

Γεωδαιτικός Δορυφορικός Προσδιορισμός Ταχυτήτων και Δυνατοτήτων
Ελιγμών Πλοίου

Δημήτρης Παραδείσης
Αναπλ. Καθηγητής
Τομέας Τοπογραφίας ΕΜΠ

1 Εισαγωγή

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

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

2 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 απο τις ΗΠΑ και είναι σε πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία απο το 1994.

Το σύστημα αυτό παρέχει μέ κάθε καιρό, σε 24ωρη βάση, ακριβή, παγκόσμιο, τριδιάστατο εντοπισμό και ταχύτητα, σε πραγματικό χρόνο (real time) και σε απεριόριστο αριθμό χρηστών στην γή, την 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 κινητού) βασίζεται στην μέτρηση τεσσάρων αποστάσεων προς τέσσερις δορυφόρους επάνω απο τον τοπικό ορίζοντα του παρατηρητή.

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

2 Το τμήμα ελέγχου

Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από ένα 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 γή, 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 ένα συνδυασμό σημάτων, που όλα ελέγχονται από τα τέσσερα ατομικά χρονόμετρα. Η θεμελιώδης συχνότητα που παράγεται είναι 10.23 MHz. Από την θεμελιώδη συχνότητα παράγονται δύο φέρουσες συχνότητες, η L1 και η L2, πολλαπλασιάζοντάς την επί 154 και 120, έτσι ώστε να είναι $L1 = 1575.42$ MHz και $L2 = 1227.60$ MHz

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

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 απο ένα ορισμένο χρονικό διάστημα θα αρχίσουν να επαναλαμβάνονται.

Ο κώδικας P είναι μία μεγάλη (μακριά) σειρά δυαδικών ψηφίων, που αρχίζει και επαναλαμβάνεται μετά απο 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 18^η 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 απο την αρχή του, κάθε Σάββατο προς Κυριακή τα μεσάνυχτα. Ο κώδικας C/A είναι πολύ βραχύτερος με διάρκεια 1msec, αλλά καθε δορυφόρος εκπέμπει επίσης ένα 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 το χρόνο του συστήματος GPS, την συμπεριφορά των χρονομέτρων του δορυφόρου και τροχιακά στοιχεία μικρότερης ακρίβειας για όλους τους άλλους δορυφόρους που λειτουργούν, ώστε μέσω προβλέψεων να υποβοηθείται η αρχική ανίχνευση του δέκτη για δορυφόρους. Το μήνυμα επίσης περιέχει πληροφορία, ώστε ένας δέκτης να μπορεί να αλλάξει απο 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 απο το σύστημα GPS είναι το καρτεσιανό γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς WGS-84 (World Geodetic System - 1984). Επειδή οι τροχιές των δορυφόρων εκπέμπονται σε αυτό, κάθε χρήστης του συστήματος GPS προσδιορίζει την 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).

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 ένα 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 επιδρούν στο δορυφόρο (κυρίως του πεδίου βαρύτητας της γής και της πίεσης της ηλιακής ακτινοβολίας), η προβλεπόμενη τροχιά διαφέρει αρκετά από την πραγματική (συνήθως γύρω στα 10 - 15 m).

Ενας 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 και L2 (πολύ ικανοποιητικά) ή με τα ιονοσφαιρικά μοντέλα, που περιέχονται στο μήνυμα ναυσιπλοΐας (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 ακρίβειας 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 την δυνατότητα να μεταδίδουν ένα κρυπτογραφημένο ακριβή κώδικα (Y-code) αντί του γνωστού κώδικα P. Αυτό απαγορεύει την χρήση του συστήματος GPS για εντοπισμό πραγματικού χρόνου υψηλής ακρίβειας 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 ακρίβειας. Σήμερα η παρεχόμενη ακρίβεια στον εντοπισμό πραγματικού χρόνου είναι της τάξης των 100 m (95% του χρόνου ή για το 95% των στιγμάτων) 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 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 χρονόμετρα των δορυφόρων. (Για λόγους μείωσης του κόστους των δεκτών, το χρονόμετρό 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 επλεκτικής 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 περισσοτέρων 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 επι τόπου την στιγμή των μετρήσεων ή μπορεί τα αποτελέσματα να δωθούν εκ των υστέρων μετά απο 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.

Ο σταθμός αναφοράς τοποθετείται σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και παρακολουθεί όλους τους δορυφόρους, που βρίσκονται επάνω απο 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 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 την θέση του με μεγάλη ακρίβεια , δεδομένου οτι το μεγαλύτερο μέρος των σφαλμάτων είναι κοινό και για τους δύο δέκτες.

Η ακρίβεια, που παρέχεται απο 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 απο 1 m στα 100 km. Είναι βεβαίως προφανές και στην περίπτωση αυτή, οτι η ακρίβεια 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. Την δυνατότητα διατήρησης πορείας με μικρές αλλαγές αζιμουθίου, πορείας και με μικρή δραστηριότητα πηδαλίου.
- β. Την δυνατότητα ελιγμών, που αφορά την ταχεία αλλαγή πορείας, την στροφή με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και την πορεία με χαμηλή ταχύτητα.
- γ. Την 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.

Ολες 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 γινόταν στο παρελθόν και υπο ορισμένες συνθήκες γίνονται και σήμερα κοντά στις νησίδες Διαπόρια, όπου υπάρχει υλοποιημένο με βάθρα το "μίλι" για τον έλεγχο των ταχυτήτων. Ομως 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 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 ένα σταθμό αναφοράς (δέκτη GPS και πομπό VHF) και ένα 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 την 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 η θέση, η πορεία και η ταχύτητα ως προς την γραμμή πλεύσης και εγκάρσιά της.

Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με λογισμικό που έχει γραφεί για αυτό το σκοπό στο Εργαστήριο, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, αλλά είναι δυνατό να γίνει και μια πρώτη καλή εκτίμηση της επιτυχίας της δοκιμής επί του πλοίου.

10.3 Δοκιμή ταχύτητας, κράτησης και στροφής

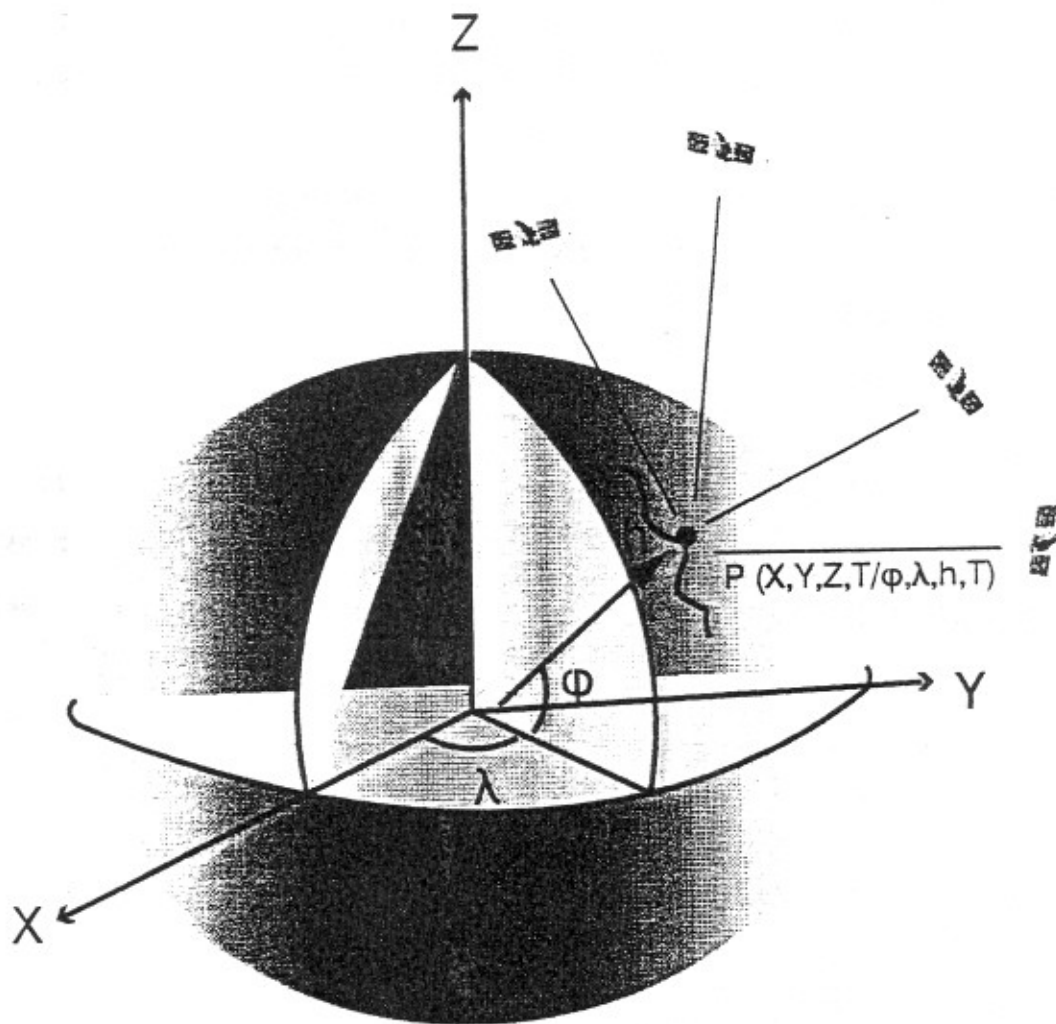
Τα διαγράμματα 6α, 6β, 6γ παρουσιάζουν τα αποτελέσματα ενός ελέγχου ταχύτητας. Ο πίνακας 1 και τα διαγράμματα 7α, 7β, 7γ παρουσιάζουν τα αποτελέσματα μίας δοκιμής κράτησης έκτακτης ανάγκης και ο πίνακας 2 και τα διαγράμματα 8α, 8β, 8γ παρουσιάζουν τα αποτελέσματα ενός δεξιού κύκλου στροφής.

11. Το επόμενο βήμα

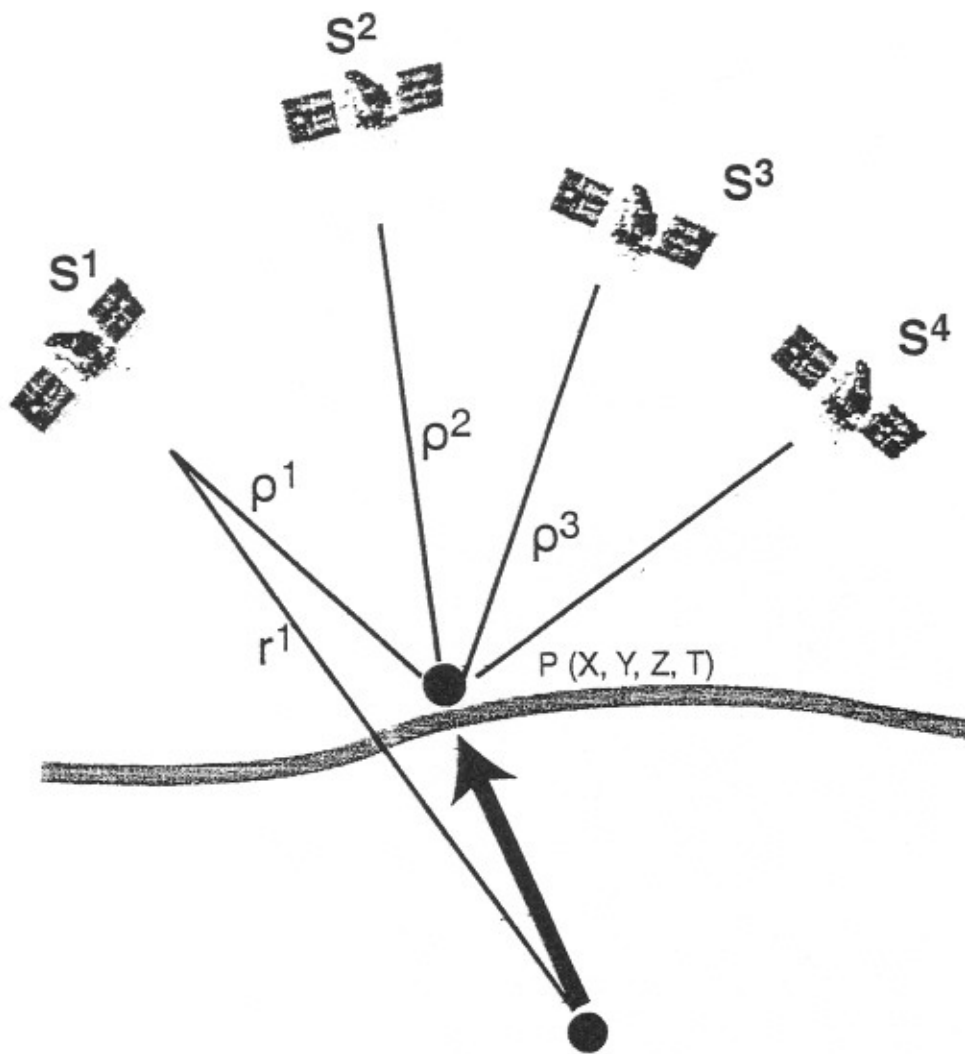
Στο άμεσο μέλλον προγραμματίζουμε να αντικαταστήσουμε τον προσδιορισμό της ταχύτητας του πλοίου από διαφορές συντεταγμένων ως προς το χρόνο, με απευθείας μετρήσεις ταχυτήτων μέσω του φαινομένου doppler με αναμενόμενη ακρίβεια 0.05 κόμβου (ναυτικά μίλια την ώρα).

Προγραμματίζουμε επίσης να δοκιμάσουμε ένα πλήρες σύστημα σχετικού κινηματικού 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.

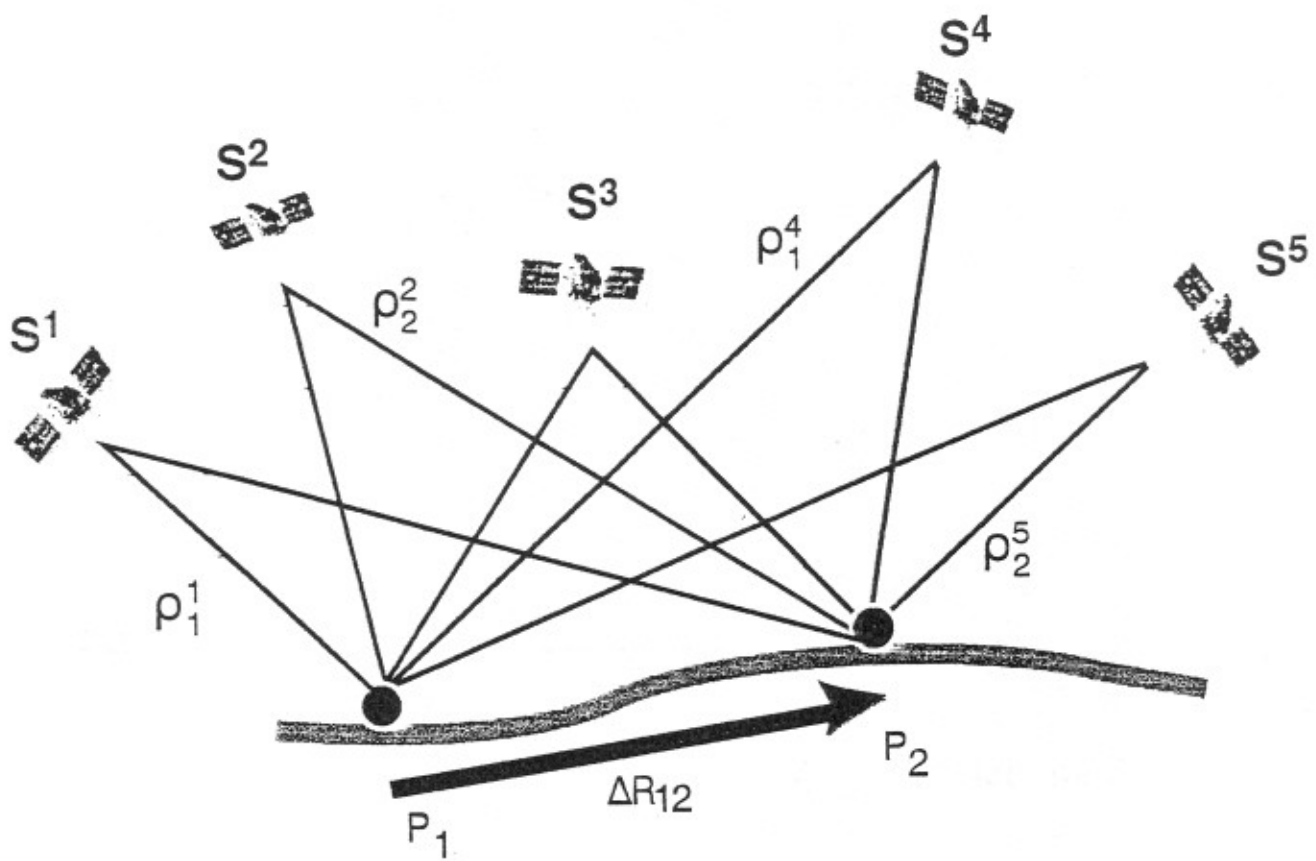
Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ελέγχους μοντέλων πλοίων. Δύο όμως ακόμη τέτοια συστήματα επί του πλοίου σε κατάλληλες θέσεις (εφόσον τα οικονομικά του Κέντρου το επιτρέψουν) παρέχουν την δυνατότητα μελέτης της κίνησης του άξονα του πλοίου, στο χώρο.



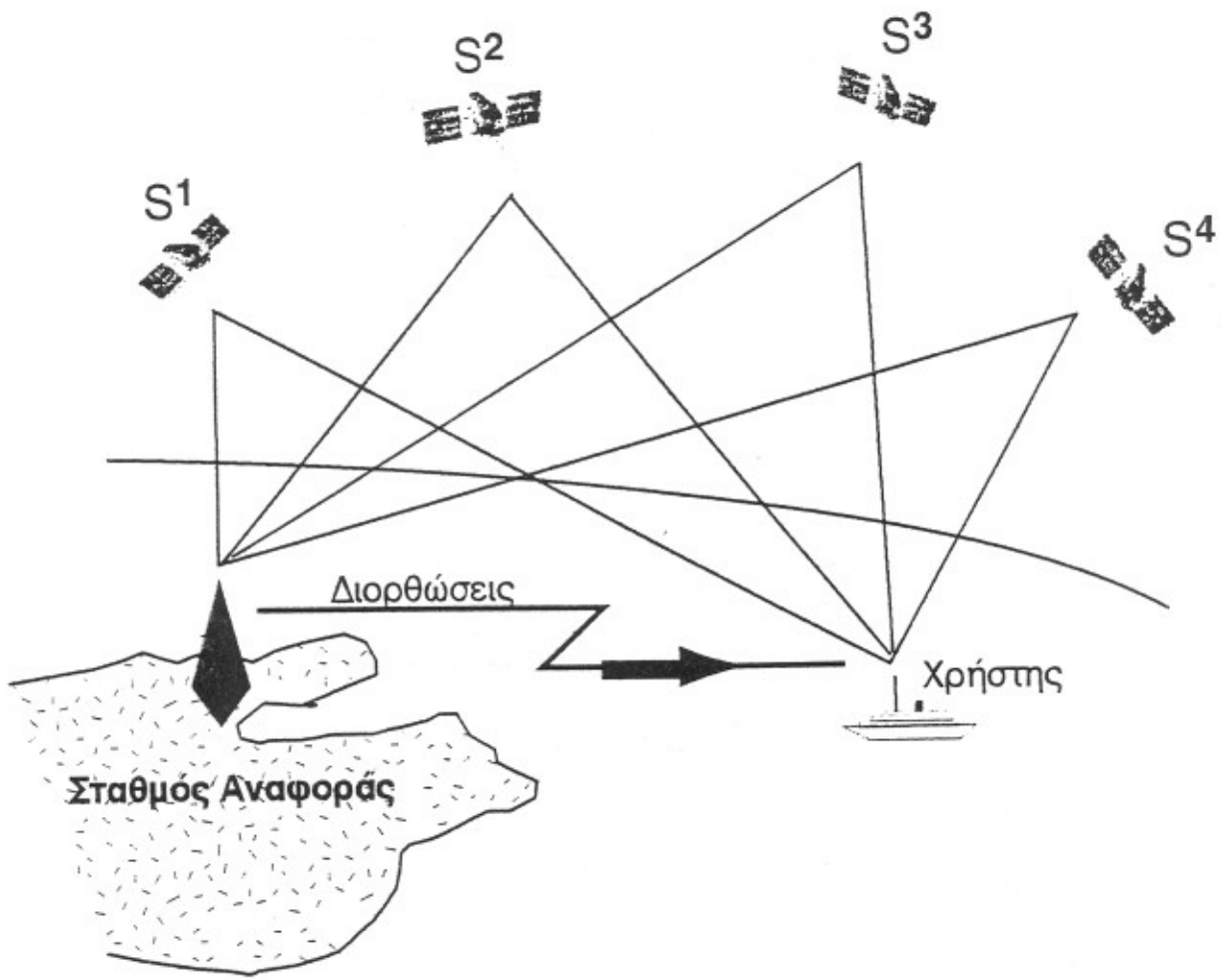
Σχήμα 1. Αρχή εντοπισμού με το σύστημα GPS
Καρτεσιανές και γεωγραφικές συντεταγμένες.



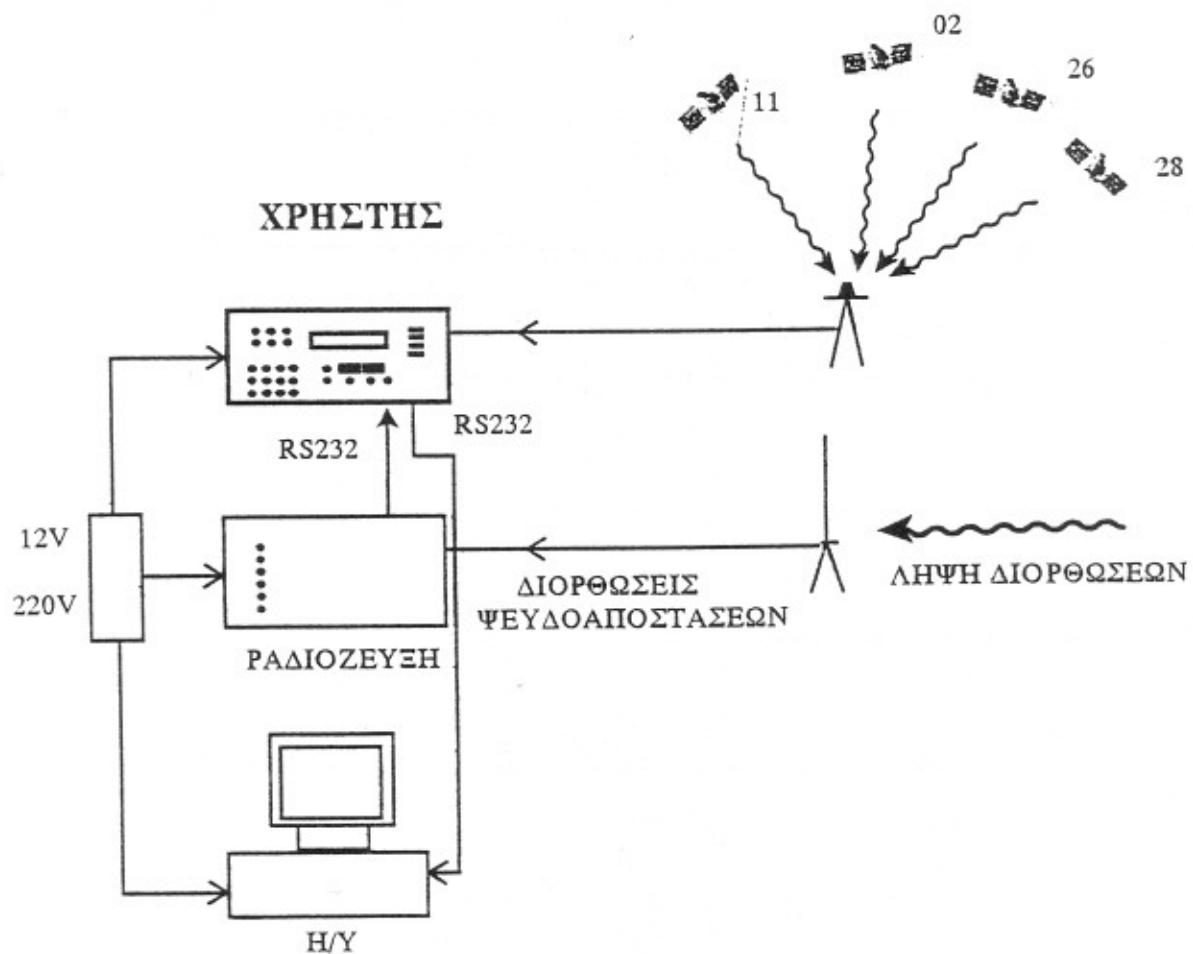
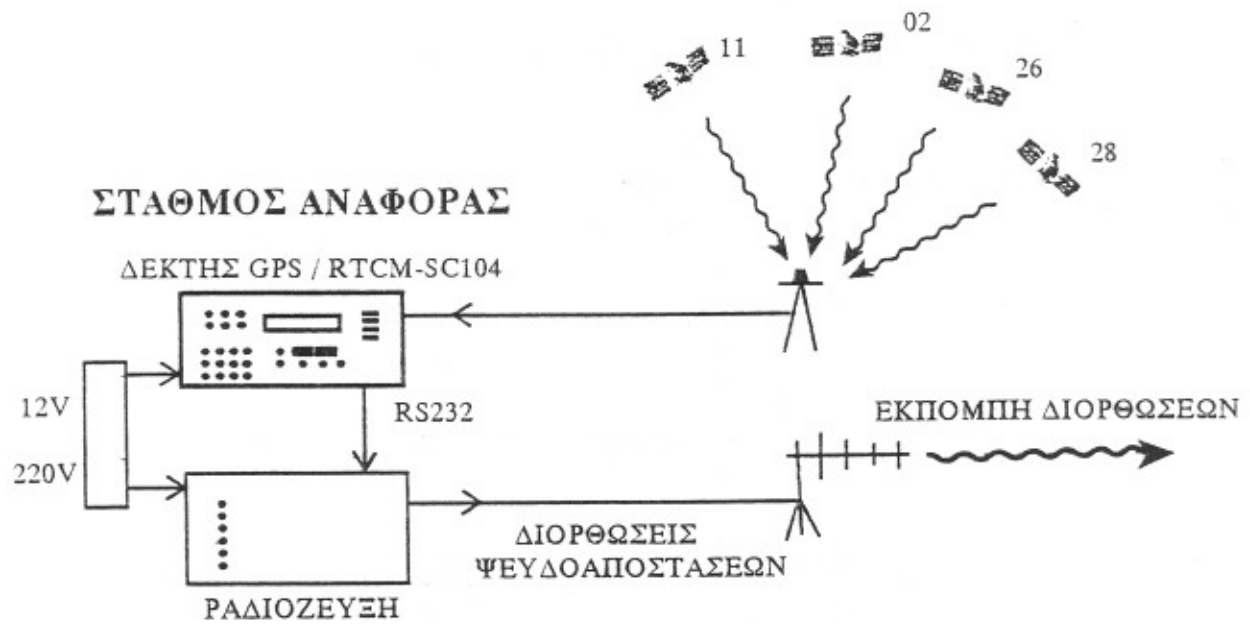
Σχήμα 2. Απόλυτος εντοπισμός



Σχήμα 3. Σχετικός εντοπισμός

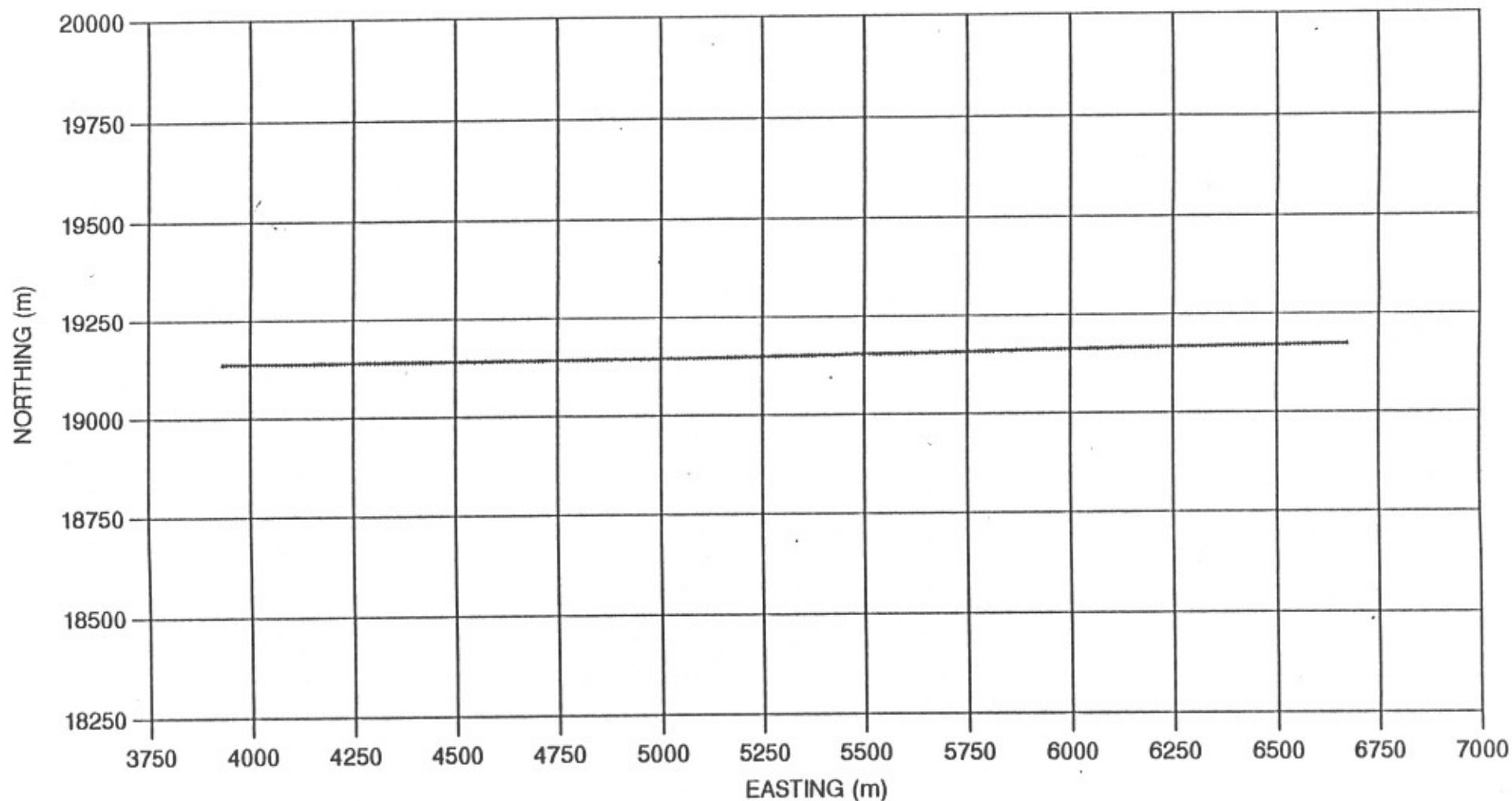


Σχήμα 4. Διαφορικός εντοπισμός



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

SHIP'S TRACK

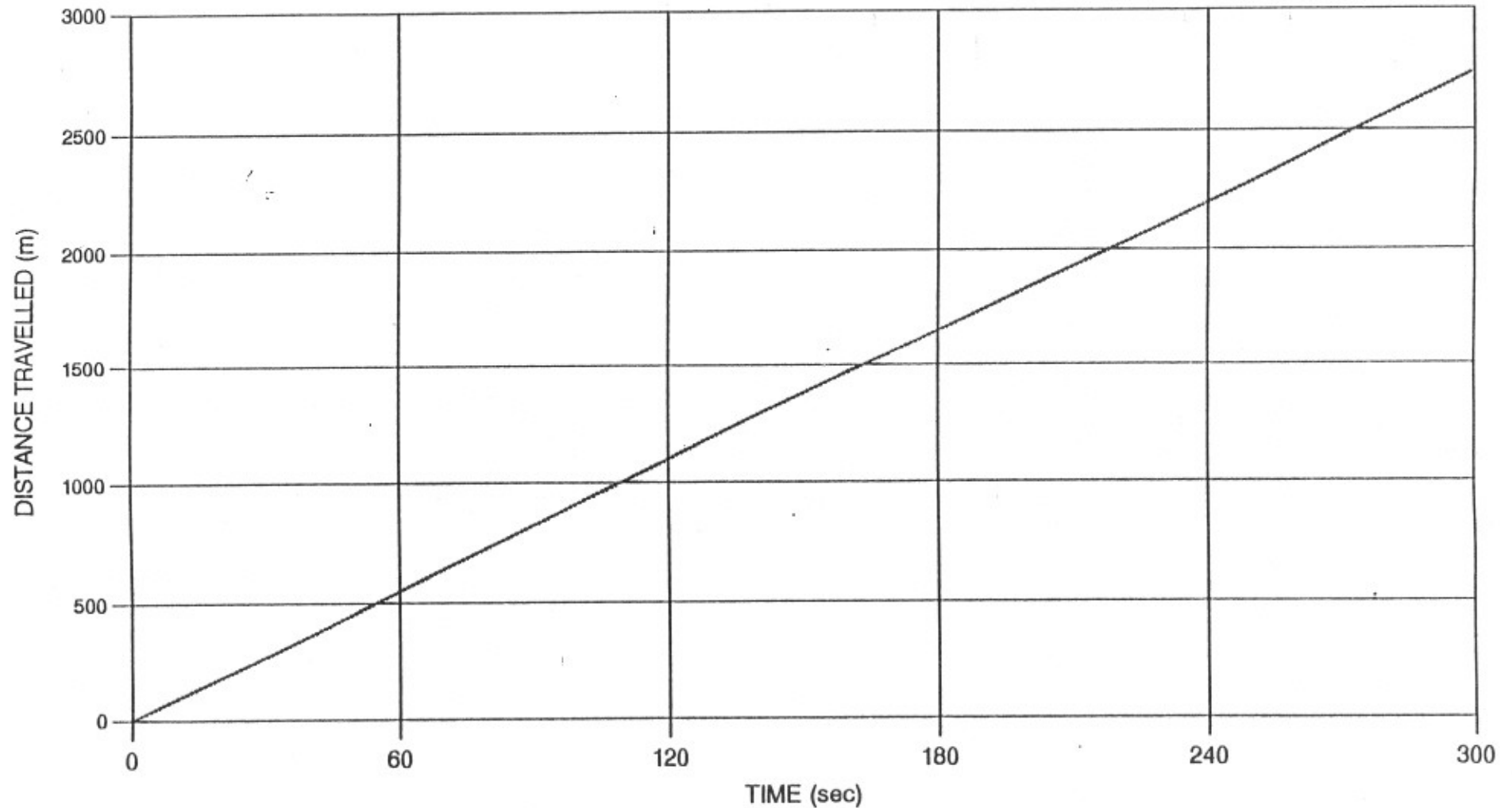


SHIP : 122 m LOA Passenger Ship
CONDITION : DISPLACEMENT 5561.5 Tns

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



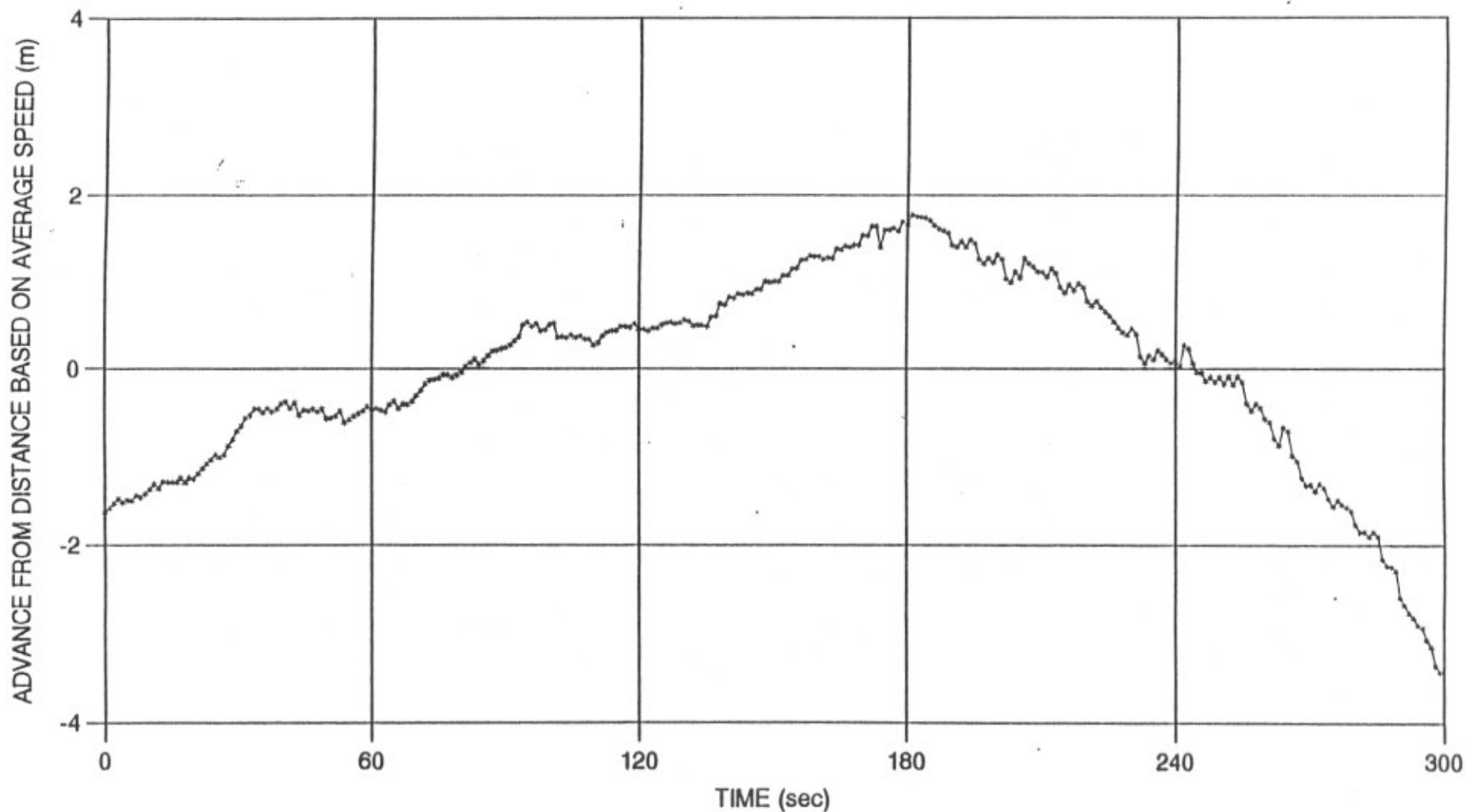
DISTANCE TRAVELLED VERSUS TIME DIAGRAM



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

ADVANCE - FROM DISTANCE BASED ON AVERAGE SPEED - VERSUS TIME DIAGRAM



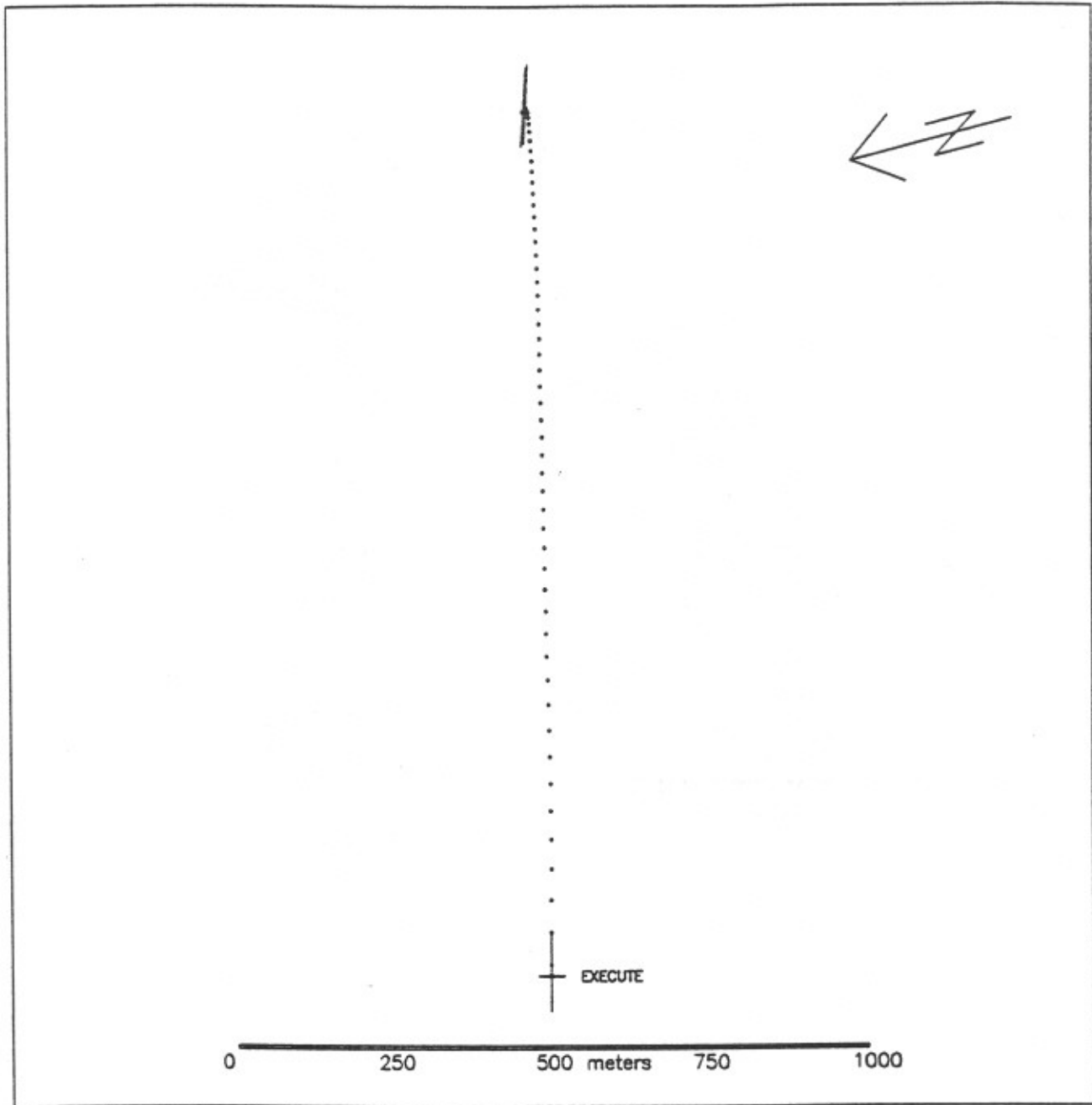
SHIP : 122 m LOA Passenger Ship
CONDITION : DISPLACEMENT 5561.5 Tns

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

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 |

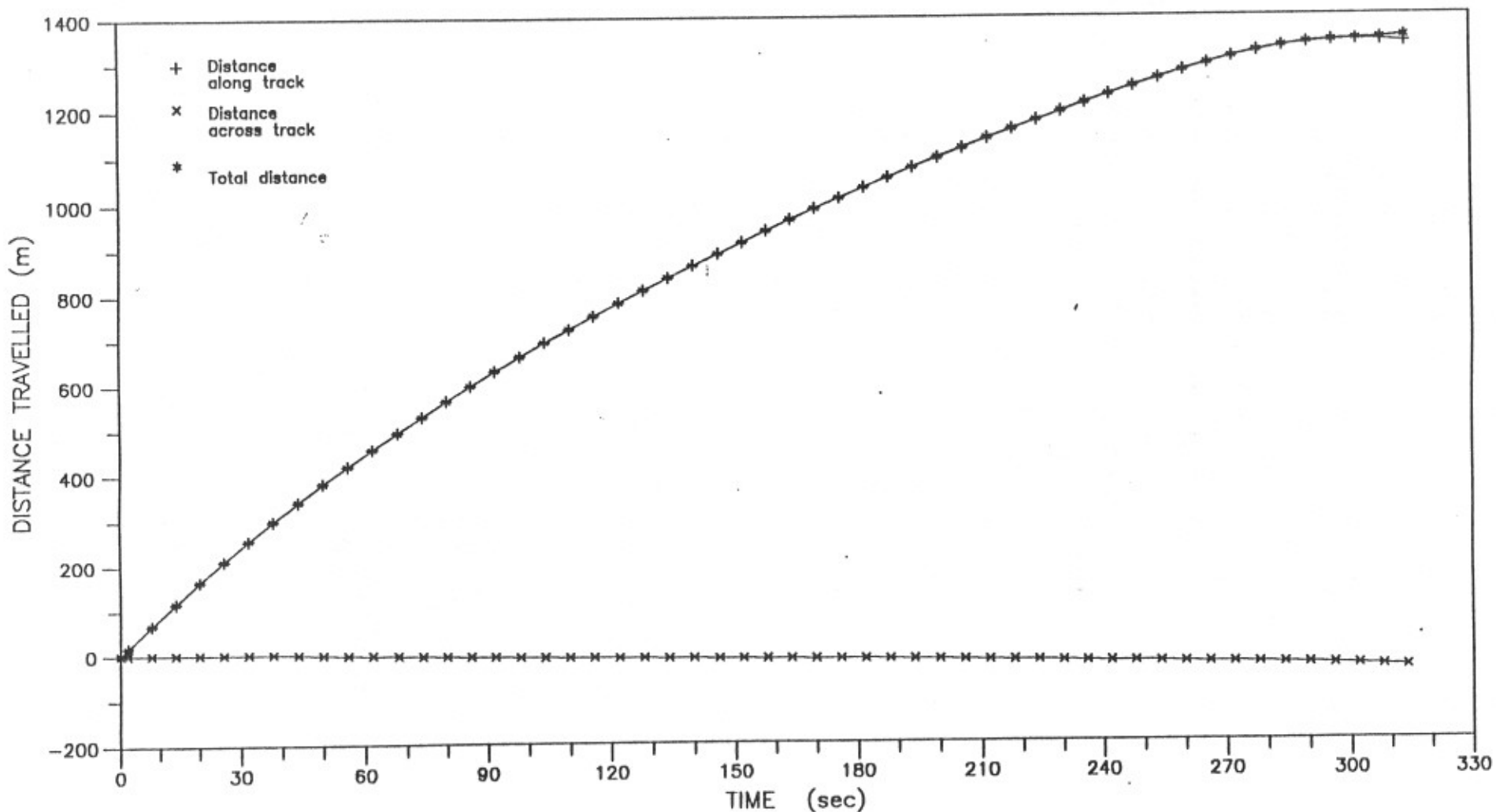
SHIP'S TRACK



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

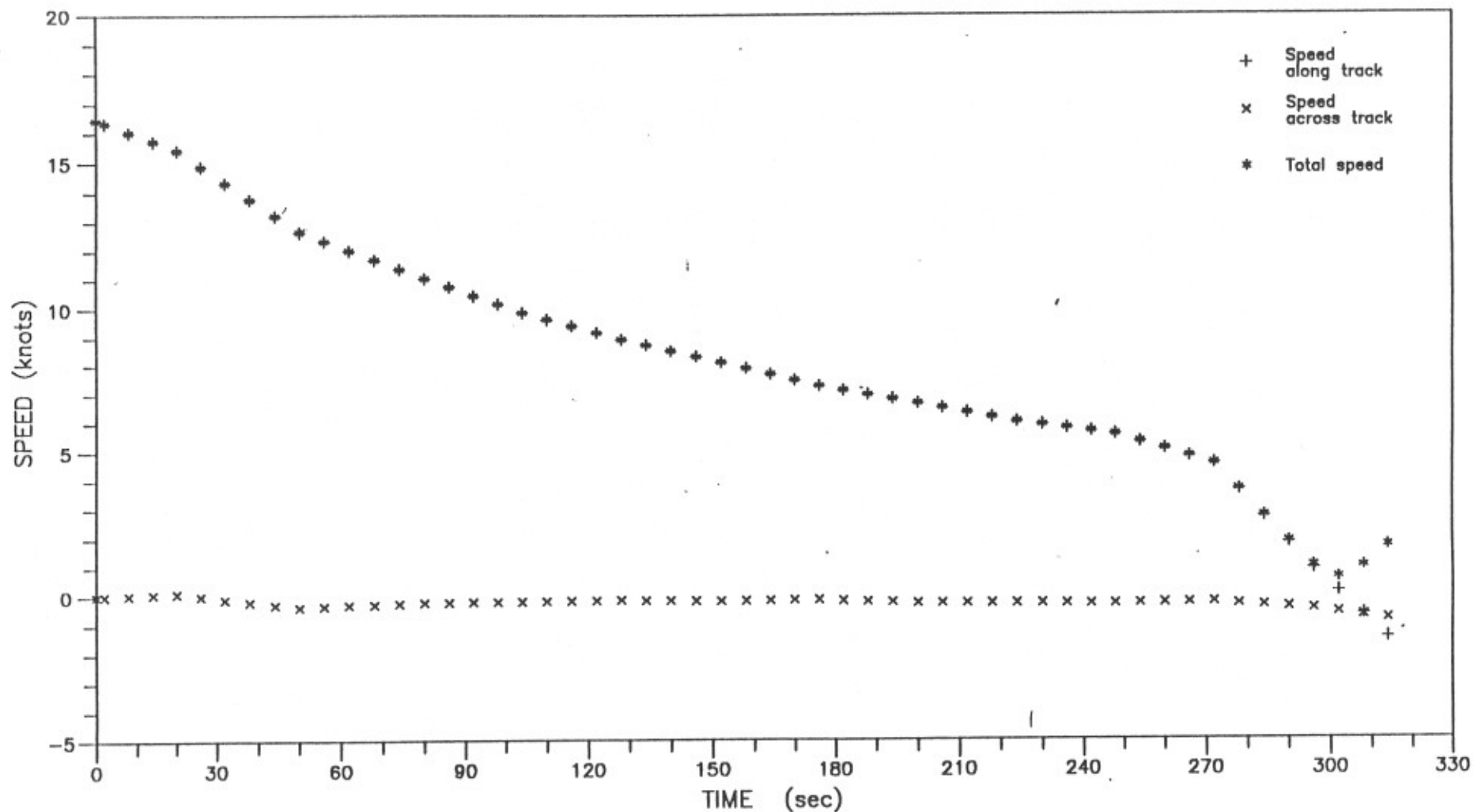
DISTANCE TRAVELLED VERSUS TIME DIAGRAM



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

SPEED VERSUS TIME DIAGRAM



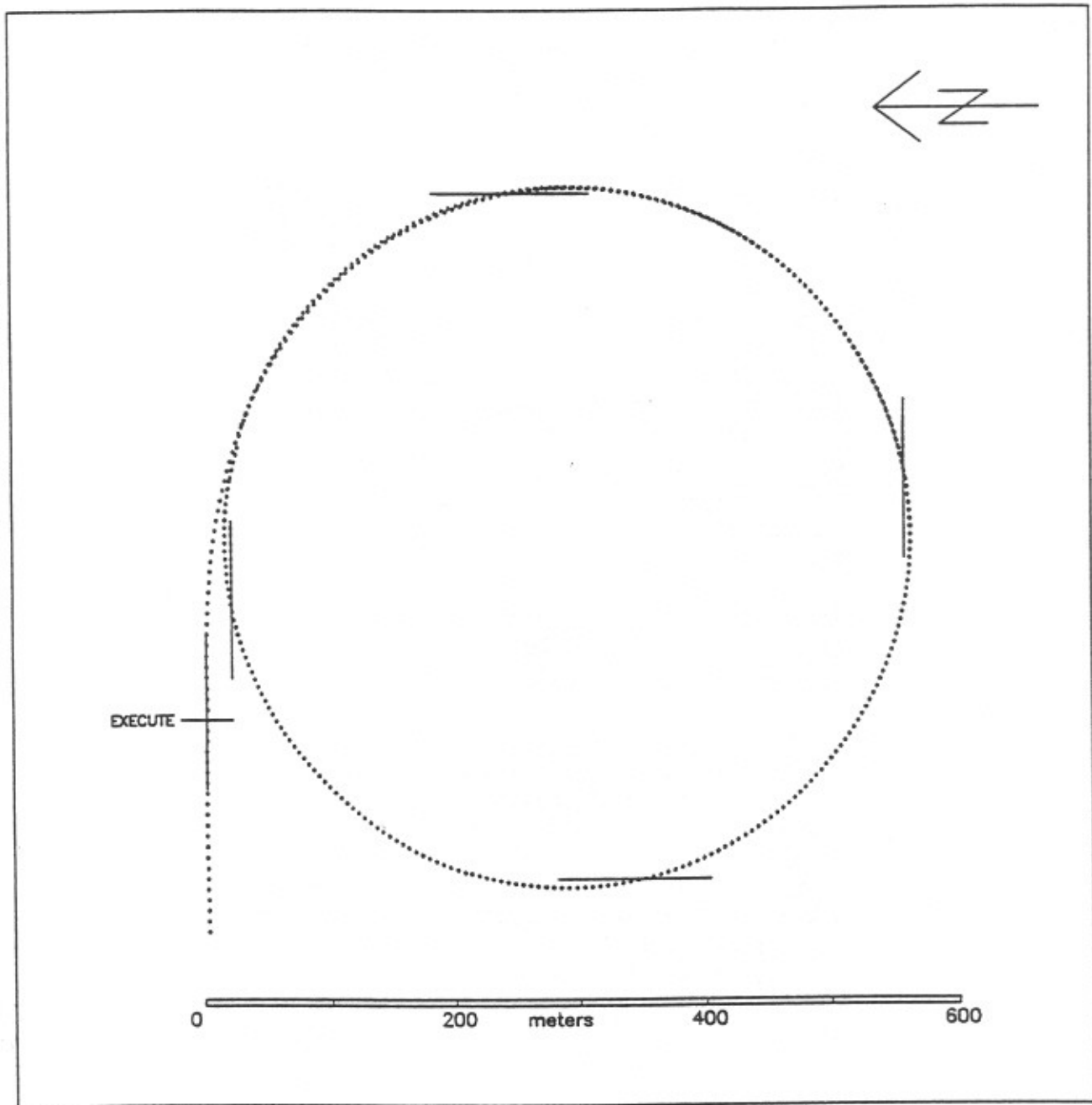
SHIP : 122 m LOA
 Passenger Ship
 CONDITION : DISPLACEMENT
 5561.5 Tns

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

TEST : TURNING CIRCLE RIGHT #1

| | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 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 |

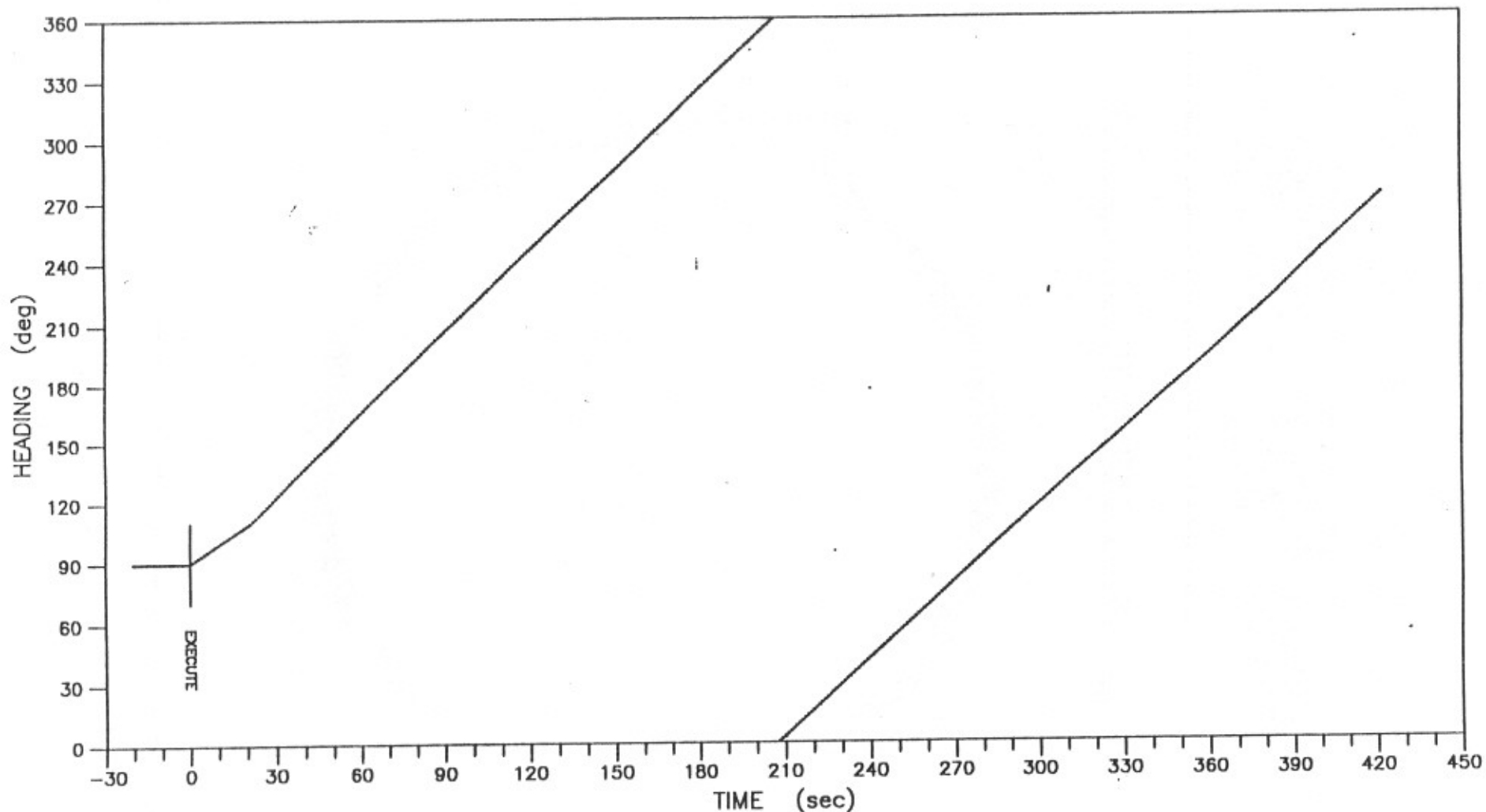
SHIP'S TRACK



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

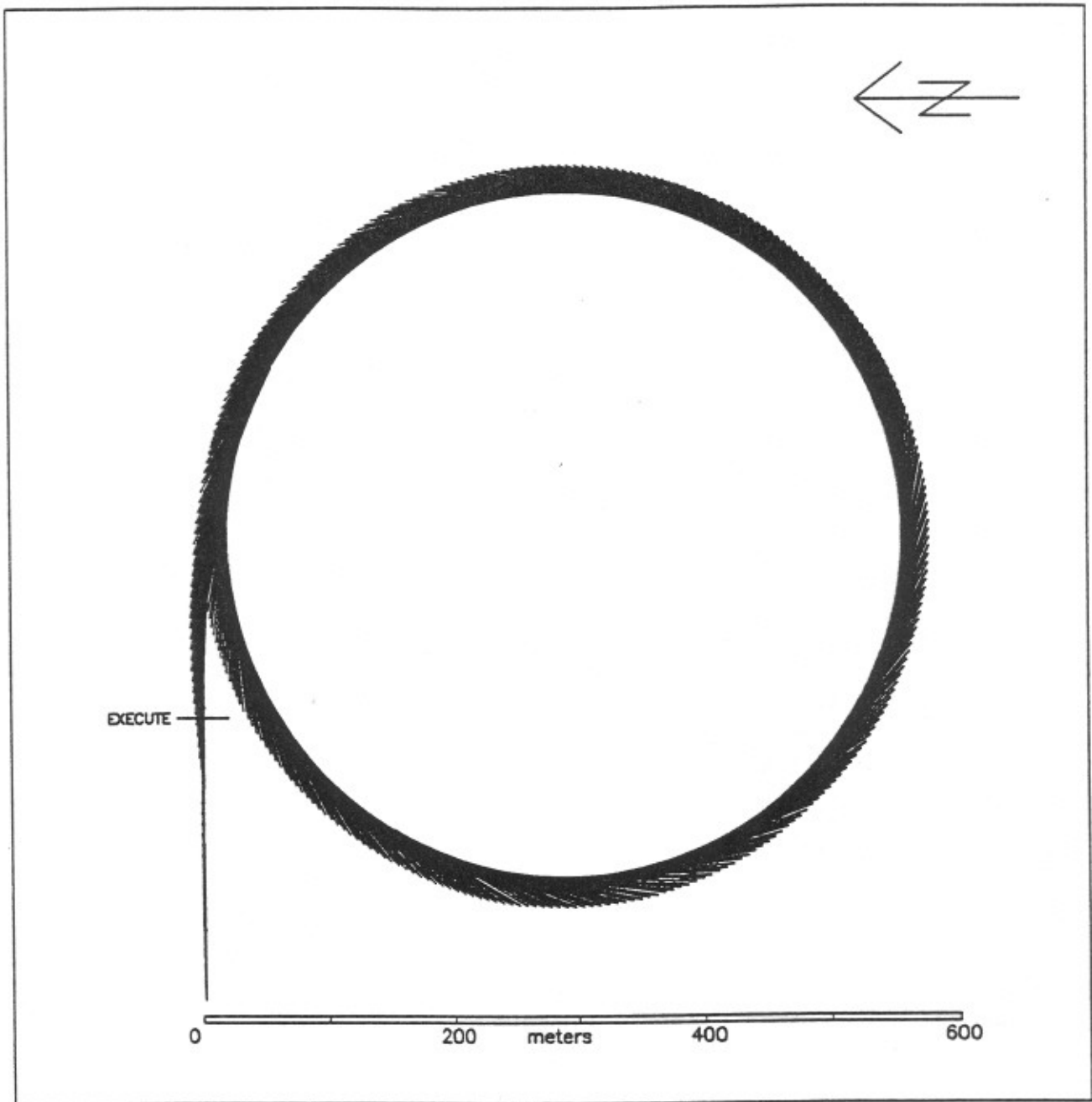
SHIP'S HEADING VERSUS TIME DIAGRAM



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

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

Σημειώσεις

1. Παράγραφος 8

Η επιλεκτική διαθεσιμότητα έχει αρθεί απο τον Μάιο του 2000 και σήμερα (Μάιος 2003) το σύστημα παρέχει στον πολιτικό χρήστη την μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

2. Παράγραφος 9

Επειδή η επιλεκτική διαθεσιμότητα έχει ήδη αρθεί και επειδή στα 10 χρόνια που ίσχυσε η τεχνολογία έχει εξελιχθεί κατα πολύ, σήμερα η ακρίβεια του απόλυτου εντοπισμού με ένα φθινό δέκτη (200 E) είναι της τάξης των 7 m και με ένα ακριβό (25000 E) της τάξης των 2 m. Αντίστοιχα έχει βελτιωθεί και η ακρίβεια του σχετικού εντοπισμού.

3. Παράγραφος 9.1

Η ακρίβεια του διαφορικού εντοπισμού με όργανα υψηλής ποιότητας είναι καλύτερη απο 0.5 m στα 200 km και απο σημείο σε σημείο (πχ κατά την κίνηση ενός πλοίου) καλύτερη απο 0.2 m.

4. Παράγραφος 11

Τα συστήματα κινηματικού εντοπισμού (μετρήσεις φάσης), που χρησιμοποιήσαμε σε διάφορες εργασίες την περίοδο 2000 – 2003, έδωσαν ακρίβειες της τάξης των 4 cm, σε αποστάσεις μέχρι 60 km απο τον σταθμό αναφοράς.