

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



NGUYỄN QUANG HUY

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC
DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM HOẠT ĐỘNG
TRONG KHU VỰC BIỂN ĐÔNG**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HẢI PHÒNG – 2020

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

NGUYỄN QUANG HUY

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC
DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM HOẠT ĐỘNG
TRONG KHU VỰC BIỂN ĐÔNG**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI

MÃ SỐ: 9840106

CHUYÊN NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI

Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS. TS. Nguyễn Viết Thành



2. PGS. TS. Phạm Xuân Dương



HẢI PHÒNG – 2020

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là Nguyễn Quang Huy - Nghiên cứu sinh chuyên ngành Khoa học hàng hải và là tác giả luận án tiến sĩ: “*Nghiên cứu nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm hoạt động trong khu vực Biển Đông*”, dưới sự hướng dẫn của tập thể người hướng dẫn khoa học: Thầy PGS. TS. Nguyễn Viết Thành và thầy PGS. TS. Phạm Xuân Dương, thực hiện tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Bằng danh dự của bản thân, nghiên cứu sinh cam đoan rằng:

- Luận án này là công trình nghiên cứu của riêng nghiên cứu sinh, không có phần nội dung nào được sao chép một cách bất hợp pháp, từ công trình nghiên cứu của tác giả hay nhóm tác giả khác;
- Các số liệu, kết quả nghiên cứu được nêu trong luận án, chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nghiên cứu nào khác trước đó;
- Các thông tin, số liệu trích dẫn, tài liệu tham khảo trong luận án đều được chỉ rõ về xuất xứ, nguồn gốc và đảm bảo tính trung thực./.

Hải Phòng, ngày 22 tháng 04 năm 2020

Nghiên cứu sinh



Nguyễn Quang Huy

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Viện Đào tạo Sau đại học Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã cho phép và tạo điều kiện cho tôi thực hiện luận án này.

Luận án này đã không thể hoàn thành nếu thiếu sự hướng dẫn, cổ vũ động viên và hỗ trợ của nhiều cá nhân và đơn vị.

Trước tiên, tôi xin bày tỏ sự kính trọng và lòng biết ơn sâu sắc tới PGS.TS. Nguyễn Viết Thành và PGS.TS. Phạm Xuân Dương, hai người Thầy đã hướng dẫn, động viên giúp đỡ tôi trong quá trình nghiên cứu và viết luận án này. Những nhận xét và đánh giá của các Thầy, đặc biệt là những gợi ý về hướng giải quyết vấn đề trong suốt quá trình nghiên cứu, thực sự là những bài học vô cùng quý giá đối với tôi không chỉ trong quá trình viết luận án mà cả trong hoạt động nghiên cứu chuyên môn sau này.

Tôi xin chân thành cảm ơn tập thể giảng viên Khoa Hàng hải – Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và Học viện Hải quân, các Thầy đã giúp đỡ, góp ý và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho tôi trong quá trình nghiên cứu và viết luận án của mình, luôn giúp đỡ và động viên tôi trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu.

Cuối cùng, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới gia đình và bạn bè đã luôn động viên, khuyến khích, hỗ trợ và tạo điều kiện cho tôi trong suốt thời gian tôi nghiên cứu hoàn thành công trình này!

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	vii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU TOÁN HỌC	ix
DANH MỤC CÁC BẢNG, BIỂU ĐỒ	xi
DANH MỤC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ	xii
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài luận án	1
2. Tổng quan tình hình nghiên cứu có liên quan đến đề tài luận án	4
2.1. Những nghiên cứu của nước ngoài về phát triển thiết bị và công nghệ phục vụ dẫn đường cho tàu ngầm trên thế giới	4
2.2. Những nghiên cứu trong nước	8
3. Mục đích, đối tượng và phạm vi nghiên cứu	10
3.1. Mục đích nghiên cứu	10
3.2. Đối tượng nghiên cứu	11
3.3. Phạm vi nghiên cứu	11
4. Phương pháp nghiên cứu	11
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	12
5.1. Ý nghĩa khoa học	12
5.2. Ý nghĩa thực tiễn	12
6. Những điểm đóng góp mới của luận án	12

7. Kết cấu luận án.....	13
CHƯƠNG 1. CƠ SỞ LÝ LUẬN VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM	14
1.1. Mô hình toán học tàu ngầm.....	14
1.1.1. Các hệ tọa độ và ký hiệu quy ước	14
1.1.2. Mô hình toán học phương trình chuyển động tàu ngầm.....	19
1.1.3. Mô hình toán học tàu ngầm chuyển động gần bề mặt	21
1.1.4. Mô hình toán học tàu ngầm chuyển động ngầm.....	22
1.2. Các phương pháp dẫn đường cho tàu ngầm.....	26
1.2.1. Dẫn đường cho tàu ngầm khi đi nổi và đi ở độ sâu kính tiềm vọng .	26
1.2.2. Dẫn đường khi tàu ngầm đi ngầm.....	29
1.3. Hệ thống dẫn đường quán tính của tàu ngầm	32
1.3.1 Khái niệm cơ bản về dẫn đường quán tính	32
1.3.2. Nguyên lý chung hệ thống dẫn đường quán tính	33
1.3.3. Nghiên cứu một số hệ thống dẫn đường quán tính hiện nay	42
1.4. Độ chính xác dẫn đường tàu ngầm	43
1.5. Kết luận chương 1	45
CHƯƠNG 2. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM	46
2.1. Ảnh hưởng của yếu tố ngoại cảnh đến độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm	46
2.1.1. Một số đặc trưng của khu vực Biển Đông	46

2.1.2. Đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố ngoại cảnh đến độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm trong khu vực Biển Đông	50
2.2. Ảnh hưởng của hệ thống dẫn đường quán tính đến độ chính xác dẫn đường tàu ngầm	59
2.2.1. Đồng chỉnh hệ thống quán tính.....	59
2.2.2. Sai số của hệ thống INS	61
2.2.3. Các yếu tố cấu tạo ảnh hưởng đến sự làm việc chính xác của hệ thống dẫn đường quán tính	67
2.3. Ảnh hưởng của thủy thủ đoàn đối với độ chính xác dẫn đường tàu ngầm	69
2.4. Kết luận chương 2	70
CHƯƠNG 3. CÁC GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM TRONG KHU VỰC BIỂN ĐÔNG.....	72
3.1. Giải pháp về kỹ thuật nâng cao độ chính xác cho dẫn đường tàu ngầm..	72
3.1.1. Kết hợp giữa hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống vệ tinh định vị dẫn đường toàn cầu sử dụng bộ lọc Kalman	72
3.1.2. Kết hợp giữa tốc độ kế tuyệt đối (Doppler Velocity Log – DVL) và hệ thống dẫn đường quán tính (INS/ DVL).....	73
3.1.3. Một số giải pháp kỹ thuật khác	74
3.2. Giải pháp huấn luyện đảm bảo nâng cao độ chính xác cho dẫn đường tàu ngầm khi hành trình ngầm.....	82
3.2.1. Tính toán hệ số độ chính xác K_c và xác suất xác định vị trí tàu theo sai số cho trước	84
3.2.2. Xác định vị trí tàu và vị trí tàu có mật độ xác suất lớn nhất	86

3.2.3. Lập kế hoạch đi biển và kế hoạch xác định vị trí tàu	88
3.2.4. Huấn luyện khai thác sử dụng tốt các trang thiết bị hàng hải hiện có	92
3.3. Giải pháp ứng dụng công nghệ thông tin xây dựng phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu”	95
3.3.1. Lưu đồ thuật toán	95
3.3.2. Thiết kế chương trình	96
3.3.3. Các chức năng của chương trình	97
3.3.4. Đánh giá kết quả sử dụng phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu” ..	105
3.4. Kết luận chương 3	108
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	109
1. Kết luận	109
2. Kiến nghị.....	110
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA NGHIÊN CỨU SINH	
ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN	112
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	113
PHỤ LỤC	120

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

ADC - Analog to Digital Converter	Bộ chuyển đổi tín hiệu
CG - Center of Gravity	Trọng tâm của vật
CPU - Central Processing Unit	Bộ xử lý trung tâm
CQ	Con quay
DVL – Doppler Velocity Log	Tốc độ kế tuyệt đối
EKF - Extended Kalman Filter	Bộ lọc Kalman mở rộng
DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency	Cơ quan dự án nghiên cứu quốc phòng Hoa Kỳ
GLONASS (ГЛОНАСС) - Глобальная навигационная спутниковая система	Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu của Nga
GNSS - Global Navigation Satellite System	Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu
GPS - Global Positioning System	Hệ thống định vị toàn cầu
GTK	Gia tốc kế
GINS – Gimbaled Inertial Navigation System	Hệ thống dẫn đường quán tính có đế
HP	Hải Phòng
IMU - Inertial Measurement Unit	Khối đo quán tính
INS - Inertial Navigation System	Hệ thống dẫn đường quán tính
ISA - Inertial System Assembly	Khối cảm biến quán tính
KF - Kalman Filter	Bộ lọc Kalman
LBCQ	La bàn con quay
MEMS – Micro Electro Mechanical System	Hệ thống vi cơ điện tử
NCS	Nghiên cứu sinh
NED (North, East, Down); ENU(East, North, Up)	Các trục của hệ tọa độ dẫn đường
NAVSAT - Navigation Satellite	Vệ tinh hàng hải
SINS - Strapdown INS	Hệ thống dẫn đường quán tính không đế

Pitch	Góc lắc dọc
Roll	Góc lắc ngang
Yaw	Góc quay trở
WGS84	Hệ quy chiếu thế giới 1984

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU TOÁN HỌC

Ký hiệu	Ý nghĩa
φ	Vĩ độ
λ	Kinh độ
Φ_N, Φ_E	Góc sai lệch đồng chỉnh theo trục Bắc, Đông
Φ_D	Góc sai lệch đồng chỉnh phương vị
μ	Hệ số tỷ lệ gia tốc
ν	Tần số Schuler
ω	Dữ liệu đo của con quay
δ	Sai số gia tốc kế
δM	Sai số ngẫu nhiên của giá trị M
ω_m	Vận tốc góc tuyệt đối
ω_{m-n}	Vận tốc góc tương ứng giữa hệ m và n
$\tilde{\omega}_m$	Vận tốc góc tuyệt đối của hệ m dạng ma trận
ω_m^{dr}	Độ trôi của cảm biến con quay theo trục m
Ω_m	Vận tốc góc tương đối trên hệ m
$\Delta\lambda$	Quaternion của chuyển động chậm
$\Delta\alpha$	Gia số góc
Δm	Quaternion của chuyển động nhanh
Δm^*	Quaternion của góc quay nhỏ
ΔW	Gia số vận tốc
a	Gia tốc
B	Sai số tĩnh
$b_{11} \dots b_{33}$	Các phần tử của ma trận
e	Tâm sai
f	Lực tác động
g	Gia tốc trọng trường
h	Độ sâu của đối tượng
Q	Quaternion
$q_{0..3}$	Các phần tử của Quaternion
R	Ma trận đo nhiễu
R_φ	Bán kính cong của elip theo vĩ độ
R_λ	Bán kính cong của elip theo kinh độ
R_m^n	Ma trận chuyển tọa độ từ hệ n sang hệ m

T	Thời gian tính
U	Vận tốc góc quay Trái đất
V	Vận tốc

DANH MỤC CÁC BẢNG, BIỂU ĐỒ

Số bảng	Tên bảng	Trang
Bảng 1.1.	Chuyển động tàu ngầm trong 6 bậc tự do	16
Bảng 1.2.	Giới thiệu độ chính xác một số hệ thống dẫn đường quán tính	42
Biểu đồ 2.1	Biểu đồ khả năng làm việc liên quan đến mức độ stress	70
Bảng 3.1.	Mình họa số liệu đo đặc để tính hệ số K_c	85
Bảng 3.2.	Bảng “KẾ HOẠCH HÀNH TRÌNH”	91
Bảng 3.3.	Bảng “KẾ HOẠCH XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU”	92
Bảng 3.4.	Bảng ghi chép tư liệu chuyển đi	95

DANH MỤC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ

Số hình	Tên hình vẽ và đồ thị	Trang
Hình 1.1.	Ký hiệu quy ước mô tả chuyển động của tàu trong 6 bậc tự do	14
Hình 1.2.	Quy ước hướng dương các đại lượng tàu ngầm theo chuyển động ngang	17
Hình 1.3.	Quy ước hướng dương các đại lượng tàu ngầm theo chuyển động dọc	17
Hình 1.4.	Sơ đồ cấu trúc của hệ thống dẫn đường thủy âm với đường đáy cơ sở	30
Hình 1.5.	Sơ đồ cấu trúc hệ thống với đáy cơ sở ngắn và đài mốc	31
Hình 1.6.	Thành phần cơ bản hệ thống dẫn đường quán tính	32
Hình 1.7.	Sơ đồ nguyên lý của hệ thống dẫn đường quán tính có đế	34
Hình 1.8.	Sơ đồ nguyên lý của hệ thống dẫn đường quán tính không đế	40
Hình 2.1.	Bản đồ độ sâu Biển Đông	48
Hình 2.2.	Sơ đồ phân bố dòng chảy tầng mặt Biển Đông và lân cận vào mùa đông	49
Hình 2.3.	Sơ đồ phân bố dòng chảy tầng mặt Biển Đông và lân cận vào mùa hè	50
Hình 2.4.	Các lực thủy tĩnh tác dụng vào tàu ngầm	51
Hình 2.5.	Góc tới và góc dạt	54
Hình 2.6.	Ảnh hưởng của dòng chảy đến chuyển động của tàu ngầm	58

Hình 2.7.	Chuyển động lượn vòng của tàu ngầm khi bắt mục tiêu	65
Hình 2.8.	Minh họa sự chuyển động Sculling trong gia tốc kế gây sai số	66
Hình 2.9.	Các thông số được hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp	69
Hình 3.1.	Kiểu kết hợp lỏng lẻo	72
Hình 3.2.	Kiểu kết hợp chặt	73
Hình 3.3.	Hai phương án kết hợp giữa INS/DVL	74
Hình 3.4.	Sự lan truyền âm trong nước	76
Hình 3.5.	Bố trí các máy thu âm trên tàu ngầm	76
Hình 3.6.	Ví dụ về hải đồ chuyên dùng cho tàu ngầm	80
Hình 3.7.	Sơ đồ tổ chức thông tin của Khoang điều khiển chính tàu ngầm NCS đề xuất	81
Hình 3.8.	Xác định khu vực nguy hiểm và xác suất xác định vị trí tàu	90
Hình 3.9.	Lưu đồ thuật toán phần mềm “ Xử lý thông tin VTT”	96
Hình 3.10.	Màn hình nhập dữ liệu thông tin vị trí tàu để tính Kc	97
Hình 3.11.	Kết quả sau khi nhấn nút Tính	98
Hình 3.12.	Giao diện nhập dữ liệu tính toán	99
Hình 3.13.	Xác suất xác định VTT ứng với sai số cho trước	100
Hình 3.14.	Quá trình lặn theo góc lặn biến đến độ sâu công tác và hành quân tàu ngầm	100
Hình 3.15.	Nhận dữ liệu dòng chảy	102
Hình 3.16.	Thông báo nhập dữ liệu dòng chảy thủ công	103

Hình 3.17.	Các số liệu dạt dòng sau khi tính toán	103
Hình 3.18.	Thông tin vị trí tàu hiển thị	104

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Việt Nam là một quốc gia với hơn 3000km bờ biển và vùng biển rộng gấp 3 lần diện tích đất liền. Các quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa có vị trí quan trọng về kinh tế và cả hàng hải lẫn quân sự. Chính vì vậy trong những thập niên gần đây, Biển Đông luôn là điểm nóng về quân sự trong khu vực. Vì vậy, việc nghiên cứu, khai thác và bảo vệ các hoạt động trên Biển Đông theo các công ước quốc tế một cách có hệ thống đã trở nên cấp bách hơn bao giờ hết.

Xác định được vai trò, vị trí, tầm quan trọng của Biển Đông, Hội nghị lần thứ 4 Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Việt Nam Khoá X đã ra Nghị quyết số 09/NQ-TW về “Chiến lược biển Việt Nam đến năm 2020”[1]. Sau 10 năm thực hiện, qua tổng kết đã xác định Nghị quyết đã đi vào cuộc sống và đạt được những kết quả quan trọng, ngày 22/10/2018, tại Hội nghị Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Việt Nam Khóa XII tiếp tục ra Nghị quyết số 36/NQ-TW về “Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045”[2]. *“Việc đề ra Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam nhằm góp phần thúc đẩy tăng trưởng kinh tế cả nước, tận dụng mọi tiềm năng hiện có để phát triển và quan trọng bậc nhất là bảo vệ chủ quyền biển, đảo của Tổ quốc và lợi ích quốc gia tối thượng”* - đồng chí Trần Hồng Hà[69]. Điều này càng khẳng định rõ sự quan tâm đặc biệt của Đảng, Nhà nước ta đối với biển và đặt ra những yêu cầu và nhiệm vụ quan trọng bậc nhất về bảo vệ chủ quyền biển, đảo.

Hải quân nhân dân Việt Nam là Quân chủng kỹ thuật, là lực lượng nòng cốt trong sự nghiệp bảo vệ toàn vẹn chủ quyền, quyền chủ quyền của quốc gia trên biển theo Công ước Quốc tế về Luật biển năm 1982. Được sự quan tâm của Lãnh đạo Đảng, Nhà nước, trong những năm qua, ngoài việc tăng cường lực lượng khả năng chiến đấu của tàu mặt nước, Hải quân đã được xây dựng

Binh chủng tàu ngầm trực thuộc Quân chủng Hải quân. Ngày 29/5/2013, Tư lệnh Hải quân đã công bố Quyết định của Bộ trưởng Bộ Quốc phòng về việc thành lập Lữ đoàn tàu ngầm 189[70]. Lữ đoàn được trang bị các tàu ngầm diesel – điện lớp KILO 636[71], có khả năng tác chiến cao và là một trong các lực lượng chủ lực của Hải quân nhân dân Việt Nam.

Để đảm bảo tàu ngầm hành trình an toàn và hiệu quả, các tàu ngầm được trang bị nhiều trang thiết bị phục vụ cho dẫn đường. Ngoài các trang bị hàng hải cơ bản như máy lái tự động, la bàn điện, tốc độ kế, máy thu vệ tinh thì tàu ngầm được trang bị hệ thống dẫn đường quán tính để phục vụ dẫn đường. Ưu điểm của hệ thống dẫn đường quán tính là cung cấp liên tục vị trí, hướng và tư thế của tàu ngầm, không bị ảnh hưởng các yếu tố bên ngoài cũng như nhiễu loạn khi đối phương tiến hành tác chiến điện tử. Yếu điểm lớn nhất của hệ thống dẫn đường quán tính là sai số tích lũy theo thời gian do sự trôi con quay, dẫn đến việc xác định vị trí tàu không chính xác do đó phải tiến hành hiệu chỉnh lại tại thời điểm thích hợp. Bản chất của hệ thống dẫn đường quán tính là dẫn đường bằng phương pháp dự tính, để hiệu chỉnh vị trí cho hệ thống cần dùng một phương pháp quan trắc khác chính xác hơn để tiến hành hiệu chỉnh. Các tài liệu của nước ngoài cung cấp không nói rõ về nguyên lý hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp vị trí tàu, cũng như các giải thuật liên quan đến hoạt động của hệ thống mà chỉ cung cấp một cách tổng quát hướng dẫn sử dụng, do đó bất lợi cho các thủy thủ tàu ngầm nắm chắc hệ thống dẫn đường quán tính được trang bị, từ đó khó có thể vận hành hệ thống dẫn đường quán tính một cách hiệu quả. Điều này cũng dễ hiểu vì các giải thuật và chế tạo hệ thống dẫn đường quán tính liên quan đến bí mật công nghệ của các nhà sản xuất. Để hiệu chỉnh vị trí tàu ngầm được cung cấp bởi hệ thống dẫn đường quán tính, thông thường hiện nay người ta sử dụng kết hợp giữa hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống vệ tinh hàng hải dẫn đường toàn cầu thông qua bộ lọc Kalman. Ngoài ra,

việc đưa vào càng nhiều yếu tố hiệu chỉnh giúp hệ thống dẫn đường quán tính có thể hoạt động một cách hiệu quả hơn khi chỉ để hệ thống làm việc tự động.

Khi tàu hành trình trên biển, người điều khiển tàu phải tiến hành hàng loạt các đo đạc và tính toán khác nhau, nhằm xác định vị trí tàu, xác định các thành phần chuyển động của tàu và thực hiện các nhiệm vụ khác trên biển. Có rất nhiều định nghĩa về dẫn đường, tuy nhiên trong luận án này, tác giả sử dụng thuật ngữ “*navigation*” được định nghĩa theo từ điển Oxford[65], tạm dịch là: “*Dẫn đường là một quá trình hành động hoặc xử lý liên tục để xác định vị trí chính xác của một con tàu và lập kế hoạch cũng như hành trình theo tuyến đi kế hoạch đó*”. Vì vậy, ngoài việc lập kế hoạch, xác định chính xác vị trí tàu liên tục tại mọi thời điểm cũng là một phần rất quan trọng trong dẫn đường. Dẫn đường cho tàu ngầm khác với dẫn đường cho tàu mặt nước ở hai điểm sau:

- Thứ nhất, tàu mặt nước chỉ cần xác định vị trí tàu theo không gian 2 chiều, tức là chỉ cần xác định tọa độ theo kinh độ và vĩ độ (hệ tọa độ XY), trong khi đó tàu ngầm cần xác định vị trí tàu theo không gian 3 chiều, ngoài kinh, vĩ độ còn có cả độ sâu theo trục Z hướng xuống dưới (hệ tọa độ XYZ).

- Thứ hai là, các tàu mặt nước và kể cả tàu ngầm, mặc dù có được trang bị hệ thống dẫn đường quán tính hay không, khi hành trình nổi luôn luôn có điều kiện quan sát được các vệ tinh của hệ thống GNSS, đối với tàu ngầm là phương án kết hợp GNSS/INS. Khi hành trình ngầm, tàu ngầm hoàn toàn sử dụng hệ thống dẫn đường quán tính và một số phương án kỹ thuật kết hợp khác để dẫn đường mà mất hẳn tín hiệu từ hệ thống vệ tinh dẫn đường.

Trong thực tế, đối với tàu ngầm được trang bị hai hệ thống dẫn đường quán tính khác loại, khi hành trình ngầm hai hệ thống này có sự sai lệch về vị trí khác nhau. Đặc thù của dẫn đường cho tàu ngầm của Hải quân là phải đảm bảo tính bí mật trong xác định vị trí tàu, nhất là trong điều kiện thời chiến thì yêu cầu này là đòi hỏi cao nhất, không thể dùng hệ thống định vị toàn cầu của

nước ngoài để xác định và hiệu chỉnh vị trí. Đối với một số Quốc gia như Mỹ, Nga, Trung Quốc, Nhật Bản và Liên minh châu Âu, họ đã phát triển hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu riêng, dành kênh riêng cho quân sự nên việc hiệu chỉnh vị trí cho tàu ngầm vẫn đảm bảo tính bí mật. Tàu ngầm quân sự Việt Nam hiện nay chỉ hoạt động trong vùng biển Việt Nam, trong khi chưa xây dựng và phát triển được hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu riêng. Do đó việc xác định vị trí tàu ngầm khi hành trình ngầm chính xác, phù hợp với điều kiện thực tế biển Việt Nam, phục vụ cho việc tối ưu hóa dẫn đường là một yêu cầu cần thiết và cấp bách. Mặt khác, liên quan đến bí mật quân sự, hoạt động tác chiến, không có nhiều tài liệu hoặc nghiên cứu về dẫn đường ngầm cho tàu ngầm được công bố của các quốc gia có tàu ngầm. Trước những yêu cầu trên, tác giả chọn lựa nghiên cứu đề tài “*Nghiên cứu nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm hoạt động trong khu vực Biển Đông*” là cần thiết đáp ứng nhiệm vụ cấp bách thực tế đặt ra.

2. Tổng quan tình hình nghiên cứu có liên quan đến đề tài luận án

2.1. Những nghiên cứu của nước ngoài về phát triển thiết bị và công nghệ phục vụ dẫn đường cho tàu ngầm trên thế giới

Để không ngừng đáp ứng yêu cầu về dẫn đường cho các phương tiện ngầm đặc biệt là định vị, dẫn đường cho tàu ngầm, các nhà khoa học ở các quốc gia trên thế giới đã triển khai nghiên cứu nhiều phương pháp để nâng cao độ chính xác hệ thống dẫn đường quán tính phục vụ cho dẫn đường tàu ngầm. Các nghiên cứu tập trung vào cải tiến con quay, nghiên cứu các phương pháp kết hợp giữa hệ thống dẫn đường quán tính và các phương pháp xác định vị trí khác nhằm nâng cao chất lượng hệ thống dẫn đường quán tính và phục vụ dẫn đường cho phương tiện ngầm. Tài liệu “*Hanbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*” của Giáo sư Thor.I. Fossen, Trường Đại học Khoa học và kỹ thuật Na Uy (Norwegian University of Science and Technology – NTNU) kể

thừa những nghiên cứu đã có trước đây, đưa ra một bức tranh tổng thể nghiên cứu các tính năng của phương tiện thủy, bao gồm phương trình thủy động học của phương tiện thủy và điều khiển chuyển động. Trong phần thủy động học ngoài các mô hình đối tượng thủy, trong đó có tàu ngầm, còn xét đến ảnh hưởng của gió và dòng chảy đến chúng. Phần chuyển động của phương tiện thủy đề cập đến các hệ thống chỉ đạo, điều khiển và dẫn đường cho phương tiện thủy. Trong chương 13, tác giả vẫn khuyến khích độc giả tiếp tục nghiên cứu các mô hình điều khiển nâng cao của riêng mình, làm sao cho mô hình điều khiển hiệu quả và đơn giản nhất[49].

Luận án Tiến sĩ của tác giả Antonio Angrisano với đề tài “*GNSS/INS Integration Methods*” trình bày về phương pháp kết hợp dẫn đường bằng hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu với hệ thống dẫn đường quán tính cho các phương tiện di chuyển trên đất liền với các cảm biến quán tính chi phí thấp[21].

Luận án Tiến sĩ của tác giả Griffin, Michael James với đề tài “*Numerical prediction of the maneuvering characteristics of submarines operating near the free surface*”, trình bày về phương pháp dự báo số cho đặc tính điều động của tàu ngầm khi hoạt động gần bề mặt, trong đó đánh giá tác động của các lực thủy động và mô men thủy động đến việc ổn định điều động cho tàu ngầm khi hành trình[29].

Luận án Tiến sĩ của tác giả Kenneth Gade với đề tài “*Inertial Navigation - Theory and Applications*” là tập hợp tất cả các bài báo về nghiên cứu của tác giả khi là nghiên cứu viên tại Cơ quan nghiên cứu Quốc phòng Na Uy – (Norwegian Defence Research Establishment (FFI)) từ 1998 đến 2016, với nhiệm vụ chính là nghiên cứu phát triển hệ thống hỗ trợ dẫn đường quán tính, đặc biệt là nghiên cứu về phương tiện ngầm không người lái HUGIN. Trong luận án của mình, tác giả cũng chỉ cung cấp một số thông tin về cách kết hợp giữa hệ thống dẫn đường quán tính và một số hệ thống khác như GPS, tốc độ

kế tuyệt đối – DVL, hoặc thiết bị thủy âm và đưa ra kết quả mà không nói rõ các thuật toán thực hiện vì bí mật quân sự và bí mật kinh doanh của sản phẩm[34].

Luận án Tiến sĩ của tác giả Лочехин, Алексей Владимирович với đề tài “*Интегрированная система с инерциальным модулем на электростатическом гироскопе и микромеханических датчиках*” trình bày hệ thống tích hợp mô đun quán tính trên con quay điện và vi cơ, xây dựng các thuật toán và hệ thống tích hợp định hướng dẫn đường dựa trên con quay điện và vi cơ trên hệ quán tính không để cho các phương tiện ngầm[59].

Luận án Tiến sĩ của tác giả Литвиненко, Юлия Александровна với đề tài “*Оптимизация алгоритмов инерциальной навигационной системы морских объектов*” trình bày về tối ưu hóa hệ thống dẫn đường quán tính cho các phương tiện thủy, trong đó đánh giá các nghiên cứu đã có về hệ thống dẫn đường quán tính, từ đó đưa ra một số giải pháp nhằm tăng cường độ tin cậy của hệ thống dẫn đường quán tính[58].

Luận văn Thạc sĩ của tác giả Geoffrey P. Carrigan “*The Design of an Intelligent Decision Support Tool for Submarine Commanders*” đề cập thiết kế bộ công cụ hỗ trợ quyết định hành động của sĩ quan chỉ huy tàu ngầm trong những tình huống cụ thể, trong đó có quyết định về điều khiển tàu ngầm[28].

Luận văn Thạc sĩ của các tác giả Erik Lind & Magnus Meijer với đề tài “*Simulation and Control of Submarines*”, mô phỏng phương trình chuyển động và xây dựng hệ thống điều khiển chuyển động của mô hình tàu ngầm trong phòng thí nghiệm, từ đó đánh giá sự khác biệt các yếu tố thủy động giữa lý thuyết và thực tế[27].

Cơ quan Dự án nghiên cứu quốc phòng Hoa Kỳ (DARPA) đang phát triển một hệ thống định vị dưới nước nhằm tăng cường khả năng định vị trên phạm vi toàn cầu của Hải quân Hoa Kỳ[68]. Hệ thống định vị dưới nước có tên

là (POSYDON - Positioning System for Deep Ocean Navigation) sẽ hỗ trợ các phương tiện dưới biển điều khiển chính xác khi hành trình ở dưới bề mặt đại dương. Hệ thống POSYDON nhằm mục đích thay thế các phương pháp dẫn đường hiện tại, theo đó việc định vị cho phép các phương tiện dưới nước sử dụng các nguồn âm thanh đa dải dài, tích hợp ở các vị trí cố định xung quanh đại dương, các tàu thuyền có thể thực hiện việc nhận tín hiệu và định vị ngay cả ở những khoảng cách lớn.

Tập đoàn “Oceanpribor” (Nga) đã chế tạo được hệ thống định vị “Positioner”[72], có khả năng dẫn đường cho thiết bị tàu ngầm không người lái với độ chính xác cao ở độ sâu nhiều km dưới lòng biển. Hệ thống bao gồm thiết bị lặn không người lái (ANPA), phao thủy âm với thiết bị vệ tinh "Gonets-D1M" và thiết bị định vị GLONASS. Các ANPA có khả năng tuần tra khu vực lòng biển ở độ sâu đến 8 km, định hướng theo các phao tiêu thủy âm ở đáy biển. Các phao này mang các thông số định vị siêu chính xác, nhờ đó các thiết bị lặn có thể xác định được chính xác vị trí của mình. Các phao này cũng thực hiện chức năng truyền thông tin lên mặt nước.

Một nghiên cứu nữa là nghiên cứu về hệ thống la bàn lượng tử (quantum compass)[74]. Hệ thống la bàn lượng tử được phát triển bởi Bộ Quốc phòng Vương quốc Anh để sử dụng trong tàu ngầm và máy bay trong tương lai, phương pháp cách mạng này sử dụng các hiệu ứng nguyên tử trên từ trường của Trái đất, độ chính xác có thể đạt tới dm.

Tất cả các nghiên cứu của nước ngoài đều tập trung giải quyết về mặt kỹ thuật và nâng cao hiệu quả làm việc của hệ thống dẫn đường quán tính. Các nghiên cứu này tập trung cho việc kết hợp hệ thống dẫn đường quán tính, với các trang bị được nghiên cứu thử nghiệm tại phòng thí nghiệm trước khi sản xuất. Trên các phương tiện được trang bị hệ thống dẫn đường quán tính nhằm dẫn đường ngầm dưới nước, các nhà khoa học trang bị các thiết bị định vị trên

tàu mẹ hoặc các phao thủy âm nhằm hỗ trợ phương tiện ngầm dẫn đường theo tuyến đi nghiên cứu định trước, đảm bảo độ chính xác. Các nghiên cứu này được thực hiện công khai và không mang tính bí mật trong hoạt động. Các phương tiện ngầm được thử nghiệm là loại không người lái AUV hoặc ROV. Rất ít phương tiện ngầm có người lái thử nghiệm bên trong. Các hệ thống hoạt động trên những phương tiện này đều mang tính tự động hóa cao.

Có thể nói, việc nghiên cứu của nước ngoài về dẫn đường cho tàu ngầm rất đa dạng, tuy nhiên vì lý do bí mật quân sự và lý do bí mật kinh doanh, các nghiên cứu được công bố không đầy đủ, chỉ đưa ra kết quả để chào hàng cho các công ty mua lại công nghệ. Đối với các công ty, việc nghiên cứu chi tiết đòi hỏi nhiều thời gian và công sức của tập thể đội ngũ các chuyên gia của Công ty, do đó họ chỉ bán sản phẩm với các thông số kỹ thuật cần thiết, việc công bố cách thức chế tạo, các mô hình toán của hệ thống của họ được cất giữ nghiêm ngặt[24]. Đối với lực lượng Hải quân các nước có đội tàu ngầm, việc hành trình đi ngầm, hoạt động trinh sát và thực hiện các nhiệm vụ khác thường được giữ bí mật, những số liệu thu thập được trong quá trình hành quân được coi là tài liệu tối mật và không được cung cấp ra ngoài.

2.2. Những nghiên cứu trong nước

Luận án Tiến sĩ nghiên cứu về “*Phân tích thủy động lực học và thiết kế hệ thống điều khiển theo công nghệ hướng đối tượng cho phương tiện tự hành dưới nước*”[6]; nghiên cứu này tập trung vào việc tính toán thủy động lực học phương tiện tự hành dưới nước (AUV) loại nhỏ và áp dụng công nghệ hướng đối tượng trong phát triển hệ thống điều khiển bám hướng trên mặt ngang với bộ điều khiển PID tuyến tính đơn giản. Bên cạnh đó đã có nghiên cứu về “*Nghiên cứu phương pháp hướng đối tượng trong phân tích và thiết kế điều khiển chuyển động cho thiết bị tự hành AUV/ASV với chuẩn SysML-Modelica và Automate lai*”[14]; nghiên cứu này đã xây dựng được các thành phần phân

tích, thiết kế và thực thi hướng đối tượng trong điều khiển chuyển động cho AUV/ASV bằng công nghệ hệ thống hướng mô hình kết hợp với ngôn ngữ mô hình hóa hệ thống, ngôn ngữ mô phỏng *Modelica* và *automate* lai. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên đây chỉ đề cập đến bộ điều khiển chuyển động bám hướng của phương tiện ngầm tự hành cỡ nhỏ mà không có sự kết hợp với hệ thống dẫn đường quán tính trong dẫn đường ngầm.

Luận văn Thạc sĩ của KS. Võ Hồng Hải “*Mô phỏng điều khiển hướng đi và độ sâu của phương tiện ngầm bằng bộ điều khiển nơ-ron ANNAP*” mới chỉ đưa ra bài toán chuyển động của phương tiện ngầm với 6 bậc tự do và mô phỏng điều khiển hướng và độ sâu của phương tiện ngầm bằng bộ điều khiển nơ ron ANNAI, nhưng chưa đưa ra các giải pháp để nâng cao chất lượng dẫn đường cho hệ thống[7].

Luận văn Thạc sĩ của KS. Nguyễn Quang Huy “*Nghiên cứu xây dựng mô phỏng hệ thống dẫn đường quán tính bằng MATLAB phục vụ giảng dạy tại Học viện Hải quân*” cũng mới chỉ dừng lại ở mức nghiên cứu lý thuyết đã có về các hệ thống dẫn đường quán tính (có đế, không đế), đưa ra giải thuật xác định vị trí của hệ thống dẫn đường quán tính không đế và mô phỏng hệ thống dẫn đường quán tính không đế bằng MATLAB phục vụ giảng dạy tại Học viện Hải quân[10],[17],[11].

Luận văn Thạc sĩ của KS. Lê Văn Kỳ “*Nghiên cứu hệ thống dẫn đường quán tính không đế*” nghiên cứu về cấu tạo hệ thống dẫn đường quán tính không đế, nguyên lý làm việc của các loại cảm biến con quay, gia tốc kế đang được sử dụng hiện nay. Luận văn cũng trình bày một giải thuật dẫn đường của hệ thống dẫn đường quán tính không đế và mô phỏng giả thuật đó bằng MATLAB[12].

Trường đại học Nha Trang và Trường đại học Bách Khoa Hà Nội cũng chế tạo tàu lặn, tuy nhiên các tàu này không có người lái và được điều khiển từ

xa. Tàu ngầm của Kỹ sư Phan Bội An có 01 người lái có thể vận hành trên mặt nước và lặn xuống ở hồ bơi tại Trường Trung cấp Kỹ thuật Hải quân[64].

Kỹ sư Nguyễn Quốc Hòa, Giám đốc Công ty cơ khí Quốc Hòa, Thái Bình thiết kế và chế tạo tàu ngầm mini Trường Sa. Với tàu ngầm này, nhà thiết kế tập trung thử nghiệm hệ thống động lực cho tàu, đó là hệ thống không khí tuần hoàn độc lập AIP. Tàu hiện tại có khả năng điều khiển hành trình khi nổi và chưa có hệ thống đảm bảo dẫn đường khi hành trình ngầm. Khi đi nổi tàu có trang bị hải đồ điện tử, GPS, la bàn từ. Ở độ sâu 1m tàu vẫn bắt được tín hiệu GPS, nhưng khi lặn sâu hơn thì dẫn đường hoàn toàn dẫn đường theo la bàn từ và không có hải đồ chuyên dụng[20].

Tất cả các nghiên cứu trong và ngoài nước mặc dù có liên quan đến tàu ngầm hay phương tiện ngầm tự hành hay không đều chưa làm rõ một cách chi tiết việc đảm bảo dẫn đường cho tàu ngầm trong khu vực Biển Đông. Các thử nghiệm của nước ngoài chưa thử nghiệm trên thực tế Biển Đông của Việt Nam. Việc làm rõ vấn đề thuật toán xử lý của hệ thống dẫn đường quán tính cũng không được cung cấp nhằm giữ bí mật sản xuất và bí mật kinh doanh. Hiện nay việc huấn luyện cho đội ngũ sĩ quan và thủy thủ tàu ngầm được thực hiện hoàn toàn ở nước ngoài, việc tiếp cận công nghệ hạn chế, đòi hỏi cấp bách xây dựng chương trình huấn luyện trong nước, giảm chi phí, làm chủ trang bị khi không có chuyên gia nước ngoài. Hướng nghiên cứu cũng như kết quả của đề tài có thể góp phần phát triển nghiên cứu lĩnh vực dẫn đường cho tàu ngầm của Việt Nam trong hiện tại và tương lai và áp dụng vào khu vực Biển Đông Việt Nam.

3. Mục đích, đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Mục đích nghiên cứu

- Phân tích làm rõ nguyên nhân gây ra sai lệch trong xác định vị trí tàu bằng các hệ thống dẫn đường quán tính được lắp đặt trên tàu.

- Trên cơ sở các trang thiết bị đã có với sai số của hệ thống dẫn đường, tính toán và đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm ở chế độ đi ngầm.

3.2. Đối tượng nghiên cứu

Đề tài luận án tập trung vào các đối tượng nghiên cứu sau đây:

- Hệ thống dẫn đường quán tính được trang bị trên các tàu ngầm;
- Đặc điểm địa hình, thủy văn khu vực Biển Đông;
- Các phương pháp dẫn đường theo hệ thống dẫn đường quán tính cho tàu ngầm;
- Tác động của ngoại cảnh đến độ chính xác dẫn đường tàu ngầm.

3.3. Phạm vi nghiên cứu

Đề tài luận án được giới hạn trong phạm vi nghiên cứu như sau:

- Hành trình ngầm của tàu ngầm trong khu vực Biển Đông, chú trọng đến tính bí mật, bảo đảm an toàn trong hoạt động dẫn đường tàu ngầm.
- Ảnh hưởng của một số yếu tố ngoại cảnh tới hoạt động của tàu ngầm trong khu vực Biển Đông : Lực thủy tĩnh, áp lực nước, mật độ nước, dòng chảy.

4. Phương pháp nghiên cứu

Đề tài luận án sử dụng các phương pháp nghiên cứu phổ biến sau đây để giải quyết các nhiệm vụ nghiên cứu đặt ra nhằm đạt được mục đích nghiên cứu:

- Phương pháp phân tích, tổng hợp được sử dụng nhằm hệ thống hóa cơ sở lý luận về độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm, đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố ngoại cảnh tới độ chính xác dẫn đường tàu ngầm trong khu vực Biển Đông;
- Phương pháp tổng hợp kết hợp với tham vấn chuyên gia nhằm đưa ra các giải pháp kỹ thuật, giải pháp huấn luyện nhằm nâng cao độ chính xác dẫn đường tàu ngầm

- Phương pháp ứng dụng công nghệ thông tin để xây dựng phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu” nhằm nâng cao độ chính xác dẫn đường tàu ngầm;
- Phương pháp khảo sát thực tế thông qua phiếu hỏi nhằm đánh giá tính khả dụng của phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu”.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

5.1. Ý nghĩa khoa học

- Hệ thống hóa cơ sở lý luận của hệ thống dẫn đường quán tính, là hệ thống dẫn đường chính được sử dụng trên tàu ngầm;
- Tạo cơ sở khoa học và các yêu cầu kỹ thuật cũng như kỹ năng trong công tác huấn luyện, xử lý và nhập liệu thông tin phục vụ hiệu chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính bảo đảm công tác xác định vị trí tàu ngầm, nâng cao độ chính xác dẫn đường của tàu ngầm trong khu vực Biển Đông.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Đề tài luận án chỉ rõ các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình dẫn đường ngầm cho tàu ngầm, đồng thời đưa ra một số giải pháp mang tính khả thi nhằm nâng cao độ chính xác dẫn đường tàu ngầm khi hành trình ngầm dưới biển, đặc biệt phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu” được xem như là công cụ hỗ trợ cho chỉ huy tàu trong quá trình điều khiển tàu ngầm hành trình ngầm trong khu vực Biển Đông.

Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu của đề tài luận án còn góp phần nâng cao chất lượng huấn luyện, sẵn sàng chiến đấu của tàu ngầm.

6. Những điểm đóng góp mới của luận án

- Hệ thống hóa cơ sở lý luận về hệ thống dẫn đường quán tính, phục vụ đào tạo cán bộ hàng hải và chỉ huy tàu ngầm;
- Làm rõ một số yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm trong khu vực Biển Đông, là khu vực lực lượng tàu ngầm của Việt Nam hoạt động, như: Lực thủy tĩnh, áp lực nước, mật độ nước, dòng chảy.

- Đề xuất quy trình lập kế hoạch đi biển cho tàu ngầm và xây dựng một phần mềm xử lý thông tin vị trí tàu ngầm khi hành trình ngầm trong khu vực Biển Đông nhằm trợ giúp cho chỉ huy tàu nâng cao độ chính xác khi xác định vị trí tàu trong quá trình dẫn đường ngầm.

7. Kết cấu luận án

Kết cấu luận án gồm ba phần:

1. Phần mở đầu: Giới thiệu tổng quan về luận án, tính cấp thiết, mục đích, ý nghĩa, nêu những điểm mới của luận án, trình bày tóm tắt kết cấu và nội dung luận án.

2. Phần nội dung nghiên cứu được trình bày trong 3 chương.

Chương 1: Cơ sở lý luận về độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm.

Chương 2: Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm

Chương 3: Giải pháp nâng cao độ chính xác dẫn đường tàu ngầm trong khu vực Biển Đông.

3. Phần kết luận và kiến nghị: Tóm tắt những kết quả đạt được và những đóng góp mới của luận án trong lĩnh vực chuyên ngành, bàn luận về khả năng ứng dụng thực tế và kiến nghị cho hướng phát triển tiếp theo của đề tài.

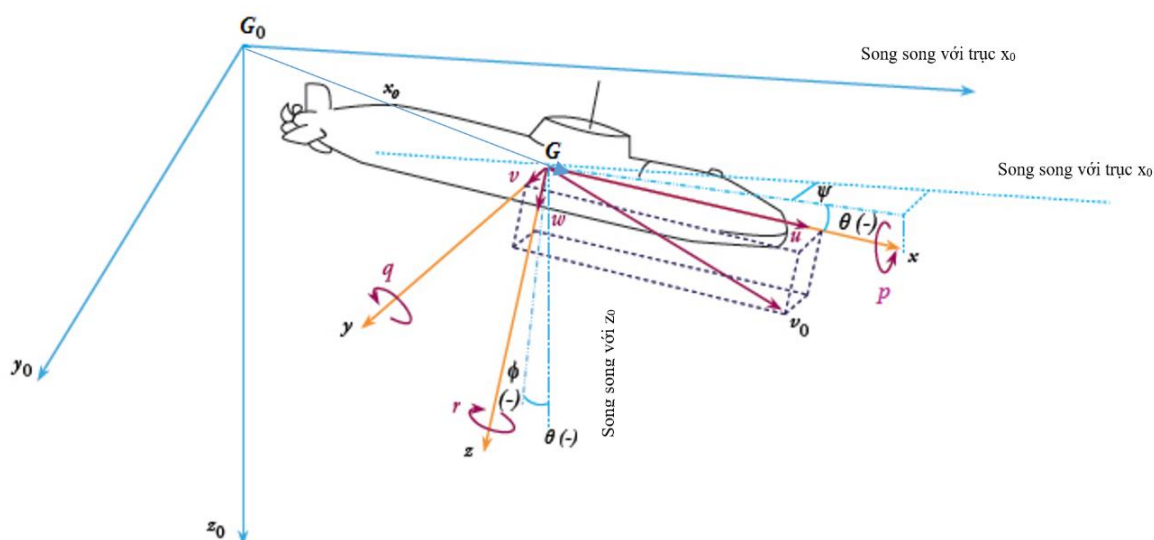
CHƯƠNG 1. CƠ SỞ LÝ LUẬN VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM

1.1. Mô hình toán học tàu ngầm

1.1.1. Các hệ tọa độ và ký hiệu quy ước

1.1.1.1. Các hệ tọa độ

Cho đến nay, các nhà khoa học vẫn sử dụng các ký hiệu quy ước của Hiệp hội đóng tàu Mỹ(SNAME 1950 - Society of Naval Architects & Marine Engineers) để mô tả các chuyển động của tàu biển (tàu ngầm) trong 6 bậc tự do.



Hình 1.1. Ký hiệu quy ước mô tả chuyển động của tàu trong 6 bậc tự do

Chuyển động tịnh tiến bao gồm trượt dọc (theo trục x), trượt ngang (theo trục y) và trượt thẳng đứng (theo trục z), chuyển động quay bao gồm lắc ngang (quay quanh trục x), lắc dọc (quay quanh trục y) và quay trở (quay quanh trục z). Thông thường, để xác định phương trình chuyển động, quy ước sử dụng 2 hệ tọa độ, một là hệ tọa độ quán tính (hoặc hệ tọa độ địa tâm $G_0x_0y_0z_0$ - ECEF) và hệ tọa độ di chuyển (hoặc hệ tọa độ vật thể $Gxyz$ - BODY), sau đó đặt lên đối xứng với thân tàu và mặt phẳng đường nước, theo quy ước là hệ **NED**

(North/hướng Bắc/ hướng mũi tàu, East/hướng Đông/hướng sang phải và Down/ hướng xuống dưới).

Để chuyển đổi từ hệ tọa độ này sang hệ tọa độ khác, xét 2 hệ tọa độ bất kì trong không gian, các phép biến đổi tọa độ chỉ quan tâm đến các phương của các trục tọa độ nên ta có thể kéo 2 hệ tọa độ về cùng một gốc mà không làm mất đi tính tổng quát của vấn đề[10],[25].

Ví dụ, để chuyển đổi tọa độ của tàu ngầm tại vị trí $\varphi=11^{\circ}48' \text{ N}$, $\lambda=109^{\circ}18' \text{ E}$, độ sâu lặn $h=50\text{m}$, ta có thể sử dụng công cụ của MATLAB.

Để chuyển từ hệ tọa độ địa lý sang hệ tọa độ NED, dùng câu lệnh: `geodetic2ned`, cụ thể như sau:

```
>> [xNorth,yEast,zDown] = geodetic2ned(11.8,109.3,-  
50,0,0,referenceEllipsoid('WGS 84'), 'degrees')  
xNorth = 1.2957e+06  
yEast = 5.8933e+06  
zDown = 8.4419e+06
```

Để chuyển từ hệ tọa độ NED sang hệ tọa độ ECEF, dùng câu lệnh: `ned2ecef`, cụ thể như sau:

```
>> [X,Y,Z] =  
ned2ecef(1.2957e+06,5.8933e+06,8.4419e+06,0,0,0,referenceEllipsoid('WGS  
84'), 'degrees')  
X = -2063763  
Y = 5893300  
Z = 1295700
```

Trong tất cả các tọa độ NED và ECEF, đơn vị được tính theo mét, lấy kích thước trái đất theo WGS 84.

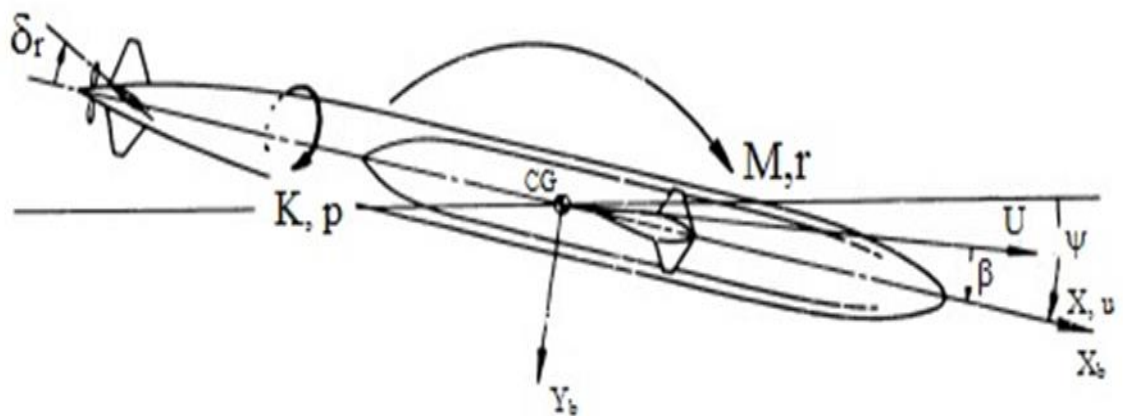
Cũng theo SNAME (1950), các bậc tự do của tàu ngầm có thể tóm tắt như bảng 1.1.

Bảng 1.1. Chuyển động tàu ngầm trong 6 bậc tự do

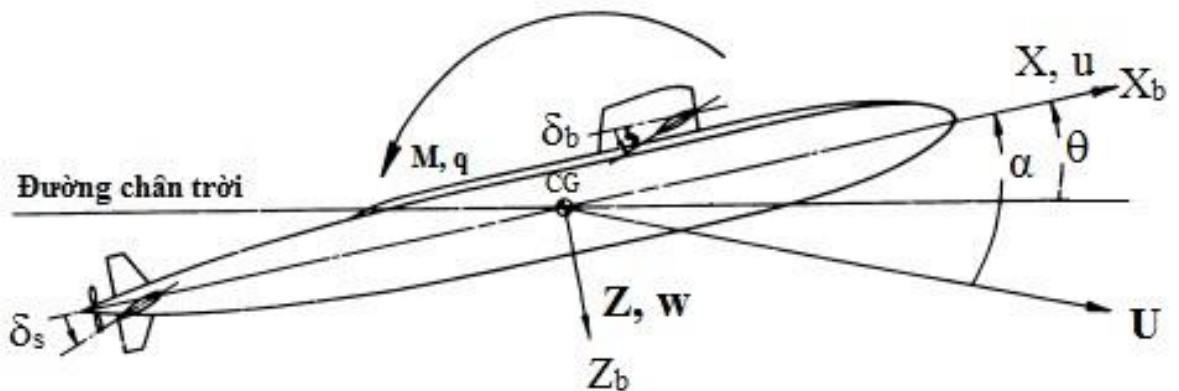
Bậc tự do	Chuyển động	Lực F Mô men M	Vận tốc tịnh tiến U Vận tốc góc Ω	Vị trí và góc Euler
1	Trượt dọc (chuyển động theo trục x – surge)	X	u	x
2	Trượt ngang (chuyển động theo trục y – sway)	Y	v	y
3	Trượt đứng (chuyển động theo trục z – heave)	Z	w	z
4	Lắc ngang (quay quanh trục x, nghiêng ngang – roll, heel)	K	p	ϕ
5	Lắc dọc (quay quanh trục y, nghiêng dọc – pitch, trim)	M	q	θ
6	Quay trở (quay quanh trục z – yaw)	N	r	ψ

1.1.1.2. Ký hiệu quy ước

Theo các tài liệu[33],[39], để xác định hướng dương của các trục, góc, vận tốc, lực và mô men của tàu ngầm, có thể quy ước như hình 1.2 và 1.3.



Hình 1.2. Quy ước hướng dương các đại lượng tàu ngầm theo chuyển động ngang



Hình 1.3. Quy ước hướng dương các đại lượng tàu ngầm theo chuyển động dọc

a) Chuyển động ngang

Từ trọng tâm CG của tàu ngầm, theo các hướng trục X_b và Y_b có các các đại lượng được quy ước như sau:

- + Góc quay trở ψ : là góc tạo bởi mặt phẳng đường nước và trục Gx , có chiều quay thuận chiều kim đồng hồ.

- + Vận tốc tàu ngầm U theo phương ngang: được chia thành hai thành phần nhỏ là u và v ;

- + Góc dạt β : Là góc hợp bởi hướng vận tốc U và trục Gx của tàu ngầm, được tính từ $U \rightarrow Gx$, thuận chiều kim đồng hồ.

Ta có:

$$u = U \cos \beta \quad (1.1)$$

$$v = U \sin \beta \quad (1.2)$$

$$r = \frac{d\psi}{dt} \quad (1.3)$$

Với r là vận tốc góc của chuyển động quay, có hướng cùng chiều kim đồng hồ.

+ Góc đánh lái δ : có hướng thuận chiều kim đồng hồ

+ Góc quay trở γ : Là góc được xác định, quy ước có hướng thuận chiều kim đồng hồ.

b) Chuyển động dọc

Từ trọng tâm CG của tàu ngầm, theo các hướng trục X_b và Z_b có các đại lượng được quy ước như sau:

+ Góc lắc dọc (góc chúc) θ : là góc hợp bởi mặt phẳng đường nước và trục X_b , có hướng tính ngược chiều kim đồng hồ. Trong thực tế đi biển, góc lắc dọc θ có thể đạt đến $20^\circ \div 30^\circ$. Khi hành trình gần bờ, do ảnh hưởng độ sâu bất thường của khu vực này, để đảm bảo an toàn cho tàu ngầm, góc lắc dọc được giới hạn $\theta \leq 5^\circ \div 7^\circ$. Độ nghiêng dọc lớn hay nhỏ được xác định thông qua độ nông hay sâu của khu vực biển hành trình, trình độ của người điều khiển và yếu tố kỹ thuật của trang thiết bị được trang bị trên tàu.

+ Vận tốc góc lắc dọc q : hướng dương của vận tốc góc lắc dọc q được xác định theo quy tắc bàn tay phải, cho chuyển động thẳng đứng và ngược chiều kim đồng hồ, được xác định bằng công thức:

$$q = \frac{d\theta}{dt} \quad (1.4)$$

+ Vận tốc tàu ngầm U theo phương dọc: được chia thành hai thành phần nhỏ là u và w ;

+ Góc ngả hay góc tới α : Là góc hợp bởi hướng vận tốc U và trục X_b , có hướng ngược chiều kim đồng hồ.

+ Góc lặn biển χ : là góc được tạo bởi hình chiếu của vận tốc U và trục X_b , quy ước ngược chiều kim đồng hồ, hướng từ X_b đến U . Như vậy khi $\chi > 0$, tàu ngầm sẽ nổi trên mặt nước, ngược lại tàu ngầm sẽ chìm dưới nước.

1.1.2. Mô hình toán học phương trình chuyển động tàu ngầm

Về mặt lý thuyết, khi biết tất cả các phương trình thủy động lực học, chuyển động tàu ngầm trong 6 bậc tự do (bao gồm cả lực hấp dẫn, lực nổi, và mô men) hoặc lực điều khiển (bao gồm lực đánh lái, lực đẩy), có thể nhận được kết quả thông qua giải phương trình trên mô hình toán mô phỏng tàu ngầm. Tuy nhiên, việc có quá nhiều hệ số thủy động lực học và phương trình con, sẽ khiến bài toán này phức tạp hơn, mất nhiều thời gian để giải quyết. Kết quả thực nghiệm và mô phỏng cho thấy rằng chỉ một số ít các hệ số thủy động lực học có ảnh hưởng đến việc điều động tàu ngầm. Vì vậy, qua phân tích thực tế, để không ảnh hưởng đến sự chuyển động đặc trưng của tàu ngầm khi hành trình ngầm, chỉ cần xem xét ảnh hưởng của các lực tác động chính, các lực khác được coi là nhỏ và có thể bỏ qua.

Từ phương trình tiêu chuẩn thủy động lực học tàu ngầm[33], các phương trình chuyển động của tàu ngầm trong 6 bậc tự do có thể được đơn giản hóa khi cho gốc tọa độ tàu G trùng với trọng tâm CG và các trục tọa độ của tàu tương ứng với trục quán tính. Trong nghiên cứu này, tác giả chỉ xét các phương trình không thứ nguyên của tàu ngầm thể hiện các lực tác động vào tàu ngầm làm gây ra sai số trong chuyển động của tàu, từ đó ảnh hưởng đến sự làm việc của hệ thống quán tính[49]:

+ Phương trình trượt dọc

$$\begin{aligned}
 X = m[\dot{u} - vr + wq] &= \frac{\rho}{2} L^4 [X'_{qq} q^2 + X'_{rr} r^2 + X'_{rp} rp] + \frac{\rho}{2} L^3 [X'_u \dot{u} + X'_{vr} vr + X'_{wq} wq] \\
 &+ \frac{\rho}{2} L^2 [X'_{vv} v^2 + X'_{ww} w^2] + \frac{\rho}{2} L^2 u^2 [X'_{\delta_r \delta_r} \delta_r^2 + X'_{\delta_s \delta_s} \delta_s^2 + X'_{\delta_b \delta_b} \delta_b^2] + \frac{\rho}{2} L^2 [a_T u^2 + b_T u U_c + c_T U_c^2]
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

+ Phương trình trượt ngang

$$\begin{aligned}
 Y = m[\dot{v} - wp + ur] &= \frac{\rho}{2} L^4 [Y'_r \dot{r} + Y'_p \dot{p} + Y'_{r|r} r |r| + Y'_{pq} pq] + \frac{\rho}{2} L^3 [Y'_r ur + Y'_p up + Y'_v \dot{v} + Y'_{wp} wp] \\
 &+ \frac{\rho}{2} L^2 [Y'_v uv + Y'_{v|v} v |v| (v^2 + w^2)^{1/2}] + Y'_{\delta_r} u^2 \delta_r
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$

+ Phương trình trượt đứng

$$\begin{aligned}
 Z = m[\dot{w} - uq + vp] &= \frac{\rho}{2} L^4 [Z'_q \dot{q} + Z'_{pp} p^2 + Z'_{rr} r^2 + Z'_{rp} rp + Z'_{q|q} q |q|] + \frac{\rho}{2} L^3 [Z'_w \dot{w} + Z'_q uq + Z'_{vp} vp] \\
 &+ \frac{\rho}{2} L^2 [Z'_0 u^2 + Z'_w uw + Z'_{|w} u |w| + Z'_{ww} |w| (v^2 + w^2)^{1/2}] + Z'_{vv} v^2 + (Z'_{\delta_s} \delta_s + Z'_{\delta_b} \delta_b) u^2
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$

+ Các phương trình phụ:

$$\begin{cases}
 \dot{\phi} = p + \dot{\psi} \sin \theta \\
 \dot{\theta} = q \cos \phi - r \sin \phi \\
 \dot{\psi} = (r \cos \phi + q \sin \phi) / \cos \theta, \quad \theta \neq \pm 90^\circ \\
 \dot{N} = u \cos \theta \cos \psi + v (\sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi) + w (\sin \phi \sin \psi + \cos \phi \sin \theta \cos \psi) \\
 \dot{E} = u \cos \theta \sin \psi + v (\cos \phi \cos \psi + \sin \phi \sin \theta \sin \psi) + w (\cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi) \\
 \dot{D} = -u \sin \theta + v \cos \theta \sin \phi + v \cos \theta \cos \phi \\
 U = \sqrt{(u^2 + v^2 + w^2)}
 \end{cases}
 \tag{1.8}$$

Trong các công thức trên đây, $X'(\cdot)$, $Y'(\cdot)$, $Z'(\cdot)$ là các hệ số không thứ nguyên của lực tác dụng vào tàu ngầm, u là tốc độ theo hướng chiều dọc của tàu ngầm, w là tốc độ theo hướng chiều thẳng đứng của tàu ngầm, q là vận tốc

góc lắc dọc, h là chiều cao tâm nghiêng, δ_b là góc điều khiển bánh lái tầm ở mũi, δ_s là góc điều khiển bánh lái tầm ở đuôi tàu, tàu ngầm nổi hay lặn nhờ bánh lái tầm này, δ_r là góc điều khiển bánh lái hướng, được đặt ở đuôi tàu, L là chiều dài tàu ngầm, m là khối lượng của tàu ngầm. Với nhiều phương tiện ngầm, Fossen[49] đưa ra mô hình chiều dọc (*longitudinal model*) và mô hình chiều ngang (*lateral model*) bằng cách phân chia 6 phương trình chuyển động thành các hệ thống con không tương tác với nhau (hoặc ít tương tác với nhau):

- Hệ thống con trong chuyển động dọc: các trạng thái (u, w, q) và (N, D, θ) ;
- Hệ thống con trong chuyển động ngang: các trạng thái (v, p, r) và (E, ϕ, ψ) .

1.1.3. Mô hình toán học tàu ngầm chuyển động gần bề mặt

Khi tàu ngầm hoạt động gần bề mặt, do tác động của sóng và lực thủy động tác động lên bánh lái, vận động của tàu ngầm sẽ chịu các ảnh hưởng do 3 loại lực gây ra:

- + Lực của sóng: có thể phân chia thành sóng cấp 1 và sóng cấp 2;
- + Lực thủy động tác dụng lên bánh lái;
- + Hiệu ứng Venturi.

Khi xem xét đặt các gốc tọa độ trùng với trọng tâm tàu, ta có các phương trình sau:

- + Các phương trình chuyển động thẳng đứng:

$$m(w - uq + vp) = \frac{\rho}{2} L^4 [Z'_q \dot{q}] + \frac{\rho}{2} L^3 [Z'_w \dot{w} + Z'_{vp} vp + Z'_q uq] + \frac{\rho}{2} L^2 [Z'_0 u^2 + Z'_w uw + Z'_{|w|} w \sqrt{(v^2 + w^2)}] + Z'_w v^2 + (Z'_{\delta_s} \delta_s + Z'_{\delta_b} \delta_b) u^2 + Z_{wave} \quad (1.9)$$

$$I_y \dot{q} + (I_x - I_z) rp = \frac{\rho}{2} L^5 [M'_q \dot{q} + M'_{rp} rp] + \frac{\rho}{2} L^4 [M'_w \dot{w} + M'_q uq + M'_{|w|q} \sqrt{(v^2 + w^2)}] q + \frac{\rho}{2} L^3 [M'_0 u^2 + M'_w v^2 + M'_w uw + (M'_{\delta_s} \delta_s + M'_{\delta_b} \delta_b) u^2] - mgh \sin \theta + M_{wave} \quad (1.10)$$

+ Các phương trình chuyển động ngang:

$$I_z \ddot{r} = \frac{\rho}{2} L^5 [N'_r \dot{r}] + \frac{\rho}{2} L^4 [N'_v \dot{v} + N'_r ur + N'_{|r|} \sqrt{(v^2 + w^2)} |r|] + \frac{\rho}{2} L^3 [N'_v uv + N'_{\delta_r} u^2 \delta_r] + M_{wave} \quad (1.11)$$

$$I_x \dot{p} = \frac{\rho}{2} L^4 [K'_v \dot{v} + K'_r ur] + \frac{\rho}{2} L^3 [K'_v uv] - mgh \cos \theta \sin \phi + M_{wave} \quad (1.12)$$

Trong đó, Z_{wave} và M_{wave} lần lượt là lực và mô men của sóng tác động vào tàu ngầm.

1.1.4. Mô hình toán học tàu ngầm chuyển động ngầm

Khi tàu ngầm lặn xuống, ngoài chịu sự tác động của dòng chảy, thân tàu còn chịu ảnh hưởng không nhỏ của áp lực nước và mô men thủy tĩnh.

1- Lực thủy động ảnh hưởng trực tiếp đến chuyển động lặn xuống của tàu ngầm (chuyển động thẳng đứng) là hợp lực của các lực sau: áp lực nước, dòng chảy, trọng lực, lực nổi và mô men.

Trọng lực của tàu ngầm $W = m.g$; với m là khối lượng tàu ngầm, g là gia tốc trọng trường.

Lực nổi của tàu ngầm $B = \rho g \nabla$, trong đó ∇ là lượng giãn nước của tàu ngầm.

Lực nổi dư: $\Delta = W - B$, nguyên nhân dẫn đến sai lệch trong tính toán lực nổi là do các trang thiết bị trong tàu ngầm như: ngư lôi, đạn, dược...

Khi $\Delta > 0$, tức là tàu ngầm đủ trọng lượng nặng sẽ lặn xuống;

Khi $\Delta < 0$, tàu ngầm không đủ trọng lượng sẽ nổi lên;

Khi $\Delta = 0$, tàu ngầm ở chế độ cân bằng, trạng thái nằm lơ lửng trong mặt nước.

Lực nổi dư không những phụ thuộc vào trọng tâm tàu ngầm, mà đôi khi còn phụ thuộc vào lực nổi dư của mô men khi vị trí xác định cách trọng tâm một khoảng x_p .

$$\Delta M_p = - \Delta P . x_p \quad (1.13)$$

Ngoài ra, theo lý thuyết lực thủy tĩnh, trọng lực của tàu ngầm và lực nổi không tác dụng cùng lúc theo một mặt phẳng thẳng đứng để tạo nên lực thủy tĩnh, mà còn chịu ảnh hưởng của tác dụng ngang và tác dụng thẳng đứng của khối lượng nước dưới thân tàu ngầm tạo nên.

$$M_H(\theta) = -mgh \sin \theta \quad (1.14)$$

Trong công thức (1.14) trên đây, h là chiều cao tâm nghiêng của khối lượng nước được bơm ra, m là khối lượng của tàu ngầm, θ là góc nghiêng dọc, dấu “-” là do chuyển động ngược hướng với chiều quay quy định.

Phương trình chuyển động các lực thủy tĩnh theo chiều dọc được xác định theo các công thức dưới đây:

$$\begin{cases} m(\dot{u} + wq) = X_{\dot{u}}\dot{u} + X_{uu}u^2 + X_{ww}w^2 + X_{qq}q^2 + X_{wq}wq + X_{\delta_s\delta_s}\delta_s^2 + X_{\delta_b\delta_b}\delta_b^2 + X_T + W\theta \\ m(\dot{w} - uq) = Z_0 + Z_{\dot{w}}\dot{w} + Z_{\dot{q}}\dot{q} + Z_w w + Z_{|w|}|w| + Z_q q + Z_{w|w|}w|w| + Z_{ww}w^2 + Z_{w|q|}w|q| + Z_{q|q|}q|q| + \\ Z_{\delta_s}\delta_s + Z_{\delta_b}\delta_b + Z_{|q|\delta_s}|q|\delta_s + W \\ I_y\dot{q} = M_0 + M_{\dot{w}}\dot{w} + M_{\dot{q}}\dot{q} + M_w w + M_{|w|}|w| + M_q q + M_{w|w|}w|w| + M_{ww}w^2 + M_{w|q|}w|q| + M_{q|q|}q|q| + \\ M_{\delta_s}\delta_s + M_{\delta_b}\delta_b + M_{|q|\delta_s}|q|\delta_s + X_T Z_T + M_p + M_0\theta \\ q = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} \end{cases} \quad (1.15)$$

Phương trình chuyển động trên đây bao gồm $u(t)$, $w(t)$, $q(t)$ và $\theta(t)$ là bốn thông số chuyển động ẩn, thường được xác định bằng phương trình lực dọc trục (phương trình X), phương trình lực thẳng đứng (phương trình Z), phương trình mô men dọc (phương trình M), và phương trình hỗ trợ $q = \dot{\theta}$. Khi điều khiển bánh lái, theo quy tắc $\delta_s(t)$, $\delta_b(t)$ và điều kiện lực thủy tĩnh $P(t)$, $M_p(t)$, các thông số chuyển động tàu ngầm ẩn như $u(t)$, $w(t)$, $q(t)$, $\theta(t)$ được giải quyết.

Một trong những chuyển động cần nghiên cứu là chuyển động của tàu ngầm ở trạng thái thả trôi (ngầm). Tàu ngầm được gọi là thả trôi ở tư thế cân bằng tĩnh khi có các đặc điểm sau đây:

- + Tàu ngầm chìm hoàn toàn trong nước, không sử dụng bánh lái hay chân vịt;
- + Chuyển động chìm hay nổi của tàu ngầm là chuyển động thẳng có hướng;
- + Tàu ngầm thả trôi chỉ cần các tham số dưới đây, những tham số của chuyển động có thể lấy giá trị bằng 0.

$$w \neq 0, \dot{w} \neq 0, q \neq 0, \dot{q} \neq 0 \quad (1.16)$$

$$V_{z_0} = \dot{z}_0 = \dot{H} = w \quad (1.17)$$

$$\dot{\theta} = q \quad (1.18)$$

Trong đó, w là tốc độ lặn hoặc nổi của tàu ngầm theo phương thẳng đứng, H là độ sâu, $\dot{H}$ là tốc độ thay đổi độ sâu lặn, $\dot{\theta}$ là tốc độ thay đổi góc lắc dọc q .

Trong thời gian thả trôi ở trạng thái cân bằng tĩnh, tàu ngầm chịu lực mất cân bằng tác dụng từ bên ngoài $Z_0(t)$, lực nén theo chiều thẳng đứng $Z_1(t)$, mật độ nước biển theo độ sâu $Z_2(t)$, lực phát sinh trong khi không chế các khoang chứa nước $Z_3(t)$, các mô men ban đầu M_0 (T.m), mô men không chế khoang chứa nước phát sinh cân bằng tàu M_3 (T.m).

Trong khi thả trôi tàu ngầm ở trạng thái cân bằng tĩnh, hướng di chuyển của nó không dễ bị khống chế, dẫn đến tàu ngầm sẽ trôi theo chiều dòng chảy, có thể chỉ khống chế được độ sâu hoạt động của tàu ngầm.

Giả thiết rằng, trong phương trình chuyển động thẳng, do $Z'_q, Z'_{\dot{w}}, Z'_{\dot{w}\dot{w}}$ quá nhỏ, có thể bỏ qua các lực này, đồng thời cũng có thể bỏ qua các lực $M'_q, M'_{\dot{w}}, M'_{\dot{w}\dot{w}}$, ta có phương trình rút gọn khi tàu ngầm hoạt động ở trạng thái thả trôi như sau:

$$\begin{cases} \dot{w} = \frac{1}{2m} \rho L^4 Z'_{q|q} q|q| + \frac{1}{2m} \rho L^3 Z'_{w|q} w|q| + \frac{1}{2m} \rho L^2 Z'_{w|w} w|w| + \frac{1}{m} (Z_0 + Z_1 + Z_2 + Z_3) \\ \dot{q} = \frac{1}{2I_y} \rho L^5 M'_{q|q} q|q| + \frac{1}{2I_y} \rho L^4 M'_{w|q} w|q| + \frac{1}{2I_y} \rho L^3 M'_{w|w} w|w| - \frac{mgh\theta}{I_y} + \frac{M_0 + M_3}{I_y} \\ \dot{H} = w \\ \dot{\theta} = q \end{cases} \quad (1.19)$$

Trong phương trình (1.19), các yếu tố hệ số thành phần được xác định như sau:

$$Z'_{q|q} = \frac{Z_{q|q}}{0.5\rho L^4}, \text{ hệ số đại diện cho } Z \text{ như là hàm của } q|q|;$$

$$Z'_{w|q} = \frac{Z_{w|q}}{0.5\rho L^3}, \text{ hệ số đại diện cho } Z \text{ như là hàm của } w|q|;$$

$$Z'_{w|w} = \frac{Z_{w|w}}{0.5\rho L^2}, \text{ hệ số đại diện cho } Z \text{ như là hàm của } w|w|;$$

$$M'_{q|q} = \frac{M_{q|q}}{0.5\rho L^5}, \text{ hệ số đại diện cho } M \text{ như là hàm của } q|q|;$$

$$M'_{w|q} = \frac{M_{w|q}}{0.5\rho L^4}, \text{ hệ số đại diện cho } M \text{ như là hàm của } w|q|;$$

$$M'_{w|w} = \frac{M_{w|w}}{0.5\rho L^3}, \text{ hệ số đại diện cho } M \text{ như là hàm của } w|w|.$$

Nếu đặt $Z_m = \frac{1}{m}$, $M_\theta = -\frac{mgh}{I_y}$, $M_I = \frac{1}{I_y}$, công thức (1.19) trở thành (1.20).

$$\begin{cases} \dot{w} = Z_m (Z'_{q|q} q|q| + Z'_{w|q} w|q| + Z'_{w|w} w|w| + Z_0 + Z_1 + Z_2 + Z_3) \\ \dot{q} = M_I (M'_{q|q} q|q| + M'_{w|q} w|q| + M'_{w|w} w|w| + M_0 + M_3) + M_\theta \theta \\ \dot{H} = w \\ \dot{\theta} = q \end{cases} \quad (1.20)$$

Theo tìm hiểu của NCS, tại nhà máy đóng tàu “ADMIRALTY SHIPYARDS” của Nga, các kỹ sư đã sử dụng phần mềm CATIA xây dựng mô

hình tàu ngầm theo các thông số cho trước, sau đó tính toán và mô phỏng các chuyển động của tàu ngầm trên máy tính, từ đó đưa ra sản xuất trong thực tế.

1.2. Các phương pháp dẫn đường cho tàu ngầm

Dẫn đường cho tàu ngầm là một công việc không hề đơn giản cả về kỹ thuật và công nghệ. Tùy theo trạng thái hành trình của tàu ngầm, người ta phân chia các kỹ thuật dẫn đường cho tàu ngầm thành hai loại[62],[63]:

- Dẫn đường cho tàu ngầm khi đi nổi và đi ở độ sâu kính tiềm vọng.
- Dẫn đường cho tàu ngầm khi đi ngầm.

1.2.1. Dẫn đường cho tàu ngầm khi đi nổi và đi ở độ sâu kính tiềm vọng

Khi đi nổi hoặc hành trình ở độ sâu kính tiềm vọng, tàu ngầm dùng các phương pháp sau để xác định vị trí:

a) Dẫn đường bằng vệ tinh

- Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (GNSS – Global Navigation Satellite System): Khi tàu ngầm hành trình nổi, hệ thống cung cấp khả năng xác định vị trí và dẫn đường ở mức độ chính xác cao. Hiện nay các hệ thống được sử dụng phổ biến là GPS – *Global Navigation System* do Mỹ xây dựng và quản lý; hệ thống ГЛОНАСС (GLONASS) - *ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система* – do Nga xây dựng và quản lý.

- Hệ thống NAVSAT: hệ thống vệ tinh hàng hải phục vụ cho dẫn đường.

b) Dẫn đường bằng hệ thống xung – pha (hệ thống vô tuyến)

Các trạm phát vô tuyến được đặt trên mặt đất, nếu dẫn tàu ngầm ở khu vực rộng hơn thì phải dùng hệ thống vệ tinh dẫn đường. Có thể kể ra một số hệ thống xung – pha phục vụ dẫn đường trước đây như:

- Hệ thống LORAN;
- Hệ thống CHAYKA (Nga), nguyên lý hoạt động tương tự như hệ thống LORAN;

- Hệ thống OMEGA, hệ thống dẫn đường của phương Tây, tương tự hệ thống dẫn đường ALPHA của Nga;

- ALPHA, hệ thống dẫn đường của Nga, tương tự hệ thống OMEGA.

Do sự phát triển của hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu, hiện nay hầu hết các trạm phát và thu sóng dạng xung – pha đều đã lỗi thời và ít được sử dụng.

c) Dẫn đường bằng thiên văn

Phương pháp dẫn đường bằng thiên văn sử dụng kính tiềm vọng hoặc sextant hàng hải để đo đạc các thiên thể, giải các bài toán thiên văn để tìm ra vị trí tàu quan trắc, tuy nhiên khó thực hiện trên tàu ngầm, sai số trong đo đạc lớn dẫn đến sai số trong xác định vị trí lớn.

d) Dẫn đường bằng radar

Các tín hiệu radar có thể dễ dàng phát hiện mục tiêu và dẫn đường radar thường được sử dụng ở các vùng biển khi tàu ngầm ra vào cảng.

e) Dẫn đường bằng Sonar chủ động

Được trang bị hai hệ thống: sonar chủ động và sonar bị động, khi tàu ngầm vào và ra cảng, nó dùng hệ thống sonar để dễ dàng phát hiện các mục tiêu, nhất là mục tiêu ngầm, đảm bảo cho tàu hành trình an toàn.

f) Dẫn đường bằng mục tiêu

Trong các vùng nước ven bờ hoặc nội thủy, tàu ngầm đi nổi dựa vào hệ thống tiêu hàng hải (phao, tiêu, hải đăng .v.v.), hoặc sử dụng kính tiềm vọng để tác nghiệp các đường vị trí và xác định vị trí tàu.

g) Hệ thống quản lý hành trình

Một số tàu ngầm hiện đại sử dụng hải đồ điện tử và các nguồn thông tin tham khảo bên ngoài do các cảm biến thu nhận được để xác định vị trí tàu và hiển thị liên tục trên màn hình. Hệ thống này tương tự hệ thống thông tin và hiển thị hải đồ điện tử.

h) Dẫn đường dự tính

Với phương pháp này, vị trí tàu sẽ liên tục được tính toán từ vị trí tàu ban đầu đã biết và cập nhật vị trí này thông qua hướng đi của tàu được cung cấp bởi la bàn con quay, tốc độ đo đạc được theo tốc độ kế hoặc tốc độ kế, ảnh hưởng dòng chảy tại khu vực tàu hoạt động, thời gian hành trình. Vị trí nhận được này phụ thuộc nhiều đến yếu tố chính xác của việc tính toán dòng chảy, độ chính xác không cao.

i) Hệ thống dẫn đường quán tính

Được áp dụng cả khi tàu ngầm đi nổi và đi ngầm. Từ vị trí tàu và thời gian ban đầu được đặt cho hệ thống từ lúc xuất phát, hệ thống sử dụng các con quay và gia tốc kế để đo tốc độ góc hiện tại và gia tốc tuyến tính của hệ thống. Bằng việc kết hợp cả hai thông số hệ thống đo được và so sánh tương đối với hệ thống chuyển động thì có thể xác định được gia tốc tuyến tính của hệ thống trong hệ quy chiếu quán tính. Thực hiện phép tính tích phân đối với các gia tốc quán tính (với việc sử dụng tốc độ ban đầu theo điều kiện ban đầu cho trước) bằng việc sử dụng đẳng thức động học sẽ có được gia tốc quán tính, rồi tích phân lần nữa (với điều kiện ban đầu là vị trí ban đầu) thì sẽ có được vị trí quán tính. Tuy nhiên, sau một thời gian nhất định, do sai số tích lũy trong khi đo của con quay sẽ dẫn đến sai số vị trí, hệ thống quán tính cần được đặt lại vị trí đầu nhờ các phương pháp xác định vị trí chính xác khác. Như vậy, bản chất của hệ thống dẫn đường quán tính cũng là dẫn đường dự tính. Trong quá trình hành quân ngầm, tàu ngầm chủ yếu dẫn đường bằng hệ thống dẫn đường quán tính. La bàn con quay, tốc độ kế và tốc độ kế là phương tiện thiết yếu và hỗ trợ cho hệ thống dẫn đường quán tính. Với mức độ quan trọng như vậy đối với dẫn đường tàu ngầm, hệ thống dẫn đường quán tính sẽ được nghiên cứu, đánh giá ở chương 2.

1.2.2. Dẫn đường khi tàu ngầm đi ngầm

Tại độ sâu dưới độ sâu kính tiềm vọng, khi không có tín hiệu vô tuyến và vệ tinh, các tàu ngầm xác định vị trí của chúng bằng cách:

a) Dẫn đường dự tính

- Đã được đề cập ở phần 1.2.1 h).

b) Hệ thống dẫn đường quán tính

- Đã được đề cập ở phần 1.2.1 i).

c) Dẫn đường bằng thủy âm[5],[18]

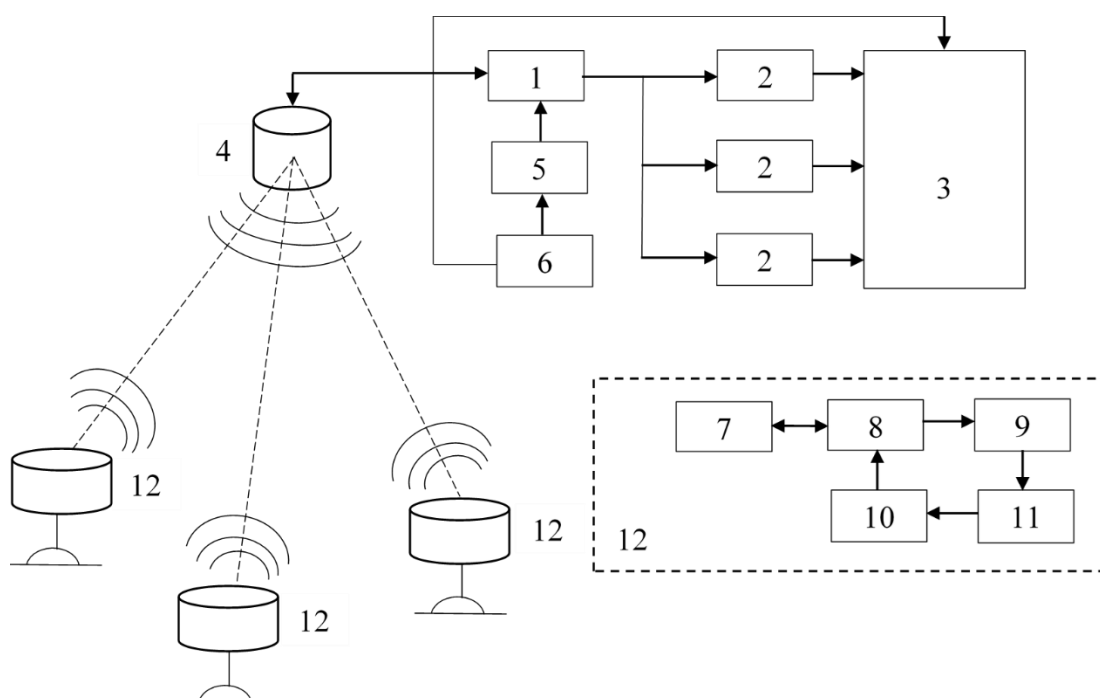
Hệ thống định vị thủy âm đầu tiên được phát triển tại Mỹ để hỗ trợ nghiên cứu và phát triển từ năm 1960. Từ thời điểm đó, những hệ thống như vậy đã đóng một vai trò quan trọng trong việc xác định vị trí cho các thiết bị dưới nước và trong các công trình dầu khí ngoài khơi. Do có những ưu điểm quan trọng về mặt kỹ thuật nên người ta đã đưa hệ thống định vị thủy âm ứng dụng trong lĩnh vực quân sự.

Định vị thủy âm có thể cung cấp vị trí chính xác với độ ổn định cao trong một khu vực giới hạn, có thể phát triển và ứng dụng ở khoảng cách xa ngoài khơi. Hệ thống định vị thủy âm đo khoảng cách và hướng đến mốc tín hiệu được đặt dưới đáy biển hoặc đặt trên ROV (Remotely operated vehicle - thiết bị được vận hành từ xa) và cá kéo. Độ chính xác đạt được phụ thuộc vào kỹ thuật sử dụng, khoảng cách và điều kiện môi trường. Độ chính xác dao động trong khoảng từ vài mét đến dm. Định vị thủy âm góp phần quan trọng trong việc hỗ trợ, hiệu chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính để cung cấp vị trí tàu chính xác hơn.

Định vị thủy âm dựa trên cơ sở các nguyên lý của thủy âm học. Các hệ thống dẫn đường này có thể là: các máy đo tốc độ thủy âm có thể bảo đảm đo tốc độ của tàu tương đối với đáy biển (tốc độ “tuyệt đối”); các hệ thống xác định chính xác vị trí của các đối tượng trong đại dương, dựa trên cơ sở sử dụng

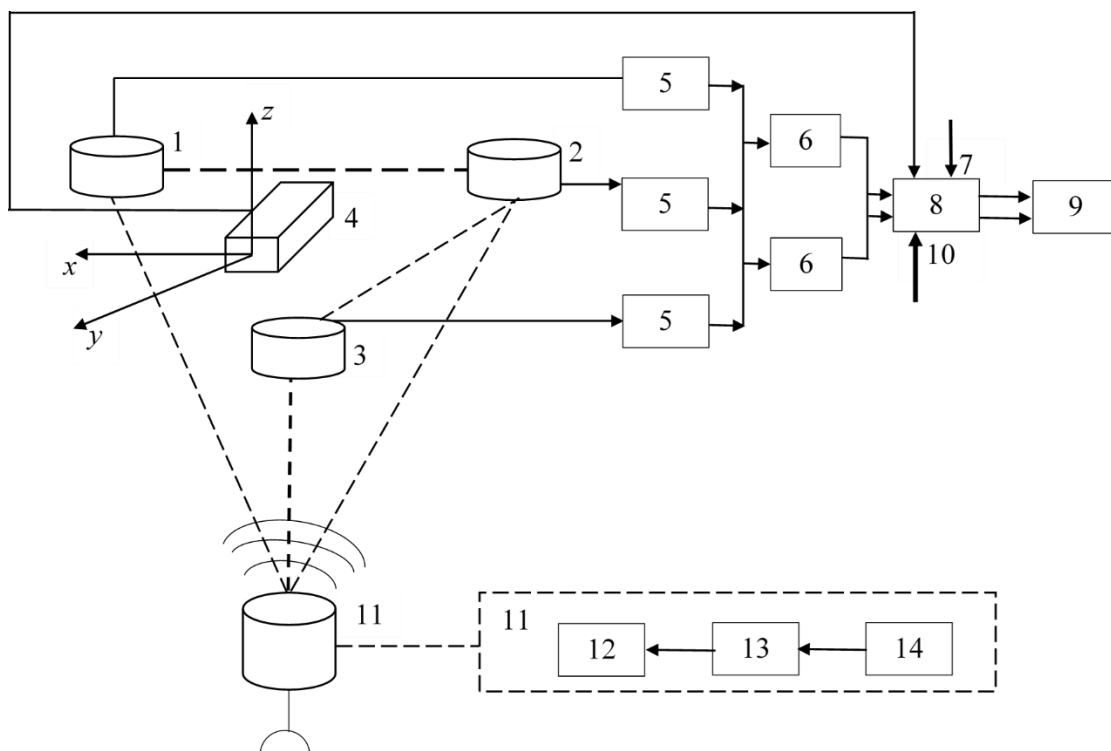
các hải đăng thủy âm (phao tiêu thủy âm); các hệ thống đo độ sâu cho phép xác định vị trí của đối tượng theo các đặc trưng của biên hình đáy đại dương v.v.

Các hệ thống dẫn đường với các đài mốc thủy âm (các transponder và responder) đặt ở đáy biển để xác định tọa độ của các đối tượng nổi trên mặt và ngầm dưới nước. Các đài mốc thủy âm là cơ cấu độc lập, tự động phát tín hiệu vào môi trường nước xung quanh khi thu được tín hiệu yêu cầu hoặc theo chương trình đã lập trước.



Hình 1.4. Sơ đồ hệ thống dẫn đường thủy âm với đường dây cơ sở

1- Bộ chuyển mạch thu – phát; 2- Bộ khuếch đại kênh thu; 3- Máy đếm các khoảng cách và bộ tính toán các tọa độ; 4- Ăng ten thu-phát trên khoang; 5- Bộ khuếch đại công suất; 6- máy phát chủ; 7- Ăng ten thu-phát; 8- Bộ chuyển mạch thu-phát; 9- Khuếch đại thu; 10- Máy phát; 11- Bộ giải mã; 12- Các đài mốc thủy âm.



Hình 1.5. Sơ đồ hệ thống dẫn đường thủy âm với đáy cơ sở ngắn và đài mồi
1, 2, 3 – Các máy thu; 4 - Cảm biến định hướng thẳng đứng của tàu; 5 - Các kênh thu; 6 - Các bộ biến đổi khoảng cách thời gian thành điện áp hoặc mã; 7- đưa vào các số liệu về sự dịch chuyển của máy thu; 8 - Bộ tính toán và biến đổi các tọa độ; 9 - Bộ hiển thị; 10 - Đưa vào các số liệu về sự dịch chuyển của đài mồi thủy âm tương đối với điểm chuẩn trên đáy đất và độ sâu đặt của nó; 11- Đài mồi thủy âm; 12 - Ăng ten phát; 13 - Khuếch đại công suất; 14 - Máy phát chủ.

d) Dẫn đường theo độ sâu đáy biển đã biết

Phương pháp này có thể được thực hiện tại các vùng biển trong đó dữ liệu thủy văn đã được lập thành hải đồ và biểu diễn độ sâu đầy đủ của đáy biển. Máy đo sâu của tàu ngầm liên tục đo độ sâu và so sánh với bản đồ độ sâu đã biết, từ đó biết được vị trí của tàu ngầm trên hải đồ.

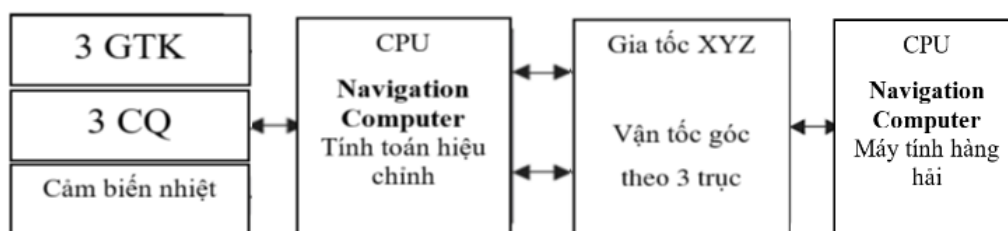
Trên đây là các phương pháp cơ bản để dẫn đường cho tàu ngầm đang được sử dụng nhiều hiện nay.

1.3. Hệ thống dẫn đường quán tính của tàu ngầm

1.3.1 Khái niệm cơ bản về dẫn đường quán tính

Phương pháp dẫn đường quán tính dựa vào vị trí, vận tốc và động thái ban đầu đã biết của phương tiện[40],[10]. Từ đó, đo tốc độ động thái và gia tốc rồi dùng phương pháp tích phân để tìm ra vị trí của phương tiện. Đây là phương pháp dẫn đường duy nhất không dựa vào nguồn tham khảo bên ngoài. Nếu phương pháp dẫn đường vô tuyến chịu ảnh hưởng của sóng vô tuyến điện và không sử dụng được trong những khu vực không có sóng thì phương pháp dẫn đường quán tính có thể khắc phục được. Tuy nhiên, sau một thời gian, do ảnh hưởng của nhiều yếu tố, dẫn đường quán tính sẽ xuất hiện sai số trong việc xác định vị trí, nếu không có sự điều chỉnh. Có 2 kiểu hệ thống dẫn đường quán tính: có đế - Gimbaled và không đế - Strapdown.

* Các thành phần cơ bản của một hệ thống dẫn đường quán tính:



Hình 1.6. Thành phần cơ bản hệ thống dẫn đường quán tính

- Thành phần cơ bản của hệ thống là khối cảm biến quán tính ISA. Nó bao gồm ba gia tốc kế và ba cảm biến góc quay, có chức năng chuyển đổi gia tốc chuyển động và vận tốc góc theo các trục tọa độ tương ứng thành tín hiệu điện.

- Thành phần mở rộng hơn là khối đo quán tính IMU được tích hợp thêm các bộ ADC, CPU kèm theo phần mềm nhúng có chức năng chuyển đổi tín hiệu và xử lý sơ bộ số liệu đo (xác định sai số, bù các tác động ngoài như nhiệt độ, rung xóc...), truyền thông .v.v.

- Thành phần hoàn chỉnh là hệ thống dẫn đường quán tính (INS) có thuật toán dẫn đường. Nó gồm các chức năng tính toán cao cấp như chuyển đổi các hệ trục tọa độ, các bộ lọc Kalman (KF), Kalman mở rộng (EKF)... và thành phần kết nối với các nguồn thông tin khác như: định vị vệ tinh, tốc độ kế, la bàn, máy đo sâu, radar... nhằm nâng cao độ chính xác của toàn bộ hệ thống. Nói một cách đơn giản, hệ thống dẫn đường quán tính INS = IMU + Máy tính hàng hải.

- Máy tính hàng hải: dùng để chuyển đổi các hệ tọa độ, tính toán gia tốc trọng trường và thực hiện các thuật toán tích phân.

1.3.2. Nguyên lý chung hệ thống dẫn đường quán tính

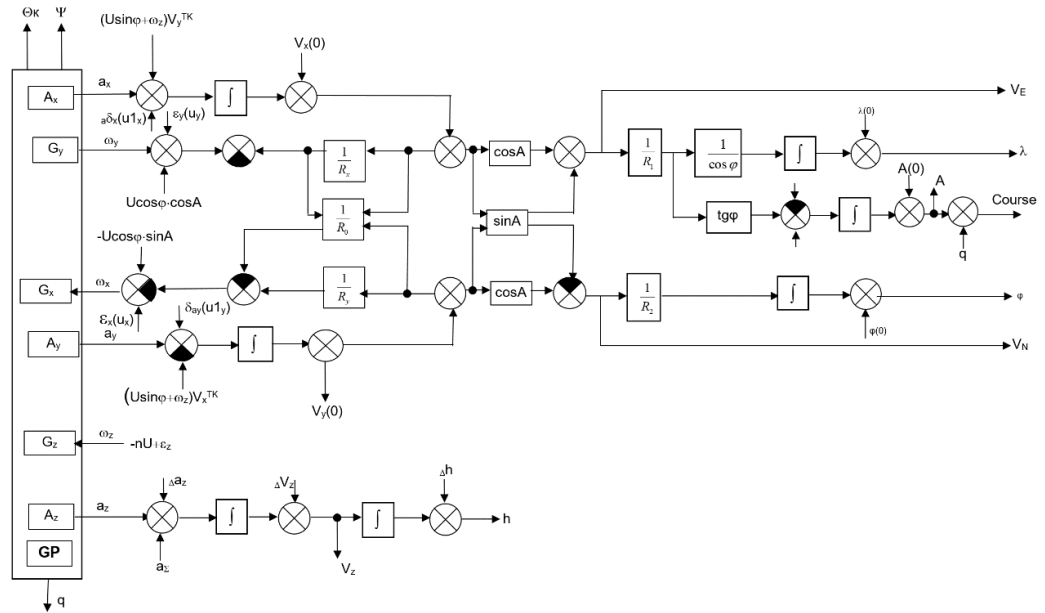
1.3.2.1. Nguyên lý xác định vị trí của hệ thống dẫn đường quán tính có đế

Mặc dù hệ thống dẫn đường quán tính có đế đã dần được thay thế bằng hệ thống dẫn đường quán tính không đế, tuy nhiên, hệ thống dẫn đường quán tính có đế vẫn có những ưu điểm nhất định, và người ta vẫn không ngừng nghiên cứu và cải thiện độ chính xác của hệ thống này. Trên hầu hết các phương tiện và trang bị của Nga vẫn sử dụng hệ thống dẫn đường quán tính có đế[9]. Do đó, việc nắm chắc nguyên lý xác định vị trí của hệ thống này giúp cán bộ và chiến sĩ đang công tác trên các phương tiện trên hiểu biết rõ hơn về trang bị, sử dụng trang bị một cách hiệu quả nhất.

Trong sơ đồ nguyên lý được thể hiện như hình 1.6, các yếu tố của hệ thống được định nghĩa như sau:

A – Góc phương vị tương đối so với đế Gimbaled Platform(GP);

q – Góc quay so với đế;



Hình 1.7. Sơ đồ nguyên lý hệ thống dẫn đường quán tính có đế

Θ_k – Góc thuận lợi nghiêng mạn phù hợp với lắc ngang của tàu theo mạn phải.

ψ – Góc thuận lợi nghiêng dọc phù hợp với lắc dọc của tàu theo mũi.

a_x, a_y, a_z – thành phần gia tốc tuyến tính được đo bằng các gia tốc kế tương ứng A_x, A_y, A_z ;

$\delta a_x, \delta a_y, \delta a_z$ – bù nhiễu của các gia tốc kế tương ứng;

U – Vận tốc quay của Trái đất;

R_x, R_y – bán kính cong của các phần elip Trái đất trong các mặt phẳng trục giao lẫn nhau đi qua các trục của hệ tọa độ của nền để ổn định và thẳng đứng với Trái đất ellipsoid;

R_0 – bán kính giảm độ cong của Trái đất ellipsoid, là hàm của R_x và R_y ;

R_1, R_2 – bán kính cong của Trái đất ellipsoid trong mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất và kinh tuyến đi qua điểm đó, theo thứ tự;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – vận tốc góc quay đo được bằng các con quay tương ứng G_x, G_y, G_z ;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – vận tốc dạt góc của con quay, tương ứng G_x, G_y, G_z ;

nU – Tốc độ quay cường bức trên đế;

u_{1X}, u_{1Y}, u_X, u_Y – đầu vào tín hiệu điều khiển.

Vị trí theo phương thẳng đứng được xây dựng dựa trên các trục của hệ tọa độ trên nền đế quay ổn định. Thay đổi của vĩ độ φ và kinh độ λ được tạo ra bằng cách tích phân các thành phần vận tốc tuyến tính được chuyển đổi qua góc phương vị A so với đế. Vận tốc V_X và V_Y được tính bằng tổng mỗi lần tích phân các bước tăng ΔV_X và ΔV_Y . Giá trị của các thành phần vận tốc theo các trục của hệ tọa độ địa lý nhận được bằng cách sử dụng phép biến đổi sin-cos thông qua góc phương vị A so với đế.

$$\begin{aligned} V_X &= V_X(0) + \int_0^t \Delta V_X d\tau. \\ V_Y &= V_Y(0) + \int_0^t \Delta V_Y d\tau \end{aligned} \quad (1.21)$$

$$V_N = -V_X \sin A + V_Y \cos A \quad (1.22)$$

$$V_E = V_X \cos A + V_Y \sin A \quad (1.23)$$

Tọa độ hiện tại được xác định và tính theo công thức:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi(0) + \int_0^t \frac{V_N}{R_2} dt; \\ \lambda &= \lambda(0) + \int_0^t \frac{V_E}{R_1 \cos(\varphi)} dt. \end{aligned} \quad (1.24)$$

Phương vị A được tính bằng tích phân của góc quay trên đế ổn định.

$$A = \int_0^t \left(nU + U \sin \varphi + \frac{V_E}{R} \operatorname{tg} \varphi \right) dt. \quad (1.25)$$

Hướng chuyển động C (*Course*) được tính bằng tổng giữa góc phương vị trên nền đế A và góc quay q .

$$C = q + A \quad (1.26)$$

Giá trị vĩ độ tính toán được sử dụng để tính toán các thành phần của tốc

độ góc quay Trái đất $U \sin \varphi$ và $U \cos \varphi$, được cung cấp cho các kênh tương ứng của điều khiển và tính toán trên đế.

Điều khiển vận tốc góc trong các kênh thẳng đứng mà không tính đến chuyển động quay của Trái đất ω_X , ω_Y được tính theo bán kính cong theo mô hình Trái đất ellipsoid R_X , R_Y và R_0 :

$$\frac{1}{R_Y} = \frac{\cos^2 A}{R_2} + \frac{\sin^2 A}{R_1}; \quad (1.27)$$

$$\frac{1}{R_X} = \frac{\sin^2 A}{R_2} + \frac{\cos^2 A}{R_1} \quad (1.28)$$

$$\frac{1}{R_0} = \sin A \cos A \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right); \quad (1.29)$$

$$R_1 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}; \quad (1.30)$$

$$R_2 = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} \quad (1.31)$$

ở đây: a – Bán trục lớn của trái đất; e – tâm sai.

Vận tốc góc tạo ra xây dựng nên trục thẳng đứng (không tính đến sai số của con quay ngang) được tính theo công thức dưới đây:

$$\omega_Y^{INS} = \omega_Y + \Omega_Y; \quad (1.32)$$

$$\omega_X^{INS} = \omega_X + \Omega_X; \quad (1.33)$$

trong đó: $\Omega_Y = U \cos \varphi \cos A$;

$$\Omega_X = -U \cos \varphi \sin A;$$

$$\omega_X = -\frac{V_Y}{R_Y} + \frac{V_X}{R_0};$$

$$\omega_Y = \frac{V_X}{R_X} - \frac{V_Y}{R_0}.$$

Sơ đồ theo Hình 1.7 lý tưởng có các tính chất sau (không tính đến sai số thành phần):

- Hệ thống mô hình hóa hệ thống tọa độ địa lý và không tính đến sai số cố định trong xác định hướng con quay về hướng Bắc và xây dựng phương dọc của địa điểm tính;

- Sự thay đổi tăng vận tốc của tàu không làm thay đổi vị trí của đế so với hệ tọa độ địa lý mà nó tính toán.

- Dao động theo tần số Schuler $\approx 84,4$ phút trong ≈ 24 giờ.

Trong thực tế, sau một thời gian hoạt động, do sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên sinh ra trong quá trình đo đạc, hệ thống GINS sẽ tích lũy sai số nhất định và không đảm bảo chính xác để dẫn tàu. Từ sơ đồ nguyên lý, có thể thấy rằng, ngoài các điểm vào cho các giá trị ban đầu ở đầu ra của các bộ tích phân, chỉ có năm điểm trong hệ thống có thể nhập vào tín hiệu điều chỉnh và tín hiệu điều khiển:

a) Hai điểm đầu vào của tích phân ngang:

- Nhập gia tốc bù không δ_{ax}, δ_{ay} cho các gia tốc kế ngang A_x và A_y ;
- Nhập tín hiệu điều khiển tương đương với độ lệch bằng 0, ký hiệu lần lượt là $u1X$ và $u1Y$;

- Các tín hiệu bù của thành phần ngang gia tốc Coriolis:

$$W_{KY} = -(U \sin \varphi + \omega_Z) V_X; \quad (1.34)$$

$$W_{KX} = (U \sin \varphi + \omega_Z) V_Y \quad (1.35)$$

Ở đây: V_X và V_Y – thành phần vận tốc tuyến tính trên trục X và Y của hệ tọa độ được gắn trên đế;

ω_Z – tốc độ quay của con quay G_z .

Các thành phần của gia tốc Coriolis có thể được lấy từ tín hiệu độ trễ của tốc độ hoặc từ hệ thống vệ tinh hàng hải dẫn đường toàn cầu (Global Navigation Satellite System – GNSS);

b) Ba điểm đầu vào tốc độ góc quay của con quay dự tính $\omega_x, \omega_y, \omega_z$:

- Giá trị đầu vào của tín hiệu điều khiển và bù các sai số tương đương với độ lệch góc của con quay hồi chuyển (không được hiển thị trong Hình 1.7);
- Tín hiệu đầu vào bù cho sự trôi con quay ($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$);
- Bù sai số tính toán dự tính;
- Đầu vào các tín hiệu điều khiển u_x và u_y , dựa vào mô hình đường chân trời trên đế, giảm theo chu kỳ của tần số Schuler và sai số ngày đêm của hệ thống quán tính.

Số gia vĩ độ $\Delta\varphi$, số gia kinh độ $\Delta\lambda$ và số gia góc phương vị so với đế ΔA được nhập vào so với các thông số ban đầu $\varphi(0), \lambda(0), A(0)$.

Kênh để tạo độ sâu và tốc độ dọc, được trình bày trong sơ đồ nguyên lý (Hình 1.7), không bao gồm trong mạch INS. Số dọc của gia tốc kế dọc được hiệu chỉnh bằng giá trị bù bằng Δa_z , bằng cách tích phân hai lần gia tốc Coriolis a_Σ . Nếu không được hiệu chỉnh, kênh tín hiệu này không ổn định, do đó sẽ dùng ba điểm hiệu chỉnh:

- Hiệu chỉnh bù không cho gia tốc kế Δa_z , kết hợp bù với đầu vào của gia tốc Coriolis a_Σ ;
- Hiệu chỉnh tốc độ đầu vào theo chiều dọc ΔV_z ;
- Hiệu chỉnh tọa độ đầu vào theo độ sâu Δh_z .

Nếu tàu được trang bị các phương tiện đo hỗ trợ khác, các số đo bên ngoài được sử dụng để hiệu chỉnh và giảm nhiễu của hệ thống GINS:

* Tính toán tốc độ:

$$Z_{V_E} = V_E - V_E^{TK}; \quad (1.36)$$

$$Z_{V_N} = V_N - V_N^{TK}; \quad (1.37)$$

Trong đó: $V_E^{TK} = V_{(vertical)}^{TK} \sin C + V_{(horizontal)}^{TK} \cos C;$

$$V_N^{TK} = V_{(vertical)}^{TK} \cos C - V_{(horizontal)}^{TK} \sin C;$$

$V_{(vertical)}^{TK}, V_{(horizontal)}^{TK}$ – Vận tốc theo phương dọc và phương ngang được tốc độ kế cung cấp;

Hướng đi C – Hướng di chuyển của đối tượng.

* Tính toán vị trí:

$$Z_\varphi = \varphi - \varphi^{TK}; \quad (1.38)$$

$$Z_\lambda = \lambda - \lambda^{TK}; \quad (1.39)$$

trong đó: $\varphi^{TK}, \lambda^{TK}$ – vĩ độ và kinh độ tham khảo. Tọa độ này được nhập bằng tay (nếu biết chính xác) hoặc từ máy thu vệ tinh GNSS.

Đối với hệ thống dẫn đường quán tính đang được xem xét trên đây, để hệ thống làm việc phải qua 5 bước được liệt kê dưới đây. Sau khi khởi động hệ thống, để gắn các con quay và gia tốc kế sẽ được làm nóng đến nhiệt độ nhất định, động cơ con quay bắt đầu quay và tìm về kinh tuyến.

a) Bước thứ nhất. Đưa đế quay trùng với mặt phẳng chân trời, trong khi đế cố định, hướng đi chưa được cung cấp;

b) Bước thứ hai: Xác định hướng đi thô với đế cố định;

c) Bước thứ ba: Hiệu chuẩn với đế quay với vận tốc góc $(2U + U \sin \varphi) \approx 30^\circ/\text{giờ}$. (trong đó U là tốc độ quay của Trái đất);

d) Bước thứ tư: Hiệu chuẩn với đế quay với vận tốc góc $(4U + U \sin \varphi) \approx 60^\circ/\text{giờ}$;

e) Bước thứ năm - Làm việc ổn định: Khi đế quay với tốc độ $(4U + U \sin \varphi) \approx 60^\circ/\text{giờ}$.

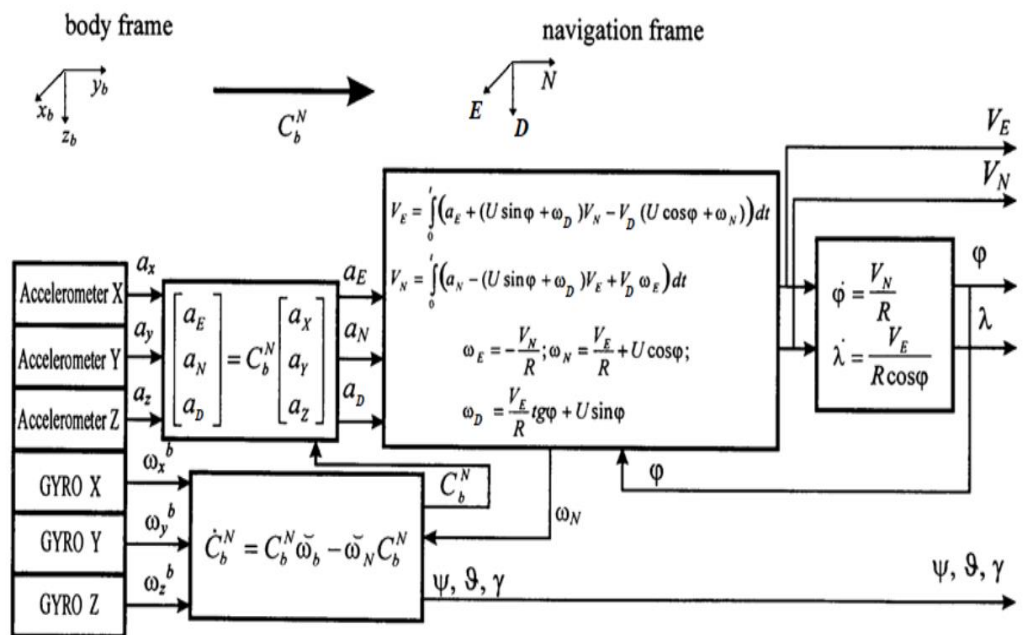
Quá trình làm việc ổn định và nếu trong thời gian ngắn, hệ thống sẽ cung

cấp liên tục vị trí và hướng di chuyển của tàu theo công thức 1.25 và 1.27 khi không có tín hiệu từ các nguồn tham khảo bên ngoài như GPS hoặc các hệ thống khác. Tuy nhiên do bản chất của thuật toán dùng phương pháp tích phân 2 lần để xác định vị trí, sau thời gian nhất định, do sự trôi của con quay, hệ thống sẽ phát sinh sai số trong xác định vị trí.

Để hệ thống dẫn đường quán tính hoạt động tốt, đầu tiên sau khi mở máy, phải tiến hành đồng chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính với hệ thống GNSS[40],[22],[10].

1.3.2.2 Thuật toán dẫn đường cho hệ thống dẫn đường quán tính không đế

Từ thành phần cơ bản, một hệ thống dẫn đường quán tính không đế có thể thể hiện như sơ đồ dưới đây[10]:



Hình 1.8. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống dẫn đường quán tính không đế

Như vậy, quá trình tính toán được chia thành hai giai đoạn chính:

1. Xử lý dữ liệu từ gia tốc kế (gia tốc);
2. Xử lý dữ liệu từ cảm biến con quay (vận tốc góc)

Các tọa độ (vĩ độ, kinh độ) của đối tượng chuyển động được xác định:

$$\begin{aligned}\varphi &= \arctg \frac{b_{33}}{b_{23}}, [0 \div \pm 90^0] \\ \lambda &= \arctg \frac{b_{32}}{b_{31}}, [0 \div \pm 180^0] \\ \varepsilon &= \arctg \frac{b_{13}}{b_{23}} \\ V_N &= V_y \cos \varepsilon + V_x \sin \varepsilon \\ V_E &= -V_y \sin \varepsilon + V_x \cos \varepsilon\end{aligned}\tag{1.40}$$

Các góc định hướng cuối cùng được tính từ các phần tử của ma trận R_b^n , (c_{11} , c_{12} , c_{13} ...) như sau:

$$\begin{aligned}p &= \arctg \left(\frac{c_{32}}{\sqrt{c_{31}^2 + c_{33}^2}} \right), [0 \div \pm 90^0] \\ r &= -\arctg \left(\frac{c_{31}}{c_{33}} \right), [0 \div \pm 180^0] \\ A &= \arctg \left(\frac{c_{12}}{c_{22}} \right), [0 \div \pm 180^0]\end{aligned}\tag{1.41}$$

trong đó: p (pitch) là góc lắc dọc, r (roll) là góc lắc ngang, A (Azimuth) là phương vị.

Như vậy, về cơ bản sau khi sử dụng các thuật toán biến đổi hệ tọa độ, hệ thống dẫn đường quán tính sẽ cung cấp cho người sử dụng các thông tin sau:

- Ngày tháng năm tại thời điểm mở máy;
- Hướng di chuyển của tàu;
- Vị trí của tàu (vĩ độ và kinh độ)
- Vận tốc di chuyển của tàu theo 2 trục V_N và V_E mà không cung cấp V_0 .

Và một số thông tin khác như độ sâu làm việc, các góc lắc ngang, lắc dọc...

1.3.3. Nghiên cứu một số hệ thống dẫn đường quán tính hiện nay

Có rất nhiều nhà sản xuất nước ngoài đã giới thiệu và công bố các thông tin về hệ thống dẫn đường quán tính do họ sản xuất[46],[53],[43]. Tuy nhiên, các thông tin chỉ mang tính chung nhất như sai số về vị trí, sai số cố định của con quay, gia tốc kế, thời gian trung bình giữa 2 lần hỏng MTBF. Tuy nhiên, trong cùng 1 hãng sản xuất các hệ thống dẫn đường quán tính cũng có độ chính xác khác nhau. Điều này đã được các hãng thử nghiệm và bảo đảm độ chính xác của thiết bị, tuy nhiên chắc chắn rằng thuật toán để nâng cao độ chính xác của các hệ thống không bao giờ được hãng công bố vì tính bảo mật của nghiên cứu, các sản phẩm đó mang tính chất sống còn với doanh nghiệp của họ. Bảng dưới đây giới thiệu một số hệ thống dẫn đường quán tính đang được chào bán:

- Hệ thống dẫn đường quán tính của hãng SAGEM – Pháp với dòng sản phẩm SIGMA40XP [46].

- Hệ thống dẫn đường quán tính của hãng Raytheon Anschütz, có tên là MINS2[43].

- Hệ thống dẫn đường quán tính “ЛАДОГА-МЭ” của Nga[53].

Công nghệ con quay dùng con quay laser vòng (RLG – Ring Laser Gyroscope).

NCS chỉ liệt kê một số ví dụ về độ chính xác khi hoạt động tự trị của hệ thống dẫn đường quán tính, tức là khi hệ thống dẫn đường quán tính không có kết nối với GNSS.

Bảng 1.2. Giới thiệu độ chính xác một số hệ thống dẫn đường quán tính

STT	Tên hệ thống	Công nghệ CQ	Độ chính xác vị trí	Độ chính xác hướng đi	Độ chính xác góc lắc	MTBF
1	SIGMA40XP-24	RLG	1Nm/24h	0.01 ⁰	0.01 ⁰	>60.000 h
2	SIGMA40XP-48	RLG	1Nm/48h	0.01 ⁰	0.01 ⁰	>60.000 h
3	SIGMA40XP-96	RLG	1Nm/96h	0.01 ⁰	0.01 ⁰	>60.000 h
4	MINS2	RLG	<3Nm/ 8h	< 0.067 ⁰	< 0.028 ⁰	
5	ЛАДОГА-МЭ	RLG	5km/ 6h			

Trong các hệ thống trên, ta thấy dòng sản phẩm SIGMA40XP là đạt yêu cầu về sai số vị trí để có thể lắp đặt trên tàu ngầm, trong khi đó MINS và ЛАДОГА–МЭ có sai số về vị trí lớn, do đó thời gian phải tiến hành cập nhật lại vị trí tàu sớm hơn so với hệ thống SIGMA40XP. Tất cả các hệ thống trên đều chưa đảm bảo về sai số hướng đi phục vụ cho tàu ngầm quân sự. Như vậy, việc hiệu chỉnh lại hướng đi phải được tiến hành thường xuyên mới đảm bảo cho hoạt động dẫn đường ngầm.

1.4. Độ chính xác dẫn đường tàu ngầm

Hiện nay qua tìm hiểu của tác giả chưa thấy tài liệu nào công bố tiêu chuẩn về độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm. Khi hành trình nổi, độ chính xác dẫn đường tàu ngầm có thể được xác định gần với độ chính xác xác định vị trí của hệ thống vệ tinh dẫn đường mà tàu ngầm nhận được. Còn khi hành trình ngầm, việc dẫn đường gần như hoàn toàn dựa vào hệ thống dẫn đường quán tính, nhưng hiện nay cũng chưa có quy định hoặc yêu cầu về tiêu chuẩn của Hải quân nhân dân Việt Nam về độ chính xác của hệ thống dẫn đường quán tính lắp đặt trên tàu. Trước khi có sự kết hợp giữa hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống vệ tinh, độ chính xác của hệ thống dẫn đường quán tính được lực lượng Không quân Mỹ đưa ra năm 1970[38]. Vị trí từ hệ thống dẫn đường quán tính (INS) được khởi tính và cập nhật vào thời điểm ban đầu t_0 . Sai số vị trí ban đầu có thể rất nhỏ, nhưng nó có xu thế lớn dần theo thời gian do ảnh hưởng sai số của các cảm biến. Việc lấy tích phân kép đối với các sai số đầu ra của các máy đo gia tốc chính là nguyên nhân chủ yếu của sự gia tăng sai số xác định vị trí điểm xét.

Các kết quả thực nghiệm cho thấy là phương sai và giá trị bình phương trung bình của sai số vị trí mặt bằng được xác định bằng phương pháp định vị theo hệ thống dẫn đường quán tính có thể được biểu diễn như sau:

$$\sigma^2_{\text{vị trí}}(t) \approx (t - t_0)^2 \quad (1.42)$$

$$\sigma^2_{\text{vị trí}}(t) \approx C \times |t - t_0| \quad (1.43)$$

Trong đó C là hằng số cần xác định; nó đặc trưng cho độ chính xác của hệ thống dẫn đường quán tính với ý nghĩa chỉ ra mức độ tăng theo thời gian của sai số bình phương trung bình vị trí điểm được xác định. Trên thực tế người ta thường thay bằng một đại lượng được xác định bằng thực nghiệm mang tính cảm nhận trực quan hơn. Đó là bán kính của vòng tròn nằm ngang có tâm là điểm xét mà vị trí thực của nó có xác suất rơi vào trong hay ngoài vòng tròn đó là như nhau. Đại lượng này được biết đến trong lý thuyết sai số là sai số xác suất và được ký hiệu là CEP (*Circular Error Probability*).

Một đại lượng khác là tốc độ thay đổi CEP, nó thường được biểu diễn bằng hải lý/giờ hay kilômét/giờ.

Với các tiêu chí nêu trên thì lực lượng Không quân Hoa kỳ đã đưa ra các mức chính xác đối với định vị bằng hệ thống dẫn đường quán tính như sau[38]:

*** Các hệ thống định vị quán chính xác cao:**

Tốc độ thay đổi CEP $\leq 0,1$ hải lý/giờ hay 185m/giờ.

Mức này đề ra cho tên lửa xuyên lục địa và tàu ngầm mang tên lửa đạn đạo.

*** Các hệ thống chính xác trung bình:**

Tốc độ thay đổi CEP ≤ 1 hải lý/ giờ hay 1,85 km/giờ.

*** Các hệ thống chính xác thấp:**

Tốc độ thay đổi CEP ≤ 10 hải lý/ giờ hay 18,5 km/giờ.

Theo Nghị quyết số 529(13) của IMO về độ chính xác cho các hệ thống hiệu chỉnh vị trí, độ chính xác của các hệ thống hiệu chỉnh vị trí được xác định tùy vào khu vực hoạt động, với cấp độ là 4% khoảng cách đến chướng ngại nguy hiểm và tối đa là 4 hải lý cho mọi vùng nước. Xác suất xác định vị trí tàu không vượt quá 95%.[32].

Còn theo[66], độ chính xác tối thiểu của hệ thống dẫn đường quán tính lắp đặt trên tàu ngầm quân sự phải đạt các yêu cầu sau:

- Độ chính xác vị trí: 1Nm / 24h;
- Sai số cố định con quay: $< 0.0050/h$;
- Sai số cố định gia tốc kế: $< 30 \mu g$.

Khi tàu ngầm hành trình ngầm dưới biển, độ chính xác trong xác định vị trí từ 1 đến 2 hải lý là có thể chấp nhận được.

Hiện nay theo hiểu biết của NCS, chưa có quốc gia nào công bố chính thức về độ chính xác trong xác định vị trí tàu khi hành trình ngầm dưới biển.

1.5. Kết luận chương 1

Trong chương 1, tác giả đã tập trung một số vấn đề nghiên cứu tổng quan đến luận án, đạt được kết quả cơ bản như sau:

- Phân tích, đánh giá chi tiết tổng quan tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước liên quan đến luận án mà nghiên cứu sinh đang nghiên cứu. Từ đó rút ra kết luận vấn đề nghiên cứu của luận án mang tính cấp thiết, đảm bảo ý nghĩa khoa học và đóng góp thực tiễn cho ngành khoa học hàng hải, không trùng lặp với các công trình nghiên cứu đã công bố;
- Nghiên cứu, phân tích một số công trình nghiên cứu về nâng cao độ chính xác cho hệ thống dẫn đường quán tính trong dẫn đường phương tiện ngầm;
- Hệ thống hóa mô hình toán học của tàu ngầm, các phương trình chuyển động của tàu ngầm ở các trạng thái khác nhau.

Trong chương 2, NCS sẽ tập trung nghiên cứu đánh giá về các nguyên nhân và yếu tố gây ra sai lệch trong xác định vị trí tàu, từ đó đề xuất ra các giải pháp xử lý để nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm trong chương 3.

CHƯƠNG 2. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM

2.1. Ảnh hưởng của yếu tố ngoại cảnh đến độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm

2.1.1. Một số đặc trưng của khu vực Biển Đông

2.1.1.1. Độ sâu

Biển Đông nằm hoàn toàn trong vùng xích đạo và nhiệt đới Tây Thái Bình Dương, kéo dài theo hướng Bắc Nam từ khoảng vĩ tuyến 20^0 Nam đến 23^0 Bắc và theo hướng Đông Tây từ khoảng kinh tuyến 99^0 Đông đến 122^0 Đông [54], [13].

Biển Đông kề cận với lãnh thổ của mười nước Đông Nam Á, là một trong những biển lớn nhất thế giới. Trên biển này có những đường hàng hải quốc tế quan trọng đi qua và trong những năm gần đây khu vực thềm lục địa Tây Nam của biển đã trở thành một khu vực hoạt động kinh tế kỹ thuật sôi động.

Tổng diện tích của Biển Đông khoảng 3,5 triệu km^2 , đứng thứ hai trong các biển thế giới. Độ sâu trung bình toàn biển là 1.024 m, thể tích khối nước khoảng 3.6 triệu km^3 .

Địa hình đáy biển rất phức tạp nhưng có thể chia thành ba vùng rõ rệt: vùng lòng chảo biển thẳm và hai vùng thềm lục địa phía Bắc và Nam.

Vùng thềm lục địa phía Bắc Biển Đông kéo dài từ Đài Loan đến Đà Nẵng rộng khoảng 100 -150 hải lý mở rộng dần về phía Tây Nam. Đảo Đài Loan và đảo Hải Nam nằm ở thềm lục địa này. Vịnh Bắc Bộ là phần rộng nhất của thềm có đáy hình lòng máng uốn cong theo đường bờ và dốc dần ra phía cửa vịnh, ở giữa vịnh độ sâu khoảng 50-60 m, ở giữa cửa vịnh độ sâu mới tròn 100m.

Từ Đà Nẵng đến mũi Kê Gà, thêm lục địa thu hẹp nhanh chóng thành một dải rất hẹp (có chỗ rộng không đến 15 hải lý) nối liền với vùng thêm lục địa phía Nam.

Vùng thêm lục địa phía Nam (hay vùng thám sát Zond) là một trong những thêm lục địa rộng lớn nhất thế giới, kéo dài từ bờ biển Nam Bộ đến đảo Sumatra, từ bờ vịnh Thái Lan đến đảo Boocneo. Vịnh Thái Lan khá rộng, giữa Vịnh có độ sâu khoảng 70m. Phần Nam của vùng thêm này thực chất là một lòng chảo rộng và nông với độ sâu ở giữa khoảng 100m và rìa xung quanh khoảng 40m. Đáy biển ở đây không bằng phẳng mà bị nhiều thung lũng chia cắt, mỗi thung lũng rộng chừng 3 hải lý, chạy ngang qua thêm Zond rồi đổ vào vùng lòng chảo biển thẳm.

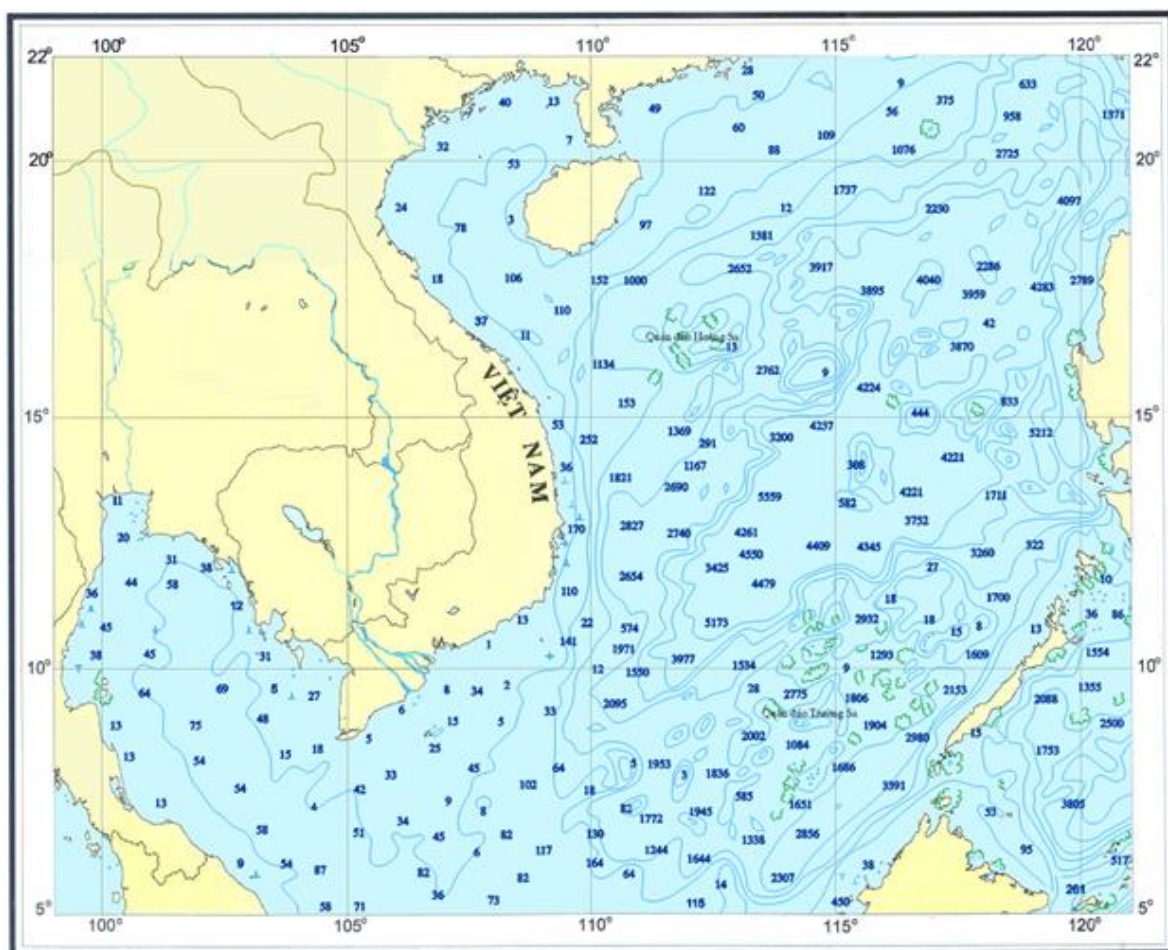
Vùng lòng chảo biển thẳm chiếm khoảng nửa diện tích Biển Đông có địa hình đáy rất phức tạp. Những vùng trũng hình thoi xen lẫn với những bãi cạn san hô rộng lớn và những dãy núi ngầm. Vùng trũng lớn nhất nằm ở phía Đông Nam quần đảo Hoàng Sa có độ sâu trung bình khoảng 4300m. Tại đây có độ sâu lớn nhất toàn Biển Đông là 5560m. Phía Tây đảo Palaoan cũng có một rãnh sâu, nơi sâu nhất tới 3475m. Rãnh này bị cao nguyên ngầm vùng quần đảo Trường Sa rộng lớn cắt rời vùng lòng chảo chính nói trên.

Trong Biển Đông có vô vàn những ngọn núi ngầm nhô lên từ mặt cao nguyên ngầm nằm ở độ sâu 1700 - 2500m. San hô phát triển qua nhiều thời kỳ địa chất đã tạo nên những bãi cạn san hô hoặc quần đảo như vùng quần đảo Trường Sa. Hoàng Sa... Vì vậy trên các bản đồ hàng hải quốc tế vùng này thường được ghi là vùng nguy hiểm, phải thận trọng khi qua lại.

Những cuộc khảo sát Biển Đông gần đây còn cho thấy ở đáy Biển Đông còn vô số núi lửa trẻ và cổ. Khả năng trao đổi nước giữa Biển Đông và các vùng nước xung quanh bị hạn chế một phần do đáy các eo biển xung quanh Biển Đông thường bị nâng cao.

Eo biển Basi rộng và sâu nhất có độ sâu trên vùng yên ngầm là 1800m, là cửa chính thông ra Thái Bình Dương. Eo Balabac ở phía Bắc đảo Boóc-nê cũng thông ra biển này nhưng chỉ sâu khoảng 100m. Các eo giữa đảo Sumatra và Bắc Boóc-nê là cửa thông sang biển Java có độ sâu khoảng 40m. Eo Malacca là lối thông sang Ấn Độ Dương qua biển Adaman, eo này rất hẹp và nông (nơi hẹp nhất khoảng 17 hải lý và sâu khoảng 30m), độ sâu eo biển tăng dần từ Đông sang tới cửa phía Tây đạt 100m.

Ở phía Bắc còn có eo biển Đài Loan thông nước với biển Hoa Đông, nơi hẹp nhất của eo này khoảng 100 hải lý với độ sâu khoảng 70 m.



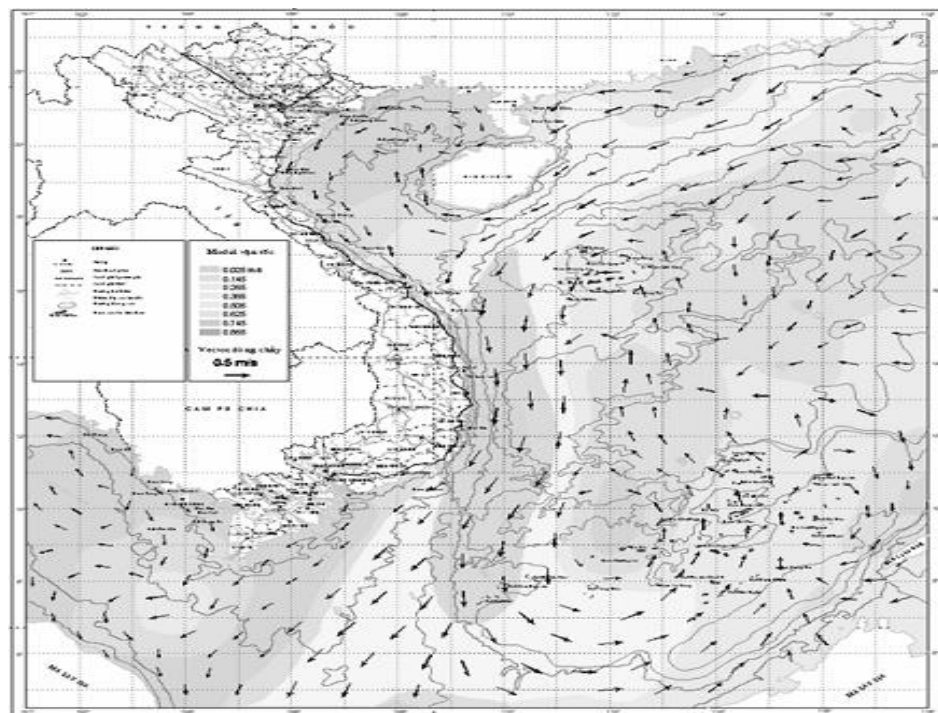
Hình 2.1. Bản đồ độ sâu Biển Đông

2.1.1.2. Dòng chảy

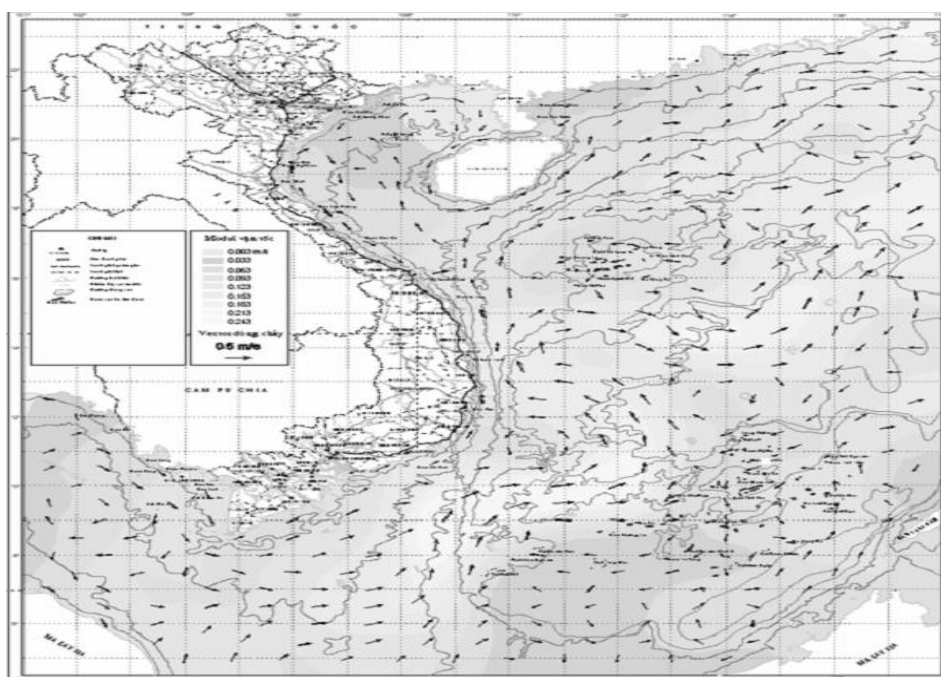
Về chế độ dòng triều: Trong Biển Đông tồn tại 4 loại dòng triều và đan xen rất phức tạp. Nhìn chung, vùng có chế độ dòng triều hỗn hợp (nhật triều không đều hoặc bán nhật triều không đều) chiếm hầu hết diện tích Biển Đông. Các vùng có chế độ dòng triều bán nhật triều đều hay nhật triều đều chỉ chiếm diện tích nhỏ và nằm rải rác tại các khu vực khác nhau.

Chế độ thủy văn động lực Biển Đông, ngoại trừ chuyển động thủy triều, chủ yếu là do các quá trình tương tác biển - khí quyển - lục địa khu vực tạo nên. Trong đó, gió mùa Đông Bắc và Tây Nam đóng vai trò chính.

Sơ đồ phân bố dòng chảy tại Biển Đông và các vùng lân cận vào mùa đông được trình bày và mùa hè được trình bày dưới đây.



Hình 2.2. Sơ đồ phân bố dòng chảy tầng mặt Biển Đông và lân cận vào mùa đông



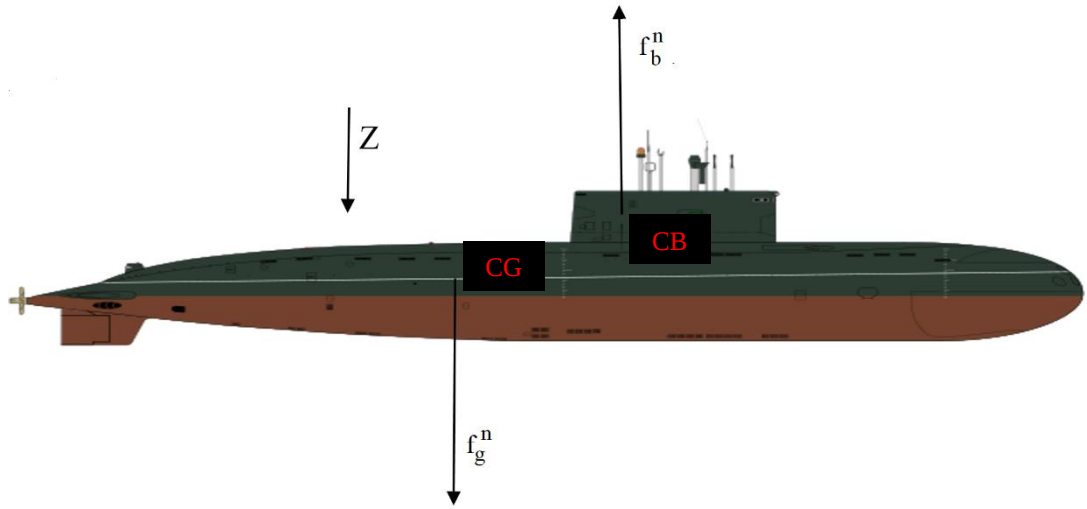
Hình 2.3. Sơ đồ phân bố dòng chảy tầng mặt Biển Đông và lân cận vào mùa hè

Dữ liệu về dòng chảy được NCS lấy từ ATLAT dòng chảy của Hải quân Nga[54] và của Hải quân Việt Nam [13] đưa vào kết hợp trong phần mềm “**XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU**” để xử lý vị trí tàu từ hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp khi không có tín hiệu từ vệ tinh, từ đó cung cấp vị trí tàu tham khảo mới, tin cậy hơn so với hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp.

2.1.2. Đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố ngoại cảnh đến độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm trong khu vực Biển Đông

2.1.2.1. Các lực thủy tĩnh tác động lên tàu ngầm

Xem xét tàu ngầm như ở hình 2.1, lực trọng trường f_g^b tác động vào trọng tâm tàu, xác định bởi véc tơ $r_g^b := [x_g, y_g, z_g]^T$. Tương tự như vậy, lực nổi f_b^b , xác định bởi véc tơ $r_b^b := [x_b, y_b, z_b]^T$. Cùng xem xét hai lực này tại gốc là tâm của hệ tọa độ vật thể. Chúng được coi là lực thủy tĩnh tác dụng lên tàu ngầm.



Hình 2.4. Các lực thủy tĩnh tác dụng vào tàu ngầm

Theo SNAME 1950 và Fredman(1979), véc tơ lực thủy tĩnh của tàu ngầm có thể viết dưới dạng:

$$g(\eta) = \begin{cases} (W - B) \sin \theta \\ - (W - B) \cos \theta \sin \phi \\ - (W - B) \cos \theta \cos \phi \\ - (y_g W - y_b B) \cos \theta \cos \phi + (z_g W - z_b B) \cos \theta \sin \phi \\ (z_g W - z_b B) \sin \theta + (x_g W - x_b B) \cos \theta \cos \phi \\ - (x_g W - x_b B) \cos \theta \sin \phi - (y_g W - y_b B) \sin \theta \end{cases} \quad (2.1)$$

Khi tàu ngầm hoạt động, ở độ sâu nhất định và bất kỳ tư thế nào (xác định bằng góc chúc θ , góc quay trở ϕ , ta có thể dễ dàng xác định được lực thủy tĩnh tác động vào tàu ngầm. Khi $\Delta = W - B = 0$, phương trình chuyển động của tàu ngầm ở trạng thái thả trôi được xác định bằng công thức 1.24.

2.1.2.2. Ảnh hưởng của áp lực nước biển lên thân tàu ngầm

Khi tàu ngầm lặn hoặc nổi lên, áp lực nước ảnh hưởng rất lớn đến khả năng lặn hoặc nổi của tàu. Từ công thức 1.35, tiến hành tính toán, ta có:

$$Z_1 = \nabla \rho \alpha_g (H - H_0) \quad (2.2)$$

Trong công thức trên, ∇ là lượng giãn nước của tàu ngầm, α_g là hệ số áp lực của nước lên tàu ngầm, $\alpha_g = \frac{13}{H_{\max}} \times 10^{-4}$, với $H_{\max}$ là độ sâu tối đa tàu ngầm có thể lặn xuống, H là độ sâu hiện tại, H_0 là độ sâu ban đầu.

2.1.2.3. Ảnh hưởng của mật độ nước biển

Lực nâng của nước biển chủ yếu do mật độ (nước biển) quyết định, mật độ nước biển càng lớn thì lực nâng càng lớn, ngược lại mật độ nước biển nhỏ thì lực nâng nhỏ, chúng là căn cứ chủ yếu để tàu ngầm điều chỉnh độ sâu trong khi lặn, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng nổi của tàu ngầm. Mật độ nước biển được quyết định bởi các yếu tố như nhiệt độ, độ mặn và áp lực của nước biển, do các nguyên nhân khí hậu, mật độ nước biển không chỉ khác nhau ở các vùng biển, mà thậm chí ngay ở độ sâu của cùng một vùng biển cũng khác nhau. Ở phương thẳng đứng, mật độ nước biển xuất hiện tầng quá độ (tầng giữa) nằm ở giữa hai lớp nước biển (lớp mật độ thấp và lớp mật độ cao), về học thuật gọi là lớp nhảy vọt mật độ. Thông thường, để tính toán ảnh hưởng này, người ta dùng 2 phương pháp sau:

1 – Khi chuyển từ vùng biển này sang vùng biển khác, mật độ nước biển thay đổi từ ρ_0 thành ρ_1 , ảnh hưởng của mật độ nước biển đến tàu ngầm là Z_2 , dùng công thức 2.2 để tính toán:

$$Z_2 = \nabla(\rho_1 - \rho_0) \quad (2.3)$$

2 – Thay đổi độ sâu ảnh hưởng đến mật độ nước biển:

Căn cứ tư liệu của Hải quân Nga, mật độ nước biển trong điều kiện nhiệt độ bình thường biến thiên theo hàm số được cung cấp bởi công thức 2.4.

$$\rho = \begin{cases} 1.02501 + \frac{1}{25} \cdot (1.02628 - 1.02501) \cdot H & (H \leq 25m) \\ 1.02628 + \frac{1}{50 - 25} \cdot (1.02684 - 1.02628) \cdot H & (25m \leq H \leq 50m) \\ 1.02684 + \frac{1}{100 - 50} \cdot (1.02750 - 1.02684) \cdot H & (50m \leq H \leq 100m) \\ 1.02750 + \frac{1}{200 - 100} \cdot (1.02832 - 1.02750) \cdot H & (100m \leq H \leq 200m) \\ 1.02832 + \frac{1}{300 - 200} \cdot (1.02889 - 1.02832) \cdot H & (200m \leq H \leq 300m) \end{cases} \quad (2.4)$$

Khi tàu ngầm ở độ sâu bất kỳ, căn cứ công thức (2.4) có thể tính toán được giá trị mật độ nước biển tại độ sâu đó. Sự thay đổi của mật độ nước biển có thể được chia thành 4 lớp nước chính sau:

+ Lớp nước có mật độ dương: Mật độ nước biển càng tăng khi độ sâu càng tăng, $\Delta\rho > 0$;

+ Lớp nước có mật độ âm: Mật độ nước biển càng giảm khi độ sâu càng tăng $\Delta\rho < 0$;

+ Lớp nước có mật độ cân bằng: Mật độ nước biển không thay đổi khi thay đổi độ sâu $\Delta\rho = 0$;

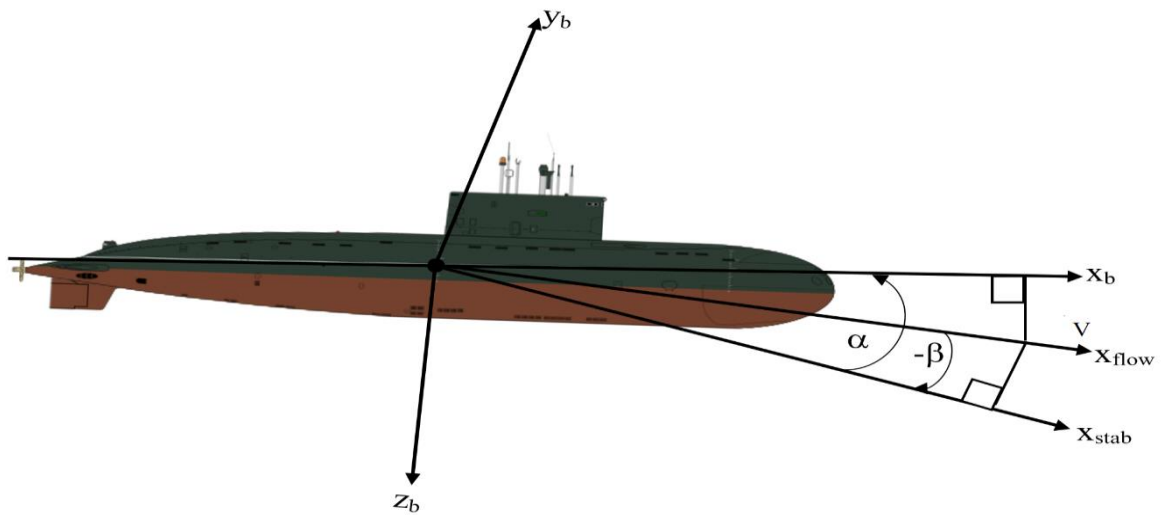
+ Lớp nước có mật độ chuyển tiếp: Mật độ nước biển sẽ không thay đổi đến một độ sâu nhất định. Khi đến độ sâu này, lớp nước sẽ biến thiên tăng hoặc giảm mật độ, sau khi liên tục lặn xuống đến độ sâu giới hạn, mật độ nước biển sẽ không thay đổi nữa. Khi tàu ngầm ở lớp nước có mật độ nước biển dương, thì người điều khiển tàu sẽ rất dễ dàng giữ được ổn định của tàu ngầm, ngược lại khi hoạt động ở lớp nước có mật độ nước biển âm, người điều khiển phải liên tục theo dõi để giữ được ổn định độ sâu cho tàu ngầm.

2.1.2.4. Ảnh hưởng của dòng chảy

Khi tàu ngầm hoạt động ngầm dưới nước, ảnh hưởng của gió và sóng coi như bỏ qua, người ta chỉ xét đến ảnh hưởng của dòng chảy. Dòng chảy dưới mặt nước là các hệ thống chuyển động theo chiều ngang và chiều thẳng đứng

gây ra bởi lực trọng trường, ma sát gió và sự biến thiên của mật độ nước trong các tầng khác nhau của hải dương. Dòng chảy đại dương ảnh hưởng đến hướng đi và tốc độ của tàu ngầm, dòng chảy và thủy triều có thể làm cho tàu ngầm đổi hướng đi, hành trình ngầm không an toàn. Vì vậy, chúng ta cần phải biết chính xác các thông tin và sự chuyển động của dòng hải lưu và kịp thời điều chỉnh hướng tàu ngầm, định vị vị trí một cách chính xác.

Theo[49], khi tính toán đến ảnh hưởng của dòng chảy, người ta thường quy về hệ tọa độ FLOW. Ma trận chuyển đổi từ hệ tọa độ FLOW sang hệ tọa độ BODY được xác định bằng 2 phép quay như sau: Đầu tiên từ trục dòng chảy x_{flow} quay góc đạt $-\beta$ về phía trục z_b để tạo thành trục mới gọi là trục ổn định x_{stab} . Sau đó từ trục ổn định quay góc α về phía trục y tạo thành trục x_b . Góc α gọi là góc tới.



Hình 2.5. Góc tới và góc đạt

Dựa trên quy ước từ hình vẽ 2.5, ta có các thành phần vận tốc của tàu ngầm được tính theo các công thức dưới đây:

$$\begin{cases} u = V \cos(\alpha) \cos(\beta) \\ v = V \sin(\alpha) \\ w = V \sin(\alpha) \cos(\beta) \end{cases} \quad (2.5)$$

Đối với tàu ngầm di chuyển về phía trước với vận tốc $V > 0$, góc tới và góc dạt có thể được tính toán theo công thức:

$$\begin{cases} \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{w}{u}\right) \\ \beta = \sin^{-1}\left(\frac{v}{V}\right) \end{cases} \quad (2.6)$$

Giả thiết rằng góc α , β nhỏ, theo lý thuyết tuyến tính, ta có:

$$u \approx V, v \approx \beta V, w \approx \alpha V, \alpha \approx \frac{w}{V}, \beta \approx \frac{v}{V} \quad (2.7)$$

Vì phân theo thời gian với giả thiết vận tốc của tàu ngầm và dòng chảy là hằng số, trượt ngang của tàu ngầm sẽ là:

$$\dot{v} = V \cos(\beta) \dot{\beta} \quad (2.8)$$

$$\text{Tỷ lệ góc dạt dòng khi } V > 0 \text{ là: } \dot{\beta} = \frac{1}{V \cos(\beta)} \dot{v} \quad (2.9)$$

Ảnh hưởng của dòng chảy đến tốc độ của tàu có thể được tính toán thông qua vận tốc chuyển động tương đối:

$$V_r = V_0 - V_d \quad (2.10)$$

Với V_r là vận tốc chuyển động tương đối; V_0 là vận tốc tàu ngầm; V_d là vận tốc dòng chảy.

Khi phân chia vận tốc thành các thành phần vận tốc theo các trục, có thể viết:

$$\begin{cases} u_r = u_0 - u_d \\ v_r = v_0 - v_d \\ w_r = w_0 - w_d \end{cases} \quad (2.11)$$

với $V_r = \sqrt{u_r^2 + v_r^2 + w_r^2}$, góc tới và góc dạt tương đối trong trường hợp này là:

$$\begin{cases} u_r = V_r \cos(\alpha_r) \cos(\beta_r) \\ v_r = V_r \sin(\alpha_r) \\ w_r = V_r \sin(\alpha_r) \cos(\beta_r) \end{cases} \quad (2.12)$$

Tương tự công thức 2.6, ta có:

$$\begin{cases} \alpha_r = \tan^{-1} \left(\frac{w_r}{u_r} \right) \\ \beta_r = \sin^{-1} \left(\frac{v_r}{V_r} \right) \end{cases} \quad (2.13)$$

Giả thiết rằng góc α , β nhỏ, tương tự công thức 2.7, ta có:

$$u_r \approx V_r, v_r \approx \beta_r V_r, w_r \approx \alpha_r V_r, \alpha_r \approx \frac{w - w_r}{V_r}, \beta_r \approx \frac{v - v_r}{V_r} \quad (2.14)$$

Động học vật rắn và các lực thủy động học tổng quát được viết như sau:

$$\underbrace{M_{RB} \dot{v} + C_{RB}(v)v}_{\text{các số hạng vật thể rắn}} + \underbrace{M_A \dot{v}_r + C_A(v_r)v_r + D(v_r)v_r}_{\text{các số hạng thủy động học}} + \underbrace{g(\eta)}_{\text{số hạng thủy tĩnh học}} = \tau \quad (2.15)$$

Thông thường, giả thiết rằng, véc tơ vận tốc dòng chảy biến thiên chậm, nghĩa là: $\dot{v}_d \approx 0$ và $\dot{v}_r \approx 0$. Vì vậy, phương trình chuyển động dòng chảy trở thành:

$$M\dot{v} + C_{RB}(v)v + C_A(v_r)v_r + D(v_r)v_r + g(\eta) = \tau \quad (2.16)$$

Vận tốc dòng chảy V_d thường được định nghĩa trong hệ tọa độ cố định trên trái đất với các trục dòng chảy, nghĩa là $[V_d, 0, 0]^T$ sao cho vận tốc dòng chảy được định hướng theo trục x. Biến đổi từ các trục dòng chảy sang các vận tốc ba chiều có thể được thực hiện bằng cách định nghĩa α_d là góc tới của dòng chảy và β_d là góc dạt do dòng chảy. Vận tốc dòng chảy ba chiều (3D) được tính bằng cách thực hiện nguyên lý hai phép quay:

$$\begin{bmatrix} u_d^n \\ v_d^n \\ \omega_d^n \end{bmatrix} = R_{y, \alpha_d}^T R_{z, -\beta_d}^T \begin{bmatrix} V_d \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Trong đó, các ma trận quay R_{y, α_d}^T và $R_{z, -\beta_d}^T$ được định nghĩa như sau:

$$R_{z, -\beta_d} = R_{z, -\beta_d}^T = \begin{bmatrix} \cos \beta_d & \sin \beta_d & 0 \\ -\sin \beta_d & \cos \beta_d & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Khai triển (2.17) và (2.18), ta nhận được:

$$u_d^n = V_d \cos \alpha_d \cos \beta_d ; \quad (2.19)$$

$$v_d^n = V_d \sin \beta_d ; \quad (2.20)$$

$$\omega_d^n = V_d \sin \alpha_d \cos \beta_d \quad (2.21)$$

Các vận tốc dòng chảy ba chiều được biến đổi thành vận tốc cố định trên vật thể bằng cách sử dụng ma trận quay góc Euler. Do vậy:

$$\begin{bmatrix} u_d^b \\ v_d^b \\ \omega_d^b \end{bmatrix} = R_b^n(\Theta)^T \begin{bmatrix} u_d^n \\ v_d^n \\ \omega_d^n \end{bmatrix}. \quad (2.22)$$

Từ trường hợp 2D, các phương trình (2.19) - (2.21) với $\alpha_d = 0$, đơn giản thành:

$$u_d^n = V_d \cos \beta_d ; \quad (2.23)$$

$$v_d^n = V_d \sin \beta_d . \quad (2.24)$$

Vì thành phần ω_d^n không được dùng trong mặt phẳng nằm ngang. Do vậy, (2.22) đơn giản thành:

$$u_d^b = V_d \cos(\beta_d - \psi); \quad (2.25)$$

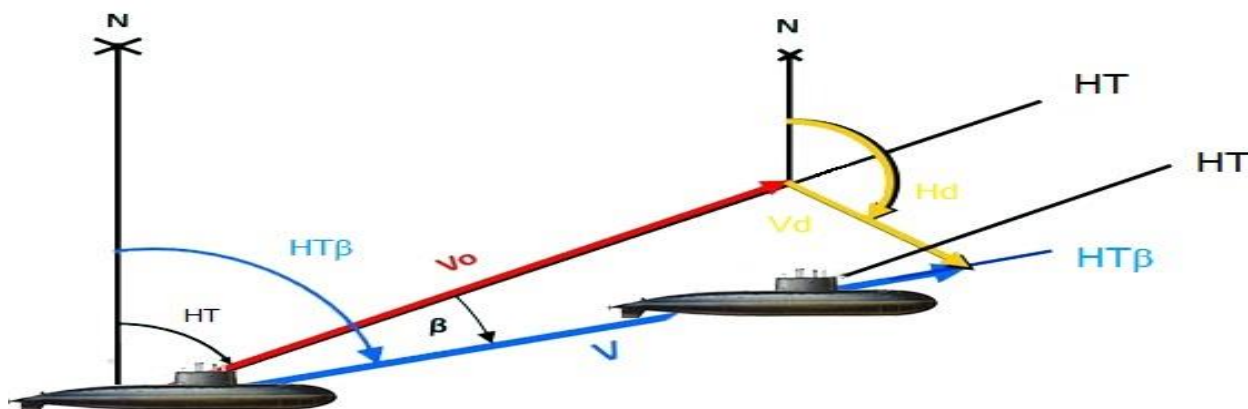
$$v_d^b = V_d \sin(\beta_d - \psi). \quad (2.26)$$

Các công thức 2.25 và 2.26 được đưa vào các hệ thống điều khiển để xử lý tín hiệu giải quyết độ lệch do dòng chảy gây ra đối với các phương tiện ngầm.

Ngoài ra, ảnh hưởng của dòng chảy có thể được tính toán bằng cách tác nghiệp[3]. Gọi H_d và V_d lần lượt là hướng và vận tốc dòng chảy ngầm, khi chịu ảnh hưởng của dòng chảy, chuyển động của tàu sẽ chia làm 2 thành phần chính:

- Chuyển động tương đối với mặt nước theo hướng HT với vận tốc V_0 .
- Chuyển động so với đáy biển dưới tác dụng của dòng chảy theo hướng H_d và vận tốc V_d .

Tổng hợp 2 chuyển động này, vị trí trọng tâm của tàu sẽ di chuyển theo hướng HT_β , với vận tốc $V=V_0+V_d$ gọi là hướng đi tuyệt đối. Hình dưới đây xác định vị trí tàu khi bị dòng chảy ảnh hưởng:



Hình 2.6. Ảnh hưởng của dòng chảy đến chuyển động của tàu ngầm

Từ hình 2.6, chúng ta có thể thấy dòng chảy gây sai lệch vị trí tàu rất lớn khi dòng chảy có vận tốc lớn và vận tốc tàu nhỏ. Vì vậy, khi thực hành dẫn tàu, sĩ quan hàng hải phải đề góc dạt dòng để giảm thiểu ảnh hưởng đến sai số vị trí tàu, vết đi của tàu sẽ gần với vết đi kế hoạch nhất. Dựa trên hình 2.6, có thể tính toán các yếu tố dạt dòng theo các công thức sau:

- Bài toán 1: Biết hướng đi kế hoạch HT , vận tốc tàu V_0 , hướng dòng chảy H_d , vận tốc dòng chảy V_d , cần tìm góc dạt dòng β và vận tốc dạt dòng V_β .

$$\begin{aligned}\beta &= \text{Arctg} \left[\frac{V_d \sin(H_d - HT)}{V_0 + V_d \cos(H_d - HT)} \right] \\ HTT_\beta &= HT + \beta \\ V_\beta &= \sqrt{V_0^2 + 2V_0V_d \cos(H_d - HT) + V_d^2}\end{aligned}\quad (2.27)$$

- Bài toán 2: Biết hướng đi dạt dòng HTT_β , vận tốc tàu V_0 , hướng dòng chảy H_d , vận tốc dòng chảy V_d , cần tìm góc dạt dòng β và vận tốc dạt dòng V_β .

$$\begin{aligned}
HT &= HTT_{\beta} - \text{Arcsin} \left[\frac{V_d}{V_0} \sin(H_d - HTT_{\beta}) \right] \\
\beta &= HTT_{\beta} - HT \\
V_{\beta} &= V_0 \left[\cos \beta + \frac{V_d}{V_0} \cos(H_d - HTT_{\beta}) \right]
\end{aligned} \tag{2.28}$$

Từ các công thức 2.27 và 2.28, có thể thấy rằng dòng chảy có ảnh hưởng rất lớn đến hướng đi và vận tốc của tàu. Nếu vận tốc tàu ngầm nhỏ, ảnh hưởng dòng chảy sẽ gây trôi dạt rất lớn, nếu người điều khiển tàu không nắm được dòng chảy (H_d , V_d) tại khu vực biên hoạt động để có sự điều động hợp lý sẽ gây ra sai lệch nghiêm trọng trong xác định vị trí tàu.

2.2. Ảnh hưởng của hệ thống dẫn đường quán tính đến độ chính xác dẫn đường tàu ngầm

2.2.1. Đồng chỉnh hệ thống quán tính

Nguyên tắc chung của hệ thống dẫn đường quán tính đòi hỏi cần phải xác định các thông tin ban đầu của hệ thống. Trong khi vị trí ban đầu và vận tốc có thể nhận được dễ dàng từ các thiết bị khác, nhưng đối với hệ thống GNSS và hệ thống quán tính INS thì hướng ban đầu của hệ thống không phải lúc nào cũng xác định được. Do đó, hệ thống INS cần phải được đồng chỉnh trạng thái ban đầu bằng cách đặt các trục cảm nhận của IMU trùng với hệ tọa độ dẫn đường (có thể là hệ tọa độ địa phương). Từ đó, vị trí ban đầu của hệ thống quán tính được khởi tạo và đặt là vị trí P_0 . Sau một thời gian hành trình, do sai số tích lũy của hệ thống quán tính, người dùng tiếp tục cập nhật lại vị trí cho hệ thống quán tính bằng tay hoặc tự động từ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS hoặc do người đo đạc cập nhật thủ công.

Trong thuật toán của hệ thống quán tính không đế, mục tiêu đồng chỉnh INS là thiết lập mối liên hệ giữa hệ tọa độ vật thể và hệ tọa độ địa phương; do đó, các thông tin ban đầu của ma trận biến đổi R_b^l (ma trận chuyển từ hệ tọa

độ vật thể sang hệ tọa độ địa phương) cần được xác định. Muốn vậy, phải thực hiện cân bằng ngang cho gia tốc kế và cân bằng các góc định hướng cho cảm biến con quay. Bản chất của việc làm này là đồng chỉnh để các số liệu từ cảm biến tương hợp với hệ tọa độ địa phương. Để thực hiện đồng chỉnh hệ thống, người ta sẽ thực hiện 2 bước là cân bằng ngang và cân bằng phương vị.

2.2.1.1. Cân bằng ngang

Cân bằng ngang nhằm mục đích xác định góc sai lệch ban đầu trong mặt phẳng ngang $\theta_x(0)$ và $\theta_y(0)$. Một cảm biến lý tưởng là trực đứng đo được trọng lực biểu kiến g , trong khi các trục còn lại có giá trị đo bằng không trong hệ tọa độ địa phương.

2.2.1.2. Cân bằng phương vị

Tương tự như vấn đề về cân bằng ngang, cân bằng phương vị nhằm đồng chỉnh các phép đo trong hệ tọa độ địa phương. Về cơ bản, chức năng này nhằm xác định các góc phương vị $A(0)$, được định nghĩa là góc giữa trục Bắc của hệ tọa độ địa phương và hình chiếu của trục dọc của hệ tọa độ vật thể lên mặt phẳng ngang. Về mặt lý thuyết, trong hệ tọa độ địa phương, cảm biến con quay Bắc đo hình chiếu của vận tốc góc của Trái đất $U \cos \varphi$, cảm biến con quay Đông có số đo bằng không. Sau khi hoàn chỉnh, mặt phẳng ngang $X_b Y_b$ (của hệ tọa độ vật thể) sẽ nằm ngang. Do đó, kết quả đo của cảm biến con quay ω_{xb} , ω_{yb} trong hệ tọa độ vật thể là hình chiếu của $U \cos \varphi$ trên trục cảm biến vì góc nghiêng giữa trục ngang X_b , Y_b của hệ tọa độ vật thể tương ứng với trục Đông và Bắc của hệ tọa độ địa phương. Góc nghiêng này được gọi là phương vị, từ đó, có thể định nghĩa kết quả đo của các cảm biến con quay như sau:

$$\operatorname{tg} A = -\frac{\omega_{xb}}{\omega_{yb}} \quad (2.29)$$

Trong thực tế, do sai số của cảm biến con quay, cân bằng phương vị bị giới hạn bởi mức độ sai số của X - cảm biến con quay ω_{xb}^{dr} :

$$\tilde{A}(0) = \frac{\omega_{xb}^{dr}}{U \cos \varphi} \quad (2.30)$$

trong đó $\tilde{A}(0)$ là sai số phương vị.

Phương trình (2.30) cho thấy rằng, với vĩ độ $\varphi = 90^\circ$ (tại cực Bắc), góc phương vị không thể tính được. Do đó, ở các vĩ độ cao, hệ tọa độ địa phương không tối ưu cho hệ tọa độ dẫn đường vì khi ấy trục Y của hệ tọa độ địa phương thường xuyên chỉ hướng Bắc. Trong vùng lân cận của các cực, chuyển động theo phương Đông - Tây cho ra những góc quay lớn so với trục Z của hệ tọa độ địa phương. Để tránh sự phụ thuộc vào vĩ độ của góc quay, có thể sử dụng hệ tọa độ dịch chuyển. Tuy nhiên, rất may là tàu ngầm của Việt Nam hoạt động trong vùng biển Việt Nam có vĩ độ dưới 21° .

2.2.2. Sai số của hệ thống INS

Sự sai lệch giữa các vận tốc góc của hệ tọa độ lắp đặt và hệ tọa độ địa phương có nguyên nhân chính là do các giá trị trôi của cảm biến con quay và sai số tính toán, trong khi sai số gia tốc lại chủ yếu do hệ số tỉ lệ và độ lệch tĩnh của các cảm biến gia tốc cũng như sai số tính toán. Các sai số khác (sai số phi tuyến của hệ số tỉ lệ, sai số lắp đặt...) có thể biểu diễn qua mô hình sai số INS.

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} &= \frac{V_N}{R_\varphi + h} \\ \dot{\lambda} &= \frac{V_E}{(R_\lambda + h) \cos \varphi} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Với quá trình ngắn, mô hình sai số sau đây có thể sử dụng:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \dot{\varphi}_N = \delta V_N \\ \delta \dot{V}_N = g \Phi_E - a_E \Phi_D + a_E \mu_E + B_N \\ \dot{\Phi}_E = -\frac{\delta V_N}{R} + \omega_E^{dr} \\ \dot{\omega}_E^{dr} = 0 \\ \dot{B}_N = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta \dot{\lambda}_E = \delta V_E \\ \delta \dot{V}_E = a_N \Phi_D - g \Phi_N + a_E \mu_E + B_E \\ \dot{\Phi}_N = \frac{\delta V_E}{R} + \omega_N^{dr} \\ \dot{\omega}_N^{dr} = 0 \\ \dot{B}_E = 0 \end{array} \right. \quad (2.32)$$

trong đó:

$\delta \dot{\varphi}_N, \delta \dot{\lambda}_E$ - sai số vị trí theo trục Đông và trục Bắc.

$\delta V_N, \delta V_E$ - sai số tốc độ theo trục Đông và trục Bắc.

$\omega_E^{dr}, \omega_N^{dr}$ - độ trôi của cảm biến con quay theo trục Đông và trục Bắc, và $a_D \approx g$ - gia tốc theo phương thẳng đứng, gần bằng gia tốc trọng trường.

Do tính độc lập tự nhiên của các nguồn sai số, mô hình sai số có thể chia thành hai phần: Phần cố định (Schuler) và phần biến đổi. Thành phần Schuler không phụ thuộc vào các tham số chuyển động và nó được xác định chủ yếu là do các thành phần trôi của cảm biến con quay và sai số tĩnh của cảm biến gia tốc. Thành phần biến đổi phụ thuộc vào chuyển động của vật thể và đặc tính của nó phụ thuộc chủ yếu vào hệ số tỉ lệ của cảm biến gia tốc và sai số phương vị. Nghiệm tổng quát của hệ này là tổng của hai thành phần:

- Phần rút gọn của mô hình sai số INS đối với thành phần Schuller có thể biểu diễn như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \dot{\lambda}_E^{sh} = \delta V_E^{sh} \\ \delta \dot{V}_E^{sh} = -g \Phi_N^{sh} + B_E \\ \dot{\Phi}_N^{sh} = \frac{\delta V_E^{sh}}{R} + \omega_N^{dr} \\ \dot{\omega}_N^{dr} = 0 \\ \dot{B}_E = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta \dot{\phi}_N^{sh} = \delta V_N^{sh} \\ \delta \dot{V}_N^{sh} = g \Phi_E^{sh} + B_N \\ \dot{\Phi}_E^{sh} = -\frac{\delta V_N^{sh}}{R} + \omega_E^{dr} \\ \dot{\omega}_E^{dr} = 0 \\ \dot{B}_N = 0 \end{array} \right. \quad (2.33)$$

và thành phần biến đổi sẽ là:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \dot{\lambda}_E = \delta V_E^{nst} \\ \delta \dot{V}_E^{nst} = -g \Phi_N^{nst} + a_N \Phi_D + a_E \mu_E \\ \dot{\Phi}_N = \frac{\delta V_E^{nst}}{R} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta \dot{\phi}_N = \delta V_N^{nst} \\ \delta \dot{V}_N^{nst} = g \Phi_E^{nst} - a_E \Phi_D + a_E \mu_N \\ \dot{\Phi}_E = -\frac{\delta V_N^{nst}}{R} \end{array} \right. \quad (2.34)$$

Kết quả của phương trình vi phân của thành phần Schuler trong phương trình (2.62) là dao động của sai số vận tốc với tần số rất nhỏ được gọi là tần số Schuler $\nu = \sqrt{g / R_E} \cong 1 / 5000 \text{ Hz}$, tương ứng với chu kỳ dài xấp xỉ 84 phút (ở đây R_E là bán kính Trái đất và g là vector gia tốc trọng trường). Ngược lại, kết quả của thành phần thứ hai trong phương trình (2.34) là nhiễu tần số cao của sai số thành phần biến đổi của INS. Phương trình (2.34) cho thấy, sai số phương vị, Φ_D và các hệ số tỉ lệ μ_E và μ_N sinh ra bởi các tham số chuyển động của vật thể a_E và a_N .

Tương tự, các sai số tốc độ, sai số phương vị và vị trí của INS cũng có dao động Schuler trong kết quả của phương trình vi phân bậc hai. Các phương trình sai số vị trí có thể thu được bằng cách tích phân các công thức vận tốc. Những công thức đó cho thấy, sai số vị trí INS tăng dần theo thời gian do thành phần Schuler và thành phần biến đổi của sai số INS tổng hợp. Do sai số Schuler lớn hơn nhiều so với thành phần biến đổi nên giá trị của độ trôi của cảm biến

con quay là yếu tố đánh giá chính cho chất lượng của INS. Đối với SINS, các sai số cảm biến ω^{dr} , B, μ biểu diễn trong mô hình sai số không phải trên hệ tọa độ vật thể mà trên hệ tọa độ địa phương thông qua ma trận Cosin trực tiếp R_b^{ll} .

Vectơ trạng thái $X_{INS_i}(k)$ của các sai số thứ i INS bao gồm các sai số trong việc phát triển các tham số dẫn đường và sai số của các bộ cảm ứng:

$$X_{INS_i} = [\alpha_i, \beta_i, \Delta V_{Ni}, \Delta V_{Ei}, \Delta \varphi_i, \Delta \lambda_i, \Delta HT_i, \varepsilon_{xi}, \varepsilon_{yi}, \varepsilon_{zi}, \delta_{xi}, \delta_{yi}, \delta_{zi}]$$

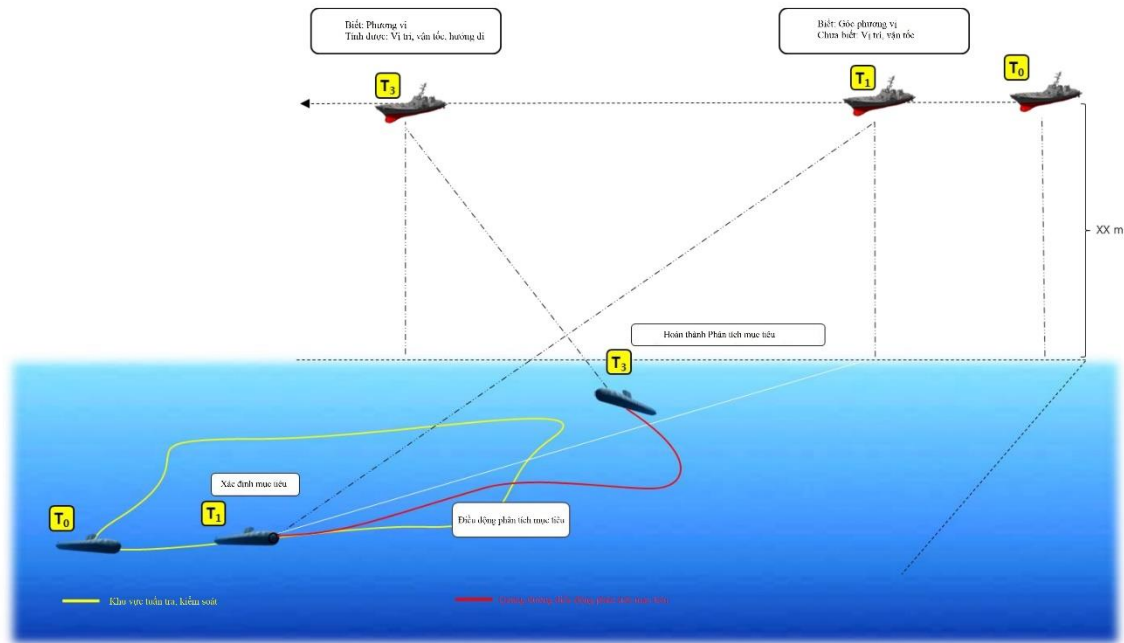
ở đây α_i, β_i - các sai số trong việc xây dựng mặt phẳng ngang, $\Delta V_{Ni}, \Delta V_{Ei}$ - các sai số trong xử lý các thành phần tốc độ của INS trên các trục tọa độ địa lý, $\Delta \varphi_i, \Delta \lambda_i, \Delta HT_i$, các sai số trong sự phát triển của vĩ độ, kinh độ và hướng đi, $\varepsilon_{xi}, \varepsilon_{yi}, \varepsilon_{zi}, \delta_{xi}, \delta_{yi}, \delta_{zi}$ - các sai số của các thành phần cảm biến con quay và sai số của gia tốc kế trên các trục của giá ổn định con quay.

Hệ thống dẫn đường quán tính có độ tin cậy, chính xác và giá thành hợp lý nhưng việc bố trí cơ khí rất phức tạp như các vòng trượt nhạy cảm, động cơ tiêu thụ công suất lớn do đó khi các khung quay, các thiết bị phải chịu ảnh hưởng nhiệt là tất yếu; cộng hưởng cơ là điều không tránh khỏi. Việc bảo dưỡng cũng tiêu tốn nhiều tiền vì nếu cần thay con quay hoặc gia tốc kế thì cả khối khung quay này phải tháo ra, sau khi thay thế và lắp đặt lại (trong một môi trường “sạch nhiễu”) thì phải tốn nhiều thời gian cho việc cân chỉnh và thử nghiệm lại toàn bộ hệ thống. Đồng thời, thời gian khởi động để đảm bảo thiết bị làm việc tin cậy thường rất lớn, có khi đến 24 giờ trước khi các thiết bị nhạy cảm tìm về đúng kinh tuyến làm việc.

Đối với hệ thống không để có thêm các sai số là do quỹ đạo, gia tốc góc, và chu kỳ tính toán của máy tính.

Sai số hình côn (Coning error): Khi tàu ngầm hoạt động, tốc độ hình côn lớn khi cơ động lượn vòng. Sự thay đổi lớn của góc nghiêng và góc phương vị xảy ra lệch pha 90° dẫn đến tốc độ hình côn quanh trục bánh lái tầm là lớn. Độ

đạt quan sát được của hệ thống sẽ tùy thuộc vào hiệu quả của các giải thuật xử lý của máy tính (coning and quaternion algorithms) và tùy thuộc vào độ chính xác của của hệ số thang đo và lệch cân chỉnh. Các sai số nhỏ cỡ vài phần triệu hoặc vài micro radian là rất quan trọng.

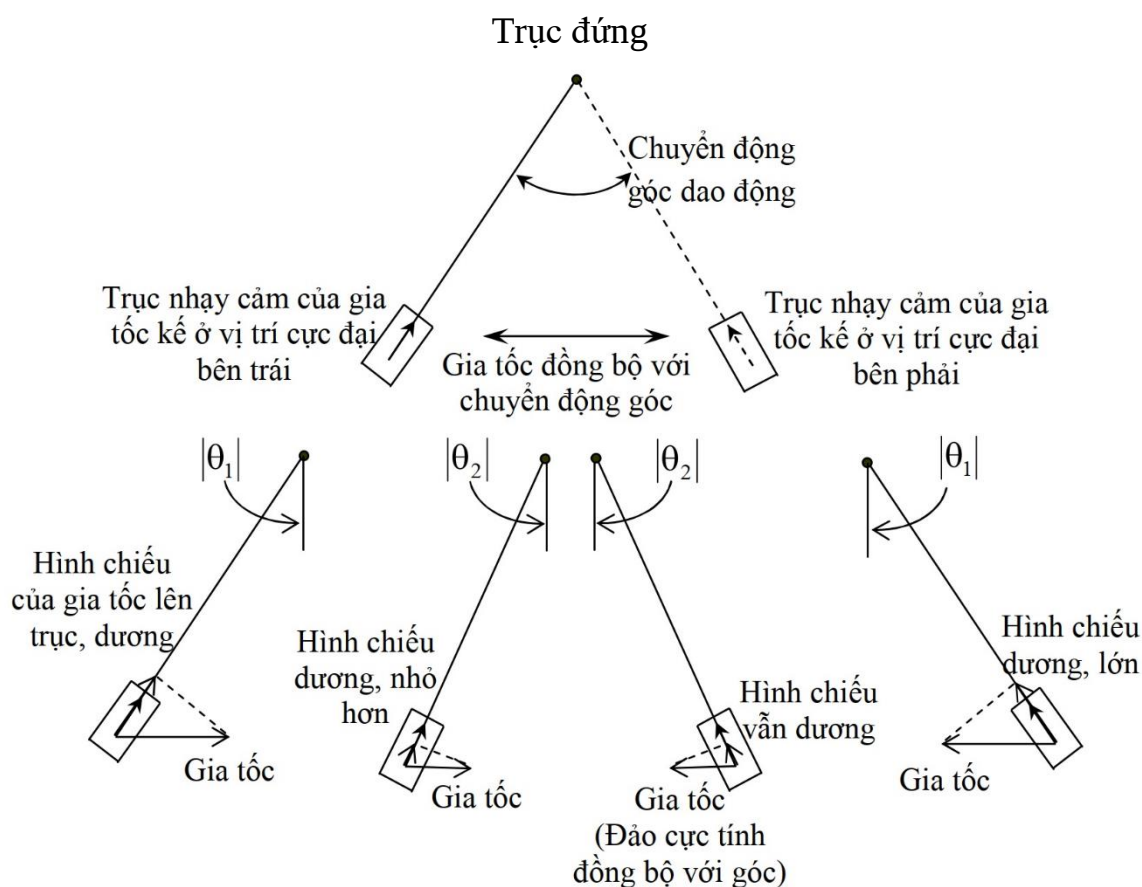


Hình 2.7. Chuyển động lượn vòng của tàu ngầm khi bắt mục tiêu[35]

Sai số Sculling (Sculling error): Nếu liên tục chuyển vector gia tốc đo được sang hệ tọa độ dẫn đường ổn định và lấy tích phân liên tục để có được vận tốc thì sẽ không tạo ra sai số. Tuy nhiên, việc tích phân gia tốc trong hệ tọa độ liên kết không liên tục, chỉ tính tại từng khoảng thời gian rời rạc. Khi có sự hiện diện đồng thời của tốc độ quay và gia tốc (hiệu ứng Sculling), sự gần đúng (không tích phân liên tục) này dẫn đến sai số Sculling. Hình 2.7. minh họa việc hình thành sai số sculling. Với sự hiện diện của dao động quay có cả gia tốc thì máy tính sẽ tính sai số gia tốc trung bình. Sai số gia tốc dư đối với những chuyển động góc nhỏ có thể được biểu diễn:

$$Sculling\ error = \frac{a_0 \theta_0}{2} \left[1 - \frac{\sin(\omega \Delta t / 2)}{\omega \Delta t / 2} \right] \quad (2.35)$$

Với a_0 là biên độ của gia tốc dao động và θ_0 là biên độ của chuyển động góc dao động tính bằng radian. Sai số sculling thường được biểu diễn ở μg .



Hình 2.8. Minh họa sự chuyển động Sculling trong gia tốc kế gây sai số

Để tránh sai số sculling lớn, cần phải thực hiện việc chuyển đổi vận tốc ít nhất nhanh hơn tần số dao động cho trước 4 lần, hoặc các nhà chế tạo sẽ dùng một giải thuật lặp nhanh (high-iteration rate sculling algorithm).

- *Sai số kích thước*: Cùng định vị (co-locate) cả 3 gia tốc kế là điều không thể. Do đó, mỗi gia tốc kế sẽ đo gia tốc ở một điểm hơi khác trong không gian (sai lệch khoảng vài cm). Khi có sự hiện diện của chuyển động góc, mỗi gia tốc kế sẽ đo gia tốc hướng tâm hoặc gia tốc tiếp tuyến. Bộ 3 tín hiệu đầu ra gia tốc kế sẽ không đồng nhất với nhau do sự khác biệt về vị trí vật lý của chúng, và kết quả là gây ra sai số kích thước. Độ lớn của sai số kích thước này tỉ lệ với khoảng cách giữa các tâm gia tốc kế và bình phương tốc độ góc. Sai số này

không xảy ra trong hệ thống có đế vì các gia tốc kế được cách ly khỏi chuyển động quay.

Sai số này có thể xảy ra trong trường hợp chuyển động lắc tần số thấp. Ví dụ, nếu một hệ thống quay với $\pm 45^\circ$ trong khoảng thời gian 4 giây và cánh tay đòn của gia tốc kế là 2 cm thì hiệu ứng kích thước sẽ gây sai số là:

$$\text{Hiệu ứng kích thước} = \frac{1}{2} \frac{2\text{cm}}{981(\text{cm/sec}^2)/g} \left(\frac{\pi}{4} \text{rad} \frac{2\pi}{4\text{sec}} \right)^2 = 1.6\text{mg}$$

Sai số này có thể dễ dàng hiệu chỉnh trong máy tính.

2.2.3. Các yếu tố cấu tạo ảnh hưởng đến sự làm việc chính xác của hệ thống dẫn đường quán tính

Khi khai thác sử dụng một hệ thống quán tính, ta cần quan tâm đến các thông số kỹ thuật cơ bản sau:

- Kích thước và trọng lượng;
- Các yêu cầu về làm mát và các yêu cầu sưởi ấm;
- Công suất tiêu hao khi khởi động và khi tàu ngầm hành trình ở trạng thái cân bằng. Khi cơ động, đòi hỏi phải tăng công suất nhiều cấp cho động cơ ra sao (chỉ đối với các đế khung). Việc điều chỉnh công suất (tần số và điện áp) và độ nhạy đối với thành phần quá độ và sụt áp tạm thời;
- Tốc độ và gia tốc lớn nhất dọc và xung quanh mỗi trục;
- Các đặc tính rung xóc mà không bị hỏng và thoả mãn tính năng dẫn đường theo yêu cầu;
- Khả năng khôi phục của đế giảm chấn và góc lệch tối đa;
- Độ tin cậy bao gồm MTBF (Mean Time Between Failures - thời gian trung bình giữa hai lần hỏng) và khoảng thời gian hiệu chuẩn (nếu có);
- Khả năng tự kiểm tra và sự nguyên vẹn của thiết bị khi có tác động bên ngoài.

Chúng ta đã biết, mặc dù không cần thông tin tham khảo bên ngoài nhưng chất lượng làm việc của hệ thống dẫn đường quán tính sẽ giảm dần do thời gian. Các ảnh hưởng chung của hệ thống dẫn đường quán tính là:

- Độ chính xác về vị trí và vận tốc giảm theo thời gian cho dù tàu ngầm chuyển động hay đứng yên;

- Cần phải thực hiện cân chỉnh ban đầu. Việc cân chỉnh này đơn giản khi tàu ngầm đứng yên ở vĩ độ trung bình, nhưng giảm độ chính xác khi vĩ độ lớn hơn 75^0 và trên tàu ngầm đang chuyển động;

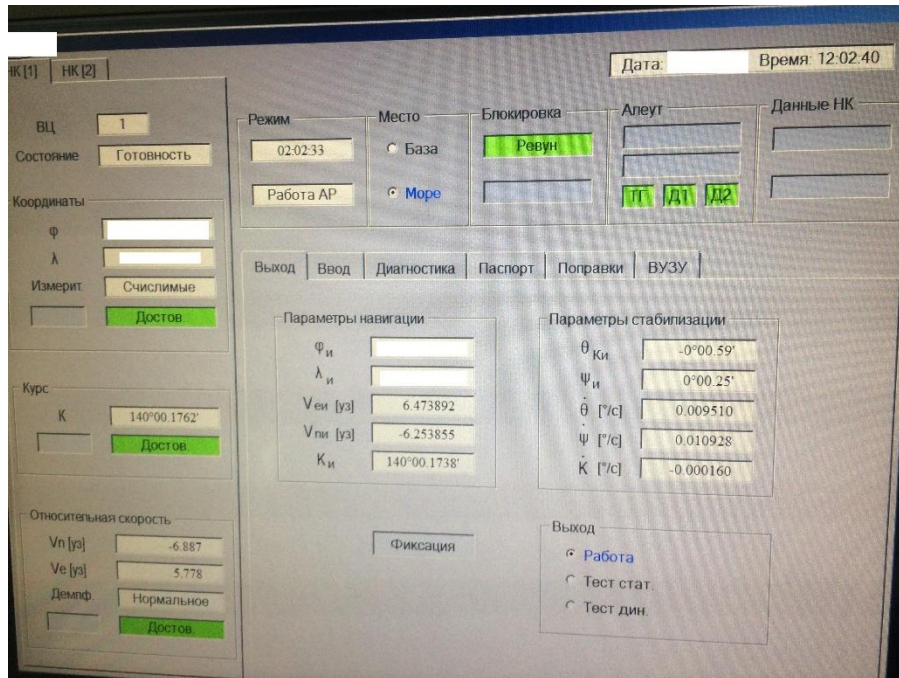
- Độ chính xác của thông tin dẫn đường tùy thuộc một phần vào sự cơ động của tàu ngầm.

Đối với hệ thống dẫn đường quán tính có đế, một số yếu tố ảnh hưởng đến sự chính xác trong cung cấp vị trí như:

- Gia tốc Coriolis (do trái đất quay);
- Ảnh hưởng của chuyển động thẳng đứng;
- Hình dạng trái đất, không phải hình cầu tuyệt đối mà là hình Geoid;
- Hiện tượng “khóa khung” (gimbal lock) khi tàu ngầm cơ động;
- Hệ tọa độ do hệ thống cung cấp và hệ tọa độ lập hải đồ hành trình;
- Các nguồn thông tin tham khảo được nhập vào hệ thống.

Vì vậy, để tăng độ tin cậy làm việc cho hệ thống, cần nhập thêm vào càng nhiều các thông số tham khảo thật chính xác càng tốt. Các sai lệch giữa hệ tọa độ dẫn đường và hệ tọa độ được sử dụng trên hải đồ cần được hiệu chỉnh trước mỗi chuyến đi biển để hệ thống dẫn đường quán tính có thể làm việc với độ tin cậy cao nhất.

Trong thực tế, màn hình hiển thị của một hệ thống dẫn đường quán tính được lắp đặt trên tàu như hình 2.8. dưới đây:



Hình 2.9. Các thông số được hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp

2.3. Ảnh hưởng của thủy thủ đoàn đối với độ chính xác dẫn đường tàu ngầm

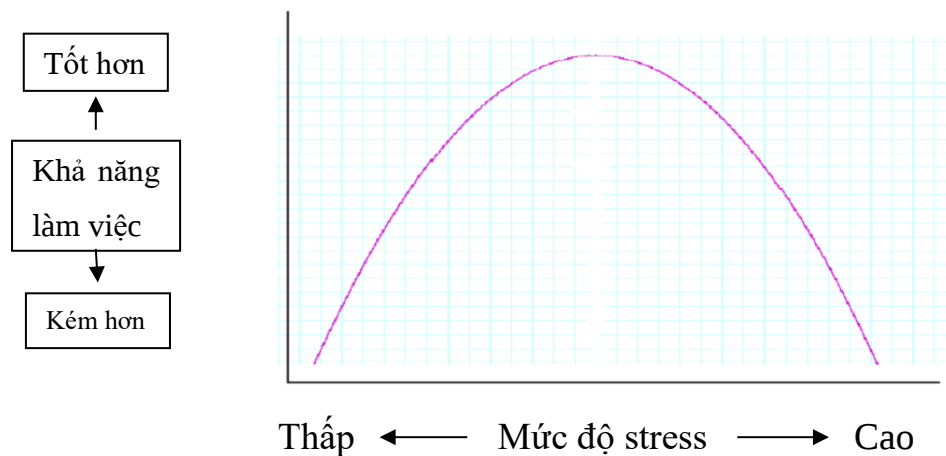
Mặc dù các hệ thống dẫn đường được trang bị trên tàu có tiên tiến đến đâu, đặc điểm sử dụng trên tàu ngầm khác với các phương tiện ngầm khác là nó còn chịu sự chi phối của thủy thủ đoàn, mà cụ thể là chỉ huy tàu ngầm trong việc ra các quyết định.

Khi tàu hành trình, việc cập nhật vị trí tàu thông thường được tính từ vị trí tàu ở thời điểm t_0 , có tọa độ φ_0, λ_0 . Bản thân vị trí này cũng đã tồn tại sai số so với vị trí thật. Quá trình hành trình, tàu sẽ dựa vào hướng đi, vận tốc và thời gian hành trình để xác định vị trí tại thời điểm tiếp theo. Tuy nhiên, do sai số trong xác định hướng đi m_{HT} , sai số trong xác định vận tốc m_{V0} mà vị trí tàu tiếp theo lại tích lũy thêm sai số. Do đó, theo thời gian các sai số vị trí tích lũy dần lớn đến mức tàu phải cập nhật lại vị trí. Việc theo dõi xác định vị trí tàu sẽ được sĩ quan hàng hải thực hiện liên tục nhằm theo dõi vết đi của tàu. Điều kiện cho phép sẽ cập nhật vị trí ban đầu cho hệ thống dẫn đường quán tính, khi tàu

ngầm nổi lên ở chế độ nạp khí, hoặc ở chế độ kính tiềm vọng. Lúc này có thể sử dụng được hệ thống GNSS để cập nhật vị trí cho hệ thống dẫn đường quán tính một cách tự động hoặc có thể cập nhật ở chế độ thủ công. Nếu cập nhật tự động thì khả năng xảy ra sai sót ít hơn khả năng cập nhật thủ công.

Ngoài ra, do điều kiện làm việc dưới tàu ngầm, nhất là đặc điểm điều kiện lao động quân sự của thủy thủ tàu ngầm gây nhiều yếu tố bất lợi đối với sức khỏe của thủy thủ tàu ngầm, từ đó sẽ gây ra các hiện tượng căng thẳng, mệt mỏi, từ đó khả năng làm việc bị ảnh hưởng cũng là một nguyên nhân gây ra sự thiếu chính xác trong đo đạc, nhập liệu, xử lý các thông tin dẫn đường gây ảnh hưởng đến độ chính xác dẫn đường tàu ngầm.

Biểu đồ 2.1. Biểu đồ khả năng làm việc liên quan đến mức độ stress[26]



Như vậy, mặc dù có các máy móc hỗ trợ nhưng con người vẫn là chủ thể chỉ huy tàu ngầm, do đó phải có các phương pháp huấn luyện, rèn luyện sức khỏe phù hợp, để thủy thủ tàu ngầm đáp ứng tốt trong môi trường làm việc dài ngày khi hành trình ngầm.

2.4. Kết luận chương 2

Trong chương 2, luận án đã nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng đến dẫn đường ngầm, giới thiệu ngắn gọn về hệ thống dẫn đường quán tính, hệ thống dẫn đường quán tính có đế và không đế, thuật toán xác định vị trí tàu của chúng đồng thời chỉ ra phương pháp đồng chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính nhằm

nâng cao độ chính xác hoạt động của hệ thống. Luận án cũng nghiên cứu về các sai số của hệ thống dẫn đường quán tính, các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của dẫn đường. Nghiên cứu về ảnh hưởng của người điều khiển tàu đối với độ chính xác dẫn đường.

Qua đó có thể kết luận xác định hiện nay sai số về dòng chảy có ảnh hưởng lớn nhất, làm sai lệch về hướng đi của tàu dẫn đến sai lệch về vị trí của tàu.

Chương 3 NCS sẽ đề xuất các giải pháp nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm hoạt động trong khu vực Biển Đông.

CHƯƠNG 3. CÁC GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC DẪN ĐƯỜNG CHO TÀU NGẦM TRONG KHU VỰC BIỂN ĐÔNG

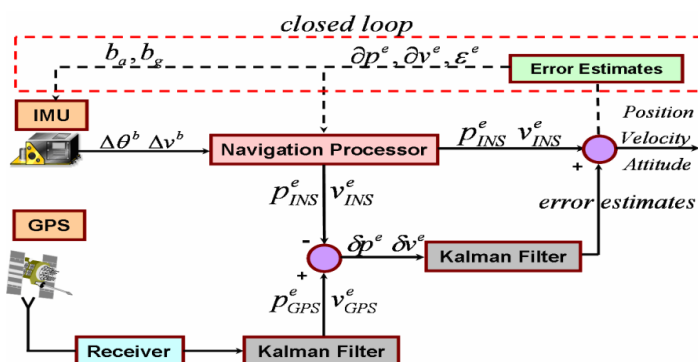
3.1. Giải pháp về kỹ thuật nâng cao độ chính xác cho dẫn đường tàu ngầm

3.1.1. Kết hợp giữa hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống vệ tinh định vị dẫn đường toàn cầu sử dụng bộ lọc Kalman

Để nâng cao độ chính xác hoạt động của hệ thống dẫn đường quán tính, cần kết hợp thông tin hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp với 1 hệ thống xác định vị trí khác loại. Như đã xét ở trên, bộ lọc Kalman rất mạnh và được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống tích hợp hàng hải. Tuy nhiên, phương pháp này đã được nhiều nghiên cứu đưa ra và chỉ áp dụng trong quá trình tàu ngầm hành trình khi đi nổi và nhận được tín hiệu từ hệ thống vệ tinh. Hai nguyên lý kết hợp giữa hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu và hệ thống dẫn đường quán tính được đưa ra dưới đây[52], [21], [22], [41]:

**Kiểu kết hợp lỏng lẻo:*

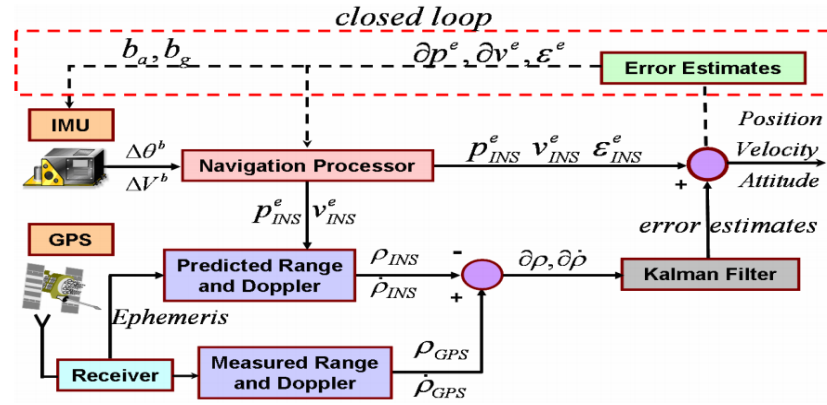
Trong kiểu kết hợp này, quá trình xử lý GNSS và INS thực hiện riêng rẽ nhưng vẫn có ảnh hưởng lẫn nhau. Phép đo GNSS được xử lý qua bộ lọc Kalman kết hợp với kết quả của INS theo chu kỳ cấp thông tin của GNSS. Bộ lọc Kalman sử dụng các thông tin vị trí, vận tốc nhận được từ GNSS và kết quả đo vị trí, vận tốc từ INS để xác định sai số. Kiểu kết hợp này không bị ảnh hưởng nếu một trong hai nguồn thông tin bị mất.



Hình 3.1. Kiểu kết hợp lỏng lẻo

** Kiểu kết hợp chặt*

Trong kiểu kết hợp này, việc xử lý kết quả đo được thực hiện tập trung trong một bộ lọc Kalman. Kết quả tính toán sẽ được sử dụng để hiệu chỉnh các tham số trong tính toán INS.



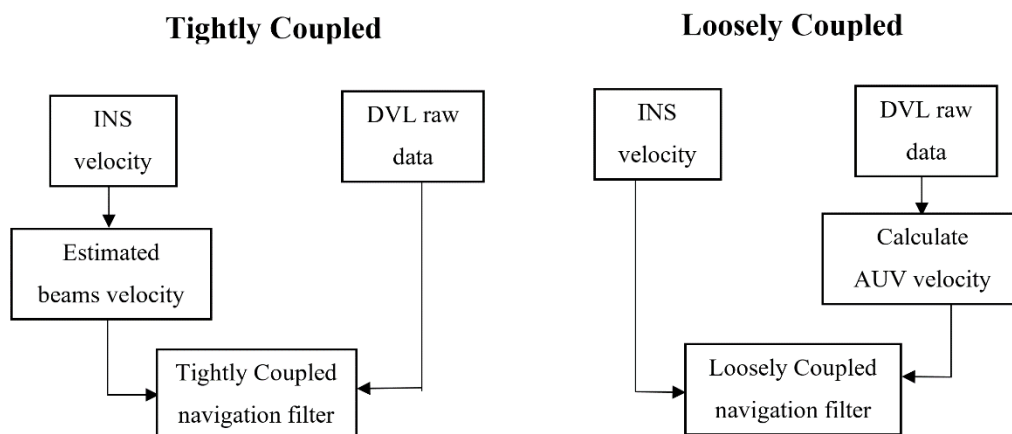
Hình 3.2. Kiểu kết hợp chặt

Các kết hợp này đã được nghiên cứu nhiều trong các tài liệu có liên quan, vì vậy sẽ không xem xét trình bày ở đây. Có thể nói rằng hiện nay đây là phương án kết hợp tốt nhất cho hệ thống dẫn đường quán tính khi nhận được tín hiệu từ vệ tinh. Độ chính xác xác định vị trí khi có tín hiệu từ vệ tinh đảm bảo an toàn cho tàu ngầm trong quá trình hành quân khi đi nổi hoặc ở chế độ kính tiềm vọng. Tuy nhiên, điểm yếu của phương pháp này là không thể áp dụng được trong điều kiện thời chiến hoặc khi tàu ngầm hành trình ngầm. Lúc này, tàu ngầm cần các phương án xác định vị trí tàu quan trắc khác để hỗ trợ trong quá trình tác chiến như dùng mục tiêu địa văn, thiên văn...

3.1.2. Kết hợp giữa tốc độ kế tuyệt đối (Doppler Velocity Log – DVL) và hệ thống dẫn đường quán tính (INS/ DVL)

Các nghiên cứu về định vị phương tiện ngầm[34] đã đưa ra sơ đồ thuật toán cho sự kết hợp giữa tốc độ kế tuyệt đối và hệ thống dẫn đường quán tính. Vận tốc đo được từ tốc độ kế tuyệt đối dựa vào hiệu ứng Doppler sẽ được bổ sung cho thành phần vận tốc của hệ thống dẫn đường quán tính, từ đó làm tăng tính hiệu quả trong việc xác định vị trí của phương tiện ngầm. Tương tự như sự

kết hợp với hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu, có hai phương án đã được đưa ra nghiên cứu là kết hợp lỏng lẻo và kết hợp chặt.



Hình 3.3. Hai phương án kết hợp giữa INS/DVL

Tuy nhiên, đối với tàu ngầm không được trang bị tốc độ kế tuyệt đối, phương án này không thể áp dụng, do đó không được tác giả không giới thiệu ở đây.

3.1.3. Một số giải pháp kỹ thuật khác

3.1.3.1 Xây dựng hệ thống cơ sở dữ liệu phục vụ định vị, dẫn đường cho tàu ngầm bằng phương pháp định vị thủy âm

Xây dựng cơ sở dữ liệu hải dương, cho phép lưu trữ thông tin thu thập được từ các điểm khảo sát yếu tố hải dương trên biển. Các nguồn số liệu này sau khi xử lý được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu, đây là nguồn dữ liệu được sử dụng để tính toán sự ảnh hưởng của yếu tố môi trường nước biển đến tác nghiệp vị trí của tàu ngầm. Cơ sở dữ liệu hải dương cho phép lưu trữ thông tin với số lượng lớn và thuận tiện trong công tác truy vấn dữ liệu.

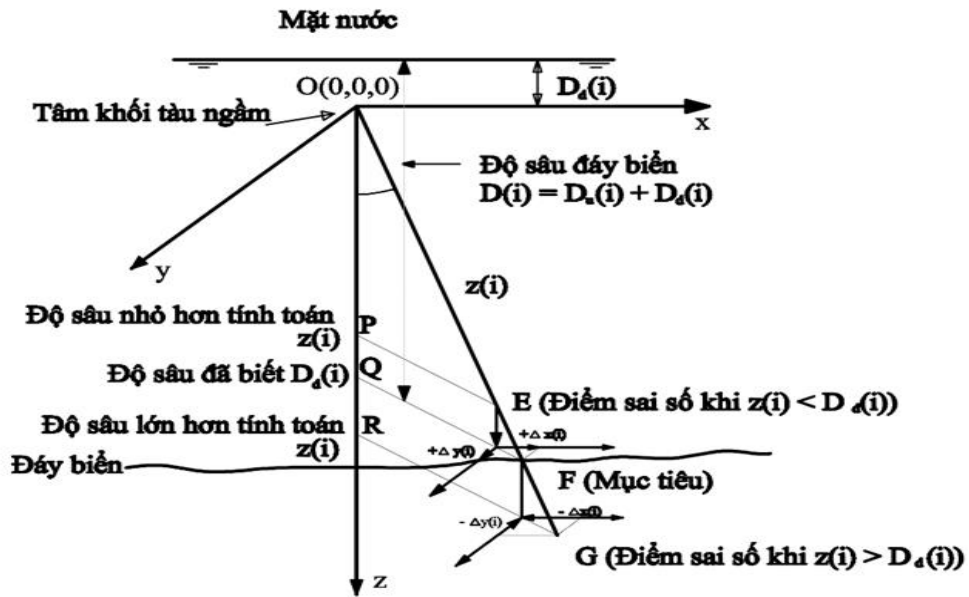
Xây dựng phần mềm ứng dụng kết hợp công nghệ GIS tính toán vị trí của tàu và mô phỏng trực quan quá trình chuyển động của tàu ngầm trong lòng biển trên nền hải đồ điện tử. Quá trình tính toán phần mềm được kết nối với cơ sở dữ liệu hải dương để tính toán sự ảnh hưởng của yếu tố môi trường.

Để phục vị định vị dẫn đường cho tàu bằng phương pháp định vị thủy âm, yêu cầu cần xây dựng hệ thống các trạm phát tín hiệu sóng âm dưới lòng biển. Trong cơ sở dữ liệu cho phép lưu trữ thông tin các trạm phát sóng âm và thường xuyên được cập nhật khi có thông tin thay đổi. Các thông số của trạm thủy âm sẽ là cơ sở để tính toán khoảng cách từ trạm phát sóng đến điểm thu sóng trên tàu, từ đó xác định được vị trí của tàu. Tương tự như các hệ thống “POSYDON” của Mỹ và hệ thống “Positioner” của Nga, tàu ngầm thu được tín hiệu vị trí từ 3 trạm phát thủy âm trở lên sẽ xác định được vị trí quan trắc, từ đó đồng chỉnh hệ thống dẫn đường quán tính, nâng cao độ chính xác dẫn đường. Hệ thống này có chức năng tương tự các trạm DGPS được lắp trên bờ để hiệu chỉnh vị trí tàu theo GPS.

Cơ sở dữ liệu được tổ chức và thu thập sẽ cho phép lưu trữ giá trị vận tốc truyền âm thanh trong môi trường nước biển. Vận tốc âm thanh tại các điểm khảo sát sẽ được lưu trữ theo các tầng nước tiêu chuẩn. Trong quá trình tính toán tùy thuộc vào tầng nước hoạt động của tàu mà sử dụng các nguồn dữ liệu cho phù hợp.

Từ bảng thông tin về các trạm thủy âm trong cơ sở dữ liệu hải dương xác định thông tin vận tốc âm của từng trạm thủy âm đã được khảo sát trước đó.

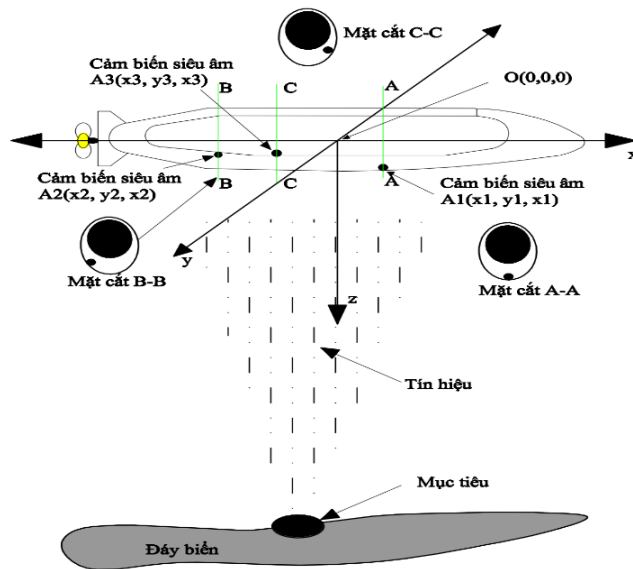
Giá trị vận tốc âm trung bình của đường truyền được xác định là giá trị trung bình của vận tốc âm tại vị trí hiện tại của tàu và trạm thủy âm phát tín hiệu đến.



Hình 3.4. Sự lan truyền âm trong nước

$$V_{tb} = (V_{\text{trạm}} + V_{\text{tàu}})/2 \quad (3.1)$$

Sau khi tính được giá trị vận tốc âm trung bình tại mỗi đường truyền chúng ta dễ dàng tính được khoảng cách từ các trạm thủy âm đến tàu.



Hình 3.5. Bố trí các máy thu âm trên tàu ngầm

Trong danh sách đó chúng ta chọn ra 3 trạm có khoảng cách gần tàu nhất để sử dụng tính toán vị trí hiện tại của tàu.

Giả sử tọa độ hiện tại của tàu là $P(\varphi, \lambda, h)$ ta sử dụng công thức:

$$(\varphi - \varphi T_i)^2 + (\lambda - \lambda T_i)^2 + (h - h T_i)^2 = d_i^2 \quad (i) \quad (3.2)$$

Trong đó: φT_i , λT_i , $h T_i$ là tọa độ của trạm thủy âm thứ i .

d_i là khoảng cách từ trạm thủy âm thứ i đến tàu.

Từ ít nhất 3 phương trình trở lên ta xác định được hệ phương trình bậc 3 với 3 ẩn số là: φ , λ , h . Giải ma trận bậc 3 ta thu được φ , λ , h đây là tọa độ sơ bộ của tàu.

** Sử dụng bộ lọc Kalman để hiệu chỉnh tọa độ tàu*

+ Thời gian giữa 2 lần tính toán của tàu là:

$$\Delta t = {}^{k+1}t - {}^k t \quad (3.3)$$

Vì khoảng thời gian là rất ngắn ta coi quãng đường di chuyển là một đường thẳng do vậy quãng đường đi được có thể xác định theo công thức:

$$d_s = V_s({}^k t) \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \frac{V_s({}^{k+1} t) - V_s({}^k t)}{dt} (\Delta t)^2 \quad (3.4)$$

Quãng đường đi được có thể tính theo công thức tọa độ:

$$d_m = [({}^{k+1}\varphi_m - {}^k\varphi_m)^2 + ({}^{k+1}\lambda_m - {}^k\lambda_m)^2 + ({}^{k+1}h_m - {}^k h_m)^2]^{1/2} \quad (3.5)$$

Giải bài toán cho đến khi thỏa mãn công thức sau:

$$\varepsilon = \frac{|d_m - d_s|}{d_s} < \delta \quad (3.6)$$

trong đó, δ là giá trị hội tụ, thông thường là 0.0001[50].

Ta tính được giá trị tọa độ của tàu φ , λ , h sau hiệu chỉnh và từ đó cập nhật cho hệ thống dẫn đường quán tính.

3.1.3.2. Xây dựng hệ thống hải đồ chuyên dụng cho tàu ngầm

Hải đồ sử dụng cho đi biển của tàu ngầm hiện nay đang sử dụng hai loại là hải đồ giấy và hải đồ điện tử.

Theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 10337:2015 về “Hải đồ vùng nước cảng biển và luồng hàng hải - Yêu cầu kỹ thuật cho hải đồ giấy - Ký hiệu” được công bố, có các tỷ lệ về hải đồ[19]:

Tỷ lệ nhỏ:

- Tổng đồ: là những hải đồ có tỷ lệ nhỏ hơn 1:2 000 000

Tỷ lệ trung bình:

- Hải đồ vượt biển: có tỷ lệ nằm trong khoảng 1:2 000 000 - 1:350 000. Hải đồ này được sử dụng cho mục đích để vượt biển, chạy xa bờ.
- Hải đồ ven biển: có tỷ lệ nằm trong khoảng 1:350 000 - 1:75 000, được sử dụng cho mục đích chạy tàu ven biển.

Tỷ lệ lớn:

- Hải đồ nhập cảng: có tỷ lệ nằm trong dải 1: 75 000 - 1:30 000 sử dụng để hành hải trên các lối dẫn vào cảng, trong các luồng hàng hải chính hoặc các tuyến hành hải đi qua các vùng nước chật hẹp hoặc có mật độ giao thông cao.
- Hải đồ bến cảng: thông thường có tỷ lệ trong khoảng 1:30 000 -1:5 000. Các hải đồ này cung cấp lối vào cảng, hành hải trong các cảng biển, bến cảng, khu neo đậu, kênh, sông.
- Hải đồ cập cầu: tỷ lệ lớn hơn 1:5 000 được sử dụng để hỗ trợ cập cầu. Thông thường, hải đồ này được đưa vào như là một hải đồ con của hải đồ bến cảng.

Sơ ri ven biển liên tục: là các hải đồ nối tiếp nhau bao phủ toàn bộ tuyến hàng hải ven bờ biển.

Hải đồ điện tử cung cấp cho người đi biển hải đồ và các thông tin hàng hải được thể hiện trên màn hình máy tính. Một máy tính khi được cài đặt phần mềm hiển thị hải đồ điện tử và kết nối với hệ thống định vị và một số cảm biến khác sẽ hiển thị cho người sử dụng biết vị trí tàu, hướng đi, tốc độ, hướng mũi tàu, độ sâu, các chương ngại nguy hiểm và các thông tin hàng hải khác với hình ảnh rõ ràng, không nhầm lẫn, trực quan hơn trên hải đồ giấy.

Căn cứ vào giải pháp kỹ thuật, hải đồ điện tử hiện nay có hai loại:

- Hải đồ hàng hải quét màn hình RNC (Raster Navigational Charts) còn gọi là hải đồ Raster.

- Hải đồ hàng hải điện tử ENC (Electronic Navigational Charts) còn gọi là hải đồ Vector.

Hiện nay, các hải đồ sử dụng cho tàu ngầm được Đoàn đo đạc, biên vẽ hải đồ và nghiên cứu biển cung cấp. Tuy nhiên, hải đồ phục vụ dẫn đường cho tàu ngầm có đặc thù riêng do phụ thuộc vào yêu cầu nhiệm vụ và hoạt động của tàu ngầm. Dựa trên TCVN 10337:2015 và các tiêu chuẩn của IHO (International Hydrographic Organization - Tổ chức thủy đạc quốc tế) về hải đồ phục vụ cho đi biển, trong phạm vi nghiên cứu của mình, NCS đề xuất nghiên cứu xây dựng bộ hải đồ chuyên dụng cho tàu ngầm, trong đó:

- Tỷ lệ của hải đồ:

Căn cứ vào từng nhiệm vụ cụ thể của tàu ngầm khi đi hoạt động, mỗi nhiệm vụ khác nhau cần hải đồ với tỷ lệ khác nhau. Đề xuất yêu cầu cụ thể cho các nhiệm vụ như sau:

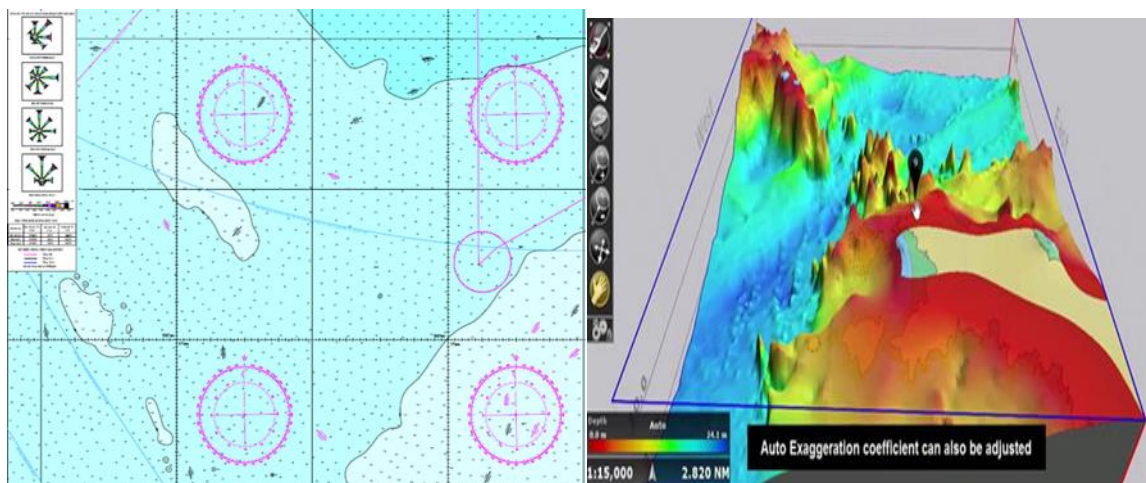
+ Khu vực tàu ngầm nằm đáy: Hải đồ có tỷ lệ $\geq 1:10.000$.

+ Khu vực tàu ngầm huấn luyện, đợi cơ: Hải đồ có tỷ lệ $< 1:10.000$ và $\geq 1:100.000$.

+ Khu vực tàu ngầm hành trình: Hải đồ có tỷ lệ $< 1:100.000$.

- Nội dung của hải đồ:

Bao gồm các thông tin chi tiết như độ sâu đáy biển, các chướng ngại ngầm (đá ngầm, tàu đắm...), hướng và dòng chảy của toàn vùng biển Việt Nam được thể hiện đầy đủ trên hải đồ giấy. Ngoài các thông tin như hải đồ giấy, hải đồ điện tử cần có thêm nhiệt độ, độ mặn nước biển, hướng và dòng chảy ngầm theo từng lớp độ sâu, ví dụ như từ 0 – 25m, 25 – 50m, 50 – 100m, 100 – 200m, 200 – 300m để phục vụ dẫn đường tàu ngầm. Hải đồ điện tử có thể xây dựng thành hải đồ 3D là tốt nhất (hình 3.5). Các dữ liệu nói trên ngoài được số hóa còn cần được cung cấp thêm dưới dạng tài liệu giấy để sĩ quan hàng hải tham khảo trong quá trình tác nghiệp xác định vị trí tàu trên hải đồ giấy.



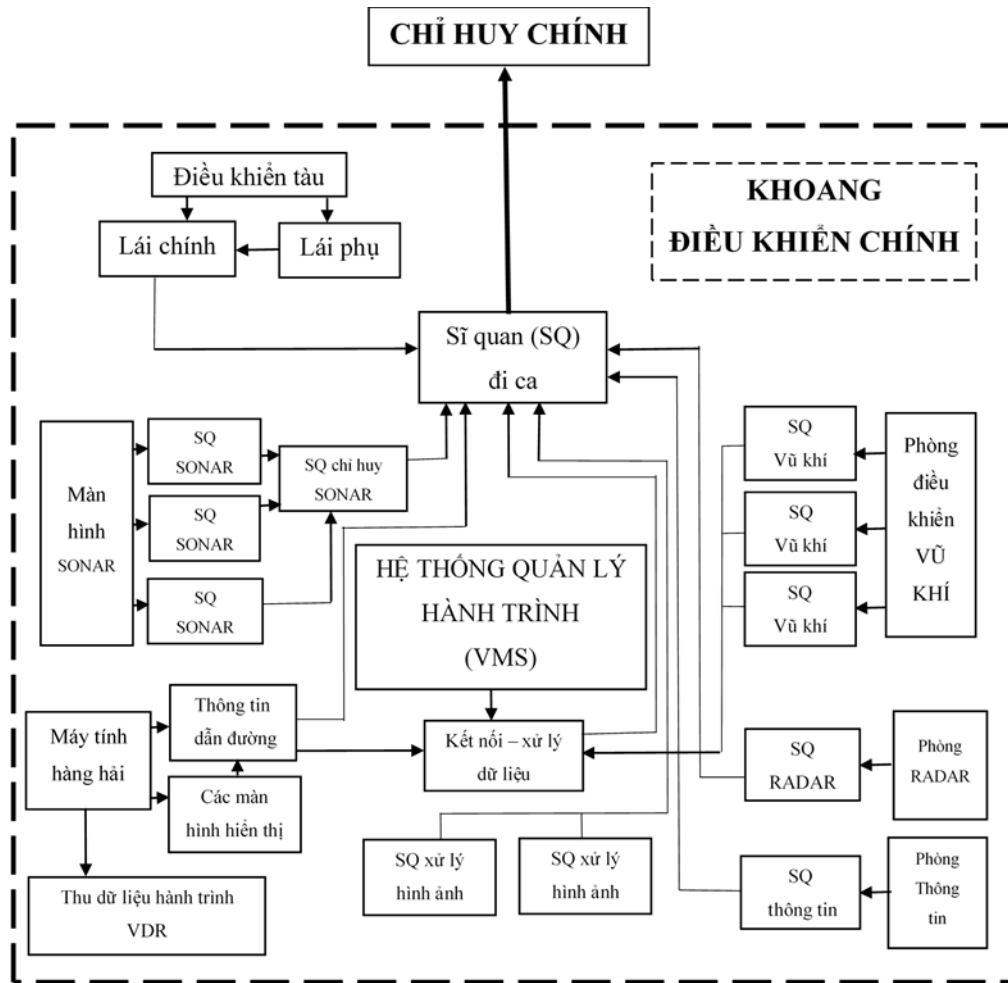
Hình 3.6. Ví dụ về hải đồ chuyên dùng cho tàu ngầm

3.1.3.3. Xây dựng hệ thống quản lý hành trình

Hệ thống quản lý hành trình VMS (Voyage Management System) được xây dựng nhằm quản lý tất cả các công việc phục vụ cho dẫn đường và trợ giúp ra quyết định của sĩ quan chỉ huy tàu ngầm. Sơ đồ tổ chức thông tin Khoang điều khiển chính tàu ngầm của Hải quân Mỹ chỉ ra phương án làm việc cho hệ thống này[28].

Có thể nói, hệ thống VMS là trung tâm của Khoang điều khiển chính tàu ngầm. Từ hệ thống, quản lý được hành trình của các chuyến đi biển trước và hiện tại, giúp người chỉ huy rút ra kinh nghiệm từ dữ liệu lưu trữ từ các chuyến biển trước, nắm được độ chính xác của chuyến đi biển hiện tại. Lúc này hệ thống dẫn đường chỉ là một hệ thống con trong nhiều hệ thống tạo nên hệ thống quản lý hành trình.

Từ sơ đồ tổ chức thông tin của Hải quân Mỹ, NCS đề xuất sơ đồ tổ chức thông tin cho Khoang điều khiển chính tàu ngầm của Việt Nam như hình dưới đây:



Hình 3.7. Sơ đồ tổ chức thông tin của Khoang điều khiển chính tàu ngầm NCS đề xuất

Trong sơ đồ tổ chức thông tin này, dữ liệu của các chuyến đi biển được lưu lại trong thiết bị ghi dữ liệu hành trình tự động. Nhờ có thiết bị này, sau khi tàu ngầm hoạt động trên biển về căn cứ, dữ liệu được sao chép để phân tích chuyển đi, thu thập dữ liệu hải văn, dòng chảy ngầm khu vực tàu hoạt động, cũng như được sử dụng cho mục đích huấn luyện, đào tạo kíp thủy thủ mới.

3.1.3.4. Chế tạo, thử nghiệm hệ thống dẫn đường quán tính riêng

Một giải pháp đề tài đề xuất là cần nghiên cứu chế tạo hệ thống dẫn đường quán tính có độ chính xác cao hơn các hệ thống dẫn đường quán tính đang lắp đặt trên tàu. Các nhà khoa học trên thế giới đã công bố thông tin về hệ thống dẫn đường quán tính có con quay nguyên tử, do không bị trôi con quay

nên độ chính xác rất cao[23]. Ngoài ra, cũng cần có sự nghiên cứu thay thế hệ thống dẫn đường quán tính có đế bằng hệ thống dẫn đường quán tính không đế, đồng thời đồng bộ hóa các chức năng của hệ thống dẫn đường quán tính mới lắp đặt với tất cả các trang thiết bị trên tàu.

3.2. Giải pháp huấn luyện đảm bảo nâng cao độ chính xác cho dẫn đường tàu ngầm khi hành trình ngầm

Tất cả các giải pháp đã nêu ở phần 3.1. đều đòi hỏi khối lượng công việc lớn, nguồn nhân lực dồi dào cũng như kinh phí để thực hiện không nhỏ. Trong đó, nghiên cứu và phát triển được một hệ thống dẫn đường riêng biệt, đảm bảo độ chính xác và tin cậy để tích hợp cùng hệ thống dẫn đường quán tính, đảm bảo tính bí mật của hoạt động tàu ngầm rất cần chính sách của Đảng và Nhà nước hỗ trợ, các nhà khoa học của Việt Nam và các nhà khoa học của Quân chủng Hải quân chung tay xây dựng. Hiện nay Đoàn đo đạc Biên vẽ Hải đồ và Nghiên cứu biển thuộc Quân chủng Hải quân đã tiến hành đo đạc và từng bước xây dựng các hải đồ chuyên dụng cho hoạt động của tàu ngầm và xây dựng cơ sở dữ liệu hải văn phục vụ dẫn đường ngầm. Tuy nhiên, việc tiến hành đo đạc để có dữ liệu chính xác còn cần rất nhiều thời gian và công sức. Do đó, song song với các giải pháp trên nếu có thể triển khai, trong giai đoạn hiện nay, giải pháp về huấn luyện vẫn mang tính khả thi cao hơn cả do không cần tốn quá nhiều kinh phí và có thể thực hiện được.

Huấn luyện dẫn đường là một loại hình huấn luyện đặc biệt của Hải quân với một hệ thống huấn luyện nhiều cấp và toàn diện, nhằm đào tạo thủy thủ trên các tàu Hải quân đủ năng lực thực hiện nhiệm vụ trên biển. Công tác huấn luyện nhằm huấn luyện cho sĩ quan và thủy thủ trên tàu các kỹ năng dẫn đường trong thực tế hàng hải cũng như trong chiến đấu, xây dựng ý thức trách nhiệm cao đối với sự an toàn của dẫn đường đối với sĩ quan tàu ngầm. Trước yêu cầu nhiệm vụ trong tình hình mới, việc huấn luyện cho thủy thủ tàu ngầm về trang

bị hàng hải trên tàu là hết sức cấp thiết nhằm bổ sung lực lượng thủy thủ trên tàu ngầm, tránh sự phụ thuộc vào nước ngoài, giảm thiểu chi phí.

Mục tiêu của việc huấn luyện dẫn đường cho tàu ngầm nhằm trang bị cho các sĩ quan hàng hải trên tàu các kỹ năng vững chắc theo thực tế:

- Giải quyết các vấn đề dẫn đường cho tàu ngầm theo độ chính xác và độ tin cậy cho phép, đảm bảo cho tàu ngầm hoạt động an toàn khi đi ngầm, trang bị các nguyên tắc về dẫn đường khi hành trình bình thường và trong khi chiến đấu;

- Bảo đảm sự hoạt động bình thường của các trang thiết bị máy móc phục vụ dẫn đường trong các hoạt động hàng ngày cũng như trong chiến đấu;

- Quan sát và thu thập dữ liệu về tình hình khí tượng thủy văn đảm bảo cho dẫn đường chính xác và an toàn, xác định vị trí tàu chính xác khi sử dụng trang bị cũng như vũ khí;

- Duy trì tàu ngầm ở trạng thái liên tục và sẵn sàng hoàn thành nhiệm vụ;

- Quản lý hiệu quả việc cung cấp các thông tin dẫn đường cho tàu ngầm trong khu vực chờ đợi;

- Xây dựng tinh thần trách nhiệm cao của các nhân viên ngành hàng hải cũng như sĩ quan dẫn đường về an toàn hàng hải, thu thập và xử lý chính xác dữ liệu khí tượng thủy văn đảm bảo cho sự sẵn sàng chiến đấu của tàu ngầm.

- Xây dựng phương án và giải quyết bài toán tìm kiếm tàu ngầm khi mất liên lạc với sở chỉ huy các cấp (liên quan đến độ chính xác trong xác định vị trí tàu).

Ngoài các kỹ năng hàng hải cơ bản, kỹ năng xử lý số liệu vị trí tàu được cung cấp từ hệ thống quán tính hàng hải nhằm nâng cao độ chính xác xác định vị trí tàu được giới thiệu trong luận án này[3],[57],[15]. Để có thể so sánh vị trí tàu được xác định từ hệ thống dẫn đường quán tính và dữ liệu vị trí tàu từ các

chuyển biển trước, sĩ quan hàng hải trên tàu cần giải quyết một số bài toán sau đây.

3.2.1. Tính toán hệ số độ chính xác K_c và xác suất xác định vị trí tàu theo sai số cho trước

Giả sử rằng, các hệ thống dẫn đường quán tính được lắp đặt trên tàu, sau khi đã cân chỉnh theo hướng dẫn của nhà sản xuất và đảm bảo yêu cầu trong quá trình thử nghiệm, chúng ta hoàn toàn không can thiệp được vào bên trong các hệ thống. Do đó, chúng ta tạm chấp nhận các thông số làm việc được cung cấp theo máy, các sai số lý tưởng của vị trí tàu sẽ là 01 hải lý/ 24 giờ, sai số của hướng đi $< 0.005^\circ$ / giờ. Theo quy tắc huấn luyện chiến đấu tàu ngầm của Hải quân Nga, khi tàu hành trình dưới 2 giờ và trên 2 giờ, sai số vị trí của tàu được

$$\text{xác định theo công thức : } \left. \begin{array}{l} M_c = 0.7K_c\sqrt{t}, \quad t < 2h \\ M_c = K_c\sqrt{t}, \quad t > 2h \end{array} \right\} \quad (3.7)$$

Trong đó: M_c – sai số vị trí tàu theo thời gian;

K_c – hệ số độ chính xác trong tính đường đi;

t – thời gian tàu hành trình.

Hệ số độ chính xác K_c được tính toán bằng phương pháp đặc biệt cho từng vùng biển. Khi thực hành dẫn đường cho tàu, phân tích sự sai lệch giữa các quan trắc vị trí tàu (không < 13 lần) và vị trí tàu dự tính. Hệ số này được xác định khi tàu đi theo tuyến hành trình và vùng biển nhất định.

Công thức chung để tính toán K_c khi $t > 2$ giờ

$$K_c = 1,13 \frac{\sum_1^n C_i \sqrt{t_i}}{\sum_1^n t_i} \quad (3.8)$$

Trong đó, C_i là độ lệch vị trí tàu quan trắc và vị trí tàu dự tính của lần đo thứ i (hải lý), t_i là thời gian tính toán giữa các lần quan trắc (giờ) và $t_i > 2$ giờ.

Với khoảng cách lệch và thời gian hành trình không quá lớn, C_i có thể được tính toán theo công thức PITAGO, trong đó C_i là đường chéo, các cạnh góc vuông là độ lệch giữa vĩ độ và kinh độ của vị trí tàu dự tính và vị trí tàu quan trắc. Mỗi tàu cần xác định một hệ số K_c riêng, được đo đạc và tính toán thực tế trong quá trình tàu hành trình trên biển.

Ví dụ sau minh họa cách tính K_c cho 1 tàu hành trình trong khu vực Biển Đông.

Bảng 3.1. Minh họa số liệu đo đạc để tính hệ số K_c

Số lần quan trắc vị trí tàu	Độ lớn sai lệch C_i (hải lý)	Thời gian hành trình giữa 2 lần quan trắc t_i (giờ)	$\sqrt{t_i}$	$C_i \cdot \sqrt{t_i}$
1	1.7	6.2	2.49	4.23
2	1.4	8	2.83	3.96
3	1.4	4.4	2.10	2.94
4	0.3	3.1	1.76	0.53
5	2	3	1.73	3.46
6	0.8	8.2	2.86	2.29
7	0.8	3.5	1.87	1.50
8	2.6	2.5	1.58	4.11
9	2.1	6.1	2.47	5.19
10	0.9	6.4	2.53	2.28
11	2	4	2.00	4.00
12	1.5	7.1	2.66	4.00
13	2.2	8.1	2.85	6.26

Từ công thức (3.8), tính được $K_c = 1,13 \cdot \frac{44,61}{70,6} \approx 0,7$

Khi tàu ngầm hành trình huấn luyện, sau thời gian > 2 giờ, tiến hành tác nghiệp vị trí dự tính từ hệ thống dẫn đường quán tính, đồng thời tác nghiệp vị trí nhận được từ hệ thống GNSS lên hải đồ, tính được độ lệch C_i . Sau tối thiểu 13 lần đo đạc, áp dụng công thức (3.8) sẽ xác định được hệ số K_c . Hệ số K_c được tính toán có thể áp dụng trong khu vực biển nhất định, theo mùa và theo

năm. Sai số bán kính bình phương trung bình (BPTB) của vị trí tàu tại thời điểm bất kỳ trên tuyến hành trình được tính theo công thức:

$$M_t = \sqrt{M_0^2 + M_c^2} \quad (3.9)$$

M_0 : Sai số BPTB tại thời điểm $t=0$, có thể ≈ 0 khi tiến hành đồng chỉnh giữa hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống GNSS.

M_c : Sai số vị trí tàu được tính theo công thức (3.7)

M_t : Sai số BPTB vị trí tàu tại thời điểm t so với thời điểm $t=0$;

Sai số vị trí tàu ứng với xác suất cho trước có thể được tính theo công thức sau:

$$P = 1 - e^{-\left(\frac{M_{ct}}{M_t}\right)^2} \quad (3.10)$$

Trong đó, M_{ct} là sai số cho trước.

Từ công thức (3.10), sẽ tính toán được xác suất vị trí tàu theo sai số cho trước và ngược lại.

3.2.2. Xác định vị trí tàu và vị trí tàu có mật độ xác suất lớn nhất

Khi tàu ngầm hành trình ngầm, không tính đến tác dụng của dòng chảy, đường chuyển động thực tế của tàu trùng với đường hướng đi thật HT. Quãng đường tàu đi được tính theo công thức:

$$S = (S_{mt2} - S_{mt1}) \cdot K_{mt} \quad (3.11)$$

hoặc dựa vào vận tốc và thời gian hành trình theo công thức:

$$S = V_0 \cdot t \quad (3.12)$$

Trong đó: S_{mt} là chỉ số tốc độ kế tại thời điểm $t_{1,2}$

K_{mt} là hệ số của tốc độ kế

S là quãng đường tàu hành trình, V_0 là vận tốc ban đầu của tàu, t là thời gian tàu hành trình.

Tuy nhiên, trong thực tế luôn luôn có dòng chảy tác động làm ảnh hưởng đến chuyển động của tàu, như đã xét ở phần 2.1.4 trong chương 2.

Khi hành trình ngầm bình thường, không gần các nguy hiểm hàng hải, tàu ngầm có thể sử dụng vị trí tàu được hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp. Tuy nhiên, do sai số của thiết bị đo và ảnh hưởng của dòng chảy, vị trí tàu do hệ thống dẫn đường quán tính sẽ bị sai lệch so với thực tế. Theo thực nghiệm, người ta đã chứng minh được rằng khi phương tiện ngầm hành trình ngầm, luôn tồn tại một sai số cố định là 0.025 hải lý về phía ngược với hướng dòng chảy.

Độ chính xác trong tính đường đi và vị trí của tàu phụ thuộc vào độ chính xác của cơ sở dữ liệu trắc địa và độ chính xác của dữ liệu hải văn. Đối với phương pháp dẫn đường dự tính theo hệ thống dẫn đường quán tính thì sai số lớn hơn cả là sai số trong các yếu tố của dòng chảy, vì vậy có thể xác định 4 nguyên nhân chính ảnh hưởng đến việc xác định đường đi và vị trí của tàu là: Sai số trong xác định vận tốc của tàu, sai số trong hướng đi của tàu, sai số vận tốc dòng chảy và sai số hướng của dòng chảy.

Do đó, các sĩ quan trực canh cần có phương pháp xử lý số liệu vị trí được cung cấp từ 2 hệ thống dẫn đường quán tính được trang bị trên tàu, từ đó xác định vị trí tàu xác suất nhất (vị trí tàu trung bình), đảm bảo độ chính xác cao hơn so với các vị trí tàu riêng rẽ cũng như đảm bảo yêu cầu về an toàn hàng hải của tàu ngầm.

Nếu trong một khoảng thời gian nào đó, chúng ta xác định được một số vị trí tàu, để tìm được vị trí tàu xác suất nhất, trước tiên phải tiến hành đưa các vị trí tàu về cùng một thời điểm. Sau đó, tính tọa độ vị trí tàu xác suất nhất theo công thức:

$$\varphi_{0tb} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad \lambda_{0tb} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (3.13)$$

trong đó: φ_i , λ_i - vĩ độ và kinh độ tương ứng của vị trí tàu thứ i sau khi đã đưa về cùng một thời điểm;

$i = 1, 2, \dots, n$ - số thứ tự vị trí tàu;

P_i - trọng số của các vĩ độ và kinh độ.

Các trọng số P_i được xác định bằng công thức :

$$P_i = \frac{1}{M_i^2} \quad (3.14)$$

trong đó: M_i - sai số BPTB vị trí tàu quan sát thứ i .

Sai số bán kính BPTB vị trí tàu trung bình được xác định bằng công thức:

$$M_{tb} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i}} \quad (3.15)$$

3.2.3. Lập kế hoạch đi biển và kế hoạch xác định vị trí tàu

Việc lập và phê duyệt kế hoạch đi biển cho tàu ngầm phải được tiến hành hết sức chặt chẽ, tỉ mỉ, chu đáo. Sau khi nhận mệnh lệnh về vùng biển hoạt động, chỉ huy tàu ngầm sẽ làm kế hoạch đi biển. Nội dung cơ bản của công tác chuẩn bị hàng hải ban đầu bao gồm

- * Nhận nhiệm vụ và quán triệt ý định cấp trên
- * Lập kế hoạch đi biển trên hải đồ

Để thực hiện tốt công tác chuẩn bị hàng hải cũng như giải quyết đúng nhiệm vụ được trên giao, cần phải nắm vững nhiệm vụ và quán triệt ý định cấp trên. Những điểm cần nắm vững bao gồm:

- Mục đích chuyến đi biển (tuần tiểu, huấn luyện, đến khu đợi cơ...);
 - Khu vực tàu hành trình, những nơi sẽ đến;
 - Thời gian xuất phát, thời gian kết thúc, thời gian hành trình trên biển (đi ban đêm hay đi ban ngày), vận tốc hành trình (theo vận tốc quy định hay tự chọn);
 - Tuyến đi gần bờ hay xa bờ;
 - Đơn tàu hay biên đội, đội hình hành quân;
 - Các thành phần tham gia nhiệm vụ trên tàu;

- Các yêu cầu khác...

Từ những yêu cầu trên, sĩ quan hàng hải cần làm công tác chuẩn bị hàng hải ban đầu gồm những nội dung cơ bản sau:

1- Soạn thảo và trình thuyền trưởng phê duyệt kế hoạch tổng quát chuẩn bị hàng hải cho tàu đi biển của ngành. Kế hoạch này phải được thông qua nghiệp vụ trưởng hàng hải của đơn vị.

2 - Phổ biến quán triệt nhiệm vụ và kế hoạch chuẩn bị.

3 - Chọn hải đồ và các tài liệu hướng dẫn hàng hải, hiệu chỉnh chúng theo các thông báo hàng hải.

4 - Nhận các thông tin về tình hình hàng hải; khí tượng, hải dương; tình hình hoạt động của ta, của địch và tàu thuyền trên biển.

5 - Nghiên cứu và phân tích, đánh giá tình hình hành trình, rút ra thuận lợi và khó khăn của chuyến đi.

6 - Chọn và tính toán đường đi có lợi nhất; lập kế hoạch hành trình trên tổng đồ.

7 - Lập kế hoạch (tác nghiệp sơ bộ) trên hải đồ hành trình, hải đồ cảng vịnh và sơ đồ.

8 - Tính toán, lập Bảng kế hoạch đi biển và các bảng tra cứu cần thiết khác.

9 - Tính toán (khi cần thiết) độ tin cậy bảo đảm an toàn hàng hải dựa trên mệnh lệnh được giao.

10 - Kiểm tra, sửa chữa và hiệu chỉnh các phương tiện kỹ thuật hàng hải trên tàu, xác định lượng hiệu chỉnh của chúng.

Tất cả các công tác trên đây đều phải được tiến hành một cách tỉ mỉ, chi tiết và hoàn thành trước khi tàu đi biển.

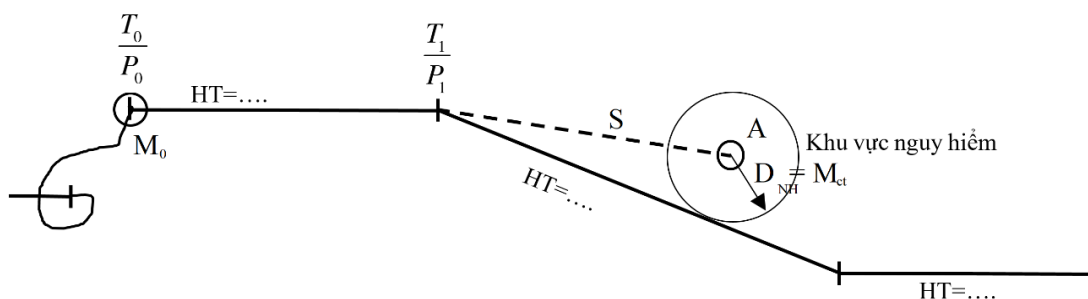
Do đó, từ vị trí lặn đến vị trí chờ đợi làm nhiệm vụ, hành trình qua vùng phức tạp, cần phải xây dựng các đường đẳng trị giới hạn nguy hiểm, lưới các đường đẳng trị; tính toán điểm bắt đầu hạ lệnh đánh lái chuyển hướng; chọn

mục tiêu và xác định các thông số hàng hải của điểm hạ lệnh chuyển hướng; tính đến ảnh hưởng của dòng chảy khi chuyển hướng nhằm mục đích bảo đảm an toàn hàng hải cũng như nâng cao được độ chính xác trong tính đường đi. Bất kỳ tham số phục vụ dẫn đường đo đạc được bằng máy móc hay do thủy thủ tàu ngầm thao tác đều là một giá trị ngẫu nhiên và chỉ với một mức độ tin cậy tương ứng với giá trị thực của nó. Tất cả các sai số đo đạc được chia thành 3 loại:

- Sai số ngẫu nhiên;
- Sai số hệ thống;
- Sai số thô (có thể bỏ qua).

Tất cả sai số ngẫu nhiên thông thường tuân theo quy luật phân phối chuẩn (phân phối Gauss). Có thể dùng sai số bình phương trung bình để đánh giá độ chính xác của phép đo tham số dẫn đường trong xác định vị trí tàu. Xác suất xác định vị trí tàu trong một vòng tròn có bán kính $R = M$ là $0,63 \div 0,68$ ($63 \div 68\%$). Hệ số chính xác xác định vị trí tàu (K_C) đặc trưng cho tốc độ tăng sai số tính toán theo thời gian hành trình.

Trong trường hợp tàu ngầm hành trình trong luồng hẹp, xác suất xác định vị trí tàu phải đạt tới 0.99%. Khi tàu ngầm hành trình ngoài khơi, gần các đường đẳng trị nguy hiểm, cần xác định lại vị trí tàu và tiến hành lựa chọn lại tuyến đường hành trình để đảm bảo tàu ngầm có thể vượt qua chướng ngại. Lúc này, cần phải kẻ các tuyến đi song song với hướng đi của tàu ngầm.



Hình 3.8. Xác định khu vực nguy hiểm và xác suất xác định vị trí tàu

Kế hoạch hành trình của tàu ngầm NCS đề xuất có thể được lập như bảng sau, trong đó ghi rõ các trạng thái của tàu ngầm như đi nổi hay đi ngầm, các vận tốc trong quá trình hành trình tương ứng với các mức vận tốc lớn nhất, kinh tế, trung bình và nhỏ nhất. Ghi chú được sử dụng trong phương pháp xác định vị trí của tàu ngầm, như là theo các mục tiêu địa văn, thiên văn hoặc theo hệ thống vệ tinh dẫn đường (trong trường hợp tàu đi nổi hoặc ở độ sâu kính tiềm vọng), theo hệ thống dẫn đường quán tính (trong trường hợp đi ngầm).

Bảng 3.2. Bảng “KẾ HOẠCH HÀNH TRÌNH”

Số TT	Hướng đi kế hoạch (độ)		Quãng đường (M)	Khoảng thời gian đi theo các vận tốc (M/h)				Thời gian chuyển hướng	Mục tiêu và thông số hàng hải khi chuyển hướng	GHI CHÚ
	Đi nổi	Đi ngầm		V =	V =	V =	V =			

Ngoài ra, sĩ quan hàng hải bắt buộc phải tiến hành lập kế hoạch xác định vị trí tàu. Việc lập kế hoạch xác định vị trí tàu quan sát có thể tiến hành theo các bước sau:

- Xác định sai số cho phép M_0 trên từng đoạn hành trình và thời gian hành trình tương ứng.
- Xác định hệ số độ chính xác tính đường đi K_c .
- Xác định điểm bắt đầu tính toán lập kế hoạch xác định vị trí tàu quan sát và sai số của nó.
- Tính thời gian cho phép cần thiết xác định vị trí tàu quan sát lần thứ nhất t_{cp1} .
- Sau khi đã có t_{cp1} , dựa vào hải đồ chọn các phương án xác định vị trí tàu quan sát nếu có thể và tính sai số bán kính BPTB của chúng.
- Tiếp tục tính thời gian cho phép cần thiết xác định vị trí tàu quan sát lần thứ hai t_{cp2} .

- Sau khi đã có t_{cp2} , dựa vào hải đồ chọn các phương án xác định vị trí tàu quan sát tiếp theo và tính sai số bán kính BPTB của chúng.
- Cứ làm như vậy cho đến cuối tuyến hành trình.
- Lập bảng kế hoạch xác định vị trí tàu quan sát. Bảng này có thể được lập như đề xuất dưới đây:

Bảng 3.3. Bảng “KẾ HOẠCH XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU”

Đoạn hành trình	STT vị trí tàu	Thời gian	Phương pháp chính	Sai số M_o	Phương pháp phụ	Sai số M_o

3.2.4. Huấn luyện khai thác sử dụng tốt các trang thiết bị hàng hải hiện có

Đối với mỗi tàu, các trang thiết bị hàng hải đóng vai trò quan trọng phục vụ công tác dẫn đường cho tàu đi và về đảm bảo an toàn. Do đó, việc huấn luyện sĩ quan và thủy thủ ngành hàng hải trên tàu khai thác sử dụng tốt, bền các trang thiết bị hàng hải được trang bị là yêu cầu tiên quyết. Ngoài việc trang bị đầy đủ các kiến thức về lý thuyết, các kiến thức về sử dụng, bảo quản, sửa chữa, huấn luyện chuyên ngành giúp cán bộ, thủy thủ biết vận dụng sáng tạo, linh hoạt trong các tình huống hoạt động chiến đấu đối với tất cả các trang bị máy móc, dụng cụ, phương tiện thuộc ngành hàng hải trên tàu. Bên cạnh các trang thiết bị hàng hải khác, hệ thống dẫn đường quán tính là một trong những hệ thống quan trọng nhất của ngành hàng hải. Có thể nói, hệ thống dẫn đường quán tính là kim chỉ nam cho tàu ngầm khi hành trình ngầm trên biển. Để hệ thống hoạt động tốt, cần thường xuyên kiểm tra, bảo quản máy theo quy định của nhà sản xuất, đồng thời tuân thủ quy trình khi khởi động máy làm việc. Đối với con quay cân nhập chính xác vĩ độ tàu làm việc, đối với gia tốc kế cân nhập được độ sâu của tàu làm việc. Việc xác định được hướng và vận tốc dòng để nhập bổ

sung vào hệ thống dẫn đường quán tính cũng giúp hệ thống hoạt động chính xác hơn.

Không dùng tốc độ kế tương đối để xác định vị trí tàu, vì tốc độ kế tương đối chỉ đo được chuyển động tương đối của tàu ngầm so với nước mà không đo được chuyển động tuyệt đối của tàu ngầm so với đáy biển như tốc độ kế tuyệt đối.

Liên tục tác nghiệp xác định vị trí tàu trên hải đồ giấy để theo dõi vết đi của tàu.

Các máy móc hàng hải được trang bị phải luôn được bảo quản bảo dưỡng để sẵn sàng ở chế độ tốt nhất.

Thường xuyên huấn luyện bộ đội theo các tình huống khác nhau trong thời gian tại bến cũng như đi biển, sát thực tế, luyện tập trên tuyến đường hành quân ngầm dưới biển.

Cán bộ chỉ huy nâng cao trách nhiệm, tăng cường kiểm tra giám sát đánh giá kết quả huấn luyện, đưa vào nhận xét đánh giá cuối năm.

Để đánh giá kết quả huấn luyện ngành phải căn cứ vào các yêu cầu sau

- Mức độ thực hiện các biện pháp đã đề ra cho từng giai đoạn huấn luyện.
- Các động tác cá nhân phải đạt được chỉ tiêu đề ra.
- Các trang bị máy móc, phương tiện thuộc phạm vi được phân công.

Phải thực hiện đúng qui tắc và điều lệ qui định.

- Chấp hành tốt kỷ luật, tổ chức sắp xếp quản lý bảo đảm đúng điều lệnh điều lệ.

** Đối với sĩ quan, tiêu chí đánh giá về huấn luyện phải đạt được*

- Nắm vững các qui tắc, chỉ thị mệnh lệnh hiện hành về sử dụng trang bị kỹ thuật, máy móc trong huấn luyện cũng như trong chiến đấu.

- Hiểu biết cấu tạo qui tắc sử dụng, bảo quản các trang bị máy móc hàng hải. Sử dụng được các trang bị kỹ thuật, máy móc hàng hải thuộc quyền khi tàu

hành trình, biết kiểm tra sự hoạt động của nó, thực hiện đúng các chỉ tiêu qui định.

- Hiểu biết về tổ chức và phương pháp huấn luyện của ngành hàng hải trong từng giai đoạn huấn luyện;

- Biết chỉ huy, hướng dẫn chuẩn bị các trang bị máy móc hàng hải thuộc phạm vi phụ trách trong kiểm tra định kỳ và đột xuất;

- Thao tác được các trang bị máy móc do mình phụ trách;

- Biết chỉ huy thực hiện động tác ban đầu, bảo đảm sức sống tàu và các phương tiện kỹ thuật;

- Biết tổ chức huấn luyện, tiến hành đúng và có phương pháp tốt cho các buổi lên lớp, luyện tập, thao diễn với thủy thủ thuộc quyền;

- Huấn luyện các bộ phận thuộc quyền thực hành trực canh, trực ban.

** Đối với thủy thủ ngành hàng hải, phải đạt các tiêu chí sau*

- Hiểu biết về cấu tạo, nguyên lý cơ bản qui tắc sử dụng vũ khí trang bị do mình phụ trách;

- Thực hành bảo đảm các chỉ tiêu về thao tác sử dụng các trang bị máy móc hàng hải thuộc phạm vi được phân công;

- Biết thực hiện đúng qui tắc an toàn và các biện pháp ngăn ngừa nguy hiểm trong sử dụng trang bị máy móc;

- Biết giữ gìn, bảo quản vũ khí trang bị, biết chuẩn bị chiến đấu, chuẩn bị đi biển, kiểm tra định kỳ và đột xuất, ghi chép đầy đủ nhật ký làm việc của các trang thiết bị hàng hải được phân công phụ trách;

- Độc lập làm tốt trực nhật, trực canh khi tàu đi biển và khi tại bến;

- Thực hiện chính xác động tác ban đầu bảo đảm sức sống tàu và phương tiện kỹ thuật ở vị trí của mình;

- Có khả năng độc lập điều khiển, bảo dưỡng các trang bị máy móc thuộc vị trí của mình.

Trên tàu hiện nay có 2 hệ thống dẫn đường quán tính. Cần ghi chép lại tư liệu so sánh giữa vị trí tàu quan trắc được và vị trí do các hệ thống dẫn đường quán tính trên tàu cung cấp của chuyến đi bằng cách lập bảng với các nội dung như sau:

Bảng 3.4. Bảng ghi chép tư liệu chuyến đi

....., ngày.....tháng.....năm.....

STT	Thời gian quan trắc		VTT quan trắc		Hệ thống DDQT 1			Hệ thống DDQT 2		
					Vị trí		Độ sai Hs - Ci	Vị trí		Độ sai Hs - Ci
	giờ	phút	φ	λ	φ	λ		φ	λ	

Trong bảng này, sĩ quan hàng hải cần ghi chép đầy đủ các nội dung về thời gian khi xác định vị trí tàu bằng phương pháp quan trắc và vị trí do các hệ thống dẫn đường quán tính trên tàu cung cấp, từ đó xác định độ sai lệch giữa các vị trí này theo hướng sai lệch (Hs – độ) và độ sai lệch (Ci – hải lý).

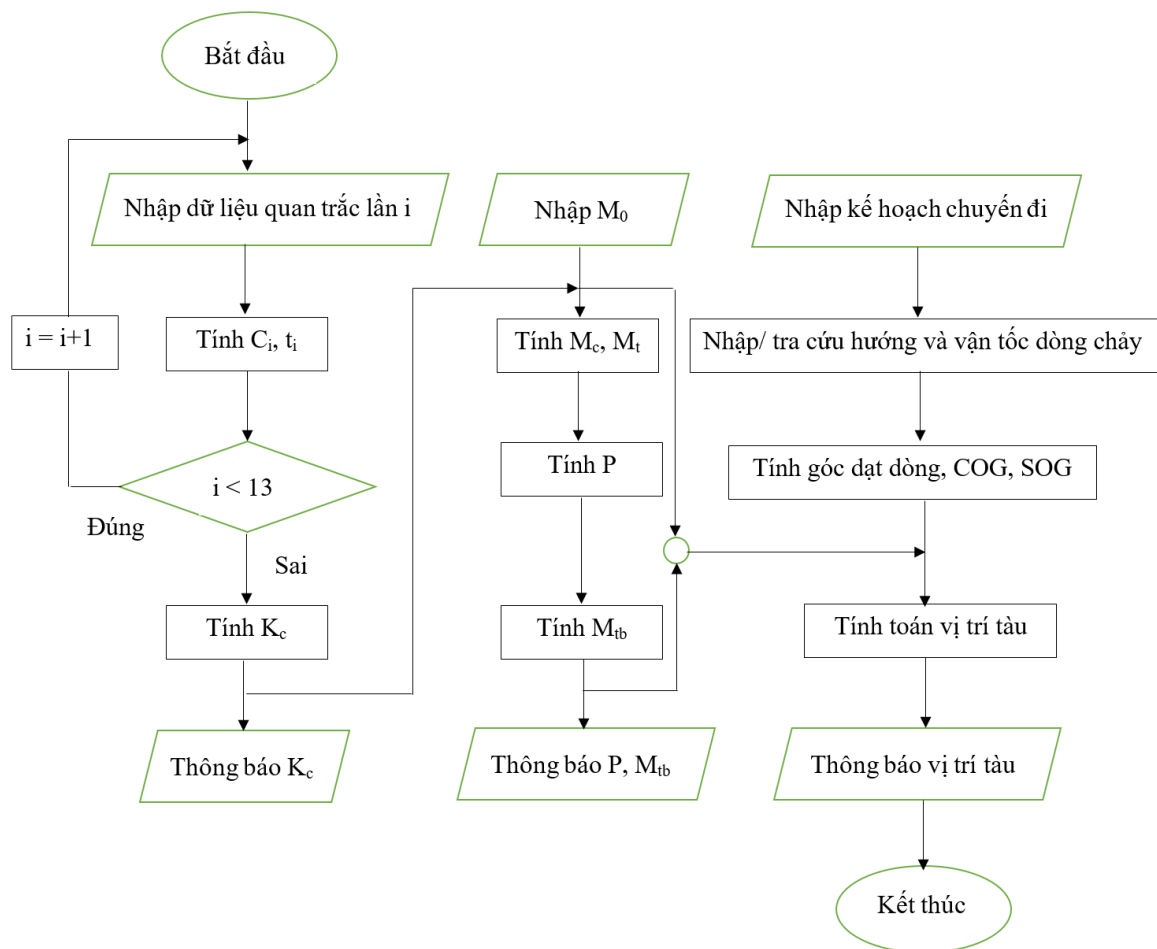
Bảng ghi chép tư liệu chuyến đi này thuộc tài liệu tối mật và là một trong những tư liệu tham khảo quan trọng cho sĩ quan và thủy thủ tàu trong những chuyến biển tiếp theo.

3.3. Giải pháp ứng dụng công nghệ thông tin xây dựng phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu”

3.3.1. Lưu đồ thuật toán

Phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu” được NCS viết dựa trên các công thức đã cung cấp chương 2 và chương 3 nhằm đánh giá độ tin cậy của thuật toán và độ chính xác trong xác định vị trí tàu dựa trên các thông tin tham khảo đã có và thông tin từ hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp.

Phần mềm có sử dụng cơ sở dữ liệu nhỏ về dòng chảy được NCS thiết lập dựa trên sự tham khảo các tài liệu về atlas dòng chảy[13], [54]. Lưu đồ thuật toán của phần mềm này được trình bày dưới đây:



Hình 3.9. Lưu đồ thuật toán phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu”

3.3.2. Thiết kế chương trình

Phần mềm được viết bằng ngôn ngữ Visual Basic, đã được tác giả gửi đi thử nghiệm ở một số đơn vị có hệ thống dẫn đường quán tính trong Quân chủng Hải quân. Phần mềm gồm có 3 phần là tính toán hệ số độ chính xác K_c , Tính toán xác suất xác định vị trí tàu theo sai số bình phương trung bình cho trước và hệ số độ chính xác K_c của khu vực biển tàu hoạt động, phần 3 là xử lý thông tin vị trí tàu từ các thông số cho trước, kết hợp thông tin vị trí từ hệ thống dẫn đường quán tính, sau đó so sánh với vị trí có được do hệ thống vệ tinh hàng hải cung cấp, từ đó đánh giá được hiệu quả phần mềm. Phần mềm đảm bảo tính thẩm mỹ, nhỏ gọn, dễ cài đặt trên các máy tính có sẵn trên tàu mà không cần thêm thiết bị phụ trợ nào.

3.3.3. Các chức năng của chương trình

3.3.3.1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc

Công cụ này tính toán hệ số độ chính xác Kc đối với việc xác định vị trí tàu bằng hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu. Khi có vị trí từ hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống vệ tinh, người sử dụng nhập các thông số trên vào phần mềm, thời gian bắt đầu và thời gian kết thúc tuyến đi.

t1				t2			
Giờ	Phút	Vĩ độ	Kinh độ	Giờ	Phút	Vĩ độ	Kinh độ
0	0.0	12	Độ 14.0822	6	6.0	12	Độ 13.2476
6	6.0	12	Độ 9.5989	14	14.4	12	Độ 10.2798
14	14.4	12	Độ 6.5693	19	18.9	12	Độ 7.2373
19	18.9	12	Độ 7.0373	22	22.2	12	Độ 6.7177
22	22.2	12	Độ 3.3383	25	25.2	12	Độ 4.3426
25	25.2	12	Độ 1.4474	34	33.8	12	Độ 1.6701
34	33.8	11	Độ 51.8672	38	37.5	11	Độ 52.3129
38	37.5	11	Độ 40.5137	40	40.0	11	Độ 39.9771
40	40.0	11	Độ 35.0513	47	46.8	11	Độ 37.4493
47	46.8	11	Độ 35.5757	53	53.1	11	Độ 34.9212
53	53.1	11	Độ 35.7455	57	57.2	11	Độ 32.7645
57	57.2	11	Độ 34.3635	64	59.9	11	Độ 35.8879
64	59.9	11	Độ 45.3117	72	59.9	11	Độ 44.6598
0	0.0	0	Độ 0.0000	0	0.0	0	Độ 0.0000
0	0.0	0	Độ 0.0000	0	0.0	0	Độ 0.0000

Tính Kc = -

Hình 3.10. Màn hình nhập dữ liệu thông tin vị trí tàu để tính Kc

Sau tối thiểu 13 lần xác định vị trí như vậy, phần mềm sẽ tính toán đưa ra hệ số độ chính xác Kc theo công thức 3.8. Trong ví dụ trên, phần mềm sẽ đưa ra kết quả là $Kc = 0.77$.

Hệ số độ chính xác Kc có thể được áp dụng trong tính sai số xác định độ chính xác của vị trí tàu theo khu biển hoạt động, làm cơ sở đánh giá độ chính xác vị trí tàu nhận được, từ đó người chỉ huy tàu có thể ra những quyết định tiếp theo nhằm bảo đảm an toàn hàng hải cho tàu. Trong trường hợp thời chiến, không sử dụng được hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu, ngoài vị trí tàu được

cung cấp bởi hệ thống dẫn đường quán tính, vị trí tàu quan trắc cũng có thể được thực hiện. Nếu tàu đi nổi, có thể dùng các phương pháp xác định vị trí tàu quan trắc dùng mục tiêu địa văn, phương pháp thiên văn. Khi tàu hành trình ngầm, có thể dùng phương pháp xác định vị trí tàu theo độ sâu đáy biển đã biết (trong điều kiện có dữ liệu hải đồ chính xác khu vực biển hoạt động).

ĐĂNG TIN VỊ TRÍ TÀU

Tính xác suất VTT Xử lý VTT

t1				VỊ TRÍ THEO HỆ THỐNG QUÁN TÍNH				t2				VỊ TRÍ THEO HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ VỆ TINH					
Giờ	Phút	Vĩ độ	Kinh độ	Giờ	Phút	Vĩ độ	Kinh độ	Giờ	Phút	Vĩ độ	Kinh độ	Giờ	Phút	Vĩ độ	Kinh độ		
0	0.0	12	Độ 14.0822	110	Độ 5.1562	6	6.0	12	Độ 13.2476	110	Độ 3.5241	6	6.0	12	Độ 13.2476	110	Độ 3.5241
6	6.0	12	Độ 9.5989	110	Độ 29.0673	14	14.4	12	Độ 10.2798	110	Độ 26.5243	14	14.4	12	Độ 10.2798	110	Độ 26.5243
14	14.4	12	Độ 6.5693	111	Độ 7.1864	19	18.9	12	Độ 7.2373	111	Độ 7.2870	19	18.9	12	Độ 7.2373	111	Độ 7.2870
19	18.9	12	Độ 7.0373	111	Độ 22.2030	22	22.2	12	Độ 6.7177	111	Độ 21.5578	22	22.2	12	Độ 6.7177	111	Độ 21.5578
22	22.2	12	Độ 3.3383	111	Độ 33.8170	25	25.2	12	Độ 4.3426	111	Độ 34.1585	25	25.2	12	Độ 4.3426	111	Độ 34.1585
25	25.2	12	Độ 1.4474	111	Độ 43.9887	34	33.8	12	Độ 1.6701	111	Độ 44.8616	34	33.8	12	Độ 1.6701	111	Độ 44.8616
34	33.8	11	Độ 51.8672	112	Độ 20.9560	38	37.5	11	Độ 52.3129	112	Độ 21.8289	38	37.5	11	Độ 52.3129	112	Độ 21.8289
38	37.5	11	Độ 40.5137	112	Độ 15.3957	40	40.0	11	Độ 39.9771	112	Độ 17.1226	40	40.0	11	Độ 39.9771	112	Độ 17.1226
40	40.0	11	Độ 35.0513	112	Độ 8.9625	47	46.8	11	Độ 37.4493	112	Độ 8.9245	47	46.8	11	Độ 37.4493	112	Độ 8.9245
47	46.8	11	Độ 35.5757	111	Độ 27.2509	53	53.1	11	Độ 34.9212	111	Độ 25.8846	53	53.1	11	Độ 34.9212	111	Độ 25.8846
53	53.1	11	Độ 35.7455	110	Độ 45.1502	57	57.2	11	Độ 32.7645	110	Độ 44.8182	57	57.2	11	Độ 32.7645	110	Độ 44.8182
57	57.2	11	Độ 34.3635	110	Độ 34.5326	64	59.9	11	Độ 35.8879	110	Độ 34.4188	64	59.9	11	Độ 35.8879	110	Độ 34.4188
64	59.9	11	Độ 45.3117	110	Độ 1.0571	72	59.9	11	Độ 44.6598	109	Độ 59.1215	72	59.9	11	Độ 44.6598	109	Độ 59.1215
0	0.0	0	Độ 0.0000	0	Độ 0.0000	0	0.0	0	Độ 0.0000	0	Độ 0.0000	0	0.0	0	Độ 0.0000	0	Độ 0.0000
0	0.0	0	Độ 0.0000	0	Độ 0.0000	0	0.0	0	Độ 0.0000	0	Độ 0.0000	0	0.0	0	Độ 0.0000	0	Độ 0.0000

Tính Kc = 0.77

Hình 3.11. Kết quả sau khi nhấn nút Tính

Ưu điểm của phần mềm là người sử dụng chỉ cần nhập vào tọa độ của vị trí được cung cấp theo hệ thống dẫn đường quán tính và của hệ thống vệ tinh dẫn đường, từ đó phần mềm sẽ tính ra được độ sai C_i đã được giải thích ở trên để đưa vào công thức 3.8. Sử dụng phần mềm tăng độ chính xác trong xác định độ sai, tăng thời gian tính toán vì không cần phải tác nghiệp và đo đạc tìm độ sai trên hải đồ.

3.3.3.2. Tính toán xác suất xác định vị trí tàu

Để tính toán được xác suất xác định vị trí tàu, các thông số cần nhập vào là Hệ số độ chính xác K_c , sai số cho trước được quy định bởi người chỉ huy khi ra mệnh lệnh đi biển. Sai số ban đầu M_0 có thể được lấy bằng 0 nếu thời điểm

bắt đầu xác định sai số vị trí tàu được tính theo vị trí nhận từ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu. Tiếp theo người sử dụng nhập vào thời điểm tính toán theo đồng hồ tàu. Thời điểm kết thúc tính cũng được nhập như trên.

Hình 3.12. Giao diện nhập dữ liệu tính toán

Phần mềm sẽ tính ra tổng thời gian chạy tàu theo giờ, từ đó tính toán ra M_c theo công thức 3.7, tính M_t theo công thức 3.9. Cuối cùng phần mềm sẽ tính toán ra sai số vị trí tàu ứng với xác suất cho trước theo công thức 3.10. Xác suất này được sử dụng khi tàu hành trình gần các chương ngại nguy hiểm, việc nắm được xác suất này giúp chỉ huy tàu có quyết định điều khiển tàu một cách hợp lý, đảm bảo an toàn cho tàu.

XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU

Tính hệ số Kc Tính xác suất VTT Xử lý VTT

Xác suất vị trí tàu theo sai số bình phương trung bình cho trước

Kc = 0.77

Sai số cho trước Mct = 1

Sai số ban đầu Mo = 0

Thời gian chạy tàu:

	Giờ	Phút	Giây
Bắt đầu tính: t1 =	10	12	0
Kết thúc tính: t2 =	11	14	0

Tính

Tổng thời gian chạy tàu (giờ): t = 01.0333

Mc = 0.5505

Mt = 0.5505

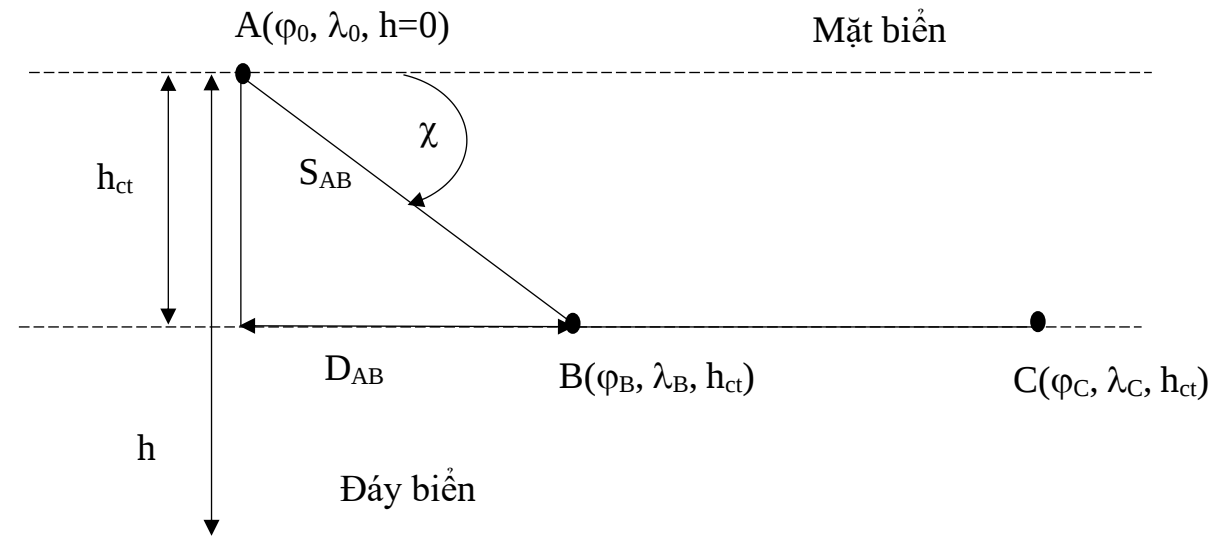
Sai số VTT ứng với xác suất cho trước: P = 0.8374

Hình 3.13. Xác suất xác định VTT ứng với sai số cho trước

3.3.3.3. Xử lý thông tin vị trí tàu

a) Phát biểu bài toán

Giả sử rằng sau khi cập nhật vị trí đầu từ hệ thống vệ tinh hàng hải có tọa độ $A(\varphi_0, \lambda_0, h=0)$, tại thời điểm t_1 tàu ngầm “HP” bắt đầu lặn xuống độ sâu công tác h_{ct} với góc lặn biển χ . Lúc này góc lặn biển $\chi < 0$.



Hình 3.14. Quá trình lặn theo góc lặn biển đến độ sâu công tác và hành quân tàu ngầm tại độ sâu công tác

Công thức tính quãng đường tàu ngầm di chuyển từ vị trí bắt đầu lặn đến độ sâu công tác:

$$S_{AB} = \frac{h_{ct}}{\sin \chi} \quad (3.16)$$

Khoảng cách từ điểm bắt đầu lặn A đến điểm đạt độ sâu công tác được tính:

$$D_{AB} = S_{AB} \times \cos \chi \quad (3.17)$$

Sau khi đạt độ sâu công tác tại tọa độ B($\varphi_B, \lambda_B, h_{ct}$), tàu bắt đầu hành trình theo hướng đi kế hoạch với vận tốc khai thác V_0 theo chế độ điện áp quy tới tọa độ C($\varphi_C, \lambda_C, h_{ct}$). Lái tàu theo la bàn con quay, sử dụng tốc độ kế để đo tốc độ, dòng chảy ngầm là dòng chảy thẳng không xoắn, có vận tốc là V_d và hướng dòng là H_d . Các yếu tố trên được xác định bằng các dụng cụ máy móc hàng hải, các bảng tính và các tài liệu khác phục vụ điều khiển tàu ngầm.

Sau thời gian hành trình $t_2 - t_1$, tàu đến vị trí mới φ_1, λ_1 . Vị trí tàu được hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp là $(\varphi_{INS}, \lambda_{INS})$ – vị trí dự tính tại thời điểm tính toán.

Phần mềm cần tính toán ra vị trí tàu dựa trên các thông số đã cho, chính xác hơn vị trí do hệ thống dẫn đường quán tính cung cấp (gần với vị trí của GPS nhất).

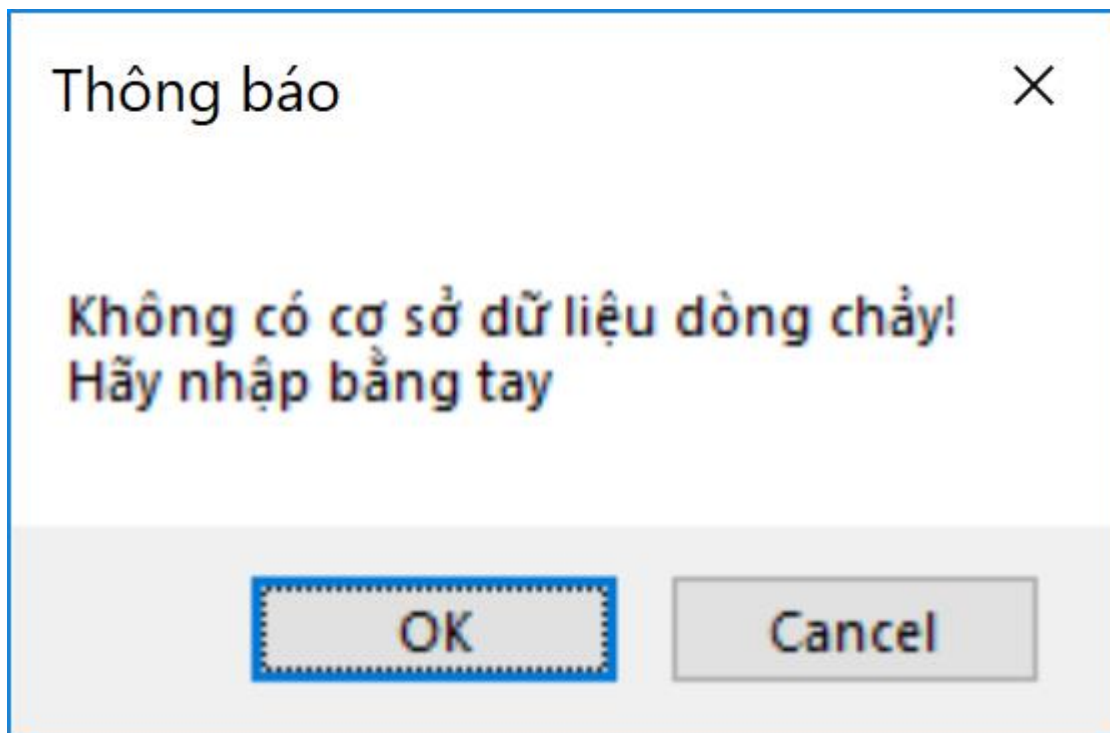
b) Giải quyết bài toán

Giả sử rằng tàu ngầm “HP” sẽ lặn thẳng đứng xuống độ sâu công tác, hành trình là chính xác theo hướng từ điểm A (φ_0, λ_0), đến điểm B, nếu không có các ảnh hưởng khác tác động mà chỉ do sai số của hệ thống dẫn đường quán tính (1 hải lý/ 24 giờ), theo thời gian hành trình, vị trí thật của tàu ngầm tại thời điểm đến điểm B nằm trong hình tròn sai số có bán kính:

$$(t_2 - t_1) \times 1 \text{ hải lý/ 24 giờ.}$$

Sau khi cập nhật các thông số về vị trí tàu tại thời điểm bắt đầu đi ngầm như vĩ độ, kinh độ, thời gian bắt đầu đi ngầm, hướng đi theo kế hoạch hành quân (HTT_{β}), vận tốc theo tốc độ kế (V_0), độ sâu công tác. Hướng dòng (H_d) và vận tốc dòng (V_d) được phần mềm so sánh với cơ sở dữ liệu dòng chảy, trong đó có các tầng độ sâu 0 - 100, 100 - 200, 200 - 300, khu vực ghi nhận hướng dòng và vận tốc dòng, tháng hoạt động trong năm. Người sử dụng nhấn nút “Xuất từ CSDL” để phần mềm cung cấp H_d , V_d tự động, nếu trong cơ sở dữ liệu chưa có H_d , V_d , phần mềm sẽ đưa ra hộp thoại yêu cầu người sử dụng nhập dữ liệu dòng chảy thủ công.

Hình 3.15. Nhận dữ liệu dòng chảy



Hình 3.16. Thông báo nhận dữ liệu dòng chảy thủ công

XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU

Tính hệ số Kc Tính xác suất VTT Xử lý VTT

Thông số theo kế hoạch

Vị trí bắt đầu đi ngầm

Vĩ độ: 12.000° Đ 13.2476° Đ Phút: ☒ N ☐ S

Kinh độ: 110.000° Đ 3.5240° Đ Phút: ☒ E ☐ W

Thời gian bắt đầu đi ngầm

Giờ: 5 Phút: 5 Giây: 00

Ngày: 05/03/2019

Hướng đi kế hoạch: 97.0 (độ)

Sai số LBCQ: 0.5 (độ)

Vận tốc theo tốc độ kế: 4.00 (H/h)

Độ sâu tàu hoạt động: 50.0 (m)

Thông tin dòng chảy

Hướng dòng: 209.0 (độ)

Vận tốc dòng: 1.9 (H/h)

Xuất từ CSDL Nhập thủ công

Thông tin đề dòng

Góc đặt dòng: 26.1 (độ)

Hướng đi LBCQ: 70.4 (độ)

Vận tốc đặt dòng: 2.86 (H/h)

Thông tin vị trí tàu STOP

Hình 3.17. Các số liệu đặt dòng sau khi tính toán

Sau khi có hướng dòng và vận tốc dòng, phần mềm tự tính toán góc đặt dòng β và vận tốc đặt dòng V_β theo công thức 2.27, đề xuất hướng đi la bàn con quay có tính đến dòng chảy và sai số la bàn con quay. Sĩ quan chỉ huy tàu có thể tham khảo và ra lệnh đặt hướng lái cho thủy thủ lái để lái tàu theo la bàn

con quay, vết đi của tàu nằm đúng trên hướng đi kế hoạch, từ đó giảm sai số trong sai lệch hướng đi.

Như vậy, mặc dù có dòng chảy ảnh hưởng nhưng đường dịch chuyển vẫn nằm trên hướng đi kế hoạch, ổn định được hướng đi giúp giảm sai số của hệ thống dẫn đường quán tính và tăng độ chính xác trong xác định vị trí tàu.

Người sử dụng chỉ cần nhấn vào nút “Thông tin vị trí tàu”, phần mềm sẽ tính toán vị trí tàu liên tục bằng cách tính quãng đường tàu đi được theo thời gian có tính đến ảnh hưởng của dòng và xuất trên màn hình để người điều khiển tàu tham khảo song song với hệ thống dẫn đường quán tính.

XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU

Tính hệ số Kc Tính xác suất VTT Xử lý VTT

Thông số theo kế hoạch

Vị trí bắt đầu đi ngầm

Vĩ độ: 12.0000 Độ: 13.2476 Phút: ☐ N ☐ S

Kinh độ: 110.0000 Độ: 3.5240 Phút: ☐ E ☐ W

Hướng đi kế hoạch: 97.00 (độ)

Vận tốc theo tốc độ kế: 4.00 (Hl/h)

Thời gian bắt đầu đi ngầm

Giờ: 5 Phút: 5 Giây: 00

Ngày: 05/03/2019

Sai số LBCQ: 0.5 (độ)

Độ sâu tàu hoạt động: 50.0 (m)

Thông tin dòng chảy

Hướng dòng: 209.0 (độ)

Vận tốc dòng: 1.9 (Hl/h)

Thông tin đề dòng

Góc đặt dòng: 26.1 (độ)

Hướng đi LBCQ: 70.4 (độ)

Vận tốc đặt dòng: 2.86 (Hl/h)

Vị trí tàu

Thời gian: 05 : 05 : 03

Ngày: 05/03/2019

Vĩ độ: 12 13.2473 Bắc

Kinh độ: 110 03.5264 Đông

Thông tin vị trí tàu **STOP**

Xuất tử CSDL **Nhập thủ công**

Hình 3.18. Thông tin vị trí tàu hiển thị

Muốn dừng chương trình chỉ cần nhấn nút “STOP”, vị trí tàu sẽ đứng yên. Nếu chạy phần mềm liên tục trong quá trình hành trình, thời gian sẽ liên tục cập nhật.

* Một số lưu ý trong sử dụng phần mềm:

- Phần mềm hiện nay do cơ sở dữ liệu dòng chảy còn thiếu nên nhiều khu vực biển mà tàu hoạt động sẽ phải nhập bằng tay.

- Trong phần mềm, NCS đã bỏ qua quãng đường di chuyển chéo nếu tàu ngầm lặn xuống. Ví dụ như tàu ngầm lặn xuống với góc lặn biển là -20^0 , vận tốc 4M/h, để đạt được độ sâu làm việc 50m, khoảng cách giữa điểm bắt đầu lặn A và điểm B tàu đạt độ sâu công tác là $\sim 137\text{m}$.

3.3.4. Đánh giá kết quả sử dụng phần mềm “Xử lý thông tin vị trí tàu”

NCS đã đề nghị cài đặt phần mềm thử nghiệm trên các tàu có hệ thống dẫn đường quán tính ở các đơn vị trực thuộc Quân chủng Hải quân. Sau khi được sự cho phép của Chỉ huy đơn vị, tác giả giới thiệu cách sử dụng phần mềm đến Trưởng ngành hàng hải và Chỉ huy tàu, khi tàu đi biển trong điều kiện thuận lợi sẽ thử nghiệm bằng cách ngắt kết nối đồng bộ giữa hệ thống định vị vệ tinh và hệ thống quán tính, sau thời gian nhất định so sánh vị trí xác định giữa 2 hệ thống, từ đó đánh giá độ chính xác KC của khu biển. Do quy định nên NCS không được xuống tàu trực tiếp đi biển để thử nghiệm phần mềm, mà chỉ thông qua khảo sát của các Trưởng ngành Hàng hải và Chỉ huy tàu. Để đảm bảo bí mật trang bị phương tiện nên NCS không đưa vào Luận án các đánh giá của “Phiếu đánh giá sản phẩm phần mềm”, trong đó có ghi họ và tên, cấp bậc, chức vụ (chức vụ_đơn vị), trình độ chuyên môn của người làm khảo sát. Sau thời gian thử nghiệm, các tàu sẽ nộp lại kết quả cho Chỉ huy, từ đó Chỉ huy có căn cứ để xác nhận phần mềm cho NCS. Mẫu phiếu xác nhận và phiếu đánh giá được tác giả trình bày ở phụ lục 1

Kết quả khảo sát như sau:

Số đơn vị gửi đi khảo sát: 8

Số đơn vị phản hồi: 8

Số đơn vị chưa phản hồi: 0

- Đánh giá phần mềm dựa trên kết quả thu được từ 19 tàu thuộc 8 đơn vị

A. Tính thẩm mỹ, thuận tiện của phần mềm

Câu hỏi	Trả lời				
	Rất đồng ý	Đồng ý	Bình thường	Không đồng ý	Phản đối
(Điểm)	5	4	3	2	1
Phần mềm ứng dụng được thiết kế đẹp		10	9		
Thiết kế có phù hợp cho đơn vị sử dụng		10	9		
Cách thức sử dụng thuận tiện		13	4	2	
Nhập liệu có dễ dàng		16	3		
Đơn giản trong huấn luyện		9	10		
Dữ liệu đầu ra đầy đủ (đa dạng)		5	8	6	

B. Độ chính xác, tin cậy của kết quả (qua sử dụng phần mềm)

* Tính hệ số Kc

Kc =	0.3	0.33	0.4	0.47	0.62	0.77
Số tàu	4	3	3	3	5	1

* Tính toán M_t

Thời gian hành trình (giờ)	2	3	3.2	4	4.6	5	5.3
Kc	M _t (hải lý)						
0.3	0.42	0.46	0.54		0.64		
0.33		0.57	0.59			0.74	
0.4		0.69					0.92
0.47	0.66	0.74		0.94		1.05	
0.62	0.88		1.11	1.24	1.33	1.21	
0.77				1.54			

* Bảng so sánh về độ lệch C_i:

Thời gian hành trình (giờ)	C _i (hải lý)		
2	0.2	0.24	0.24
3	0.25	0.29	0.31
3.2	0.34	0.38	0.4
4	0.53	0.55	
4.6	0.5	0.55	0.6
5	0.76	0.8	
5.3	0.81	0.9	1

Tổng hợp chung:

Câu hỏi	Trả lời				
	Rất đồng ý	Đồng ý	Bình thường	Không đồng ý	Phản đối
(Điểm)	5	4	3	2	1
Kết quả tính toán K_c chính xác	19	0	0	0	0
Kết quả tính toán M_t chính xác	19	0	0	0	0
Kết quả tính toán vị trí tàu chính xác	1	8	6	4	0
Tham số và dữ liệu nhập có độ tin cậy cao	1	9	9	0	0
Dữ liệu dòng chảy đầy đủ	0	0	0	19	0
Thời gian tính toán nhanh	19	0	0	0	0

Một số góp ý thêm:

- Tác giả cần bổ sung về dữ liệu dòng chảy, nghiên cứu để tự động hóa hoàn toàn quá trình nhập liệu về vị trí để tránh các sai sót trong quá trình nhập tay gây ra;

- Cần bổ sung thêm một số chức năng tính toán về các bài toán hàng hải khác;

- Cập nhật nhiều cơ sở dữ liệu về dòng chảy hơn.

Số đơn vị xác nhận phần mềm đạt yêu cầu dựa trên 3 tiêu chí: 8

Tỷ lệ phản hồi/ đạt yêu cầu: $8/8 = 100\%$

Nhận xét:

Qua thử nghiệm tại các đơn vị, độ chính xác K_c tính toán phân bố trong dải từ 0.3 đến 0.77.

Các đơn vị thường xác định vị trí tàu sau khoảng thời gian hành trình từ 2 giờ trở lên, chứng tỏ khu vực đi biển trong đợt thử nghiệm ít có chướng ngại vật nguy hiểm không cần phải xác định vị trí tàu với thời gian nhỏ hơn 2 giờ. Độ sai Ci phân bố trong dải từ 0.2 với xác định vị trí tàu quan trắc sau 2 giờ và lớn nhất lên đến 1 hải lý sau 5.3 giờ hành quân. Điều này chứng tỏ sai số trong xác định vị trí tàu tích lũy theo thời gian, và cho thấy cần phải có phương án xác định vị trí tàu quan trắc ở thời điểm nhỏ hơn 2 giờ nhằm đảm bảo an toàn hàng hải và nâng cao độ chính xác của tính đường đi.

Điều này cũng chứng tỏ, nếu có dữ liệu về dòng chảy chính xác, phần mềm sẽ đạt yêu cầu về độ chính xác. Bước đầu phần mềm cũng tạm thời đạt yêu cầu về tính thẩm mỹ và nhỏ gọn, dễ cài đặt, sử dụng, được các đơn vị đánh giá đạt yêu cầu và có thể áp dụng cho các tàu trong đi biển.

3.4. Kết luận chương 3

Trong chương 3, NCS đã đề xuất một số giải pháp kỹ thuật cũng như giải pháp huấn luyện nhằm nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm khi hành trình ngầm không được cập nhật vị trí từ hệ thống GNSS mà vẫn đảm bảo độ chính xác theo nhiệm vụ cho tàu ngầm.

Đồng thời, tác giả đã trình bày một cách chi tiết về phương pháp xây dựng phần mềm xử lý thông tin vị trí tàu, bao gồm tính toán hệ số độ chính xác trong xác định vị trí tàu Kc, tính toán xác suất xác định vị trí theo sai số cho trước và xử lý thông tin vị trí tàu. Kết quả thử nghiệm tại các đơn vị cho thấy phần mềm đạt yêu cầu về độ chính xác, có thể áp dụng trong đi biển cho các tàu thuộc các đơn vị trong Quân chủng. Tuy nhiên, cần phải cập nhật nhiều hơn về dữ liệu dòng chảy, tuy nhiên trong phạm vi nghiên cứu của mình, NCS chỉ xây dựng và đề xuất định dạng cần có của cơ sở dữ liệu dòng chảy phục vụ cho dẫn đường tàu ngầm, NCS không thể và không có đủ kinh phí để xây dựng hoàn chỉnh cơ sở dữ liệu về dòng chảy trong toàn khu vực Biển Đông.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Qua quá trình nghiên cứu thực trạng về nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm trong khu vực Biển Đông, luận án đã đạt được các kết quả sau:

- Hệ thống hóa và làm rõ thực trạng nghiên cứu về dẫn đường ngầm trên thế giới và Việt Nam, nghiên cứu các phương trình chuyển động của tàu ngầm ở các trạng thái khác nhau, nghiên cứu về dòng chảy khu vực Biển Đông ảnh hưởng đến độ chính xác dẫn đường tàu ngầm. Nghiên cứu làm rõ các yếu tố ảnh hưởng đến dẫn đường tàu ngầm trong khu vực Biển Đông

- Nghiên cứu và làm rõ cơ sở lý luận của hệ thống dẫn đường quán tính, là hệ thống chính được sử dụng để dẫn đường cho tàu ngầm trong mọi điều kiện, kể cả trong huấn luyện thời bình và thời chiến, mô phỏng hoạt động của một hệ thống dẫn đường quán tính, qua đó có thể kết luận rằng, hệ thống dẫn đường quán tính tuy hoạt động tự trị, không cần nguồn thông tin tham khảo bên ngoài, nhưng khi được kết hợp hoặc hỗ trợ thêm nhiều thông tin đưa vào cho hệ thống thì hệ thống hoạt động sẽ chính xác hơn;

- Dựa trên tình hình thực tế nghiên cứu đề xuất các nhóm giải pháp về kỹ thuật, trong đó đã nghiên cứu và tính toán lý thuyết cho mô hình trạm định vị thủy âm ngầm nhằm xác định vị trí tàu ngầm, đề xuất các thông tin cần có của hải đồ chuyên dụng dùng cho tàu ngầm cũng như phương án xây dựng và sử dụng hệ thống quản lý hành trình trên tàu;

- Đưa ra các giải pháp huấn luyện cho thủy thủ tàu ngầm nhằm nâng cao kỹ năng xử lý thông tin vị trí tàu, kỹ năng lập kế hoạch chuyển đi nhằm nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm khi hành trình ngầm không được cập nhật vị trí từ hệ thống GNSS mà vẫn đảm bảo độ chính xác chấp nhận được theo nhiệm vụ cho tàu ngầm;

- Nghiên cứu xây dựng phần mềm xử lý thông tin vị trí tàu phục vụ cho dẫn đường đối với các tàu có trang bị hệ thống dẫn đường quán tính trong khu vực Biển Đông.

2. Kiến nghị

Trên cơ sở nghiên cứu của Luận án, NCS xin kiến nghị với cấp trên một số nội dung sau:

- Đầu tư xây dựng các trạm phát thủy âm ngầm nhằm nâng cao độ chính xác trong xác định vị trí tàu ngầm (có thể nghiên cứu học hỏi từ hệ thống của Nga và Mỹ);

- Đầu tư đẩy mạnh hơn nữa việc thu thập, đo đạc và xử lý dữ liệu thủy âm, dữ liệu hải văn và chi tiết đáy biển khu vực Biển Đông, từ đó xây dựng hệ thống hải đồ giấy và điện tử chuyên dụng cho tàu ngầm;

- Đầu tư đóng mới thử nghiệm các loại tàu ngầm khác nhau để từng bước làm chủ về công nghệ, tăng số lượng, kiểu loại tàu ngầm cho lực lượng tàu ngầm phục vụ mục đích Quốc phòng và Nghiên cứu biển;

- Đầu tư cho các nhà khoa học có khả năng nghiên cứu và chế tạo một hệ thống dẫn đường quán tính mới phù hợp với điều kiện hoạt động trong khu vực Biển Đông của Việt Nam. Hệ thống này có thể được tích hợp cơ sở về dữ liệu hải văn, dữ liệu thủy âm và hải đồ chi tiết khu vực Biển Đông, từ đó tăng độ tin cậy của hệ thống;

- Tiếp tục gửi học viên đi đào tạo về tàu ngầm tại các quốc gia có tàu ngầm, đồng thời đẩy mạnh việc huấn luyện, đào tạo thủy thủ tàu ngầm trong nước bằng cách xây dựng Trung tâm huấn luyện tàu ngầm, nhằm nâng cao kiến thức chuyên môn và kỹ năng thực hành, vận hành tàu ngầm trong huấn luyện và chiến đấu;

- Tăng cường công tác huấn luyện và đi biển đối với lực lượng tàu ngầm trong thời điểm hiện nay nhằm huấn luyện thực tế cho bộ đội. Trong lập kế

hoạch đi biển xác định khu vực giới hạn của tàu ngầm, nhằm nâng cao khả năng định vị tàu ngầm, dễ dàng tìm kiếm và ứng cứu tàu ngầm khi có sự cố.

- Xây dựng bộ tiêu chuẩn về độ chính xác dẫn đường đối với tàu ngầm khi hành trình ngầm và khi đi nổi.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA NGHIÊN CỨU SINH ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

1. Th.S Nguyễn Quang Huy, PGS.TS. Nguyễn Viết Thành (11/2013), “*Thuật toán dẫn đường của hệ thống dẫn đường quán tính không đế*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải số 36, trang 82 – trang 87.
2. Quang Huy Nguyen, Xuan Duong Pham, Viet Thanh Nguyen, Van Dong Nguyen (2017), *Design of fuzzy logic controller for coaxial motors of underwater vehicle*, 16th Asia Maritime & Fisheries universities forum, p.155 - p. 163.
3. Thực hiện 2 chuyên đề số 6.2.1 và 6.2.2 trong đề tài cấp Bộ Quốc phòng (2016). “*Triển khai thử nghiệm tàu HS của Công ty TNHH Cơ khí Quốc Hòa, tỉnh Thái Bình*”, do Viện Kỹ thuật Hải quân chủ trì, Quân chủng Hải quân chủ quản, nghiệm thu đạt kết quả: Đạt yêu cầu.
4. Th.S Nguyễn Quang Huy, PGS.TS. Nguyễn Viết Thành, PGS.TS. Phạm Xuân Dương (8/2019), “*Nguyên lý xác định vị trí của hệ thống dẫn đường quán tính có đế*”, Tạp chí Giao thông vận tải, trang 131- trang 133.
5. Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Viết Thành, Phạm Xuân Dương (11/2019), “*Nghiên cứu ứng dụng dẫn đường theo định vị thủy âm trợ giúp hệ thống dẫn đường quán tính*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải số 60, trang 10 – trang 14.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tham khảo tiếng Việt

1. Ban Chấp hành Trung ương Đảng (2007). *Nghị quyết số 09-NQ/TW ngày 09/02/2007 về Chiến lược biển Việt Nam đến năm 2020*.
2. Ban Chấp hành Trung ương Đảng (2018). *Nghị quyết số 36-NQ/TW ngày 22 tháng 10 năm 2018 về Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045*.
3. Trần Văn Chiến (2005). *Đánh giá độ chính xác dẫn tàu*. Học viện Hải quân, Nha Trang.
4. NCS Trần Trung Chuyên (2018). *Nghiên cứu giải pháp tích hợp hệ thống GNSS/INS trên thiết bị thông minh ứng dụng trong trắc địa - bản đồ*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
5. Th.S Nguyễn Thanh Điệp (2014). *Thủy âm học và trường sóng âm vùng biển Việt Nam*. Học viện Hải quân, Khánh Hòa.
6. NCS Nguyễn Đông (2015). *Phân tích thủy động lực học và thiết kế hệ thống điều khiển theo công nghệ hướng đối tượng cho phương tiện tự hành dưới nước*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa, Hà Nội.
7. KS. Võ Hồng Hải (2009), *Mô phỏng điều khiển hướng đi và độ sâu của phương tiện ngầm bằng bộ điều khiển mờ-ron ANNAI*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Hải Phòng.
8. NCS Phạm Tuấn Hải(2011). *Nâng cao chất lượng hệ dẫn đường thiết bị bay trên cơ sở áp dụng phương pháp xử lý thông tin kết hợp*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội.
9. *Hệ thống dẫn đường quán tính trên tên lửa URAN-E- Thuyết minh kỹ thuật*(2006). Học viện Hải quân, Khánh Hòa.

10. KS. Nguyễn Quang Huy (2010). *Mô phỏng hệ thống dẫn đường quán tính bằng MATLAB ứng dụng vào giảng dạy tại Học viện Hải quân*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Hải Phòng.
11. Th.S. Nguyễn Quang Huy, PGS. TS. Nguyễn Viết Thành (2013). *Thuật toán dẫn đường của hệ thống dẫn đường quán tính không để*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải. Số 36, tr 82.
12. KS. Lê Văn Kỳ (2015). *Nghiên cứu hệ thống dẫn đường quán tính không để*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Hải Phòng.
13. Phòng Bảo đảm Hàng hải – Bộ Tham mưu Hải quân (2010). *Tình hình một số yếu tố khí tượng - hải dương vùng biển Việt Nam và lân cận*. Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.
14. NCS Nguyễn Hoài Nam (2017). *Nghiên cứu phương pháp hướng đối tượng trong phân tích và thiết kế điều khiển chuyển động cho thiết bị tự hành AUV/ASV với chuẩn SysMLModelica và Automate lai*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa, Hà Nội.
15. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, PGS. TS. Đinh Xuân Mạnh (2014). *Lý thuyết độ tin cậy hàng hải*. Nhà xuất bản Hàng hải, Hải Phòng.
16. PGS. TS. Nguyễn Hải Thanh (2006). *Tối ưu hóa*. Nhà xuất bản Bách khoa, Hà Nội.
17. PGS. TS. Nguyễn Viết Thành, KS. Nguyễn Quang Huy(2010). *Hệ thống dẫn đường quán tính*. Tạp chí Khoa học công nghệ Hàng hải. Số 23, tr. 107.
18. Quân chủng Hải quân (2015). *Các phương tiện dẫn đường thủy âm*.
19. TCVN 10337:2015 “Hải đồ vùng nước cảng biển và luồng hàng hải - yêu cầu kỹ thuật cho hải đồ giấy - ký hiệu”.
20. Viện Kỹ Thuật Hải quân (2016). *Triển khai thử nghiệm tàu HS của Công ty TNHH Cơ khí Quốc Hòa, tỉnh Thái Bình*. Đề tài cấp Nhà nước.

2. Tài liệu tham khảo tiếng Anh

21. Antonio Angrisano(2010). GNSS/INS Integration Methods. Doctoral Thesis, Parthenope University of Naples, Italia.
22. Anastasia Olegovna Salytcheva(2004). *Medium Accuracy INS/GPS Integration in Various GPS Environments*. Master of science Thesis, University of Calgary, Canada.
23. Aaron Canciani(2007). *Integration of Cold Atom Interferometry INS With Other Sensors*. Thesis of Master of Science in Electrical Engineering, US Air Force Institute of Technology, USA.
24. Bård Landeråen Hess (2015). *Challanges and consequences of a poor position update of a submarine INS in the littoral*, Master of Science in Positioning and Navigation Technology thesis, The University of Nottingham, England.
25. Esmat Bekir(2007). *Introduction to Modern Navigation Systems*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore.
26. Bourne L.E., Yaroush R.A. (2003), *Stress and cognition – A cognitive psychological perspective*, Final Report Grant Number NAG2-1561, National Aeronautics and Space Administration, USA, pp. 13 – 22.
27. Erik Lind, Magnus Meijer (2014). *Simulation and Control of Submarines*, MSc Thesis, Lund University, Sweden.
28. Geoffrey P. Carrigan(2009). *The Design of an Intelligent Decision Support Tool for Submarine Commanders*, Master of Science in Engineering Systems at the Massachusetts Institute of Technology, USA.
29. Griffin Michael James(2002). *Numerical prediction of the maneuvering characteristics of submarines operating near the free surface*. Doctoral Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA.

30. Guy M. Fujimoto(1960). *Strapped-Down Gyrodraft Correction From Position Fixes*. MIT, USA.
31. I. Dutta, D. Savoie, B. Fang, B. Venon(2018). *Continuous Cold-atom Inertial Sensor with 1 nrad.s⁻¹ Rotation Stability*
32. IMO RESOLUTION A.529(13)(1983), *Accuracy Standards For Navigation*.
33. J.Feldman(1979). *DTNSRDC revised standard submarine equations of motion*. David W.Taylor Naval Ship Research and Development Center, USA.
34. Kenneth Gade(2018). *Inertial Navigation — Theory and Applications*. Thesis for the degree of Doctor Philosophiae, Trondheim, Norwegian.
35. Kyoungwoon Bang, Wooyoung Choi(2015). *Evaluation of Submarine's Tactical operations using heterogeneous models*. MODSIM World, USA.
36. Lieut. William P.ST. Lawrence(1959). *Submarine Navigation*.
37. Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews(2015). *KALMAN FILTERING, Theory and Practice Using MATLAB®*. John Wiley & Sons, Inc, USA.
38. Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews(2007). *Global Positioning Systems Inertial Navigation and Integration*. John Wiley & Sons, Inc, USA.
39. Morton Gertler, Grant R.Hagen(1967). *Standard equations of motion for submarine simulaton*. US Naval Ship Research and Development Center, USA.
40. O.Salychev(1998). *Inertial Systems in Navigation and Geophysics*, Bauman MSTU Press, Moscow.
41. Prof. K. Sudhakar(2004). *Integration of Inertial Navigation System and Global Positioning System Using Kalman Filtering*. Department of Aerospace Engineering Indian Institute of Technology, Bombay, India.

42. Qiang JI, Hao-guang ZHAO(2016). *Kalman Filtering Method for GNSS/INS Integrated Navigation*, International Conference on Electrical Engineering and Automation.
43. Raytheon Anschütz GmbH. *MINS 2 Marine Inertial Navigation System*.
44. R.E.Kalman(1960). *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*.
45. Robert M. Rogers(2003). *Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, USA.
46. SAFRAN. *SIGMA 40XP Inertial Navigation System For Submarines*.
47. Thor I. Fossen(1994). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. John Wiley & Sons, USA.
48. Thor I. Fossen(2002). *Marine control systems: Guidance, navigation and control of ships rigs and underwater vehicles*. Marine Cybernetics, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian.
49. Thor I. Fossen(2011). *Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control*. John Wiley & Sons, Inc, USA.
50. Wen - Hui Cheng (2003). *A study of increasing the precision of navigation position for submerged body*.
51. Xiaoying Kong(2000). *Inertian Navigation System Aigorithms for Low Cost IMU*. Dotoral Thesis, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering The University of Sydney, Australia.
52. Yan Xincun et. al(2013). *Kalman filter applied in underwater integrated navigation system*, Geodesy and Geodynamics.

3. Tài liệu tham khảo tiếng Nga

53. АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»»,(2016). *Система инерциальной навигации и стабилизации «ЛАДОГА–МЭ»*,

54. Военно-Морской Флот СССР(1974). *Атлас океанов — Тихий океан.* Russia.
55. В.А. Хвощ(1989). *Тактика подводных лодок.* Москва: Военное издательство, Russia.
56. В.Н.Бранец, И.П.Шмыглевский (1992). *Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем.* Москва «НАУКА», Russia.
57. В.С. Михайлов, В.Г.Кудрявцев, В.С.Давыдов (2009). *Навигация и лоция.* Киев, Russia.
58. Литвиненко Юлия Александровна (2005). *Оптимизация алгоритмов инерциальной навигационной системы морских объектов.* диссертация кандидата технических наук. Санкт – Петербург, Russia.
59. Лочехин Алексей Владимирович (2010). *Интегрированная система с инерциальным модулем на электростатическом гироскопе и микромеханических датчиках.* диссертация кандидата технических наук. Санкт – Петербург, Russia.
60. О.Н.Анучин (1999). *Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов.* Санкт-Петербург, Russia.

4. Tài liệu tham khảo từ Internet

61. <http://vietnamnet.vn/vn/chinh-tri/186427/75-ngay-gian-khoan-phi-phap-trong-vung-bien-vn.html>, truy cập ngày 01/10/2014.
62. <http://timeandnavigation.si.edu/satellite-navigation/reliable-global-navigation/first-satellite-navigation-system/navigating-a-submarine>, truy cập ngày 01/10/2014
63. <http://www.uboat.net/articles/61.html>, truy cập ngày 01/10/2014.

64. <http://vnexpress.net/tin-tuc/thoi-su/cac-mau-tau-ngam-made-in-vietnam-2869287.html>, truy cập ngày 01/10/2014.
65. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/navigation>, truy cập ngày 01/10/2018.
66. <https://www.quora.com/How-does-a-submarine-navigate-underwater-for-long-periods-of-time>, truy cập ngày 12/11/2018
67. <https://timeandnavigation.si.edu/navigation-for-everyone/meet-the-navigator/submarine-navigator-us-navy-ret>, truy cập ngày 12/11/2018.
68. <https://www.darpa.mil/program/positioning-system-for-deep-ocean-navigation>, truy cập ngày 12/11/2018.
69. <http://khoahocthoidai.vn/can-no-luc-va-quyet-tam-hanh-dong-de-dua-nghi-quyet-trung-uong-8-khoa-xii-di-vao-cuoc-song-8270.html>, truy cập ngày 12/11/2018.
70. <https://kienthuc.net.vn/tin-tuc-quan-su/viet-nam-thanh-lap-lu-doan-tau-ngam-189-239681.html>, truy cập ngày 12/11/2018.
71. <https://vnexpress.net/interactive/2017/suc-manh-6-tau-ngam-kilo-viet-nam>, truy cập ngày 12/11/2018.
72. <http://soha.vn/nga-che-tao-he-thong-dinh-vi-glonass-duoi-nuoc-20161211023435975rf20161211023435975.htm>, truy cập ngày 20/01/2019.
73. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5335996/>, truy cập ngày 20/01/2019.
74. <https://phys.org/news/2018-11-quantum-compass-satellites.html>, truy cập ngày 20/01/2019.

PHỤ LỤC

Mẫu 1

Dành cho chỉ huy đơn vị xác nhận

HẢI QUÂN
Phiên hiệu đơn vị

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

(Địa danh nơi đơn vị đóng quân), ngày ... tháng ... năm 2019

XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

Phiên hiệu đơn vị... Hải quân xác nhận:

Đồng chí Nguyễn Quang Huy – Giảng viên Học viện Hải quân, đã xây dựng phần mềm “XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU” và thử nghiệm tại (Phiên hiệu đơn vị... Hải quân), gồm có 3 phần, cụ thể:

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc):

- | | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |

2. Tính toán xác suất vị trí tàu (Tính xác suất VTT):

- | | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT):

- | | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☐ | Không đạt ☐ |

Kết luận:

CHỨC DANH CHỈ HUY ĐƠN VỊ
(ký tên, đóng dấu)

PHIẾU ĐÁNH GIÁ SẢN PHẨM PHẦN MỀM

TÊN SẢN PHẨM: Phần mềm “ XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU”

Nghiên cứu sinh: NGUYỄN QUANG HUY

Lời dẫn:

Tôi tên là Nguyễn Quang Huy, hiện đang là giảng viên tại Học viện Hải quân, Nghiên cứu sinh tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Tôi đang thực hiện đề tài luận án: **“Nghiên cứu nâng cao độ chính xác dẫn đường cho tàu ngầm hoạt động trong khu vực Biển Đông ”**.

Trong nghiên cứu của mình, nhằm đưa những thông tin mình có được từ nghiên cứu lý thuyết kết hợp một phần nhỏ cơ sở dữ liệu về dòng chảy trên Biển Đông từ Atlas dòng chảy của Hải quân Nga và Hải quân Việt Nam, tôi đã xây dựng phần mềm “*Xử lý thông tin vị trí tàu*” nhằm hỗ trợ việc xác định vị trí tàu và đánh giá vị trí tàu xác định đó.

Kính mong chỉ huy các cơ quan, đơn vị tạo điều kiện, cho phép ứng dụng phần mềm vào huấn luyện và sử dụng thử nghiệm tại đơn vị đồng thời cho nhận xét đánh giá theo bảng câu hỏi sau. Trân trọng cảm ơn.

Nội dung câu hỏi: *(Câu khẳng định, người trả lời chọn từ 1,2,3,4,5 thay cho Rất đồng ý ----- phản đối)*

A. Tính thẩm mỹ, thuận tiện của phần mềm

Câu hỏi	Trả lời				
	Rất đồng ý	Đồng ý	Bình thường	Không đồng ý	Phản đối
(Điểm)	5	4	3	2	1
Phần mềm ứng dụng được thiết kế đẹp					
Thiết kế có phù hợp cho đơn vị sử dụng					
Cách thức sử dụng thuận tiện					
Nhập liệu có dễ dàng					
Đơn giản trong huấn luyện					
Dữ liệu đầu ra đầy đủ (đa dạng)					

B. Độ chính xác, tin cậy của kết quả (qua sử dụng phần mềm)

- Hệ số độ chính xác K_c tàu đồng chí tính toán được trong quá trình hành trình:

$$K_c =$$

- Kết quả tính toán Mt :

$$+ t \geq 2 \text{ giờ: } Mt = \dots\dots\dots$$

$$+ t < 2 \text{ giờ: } Mt = \dots\dots\dots$$

- Kết quả so sánh vị trí tàu: (hải lý)/ thời gian hành trình (giờ)

$$+ C_i = \dots\dots\dots (\text{hải lý/ giờ})$$

Câu hỏi	Trả lời				
	Rất đồng ý	Đồng ý	Bình thường	Không đồng ý	Phản đối
(Điểm)	5	4	3	2	1
Kết quả tính toán K_c chính xác					
Kết quả tính toán M_t chính xác					
Kết quả tính toán vị trí tàu chính xác					
Tham số và dữ liệu nhập có độ tin cậy cao					
Dữ liệu đầy đủ					
Thời gian tính toán nhanh					

C. Nội dung góp ý thêm:

.....

.....

Đánh giá chung:

- Phần mềm có thể đưa vào huấn luyện sử dụng trên tàu:

- + Cần bổ sung cơ sở dữ liệu dòng chảy ☐
- + Không cần bổ sung cơ sở dữ liệu dòng chảy ☐
- + Đồng ý ☐
- + Không đồng ý ☐

Họ và tên:.....

Cấp bậc:.....

Chức vụ:.....

Trình độ Chuyên môn:.....

XÁC NHẬN CỦA CÁC ĐƠN VỊ

VÙNG HẢI QUÂN

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

ngày 11 tháng 4 năm 2019

XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

Đồng chí Nguyễn Quang Huy – Giảng viên Học viện Hải quân, Nghiên cứu sinh Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng phần mềm “XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU” và thử nghiệm tại , Vùng , Quân chủng Hải quân, gồm có 3 phần, cụ thể:

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc):

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Độ chính xác:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Thẩm mỹ	Đạt ☒	Không đạt ☐

2. Tính toán xác suất vị trí tàu (Tính xác suất VTT):

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Độ chính xác:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Thẩm mỹ	Đạt ☒	Không đạt ☐

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT):

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Độ chính xác:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Thẩm mỹ	Đạt ☒	Không đạt ☐

Kết luận: Qua áp dụng thử nghiệm tại các tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính thẩm mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần mềm có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu./.

 **LƯU ĐOÀN TRƯỞNG**
THỦ LƯU ĐOÀN TRƯỞNG

VÙNG [REDACTED] HẢI QUÂN

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

[REDACTED], ngày 12 tháng 3 năm 2019

XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

[REDACTED], Vùng [REDACTED] Hải quân xác nhận:

Đồng chí [REDACTED] Nguyễn Quang Huy – Giảng viên Học viện Hải quân, Nghiên cứu sinh Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng phần mềm “XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU” và thử nghiệm tại [REDACTED] Vùng [REDACTED] Hải quân, gồm có 3 phần, cụ thể:

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

2. Tính toán xác suất vị trí tàu (Tính xác suất VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

Kết luận: Qua áp dụng thử nghiệm tại các tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính thẩm mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần mềm có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu./.

TRƯỞNG



XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

Hải quân xác nhận :

Đồng chí : [redacted] Nguyễn Quang huy – Giảng viên Học viện Hải quân.
Nghiên cứu sinh Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng phần mềm “XỬ
LY THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU” và thử nghiệm tại [redacted], Quân chủng Hải
quân, gồm 3 phần, cụ thể :

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc) :

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu : Đạt ☒ Không đạt ☐
- Độ chính xác : Đạt ☒ Không đạt ☐
- Thẩm mỹ : Đạt ☒ Không đạt ☐

2. Tính toán xác xuất vị trí tàu (Tính xác xuất VTT) :

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu : Đạt ☒ Không đạt ☐
- Độ chính xác : Đạt ☒ Không đạt ☐
- Thẩm mỹ : Đạt ☒ Không đạt ☐

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT) :

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu : Đạt ☒ Không đạt ☐
- Độ chính xác : Đạt ☒ Không đạt ☐
- Thẩm mỹ : Đạt ☒ Không đạt ☐

Kết luận : Qua áp dụng thử nghiệm tại tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính
thẩm mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần
mềm có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu .

TL. [redacted]

TM PHO HUAN LUYỆN

VÙNG **HẢI QUÂN**

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

, ngày 12 tháng 3 năm 2019

XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

Vùng Hải quân xác nhận:

Đồng chí **Nguyễn Quang Huy** – Giảng viên Học viện Hải quân, Nghiên cứu sinh Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng phần mềm **“XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU”** và thử nghiệm tại **Vùng Hải quân**, gồm có 3 phần, cụ thể:

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

2. Tính toán xác suất vị trí tàu (Tính xác suất VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

Kết luận: Qua áp dụng thử nghiệm tại các tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính thẩm mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần mềm có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu.

PHÓ **TRƯỞNG**

, ngày 20 tháng 3 năm 2019

XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

Vùng Hải quân xác nhận:

Đồng chí Nguyễn Quang Huy – Giảng viên Học viện Hải quân, Nghiên cứu sinh Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng phần mềm “XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU” và thử nghiệm tại , Vùng Hải quân, gồm có 3 phần, cụ thể:

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

2. Tính toán xác suất vị trí tàu (Tính xác suất VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

Kết luận: Qua áp dụng thử nghiệm tại các tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính thẩm mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần mềm có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu.

KT.

TRƯỞNG

TRƯỞNG

© 2004 Blackwell Publishing Ltd

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

1000

© 2004 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 255: 105–112

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Độ chính xác:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Thẩm mỹ:	Đạt ☒	Không đạt ☐

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: Đạt ☒ Không đạt ☐
 - Độ chính xác: Đạt ☒ Không đạt ☐
 - Thẩm mỹ: Đạt ☒ Không đạt ☐

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Độ chính xác:	Đạt ☒	Không đạt ☐
- Thẩm mỹ:	Đạt ☒	Không đạt ☐

Kết luận: Qua áp dụng thử nghiệm tại tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu./.



VÙNG [REDACTED] HẢI QUÂN

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

[REDACTED] ngày 15 tháng 3 năm 2019

XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

[REDACTED] Hải quân xác nhận:

Đồng chí [REDACTED] Nguyễn Quang Huy - Giảng viên Học viện Hải quân, Nghiên cứu sinh Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng phần mềm “XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU” và thử nghiệm tại [REDACTED], Quân chủng Hải quân, gồm có 3 phần, cụ thể:

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

2. Tính toán xác suất vị trí tàu (Tính xác suất VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT):

- | | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| - Thuận tiện sử dụng, nhập liệu: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Độ chính xác: | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |
| - Thẩm mỹ | Đạt ☒ | Không đạt ☐ |

* **Kết luận:** Qua áp dụng thử nghiệm tại tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính thẩm mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần mềm có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu./.

LƯU ĐOÀN TRƯỞNG



QUÂN CHUNG HẢI QUÂN

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

, Ngày 11 tháng 10 năm 2019

XÁC NHẬN PHẦN MỀM ỨNG DỤNG

xác nhận:

Đồng chí [] Nguyễn Quang Huy – Giảng viên Học viện Hải quân, Nghiên cứu sinh trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng phần mềm “XỬ LÝ THÔNG TIN VỊ TRÍ TÀU” và thử nghiệm tại các tàu bảo đảm của [], Quân chủng Hải quân, gồm có 03 phần, cụ thể:

1. Tính toán hệ số độ chính xác Kc (Tính hệ số Kc):

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt	☒	Không đạt	☐
- Độ chính xác:	Đạt	☒	Không đạt	☐
- Thẩm mỹ:	Đạt	☒	Không đạt	☐

2. Tính toán xác suất vị trí tàu (Tính xác suất VTT):

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt	☒	Không đạt	☐
- Độ chính xác:	Đạt	☒	Không đạt	☐
- Thẩm mỹ:	Đạt	☒	Không đạt	☐

3. Xử lý thông tin vị trí tàu (Xử lý VTT):

- Thuận tiện sử dụng, nhập liệu:	Đạt	☒	Không đạt	☐
- Độ chính xác:	Đạt	☒	Không đạt	☐
- Thẩm mỹ:	Đạt	☒	Không đạt	☐

Kết luận: Quá trình áp dụng thử nghiệm tại tàu, phần mềm đã đạt yêu cầu về tính thẩm mỹ, độ chính xác trong tính toán, nhỏ gọn và thuận tiện trong sử dụng. Phần mềm có thể được sử dụng trong huấn luyện và đi biển của tàu.



THỦ TRƯỞNG ĐƠN VỊ

[]