κύρια μέτρηση, που γίνεται στο σύστημα GPS, είναι η μέτρηση της απόστασης δορυφόρου-δέκτη. Ο δέκτης μετράει το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να συσχετίσει τον εισερχόμενο κώδικα, που εκπέμπεται από έναν δορυφόρο, με τον ακριβώς

όμοιο και τελείως συγχρονισμένο, σε απόλυτο χρόνο, κώδικα, που παράγει ο ίδιος. Αυτή η χρονική διαφορά, είναι ουσιαστικά ο χρόνος της διαδρομής του σήματος από τον δορυφόρο στον δέκτη και μετατρέπεται σε απόσταση πολλαπλασιαζόμενη με την ταχύτητα του φωτός. Κατάλληλος δέκτης είναι δυνατόν να μετρήσει επίσης, το φαινόμενο Doppler (σε κύκλους) της φέρουσας συχνότητας, συγκρίνοντας την εισερχόμενη φέρουσα, με την συχνότητα αναφοράς, που παράγει ο ίδιος.

7. Πηγές σφαλμάτων.

Η κύρια πηγή σφάλματος στον εντοπισμό με το σύστημα GPS, είναι η εκπεμπόμενη εφημερίδα (τροχιά) του δορυφόρου. Οι παράμετροι, που περιγράφουν την τροχιά του, προέρχονται από προβλέψεις, που βασίζονται σε παλαιότερες μετρήσεις (πριν από μερικές ημέρες). Λόγω της αβεβαιότητας των μοντέλων για τις δυνάμεις που επδρούν στον δορυφόρο (κυρίως του πεδίου βαρύτητας της γης και της πίεσης της ηλιακής ακτινοβολίας), η προβλεπόμενη τροχιά διαφέρει αρκετά από την πραγματική (συνήθως, γύρω στα 10 - 15 m).

Ένας άλλος παράγοντας είναι η συμπεριφορά των χρονομέτρων των δορυφόρων (έστω και αν ελέγχονται συνεχώς) και κυρίως, του δέκτη, δεδομένου ότι η μέτρηση της απόστασης, βασίζεται στον πολύ καλό συγχρονισμό τους.

Το εκπεμπόμενο σήμα, όπως διαδίδεται διαμέσου της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα, από 0 - 40 km, ιονόσφαιρα από 40 - 400 km) διαθλάται. Η ιονοσφαιρική διάθλαση, που εξαρτάται από την συχνότητα, αντιμετωπίζεται με μετρήσεις στις δύο συχνότητες L1 με L2 (πολύ ικανοποιητικά) ή με τα ιονοσφαιρικά μοντέλα, που περιέχονται στο μήνυμα ναυσιπλοίας (κατά προσέγγιση). Η τροποσφαιρική διάθλαση, είναι ανεξάρτητη της συχνότητας και εξαρτάται, κυρίως, από την κατανομή της υγρασίας κατά μήκος της διαδρομής του σήματος μέσα στην τροπόσφαιρα. Ένα μεγάλο μέρος του σφάλματος, αντιμετωπίζεται με χρήση τροποσφαιρικών μοντέλων.

Σημαντικός επίσης παράγοντας σφάλματος, είναι και η γεωμετρία του σχηματισμού δορυφόρων -δέκτη, που

αλλάζει συνεχώς, λόγω της κίνησης των δορυφόρων.

Τέλος, στα συνολικά σφάλματα του εντοπισμού, συνεισφέρουν προφανώς και τα σφάλματα των μετρήσεων. Τα σφάλματα αυτά είναι ανάλογα του μήκους κύματος του κώδικα (1% περίπου του μήκους κύματος) και είναι συνήθως 3 m για τον κώδικα C/A και 0.3 m για τον κώδικα P.

Αν όλα τα παραπάνω σφάλματα συνυπολογισθούν, τότε ο εντοπισμός με τον κώδικα P παρέχεται με μέση ακρίβεια 8 - 10 m και ο εντοπισμός με τον κώδικα C/A, με μέση ακρίβεια 15-25 m.

8. Περιορισμοί στην παρεχόμενη ακρίβεια του συστήματος GPS.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, το σύστημα GPS ελέγχεται από τις ΗΠΑ, που ανέπτυξαν (και χρησιμοποιούν) δύο μεθόδους περιορισμού της παρεχόμενης ακριβείας προς τους χρήστες.

Η πρώτη μέθοδος λέγεται "απόκρυψη" (AntiSpoofing, A-S) και η δεύτερη "επιλεκτική διαθεσιμότητα" (Selective Availability, SA)

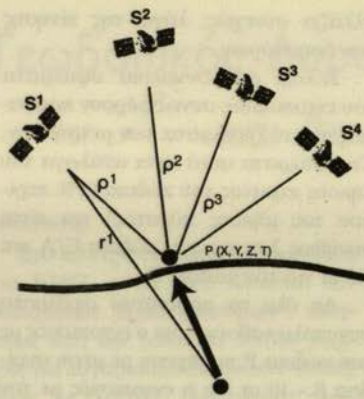
Οι επιχειρησιακοί δορυφόροι του συστήματος, έχουν τη δυνατότητα να μεταδίδουν έναν κρυπτογραφημένο ακριβή κώδικα (Y-code) αντί του γνωστού κώδικα P. Αυτό απαγορεύει την χρήση του συστήματος GPS για εντοπισμό πραγματικού χρόνου υψηλής ακριβείας, σε κάθε μη εξουσιοδοτημένο χρήστη. Η δυνατότητα αυτή ετέθη σε εφαρμογή τον Ιανουάριο 1994.

Η επιλεκτική διαθεσιμότητα, εφαρμόζεται με επιβολή θορύβου στο εκπεμπόμενο σήμα και αποκοπή σημαντικών ψηφίων από τις παραμέτρους, που εκφράζουν την τροχιά του δορυφόρου. Η τεχνική αυτή άρχισε να εφαρμόζεται από τον Ιούλιο 1991 και σε διάφορα επίπεδα μείωσης της ακριβείας. Σήμερα, η παρεχόμενη ακρίβεια στον εντοπισμό πραγματικού χρόνου, είναι της τάξης των 100 m (95% του χρόνου ή για το 95% των σημάτων) οριζοντιογραφικά και 150 m υψομετρικά.

9. Εντοπισμός με το σύστημα GPS.

Οι μέθοδοι εντοπισμού με το σύστημα GPS είναι δύο, ο απόλυτος εντοπισμός (σχήμα 2) και ο σχετικός εντοπισμός (σχήμα 3).

Απόλυτος εντοπισμός, ονομάζεται



Σχ. 2. Απόλυτος εντοπισμός

ο προσδιορισμός των συντεταγμένων ενός σημείου χρησιμοποιώντας έναν δέκτη, ο οποίος μετράει ταυτόχρονα αποστάσεις, προς τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους. Οι συντεταγμένες του σημείου, προσδιορίζονται από τις εκπεμπόμενες τροχιές και τις μετρήσεις των αποστάσεων, απαιτούνται δε, τουλάχιστον τέσσερις μετρήσεις, ώστε η τετάρτη μέτρηση να δώσει το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη, ως προς τα ατομικά χρονομέτρα των δορυφόρων. (Για λόγους μείωσης του κόστους των δεκτών, το χρονομέτρό τους δεν είναι τόσο υψηλής ποιότητας όσο των δορυφόρων). Περισσότερες από τέσσερις παρατηρήσεις, επιτρέπουν τον προσδιορισμό των τεσσάρων αγνώστων, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Το αποτέλεσμα του απόλυτου εντοπισμού είναι ουσιαστικά το διάνυσμα από το κέντρο της γης μέχρι τον παρατηρητή, η δε παρεχόμενη ακρίβεια είναι της τάξης των 100 m, λόγω κυρίως, της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, ανεξαρτήτως της ποιότητας και του κόστους του δέκτη.

Ο σχετικός εντοπισμός, αφορά τον προσδιορισμό της θέσης ενός ή περισσότερων δεκτών ως προς ένα δέκτη (σταθμό αναφοράς), που θεωρείται ότι βρίσκεται (ή πράγματι βρίσκεται) σε σημείο γνωστών συντεταγμένων. Όλα τα όργανα παρακολουθούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους, το δε αποτέλεσμα του σχετικού

εντοπισμού είναι τα διανύσματα μεταξύ του σταθμού αναφοράς και των άλλων δεκτών. Οι συντεταγμένες των σημείων, προσδιορίζονται, αν προστεθούν οι συνιστώσες του κάθε διανύσματος, στις συντεταγμένες του σταθμού αναφοράς.

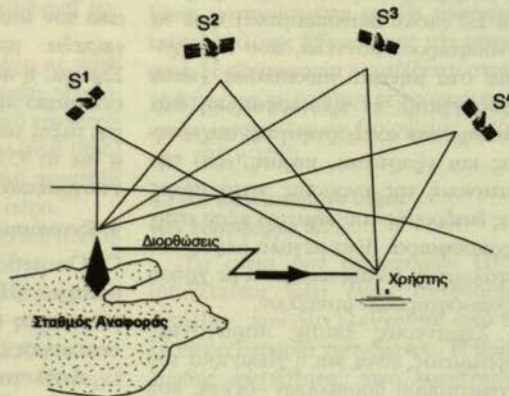
Επειδή όλοι οι δέκτες παρακολουθούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους, η επίδραση των περισσότερων σφαλμάτων είναι κοινή (σε μεγάλο βαθμό) και επομένως, το διάνυσμα της σχετικής θέσης, είναι απαλλαγμένο σε μεγάλο ποσοστό, από τα σφάλματα αυτά (ανάλογα και με την απόσταση μεταξύ των δεκτών). Η ακρίβεια του σχετικού εντοπισμού (από διάφορες εργασίες του Εργαστηρίου), είναι συνήθως 2 ως 5 m, για αποστάσεις της τάξης των 100 km μεταξύ των δεκτών, αλλά για όργανα υψηλής ποιότητας η αβεβαιότητα μπορεί να είναι μικρότερη από 1m στα 100 km και περίπου, 3 m στα 400 km.

Ο εντοπισμός μπορεί να είναι στατικός, όταν προσδιορίζονται οι συντεταγμένες ενός σημείου και κινηματικός, όταν προσδιορίζεται η κίνηση ενός σημείου στον χώρο. Μπορεί επίσης, να είναι πραγματικού χρόνου, όταν οι συντεταγμένες προσδιορίζονται επιτόπου τη στιγμή των μετρήσεων ή μπορεί τα αποτελέσματα να δοθούν εκ των υστέρων, μετά από περαιτέρω επεξεργασία στο γραφείο.

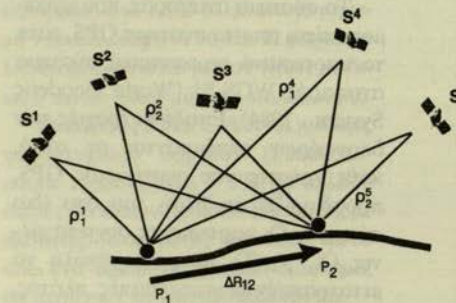
9.1 Ο διαφορικός εντοπισμός.

Ο διαφορικός εντοπισμός (Differential GPS - DGPS), είναι στην πραγματικότητα σχετικός κινηματικός εντοπισμός, με χρήση όμως και ενός συστήματος ραδιοζεύξης.

Σχ. 4. Διαφορικός εντοπισμός



Ο σταθμός αναφοράς τοποθετείται σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και παρακολουθεί όλους τους δορυφόρους, που βρίσκονται επάνω από τον τοπικό του ορίζοντα. Επειδή η θέση του δέκτη και οι τροχιές των δορυφόρων (μέσω των εκπεμπόμενων εφημερίδων) είναι στοιχεία γνωστά, ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει τις αποστάσεις, που θα έπρεπε να μετρά προς κάθε δορυφόρο, ώστε να υπολογίσει την γνωστή θέση. Οι υπολογισμένες αποστάσεις συγκρίνονται με αυτές, που πραγματικά μετράει και οι διαφορές



Σχ. 3. Σχετικός εντοπισμός

τους είναι τα σφάλματα των μετρήσεων. Τα σφάλματα αυτά μεταδίδονται ως διορθώσεις αποστάσεων σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο, μέσω του συστήματος ραδιοζεύξης, προς όλους τους ενδιαφερόμενους χρήστες, που βρίσκονται στην περιοχή.

Αν ο δέκτης, που βρίσκεται σε ένα πλοίο (σχήμα 4), παρακολουθεί ταυτόχρονα με τον σταθμό αναφοράς, τουλάχιστον τέσσερις κοινούς δορυφόρους, τότε μπορεί να χρησιμοποιήσει τις εκπεμπόμενες διορθώσεις μαζί με τις μετρήσεις του και να προσδιορίσει τη θέση του με μεγάλη ακρίβεια, δεδομένου ότι, το μεγαλύτερο μέρος των σφαλμάτων, είναι κοινό και για τους δύο δέκτες.

Η ακρίβεια, που παρέχεται από τον διαφορικό εντοπισμό, είναι της τάξης των 2 ως 5 m, για αποστάσεις μεταξύ σταθερού και κινούμενου δέκτη μέχρι 100 km. Αν τα όργανα είναι υψηλής ποιότητας, η παρεχόμενη ακρίβεια μπορεί να είναι και καλύτερη από 1 m στα 100 km. Είναι βεβαίως προφανές και στην περίπτωση αυτή, ότι η ακρί-

βεια μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του σταθερού και του κινούμενου δέκτη.

10. Ο έλεγχος των πλοίων.

Είναι γνωστό ότι ένα πλοίο πρέπει να πληροί, μέσα σε ωρισμένα αποδεκτά όρια, κάποιες προδιαγραφές και να έχει ωρισμένες δυνατότητες χειρισμών, όπως :

- α. Τη δυνατότητα διατήρησης πορείας με μικρές αλλαγές αζιμουθίου, πορείας και με μικρή δραστηριότητα πηδαλίου.
- β. Τη δυνατότητα ελιγμών, που αφορά την ταχεία αλλαγή πορείας, την στροφή με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και την πορεία με χαμηλή ταχύτητα.
- γ. Τη δυνατότητα κράτησης (έκτακτης ανάγκης ή αδρανειακής), μέσα σε καθορισμένη απόσταση και καθορισμένες εγκάρσιες αποκλίσεις της πορείας.
- δ. Βεβαίως, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ελεγχθεί και αν η προκαθορισμένη ισχύς της μηχανής, μεταφράζεται στην απαιτούμενη ταχύτητα του πλοίου.

Όλες οι δοκιμές για τις επιδόσεις του πλοίου, περιέχονται σε τρεις κατηγορίες δοκιμών: τις δοκιμές πηδαλιουχίας, τις δοκιμές πλευσιμότητας και τις δοκιμές ισχύος και ταχύτητας.

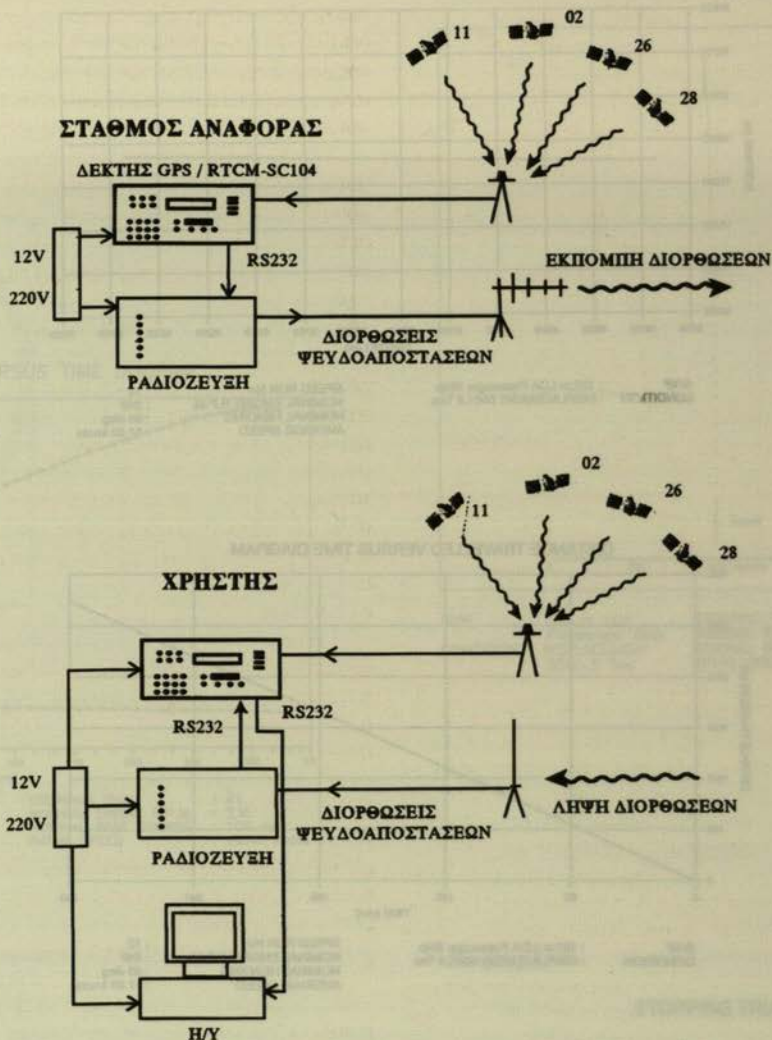
10.1. Η περιοχή των ελέγχων.

Οι έλεγχοι των πλοίων, εγένοντο στο παρελθόν και υπο ορισμένες συνθήκες γίνονται και σήμερα, κοντά στις νηοϊκές Διαπόρτα, όπου υπάρχει υλοποιημένο με βάθρα το "μίλι", για τον έλεγχο των ταχυτήτων. Όμως, ο δορυφορικός εντοπισμός, επειδή απαιτεί ορατότητα προς τους δορυφόρους και όχι προς την στεριά, επιτρέπει την εκτέλεση των δοκιμών, σε οποιαδήποτε περιοχή κριθεί κατάλληλη.

10.2. Ο εξοπλισμός.

Είναι προφανές ότι, ο απόλυτος δορυφορικός εντοπισμός (χρήση ενός οργάνου μόνο στο πλοίο), με την ονομαστική ακρίβεια των 100 m (95%), δεν επιτρέπει τον έλεγχο ενός πλοίου.

Απαιτείται λοιπόν, σχετικός εντοπισμός, ο οποίος παρέχει ακρίβεια καλύτερη από 1m και δεδομένου ότι οι πληροφορίες ακριβούς πορείας και



Σχ. 5. Πλήρες σύστημα εντοπισμού (Σταθμός αναφοράς και χρήστης)

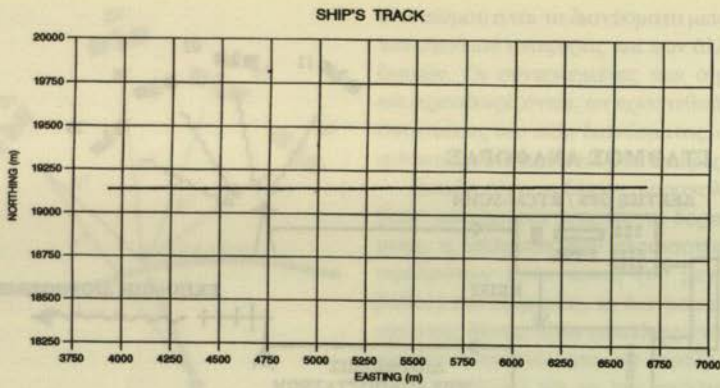
ταχύτητας χρειάζονται σε πραγματικό χρόνο στη γέφυρα, η καλύτερη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είναι ο διαφορικός εντοπισμός (DGPS).

Το σύστημα (σχήμα 5), που έχει αναπτυχθεί εξ ολοκλήρου από το Κέντρο και χρησιμοποιείται σήμερα, αποτελείται από έναν σταθμό αναφοράς (δέκτη GPS και πομπό VHF) και έναν σταθμό στο πλοίο (δέκτη GPS λήπτη VHF και υπολογιστή).

Ο σταθμός αναφοράς, τοποθετείται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες (που έχουν προσδιορισθεί προηγουμένως), υπολογίζει και εκπέμπει τις διορθώσεις των μετρήσεων προς το

πλοίο. Ο σταθμός του πλοίου, λαμβάνει τις διορθώσεις και προσδιορίζει τη σωστή θέση του. Ο υπολογιστής χρησιμοποιείται, αφ' ενός, για να καταγράφει τις "μετρήσεις" (χρόνος, πλάτος, μήκος, υψόμετρο, ταχύτητα κατά το πλάτος, μήκος, υψόμετρο) και αφ' ετέρου, για να υπολογίζει και να παρουσιάζει στη γέφυρα, στοιχεία χρήσιμα για την κίνηση του πλοίου, όπως είναι η θέση, η πορεία και η ταχύτητά του ως προς την στεριά, ή τη θέση, η πορεία και η ταχύτητα ως προς την γραμμική πλευσίση και εγκάρσιά της.

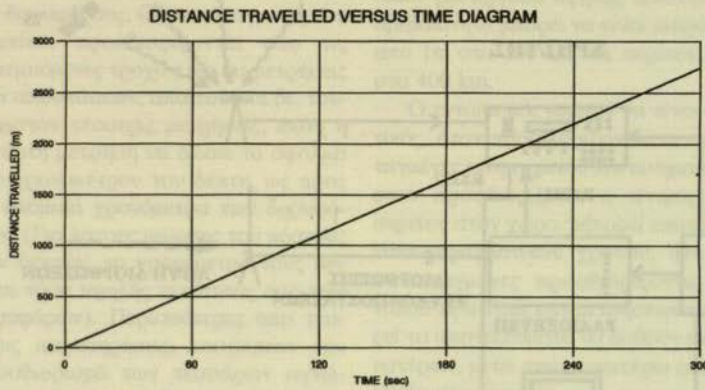
Η ανάλυση των δεδομένων, γίνεται με λογισμικό που έχει γραφεί γι' αυτό το σκοπό στο Εργαστήριο, χρησιμο-



SHIP : 122 m LOA Passenger Ship
 CONDITION : DISPLACEMENT 5561.5 Tns

SPEED RUN No : 12
 NOMINAL ENGINE R.P.M. : 240
 NOMINAL HEADING : 90 deg
 AVERAGE SPEED : 17.80 knots

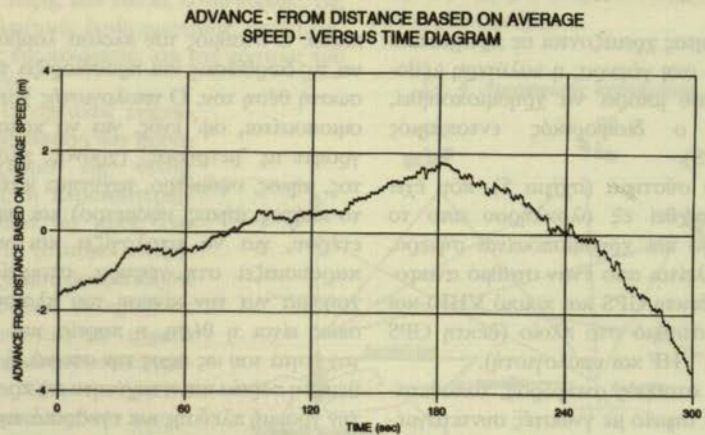
Διάγραμμα βα



SHIP : 122 m LOA Passenger Ship
 CONDITION : DISPLACEMENT 5561.5 Tns

SPEED RUN No : 12
 NOMINAL ENGINE R.P.M. : 240
 NOMINAL HEADING : 90 deg
 AVERAGE SPEED : 17.80 knots

Διάγραμμα ββ

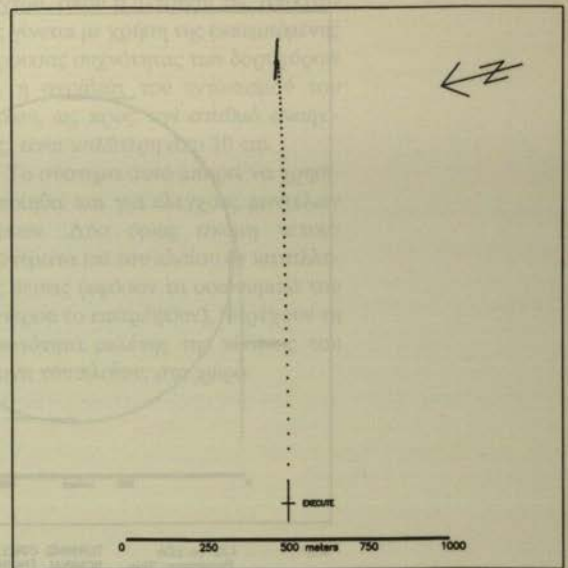


SHIP : 122 m LOA Passenger Ship
 CONDITION : DISPLACEMENT 5561.5 Tns

SPEED RUN No : 12
 NOMINAL ENGINE R.P.M. : 240
 NOMINAL HEADING : 90 deg
 AVERAGE SPEED : 17.80 knots

Διάγραμμα βγ

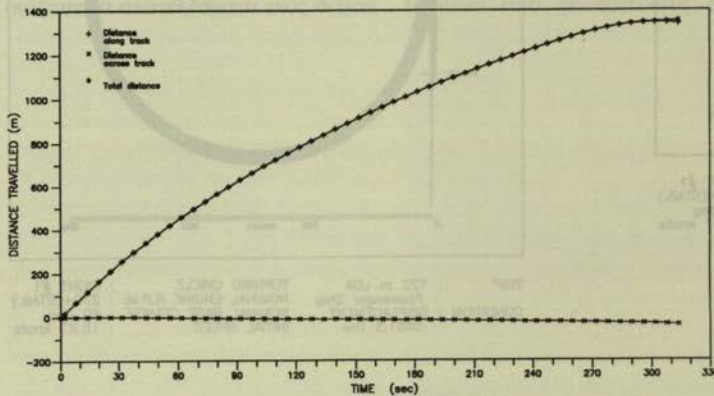
ΠΥΡΦΩΡΟΣ 2000



SHIP	: 122 m LOA	STOPPING TRIAL	: #1
	Passenger Ship	NOMINAL ENGINE R.P.M.	: 230
CONDITION	: DISPLACEMENT	NOMINAL BASE COURSE	: 105 deg
	5561.5 Tns	INITIAL SPEED	: 16.44 knots

Διάγραμμα 7β

DISTANCE TRAVELLED VERSUS TIME DIAGRAM

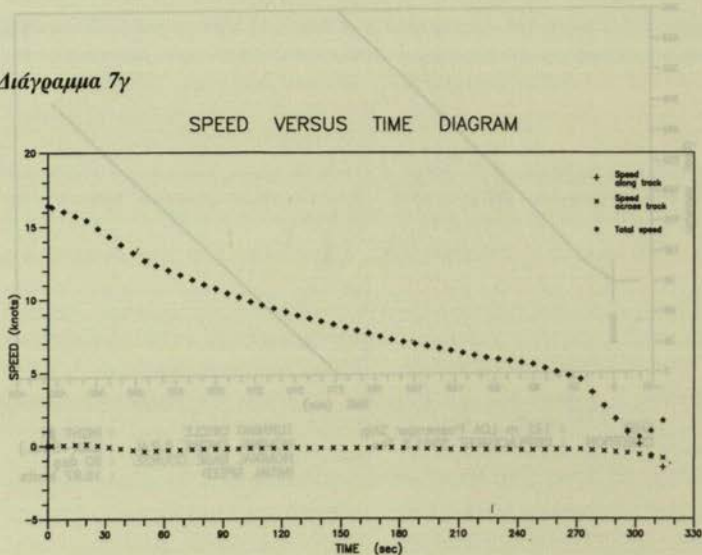


SHIP	: 122 m LOA
	Passenger Ship
CONDITION	: DISPLACEMENT
	5561.5 Tns

STOPPING TRIAL	: #1
NOMINAL ENGINE R.P.M.	: 230
NOMINAL BASE COURSE	: 105 deg
INITIAL SPEED	: 16.44 knots

Διάγραμμα 7γ

SPEED VERSUS TIME DIAGRAM



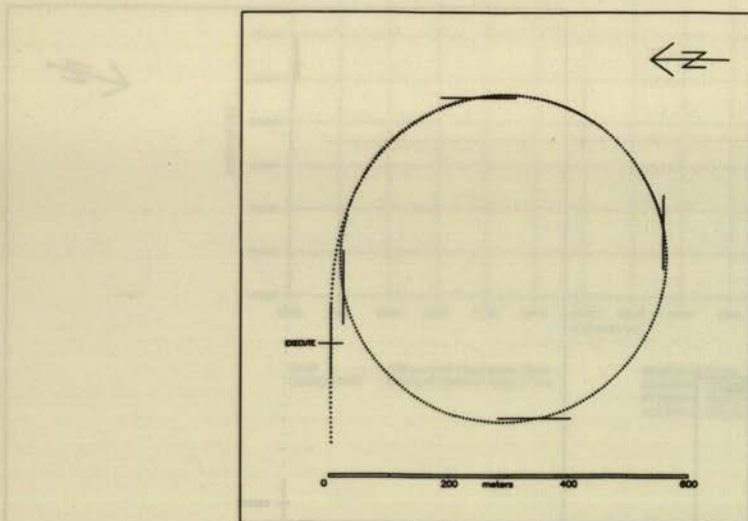
SHIP	: 122 m LOA
	Passenger Ship
CONDITION	: DISPLACEMENT
	5561.5 Tns

STOPPING TRIAL	: #1
NOMINAL ENGINE R.P.M.	: 230
NOMINAL BASE COURSE	: 105 deg
INITIAL SPEED	: 16.44 knots

Πίνακας 1.

STOPPING TRIAL # 1

Ship Name	: 122 m LOA
	Passenger Ship
Test Date	: 06/06/98
Start Time of Test	: 18:18
Nominal Base Course	: 105 deg
Nominal Engine RPM (Beginning)	: 230
Nominal Engine RPM (End)	: —
Depth of Water	: >100 m
Sea Condition	: 0-1
Wind Direction	: —
Wind Velocity	: —
Trial Draft (FWD)	: 5.50 m
Trial Draft (AFT)	: 5.60 m
Time to Start Shaft Astern	: —
Time to Ordered RPM Astern	: —
Time to Stop Ship	: 304.2 sec
Ahead Reach	: 1344.0 m
Max Ahead Reach	: 1411.0 m
Side Reach	: 35.2 m
Distance to Stop Along Ship Track	: 1346.2 m

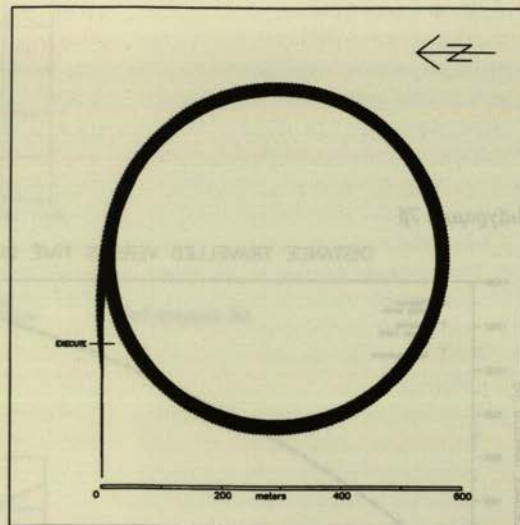


SHIP : 122 m LOA
 Passenger Ship
 CONDITION : DISPLACEMENT : 5561,5 Tns

TURNING CIRCLE : RIGHT #1
 NOMINAL ENGINE R.P.M. : 230+(STAB.)
 NOMINAL BASE COURSE : 90 deg
 INITIAL SPEED : 15.97 knots

Διάγραμμα 8α

CLEARING CIRCLE



SHIP : 122 m LOA
 Passenger Ship
 CONDITION : DISPLACEMENT : 5561,5 Tns

TURNING CIRCLE : RIGHT #1
 NOMINAL ENGINE R.P.M. : 230+(STAB.)
 NOMINAL BASE COURSE : 90 deg
 INITIAL SPEED : 15.97 knots

Διάγραμμα 8γ

TEST : TURNING CIRCLE RIGHT #1

Διάγραμμα 8β

Ship Name : 122 m LOA
 Passenger Ship

Test Date : 06/06/98

Start Time of Test : 16:43

Nominal Base Course : 90 deg

True Base Course : 91.62 deg

Rudder Angle : 35 deg R

Nominal Engine RPM (Beginning) : 230 (+stab)

Nominal Engine RPM (End) : 230 (+stab)

Depth of Water : >100 m

Sea Condition : 0 - 1

Wind Direction : :

Wind Velocity : :

Trial Draft (FWD) : 5.50 m

Trial Draft (AFT) : 5.60 m

Maximum Drift Correction Dist. : :

Maximum Drift Correction Dir. : :

Advance to Change Hdg 90 deg : 407.2 m

Transfer to Change Hdg 90 deg : 240.5 m

Tactical Diameter : 556.0 m

Final Diameter : 544.6 m

Time to Clear Base Course : 29.8 sec

Advance to Clear Base Course : 190.6 m

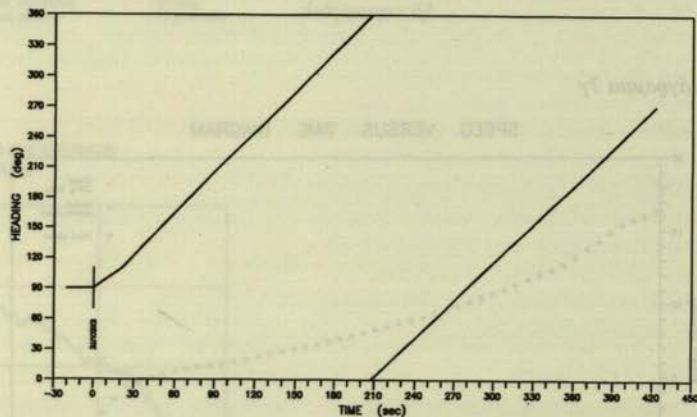
Max Advance any Part of Ship : 431.1 m

Max Departure from Base Course : 579.8 m

Drift Correction Direction : 110 deg

Drift Correction Rate : 0.179 m/sec

SHIP'S HEADING VERSUS TIME DIAGRAM



SHIP : 122 m LOA Passenger Ship
 CONDITION : DISPLACEMENT : 5561.5 Tns

TURNING CIRCLE : RIGHT #1
 NOMINAL ENGINE R.P.M. : 230(+STAB.)
 NOMINAL BASE COURSE : 90 deg
 INITIAL SPEED : 15.97 knots

Πίνακας 2

ποιώντας την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, αλλά είναι δυνατόν να γίνει και μια πρώτη καλή εκτίμηση της επιτυχίας της δοκιμής επί του πλοίου.

10.3 Δοκιμή ταχύτητας, κράτησης και στροφής.

Τα διαγράμματα 6α, 6β, 6γ, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα ενός ελέγχου ταχύτητας. Ο πίνακας 1 και τα διαγράμματα 7α, 7β, 7γ, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα μίας δοκιμής κράτησης έκτακτης ανάγκης και ο πίνακας 2 και τα διαγράμματα 8α, 8β, 8γ, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα ενός δεξιού

κύκλου στροφής.

11. Το επόμενο βήμα.

Στο άμεσο μέλλον, προγραμματίζουμε να αντικαταστήσουμε τον προσδιορισμό της ταχύτητας του πλοίου από διαφορές συντεταγμένων ως προς τον χρόνο, με απευθείας μετρήσεις ταχυτήτων, μέσω του φαινομένου doppler, με αναμενόμενη ακρίβεια 0.05 κόμβου (ναυτικά μίλια την ώρα).

Προγραμματίζουμε επίσης να δοκιμάσουμε ένα πλήρες σύστημα σχετικού κινήματος εντοπισμού (αποτελούμενο από γεωδαιτικούς δέκτες

υψηλής ακρίβειας), που ήδη διαθέτει το Κέντρο, όπου η μέτρηση της απόστασης γίνεται με χρήση της εκπεμπόμενης φέρουσας συχνότητας των δορυφόρων και η ακρίβεια του εντοπισμού του πλοίου, ως προς τον σταθμό αναφοράς, είναι καλύτερη από 10 cm.

Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ελέγχους μοντέλων πλοίων. Δύο όμως ακόμη τέτοια συστήματα επί του πλοίου σε κατάλληλες θέσεις (εφόσον τα οικονομικά του Κέντρου το επιτρέψουν), παρέχουν τη δυνατότητα μελέτης της κίνησης του άξονα του πλοίου, στο χώρο.