

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



VƯƠNG HẢI TÚ

**THIẾT KẾ BỘ LỌC KALMAN ĐỂ TÍNH TOÁN  
ƯỚC LƯỢNG ĐƯỜNG ĐI CHUYỂN CỦA THIẾT BỊ  
KHẢO SÁT**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ  
CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG**

HÀ NỘI – 2016

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



VƯƠNG HẢI TÚ

**THIẾT KẾ BỘ LỌC KALMAN ĐỂ TÍNH TOÁN  
ƯỚC LƯỢNG ĐƯỜNG ĐI CHUYỂN CỦA THIẾT BỊ  
KHẢO SÁT**

Ngành: Công nghệ Kỹ thuật điện tử, truyền thông

Chuyên ngành: Kỹ thuật Điện tử

Mã số: 60520203

**LUẬN VĂN THẠC SĨ  
CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS. TRẦN ĐỨC TÂN**

HÀ NỘI - 2016

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân, xuất phát từ thực tế yêu cầu trong công việc.

Các số liệu thu thập được và kết quả nêu trong luận văn là trung thực, có nguồn gốc rõ ràng và chưa từng được ai công bố trước đây. Các thông tin trích dẫn sử dụng trong luận văn đã được ghi rõ nguồn gốc

Tác giả

Vương Hải Tú

## MỤC LỤC

<b>LỜI CAM ĐOAN .....</b>	<b>1</b>
<b>MỤC LỤC .....</b>	<b>2</b>
<b>DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ TỪ VIẾT TẮT .....</b>	<b>4</b>
<b>DANH MỤC CÁC BẢNG .....</b>	<b>5</b>
<b>DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....</b>	<b>6</b>
<b>MỞ ĐẦU .....</b>	<b>8</b>
<b>CHƯƠNG 1: HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ BẰNG SÓNG ÂM.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Các phương pháp định vị bằng sóng âm .....</b>	<b>9</b>
1.1.1 Phương pháp đường cơ sở dài LBL.....	9
1.1.2 Phương pháp đường cơ sở ngắn SBL .....	10
1.1.3 Phương pháp đường cơ sở cực ngắn USBL.....	10
1.1.4 Các hệ thống kết hợp .....	11
<b>1.2 Tần số sử dụng trong các hệ thống định vị sóng âm.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Các thành phần của hệ thống định vị bằng sóng âm.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Sai số của các hệ thống định vị sóng âm .....</b>	<b>13</b>
1.4.1 Sai số tương đối của hệ thống đường cơ sở dài LBL.....	13
1.4.2 Sai số của hệ thống đường cơ sở ngắn SBL và cực ngắn USBL .....	13
1.4.3 Các nguồn nhiễu ảnh hưởng tới hệ thống định vị bằng sóng âm.....	14
1.4.4 Tầm nhìn thẳng .....	15
1.4.5 Hiện tượng đường truyền sóng bị bẻ cong và vùng mù.....	15
<b>CHƯƠNG 2: NGUYÊN LÝ CỦA HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ USBL VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐỊNH VỊ THỦ CÔNG .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Phương pháp định vị thủ công .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Các bộ thu phát sóng âm.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Lan truyền của sóng âm .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Tín hiệu sóng âm.....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Tín hiệu nguyên gốc.....	22
2.4.2 Tín hiệu điều chế tần số (FM hay còn gọi là CHIRP) .....	23
2.4.3 Tín hiệu điều chế pha (PSK).....	24
<b>2.5 Nguyên lý của hệ thống USBL.....</b>	<b>25</b>

<b>2.6</b>	<b>Ảnh hưởng của độ nghiêng và góc xoay của bộ thu phát.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7</b>	<b>Hiệu chỉnh hệ thống USBL .....</b>	<b>27</b>
2.7.1	Phương pháp hiệu chỉnh tĩnh .....	28
2.7.2	Phương pháp hiệu chỉnh động.....	28
<b>CHƯƠNG 3: XỬ LÝ KẾT QUẢ ĐO BẰNG BỘ LỌC BÙ VÀ KALMAN .....</b>		<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Thu thập dữ liệu.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Đánh giá dữ liệu .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Kết quả sau khi áp dụng bộ lọc .....</b>	<b>34</b>
3.3.1	Sử dụng bộ lọc thông thấp .....	34
3.3.2	Sử dụng bộ lọc Kalman.....	37
<b>KẾT LUẬN .....</b>		<b>39</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>		<b>40</b>
<b>PHỤ LỤC .....</b>		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Mã nguồn (Matlab) .....</b>		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Sơ họa vị trí thiết bị trên tàu .....</b>		<b>41</b>

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ TỪ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
USBL		Ultra Short Base Line - Hệ thống định vị bằng sóng âm sử dụng phương pháp đường cơ sở cực ngắn Số lượng máy phát
SBL		Short Base Line - Hệ thống định vị bằng sóng âm sử dụng phương pháp đường cơ sở ngắn
LBL		Long Base Line, Hệ thống định vị bằng sóng âm sử dụng phương pháp đường cơ sở dài
AHRS		Altitude and heading reference system, Hệ thống tham chiếu chuyển động và hướng của tàu
$\alpha$	độ	Hướng phương vị theo phương ngang từ điểm thả cáp tới cá đo
R	m	Khoảng cách theo phương ngang từ điểm thả cáp tới cá đo

**DANH MỤC CÁC BẢNG**

Bảng 1.1 - Chiều dài cơ sở sử dụng trong các hệ thống định vị sóng âm .....	9
Bảng 1.2 - Phạm vi hoạt động của sóng âm theo dải tần số [2, tr.7].....	11
Bảng 1.3 - Sai số tương đối theo dải tần số [2, tr.10].....	13

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1.1 - Hệ thống định vị đường cơ sở dài LBL [2, tr.5] .....	9
Hình 1.2 - Hệ thống định vị đường cơ sở ngắn SBL [2, tr.4].....	10
Hình 1.3 - Hệ thống định vị USBL [2, pp.3].....	11
Hình 1.4 - Thành phần của hệ thống định vị bằng sóng âm [2, tr.8].....	12
Hình 1.5 - Kết quả đo của hai thiết bị đo trực tiếp (Valeport MidasSVP) và đo gián tiếp (Valeport MidasCTD) trong cùng điều kiện .....	16
Hình 1.6 - Quan hệ tốc độ âm thanh và độ sâu nước .....	16
Hình 1.7 - Thay đổi của nhiệt độ theo độ sâu (ở vùng biển có độ sâu 75m, đo được bằng thiết bị Valeport MidasCTD).....	17
Hình 2.1 - Phương pháp xác định khoảng cách (range) và góc phương vị (bearing) từ điểm thả tới cá đo .....	18
Hình 2.2 - Phần tử áp điện trước và sau khi phân cực [3, pp.9].....	19
Hình 2.3 - Hình dạng và bố trí của các phần tử áp điện thường gặp [3, pp.9] .....	19
Hình 2.4 - Hình dạng vùng lan truyền sóng âm [3, pp.11].....	20
Hình 2.5 - Hình dạng búp sóng trên thực tế bao gồm búp sóng chính và các búp sóng phụ [3, pp.12] .....	21
Hình 2.6 - Mặt cắt của cánh sóng được tạo bởi một dãy các phần tử áp điện thẳng hàng [4, pp.33] .....	21
Hình 2.7 - Các vị trí giao thoa tăng cường và triệt tiêu tạo thành cánh sóng [4, pp.27] .....	21
Hình 2.8 - Phổ tần số và biên độ tương quan của tín hiệu sóng âm gốc [5, tr.3] .....	22
Hình 2.9 - Phổ tần số và biên độ tương quan của tín hiệu điều chế tần số [5, tr.3] .....	23
Hình 2.10 - Tín hiệu sóng âm điều chế pha (còn gọi là tín hiệu băng rộng).....	24
Hình 2.11 - Phổ tần số và biên độ tương quan của tín hiệu sóng âm điều chế pha [5, tr.3] .....	24
Hình 2.12 - Hệ thống định vị sóng âm USBL [6, tr.2].....	25
Hình 2.13 - Bộ thu phát Sonardyne 8024 Wideband gắn trên tàu khảo sát .....	25
Hình 2.14 - Bộ phát đáp Sonardyne Coastal gắn trên cá đo quét ngang âm bề mặt EdgeTech 4200MP .....	25
Hình 2.15 - Xác định góc dựa vào độ trễ thời gian .....	26



Hình 2.16 - Hai cách bố trí đơn giản các bộ thu trong bộ thu phát USBL.....	27
Hình 2.17 - Sắp xếp của bộ thu phát trong hệ thống USBL của Sonardyne (5 bộ thu xếp hình ngũ giác và 1 bộ phát ở giữa) .....	27
Hình 2.18 - Phương pháp hiệu chỉnh tính .....	28
Hình 2.19 - Phương pháp hiệu chỉnh động.....	29
Hình 3.1 - Lắp đặt thiết bị trên tàu .....	30
Hình 3.2 - Một vài diễn hình của hệ thống USBL khi hoạt động không tốt .....	31
Hình 3.3 - Khoảng cách từ điểm thả tới cá đo tính theo phương pháp thủ công và của USBL.....	32
Hình 3.4 - Tương quan giữa hướng của cá, hướng của cáp thả và hướng tàu chạy CMG .....	32
Hình 3.5 – Tương quan giữa hướng của cá đo, hướng phương vị $\alpha$ của hệ thống USBL, hướng phương vị của tàu và hướng tàu chạy .....	33
Hình 3.6 - Hướng phương vị từ điểm thả cáp tới cá mô hình bằng quan hệ tuyến tính với hướng của cá và hướng tàu chạy.....	34
Hình 3.7 - Mô hình bộ lọc bù áp dụng khi đầu vào chỉ chứa nhiễu [8, tr.2] .....	34
Hình 3.9 - Sai lệch tọa độ (E) giữa phương pháp tính thủ công và USBL trước và sau lọc .....	35
Hình 3.8 - Tọa độ (E) của phương pháp thủ công, USBL và sau khi lọc .....	35
Hình 3.11 - Sai lệch tọa độ (N) giữa phương pháp tính thủ công và USBL trước và sau lọc .....	36
Hình 3.10 - Tọa độ (N) của phương pháp thủ công, USBL và sau khi lọc .....	36
Hình 3.12 - Đường đi của cá đo sau lọc .....	37
Hình 3.14 - So sánh kết quả (tọa độ East) của lọc thông thấp và Kalman .....	37
Hình 3.13 - Sơ đồ áp dụng bộ lọc Kalman thay thế .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Hình 3.15 - So sánh kết quả (tọa độ North) của lọc thông thấp và Kalman.....	38
Hình 3.16 - Kết quả vị trí sau khi áp dụng bộ lọc Kalman.....	38

## MỞ ĐẦU

Công nghiệp khai thác dầu mỏ trên thế giới bắt đầu từ khá sớm, khoảng những năm giữa thế kỷ 19 và phát triển mạnh mẽ vào nửa cuối thế kỷ 20 tiếp tục cho đến nay cùng với sự phát triển của các thiết bị điện tử. Sự ra đời của internet và bùng nổ thông tin trên toàn cầu cũng đòi hỏi con người tiến hành xây dựng các công trình trên biển ngày càng nhiều. Ngành dịch vụ đo đạc và khảo sát trên biển ra đời từ đó để phục vụ cho việc thăm dò, thiết kế, xây dựng và duy tu bảo dưỡng các công trình và hạ tầng trên biển

Các loại thiết bị thăm dò, đo đạc chính có thể kể đến như:

- Các thiết bị đo thủy hải văn: đo sâu một cánh sóng, nhiều cánh sóng (Singlebeam/Multibeam Echo-Sounder), quan trắc thủy triều, dòng chảy, sóng biển
- Các thiết bị đo địa vật lý: đo quét ngang âm bề mặt (Side-scan sonar), đo âm địa chấn (Sub-bottom profiler)
- Các thiết bị đo từ trường
- Các thiết bị đo đạc và nghiên cứu địa chất đáy biển, các thiết bị đo và quan trắc môi trường nước biển

Hầu hết các thiết bị đo đều sử dụng sóng âm, ở dải tần siêu âm từ cỡ 10kHz đến 500kHz, các thiết bị đo âm địa chấn có dải tần thấp hơn (vài kHz) do phải truyền qua các lớp đất đá sâu dưới đáy biển. Các thiết bị đo có thể được lắp đặt trên tàu khảo sát. Một số khác (như các máy đo quét ngang âm bề mặt, đo từ trường, hay như đo âm địa chấn) do yêu cầu phải duy trì khoảng cách với đáy biển để đảm bảo độ phân giải và dải đo, giảm thiểu ảnh hưởng các nguồn nhiễu từ tàu, sai số do sóng biển, được thả và kéo theo tàu bằng các sợi cáp (vừa chịu lực và truyền dẫn tín hiệu), tùy thuộc vào độ sâu nước ở vùng khảo sát, chiều dài thả cáp có thể lên tới 4000-5000m hoặc hơn nữa

Một yêu cầu trong đo đạc là xác định vị trí, phổ biến hiện nay sử dụng hệ thống định vị toàn cầu vi sai DGPS có thể cho độ chính xác lên tới 10-20cm. Các thiết bị lắp đặt trên tàu được xác định vị trí từ hệ thống DGPS dựa vào các khoảng cách tới ăng-ten GPS và phương vị của tàu. Các thiết bị kéo theo tàu đòi hỏi phức tạp hơn, ở khoảng cách ngắn có thể sử dụng chiều dài cáp để tính theo cách tương tự. Ở nước sâu và chiều dài cáp lớn cần sử dụng hệ thống định vị sóng âm như USBL (ultra-short baseline) hay LBL (long baseline). Tuy nhiên không phải lúc nào hệ thống này cũng hoạt động tốt, phụ thuộc vào việc lắp đặt chính xác, lựa chọn hệ thống phù hợp và chất lượng của hệ thống AHRS. Luận văn này đề cập đến vấn đề tìm ra một giải pháp định vị tốt hơn trong trường hợp không có hệ thống định vị sóng âm, hoặc hệ thống đó hoạt động không tốt, sử dụng các thông tin về chuyển động từ các cảm biến gắn trên thiết bị kéo theo tàu.

## CHƯƠNG 1: HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ BẰNG SÓNG ÂM

### 1.1 Các phương pháp định vị bằng sóng âm

Phương pháp định vị bằng sóng âm sử dụng một dãy các phần tử thu phát sóng âm chủ động có vị trí xác định trước, tính toán khoảng cách tới vật thể cần xác định vị trí dựa vào thời gian từ lúc phát tín hiệu đến lúc thu được tín hiệu phản hồi và vận tốc sóng âm truyền trong môi trường nước, như các hệ thống đo đạc bằng sóng âm khác.

Đường thẳng nối giữa hai phần tử thu phát được gọi là đường cơ sở (baseline), và khoảng cách giữa hai phần tử thu phát được dùng để phân loại các hệ thống định vị bằng sóng âm

Phương pháp định vị bằng sóng âm	Chiều dài cơ sở
Phương pháp đường cơ sở dài LBL	100m-6000m
Phương pháp đường cơ sở ngắn SBL	20m-50m
Phương pháp đường cơ sở cực ngắn USBL	<10cm

Bảng 1.1 - Chiều dài cơ sở sử dụng trong các hệ thống định vị sóng âm

#### 1.1.1 Phương pháp đường cơ sở dài LBL

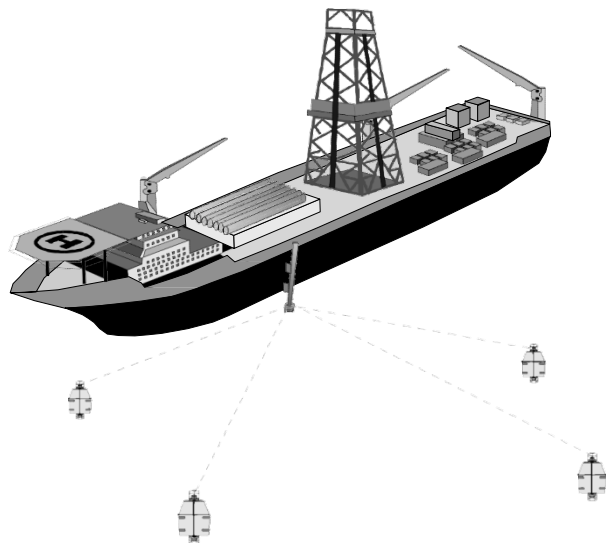
Phương pháp đường cơ sở dài sử dụng một dãy các bộ thu phát sóng âm đặt cố định tại các vị trí có tọa độ biết trước trên bề mặt đáy biển. Khoảng cách từ tàu tới các bộ thu phát được xác định và từ 3 hoặc nhiều hơn 3 khoảng cách có thể tính toán được vị trí của tàu. Hệ thống LBL không cần các thiết bị hỗ trợ thông tin về chuyển động và hướng của tàu

Ưu điểm:

- Độ chính xác rất cao và không phụ thuộc vào độ sâu nước
- Duy trì độ chính xác cao khi sử dụng trên phạm vi rộng
- Không đòi hỏi hệ thống hỗ trợ thông tin chuyển động và hướng
- Bộ thu phát nhỏ gọn

Nhược điểm:

- Hệ thống phức tạp và đắt tiền
- Cần nhiều thời gian để lắp đặt/tháo dỡ
- Đòi hỏi hiệu chỉnh mỗi lần lắp đặt và vận hành



Hình 1.1 - Hệ thống định vị đường cơ sở dài LBL [2, tr.5]

### 1.1.2 Phương pháp đường cơ sở ngắn SBL

Hệ thống SBL sử dụng dây gồm tối thiểu 3 bộ thu phát gắn trên tàu hoặc giàn nổi với vị trí xác định trong hệ tọa độ cục bộ của tàu. Ngoài khoảng cách từ vật thể tới các bộ thu phát được xác định, hướng cũng được xác định dựa vào so sánh thời gian trễ của tín hiệu gửi về các bộ thu phát.

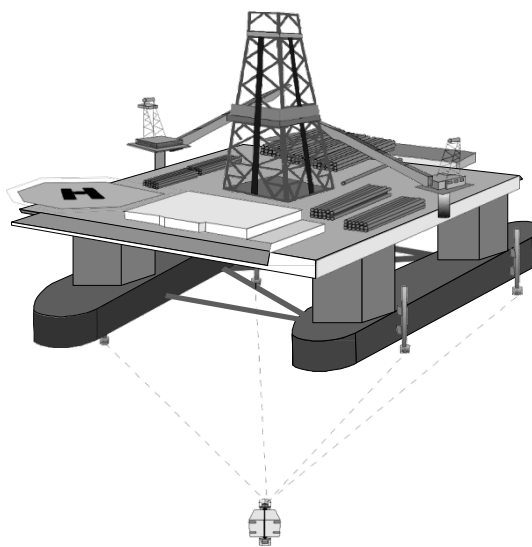
Khoảng cách và hướng được xác định theo các bộ thu phát gắn trên tàu, do vậy hệ thống SBL cần có các thông tin hỗ trợ từ hệ thống tham chiếu chuyển động và hướng của tàu, cũng như một hệ thống định vị để cung cấp vị trí của tàu

Ưu điểm:

- Hệ thống đơn giản và giá thành thấp hơn LBL
- Độ chính xác cao
- Chỉ cần 1 bộ thu phát lắp đặt dưới đáy biển, giảm thời gian lắp đặt/tháo dỡ

Nhược điểm:

- Đòi hỏi khoảng cách cơ sở lớn để đảm bảo độ chính xác trong vùng nước sâu
- Vị trí lắp đặt các bộ thu phát đòi hỏi được đo đạc chính xác và được hiệu chỉnh
- Độ chính xác phụ thuộc cả vào các thiết bị phụ trợ tham chiếu chuyển động và hướng
- Lắp đặt các bộ thu phát tại 3 vị trí khác nhau trên tàu, tốn kém hơn



Hình 1.2 - Hệ thống định vị đường cơ sở ngắn SBL [2, tr.4]

### 1.1.3 Phương pháp đường cơ sở cực ngắn USBL

Là phương pháp định vị được sử dụng phổ biến ở trong các ứng dụng khảo sát và đo đạc hiện nay. Khác với hệ thống SBL, các phần tử thu phát được thiết kế và sắp xếp trong một bộ thu phát duy nhất, cho phép lắp đặt dễ dàng và thuận tiện cho các tàu cỡ nhỏ. USBL sử dụng một dây các phần tử thu phát nhỏ với sơ đồ bố trí khác nhau (thường phân bố theo hai hướng cơ sở trực giao với nhau, số lượng ít nhất là 3) để xác định khoảng cách và phương vị của bộ phát đáp gắn trên vật thể cần xác định vị trí.

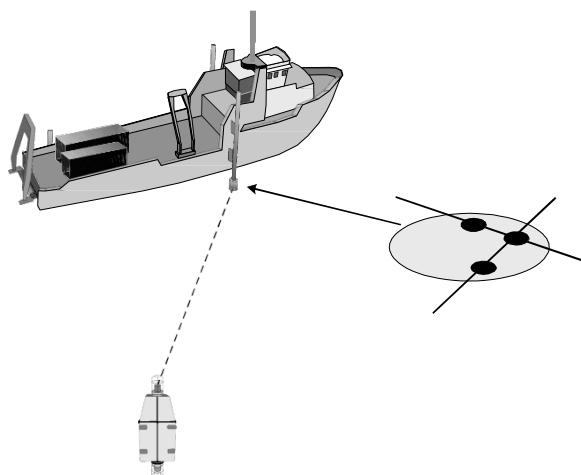
Tương tự như hệ thống SBL, các bộ thu phát được gắn trên tàu, do đó cần có các thiết bị phụ trợ thông tin tham chiếu chuyển động và hướng, cũng như một hệ thống định vị để xác định vị trí của tàu

Ưu điểm:

- Hệ thống đơn giản
- Không cần lắp đặt các bộ thu phát dưới đáy biển
- Chỉ có một bộ thu phát lắp đặt trên tàu tại 1 vị trí duy nhất

Nhược điểm:

- Hiệu chỉnh phải được thực hiện tốt
- Độ chính xác phụ thuộc vào chất lượng các thông tin tham chiếu chuyển động và hướng



Hình 1.3 - Hệ thống định vị USBL [2, pp.3]

#### 1.1.4 Các hệ thống kết hợp

Các hệ thống kết hợp cho phép tận dụng được ưu điểm của tất cả các hệ thống kể trên và cho phép xác định vị trí với độ tin cậy và dự phòng rất cao. Có thể liệt kê một số hệ thống kết hợp chính:

- Hệ thống đường cơ sở cực ngắn và dài: L/USBL
- Hệ thống đường cơ sở ngắn và dài: L/SBL
- Hệ thống đường cơ sở ngắn và cực ngắn: S/USBL
- Hệ thống đường cơ sở dài, ngắn và cực ngắn: L/S/USBL

## 1.2 Tần số sử dụng trong các hệ thống định vị sóng âm

Tần số là một trong các yếu tố ảnh hưởng đến phạm vi truyền sóng, độ phân giải và chính xác của kết quả đo

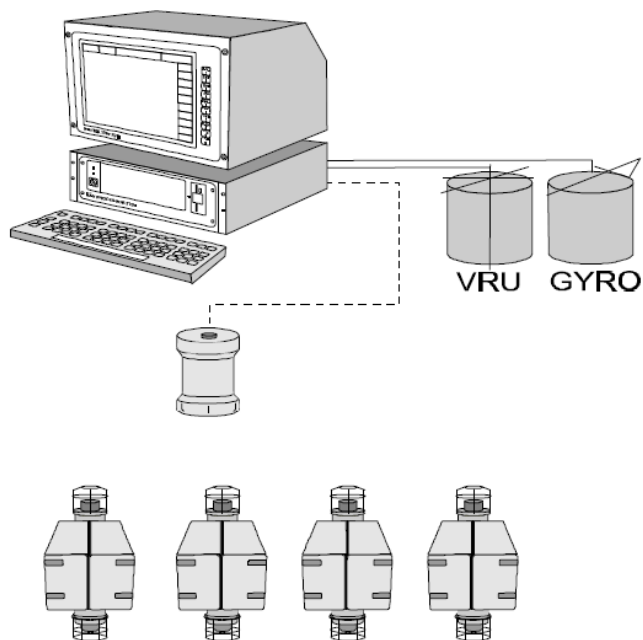
Dải tần số	Băng thông	Phạm vi hoạt động
Dải tần số thấp (LF)	8-16 kHz	>10 Km
Dải tần số trung (MF)	18-36 kHz	2-3.5 Km
Dải tần số cao (HF)	30-60 kHz	1.5 Km
Dải tần số siêu cao (EHF)	50-110 kHz	<1000 m
Dải tần số cực cao (VHF)	200-300 kHz	<100 m

Bảng 1.2 - Phạm vi hoạt động của sóng âm theo dải tần số [2, tr.7]

Sự lựa chọn dải tần số thông thường phụ thuộc vào yêu cầu về độ chính xác và phạm vi hoạt động (độ sâu nước). Dải tần số thấp hơn sẽ bị suy hao ít hơn khi truyền đi trong môi trường, và do vậy phạm vi hoạt động và khả năng đâm xuyên xa hơn. Bù lại dải tần số cao cho phép đạt độ chính xác cao hơn.

Các hệ thống định vị sóng âm sử dụng tất cả các dải tần số kể trên. Các hệ thống có phạm vi hoạt động ở mọi độ sâu sử dụng dải tần số LF. Các hệ thống LBL, USBL cho các ứng dụng định vị động (DP - Dynamic Positioning), khảo sát hiện trường, xây dựng hầu hết sử dụng dải tần số MF

### 1.3 Các thành phần của hệ thống định vị bằng sóng âm



Hình 1.4 - Thành phần của hệ thống định vị bằng sóng âm [2, tr.8]

#### Máy tính xử lý trung tâm

Là hệ thống máy tính tiếp nhận và tính toán, xử lý số liệu gốc và cung cấp giao diện người sử dụng để cài đặt và hiển thị kết quả. Máy tính trung tâm cũng có thể làm nhiệm vụ điều khiển việc thu phát và nhận thông tin từ các hệ thống tham chiếu chuyển động và hướng

#### Bộ thu phát (Transceiver)

Bộ thu phát nhận dữ liệu và nguồn điện từ máy tính trung tâm sau đó truyền đi các tín hiệu sóng âm và nghe tín hiệu phản hồi. Ở các hệ thống SBL cũ, người ta có thể sử dụng một dãy các máy nghe (hydrophone) thay vì các bộ thu phát. Các máy nghe chỉ có chức năng nhận tín hiệu sóng âm

#### Bộ phát đáp (transponder/responder)

Bộ phát đáp được chia làm 3 loại:

“pinger”: là loại thiết bị liên tục phát đi các tín hiệu âm thanh có tần số âm thanh và chiều dài xung phát biết trước, thường được sử dụng trong các hệ thống SBL hoặc USBL thông dụng

“transponder”: là loại thiết bị phát đi một tín hiệu trả lời khi nhận được tín hiệu sóng âm gửi đến, có thể sử dụng ở tất cả các hệ thống LBL/SBL/USBL

“responder”: là loại thiết bị phát đi các tín hiệu âm thanh phản hồi khi nhận được kích hoạt bằng tín hiệu điện gửi đến qua dây cáp. Ưu điểm của “responder” so với “transponder” là được kích hoạt và gửi tín hiệu trả lời trong mọi điều kiện.

Các bộ thu phát và phát đáp đều bao gồm một bộ thu phát sóng âm, gọi là “transducer”, hoạt động dựa trên nguyên tắc chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng sóng âm và ngược lại. Việc lắp đặt các bộ thu phát và phát đáp phải đảm bảo yêu cầu sóng âm được truyền thẳng giữa chúng mà không bị cản trở

#### 1.4 Sai số của các hệ thống định vị sóng âm

Sai số tuyệt đối: là sai số khi chúng ta quan tâm tới xác định vị trí trong hệ tọa độ địa lý (kinh độ/vĩ độ), phụ thuộc vào hệ thống định vị trên bề mặt (GPS)

Sai số tương đối: là sai số vị trí tương đối của một vật thể so với một vật thể khác có vị trí xác định, thường sử dụng cùng hệ thống và cùng thời điểm.

Sai số lặp lại: là sai số khi chúng ta cần tìm lại một vị trí đã được xác định trước đó sử dụng cùng một hệ thống

##### 1.4.1 Sai số tương đối của hệ thống đường cơ sở dài LBL

Sai số của hệ thống LBL thông thường không phụ thuộc vào độ sâu nước, tuy nhiên phụ thuộc vào tần số được sử dụng và sai số vận tốc âm thanh trong nước (phụ thuộc vào nhiệt độ, độ mặn và độ sâu nước)

Dải tần số	Băng thông	Sai số tương đối
Dải tần số thấp (LF)	8-16 kHz	2-5m
Dải tần số trung (MF)	18-36 kHz	0.25-1m
Dải tần số cao (HF)	30-60 kHz	0.15-0.25m
Dải tần số siêu cao (EHF)	50-110 kHz	<0.05m
Dải tần số cực cao (VHF)	200-300 kHz	<0.01m

Bảng 1.3 - Sai số tương đối theo dải tần số [2, tr.10]

##### 1.4.2 Sai số của hệ thống đường cơ sở ngắn SBL và cực ngắn USBL

Các hệ thống SBL và USBL cần có hỗ trợ của các hệ thống bù chuyển động và hướng, do đó sai số phụ thuộc nhiều vào các hệ thống cảm biến này và phụ thuộc vào khoảng cách từ hệ thống tới vị trí cần xác định. Ngoài ra như hệ thống LBL, sai số của các hệ thống này cũng phụ thuộc vào tần số sóng âm và sai số vận tốc âm thanh trong nước

### 1.4.3 Các nguồn nhiễu ảnh hưởng tới hệ thống định vị bằng sóng âm

#### 1.4.3.1 Nhiễu môi trường

Nhiễu môi trường đến từ các yếu tố bên ngoài như sóng, gió, mưa hay động vật dưới nước... Thông thường các nguồn nhiễu này ở mức thấp và ở dải tần số từ 10kHz đến 100kHz, nhỏ hơn 40dB re 1 $\mu$ Pa ở dải tần độ rộng 1Hz. Tuy nhiên mưa lớn có thể tăng mức nhiễu thêm 15-25dB ở tần số 10kHz [2, tr.13]

Ở cùng điều kiện, nhiễu môi trường ở vùng nước nông thường cao hơn vùng nước sâu khoảng 9dB

#### 1.4.3.2 Nhiễu tự sinh

Nhiễu tự sinh chủ yếu đến từ các yếu tố như hoạt động của chân vịt, động cơ của tàu, dòng chảy và nhiễu mạch điện

Nhiễu do chân vịt là loại nhiễu phổ biến do hoạt động của các loại chân vịt tạo ra bong bóng. Các loại chân vịt có độ nghiêng của cánh thay đổi được thường gây ra nhiễu nhiều hơn so với các loại có độ nghiêng cố định. Mức nhiễu tăng theo tần số và lớn nhất ở dải tần số từ 100Hz đến 1000Hz sau đó giảm khoảng 6db/octave, và do đó ảnh hưởng đến các hệ thống hoạt động ở dải tần số thấp nhiều hơn. Nhiễu chân vịt cũng tỷ lệ với tốc độ và khoảng cách từ các bộ thu phát tới vị trí của nguồn nhiễu.

#### 1.4.3.3 Nhiễu động cơ

Loại nhiễu này xuất phát từ hoạt động của động cơ, các tời kéo trên tàu hay các hệ thống thủy lực của các thiết bị lặn điều khiển từ xa dưới nước, và rất khó để định lượng. Thực tế cho thấy nhiễu âm từ các hệ thống thủy lực (bơm, van...) trên các thiết bị lặn dưới nước thường là 1 trong các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động của các hệ thống định vị bằng sóng âm, và đôi khi có thể gây gián đoạn hoàn toàn hoạt động của các hệ thống này

#### 1.4.3.4 Nhiễu thủy động học

Nhiễu dòng chảy được tạo ra do sự nhiễu động của nước tại ranh giới các lớp dòng chảy. Nói chung đây là nguồn nhiễu ít ảnh hưởng tới hoạt động của hệ thống định vị bằng sóng âm, trừ khi nguồn nhiễu đến từ các cấu trúc, bộ phận bên ngoài của vỏ tàu. Tuy vậy nó có thể ảnh hưởng tới các thiết bị thu phát được thả chìm và kéo theo tàu nếu hoạt động ở tốc độ di chuyển cao và có đặc tính thủy động học không tốt.

#### 1.4.3.5 Nhiễu vọng

Có thể phân loại làm 4 loại chính:

- Nhiễu vọng do các vật chất dạng hạt trong nước



- Nhiều vọng từ bề mặt đáy biển
- Nhiều vọng từ các lớp địa chất dưới đáy biển
- Nhiều vọng từ các công trình do con người tạo ra

Ba loại nguồn nhiễu cuối cùng là có ảnh hưởng nghiêm trọng nhất tới hoạt động của hệ thống sóng âm do các tín hiệu phản hồi đến theo nhiều đường đi khác nhau và có thể có độ tương quan cao, dẫn đến hiện tượng giao thoa triệt tiêu với tín hiệu phản hồi thẳng trực tiếp từ các bộ phát đáp

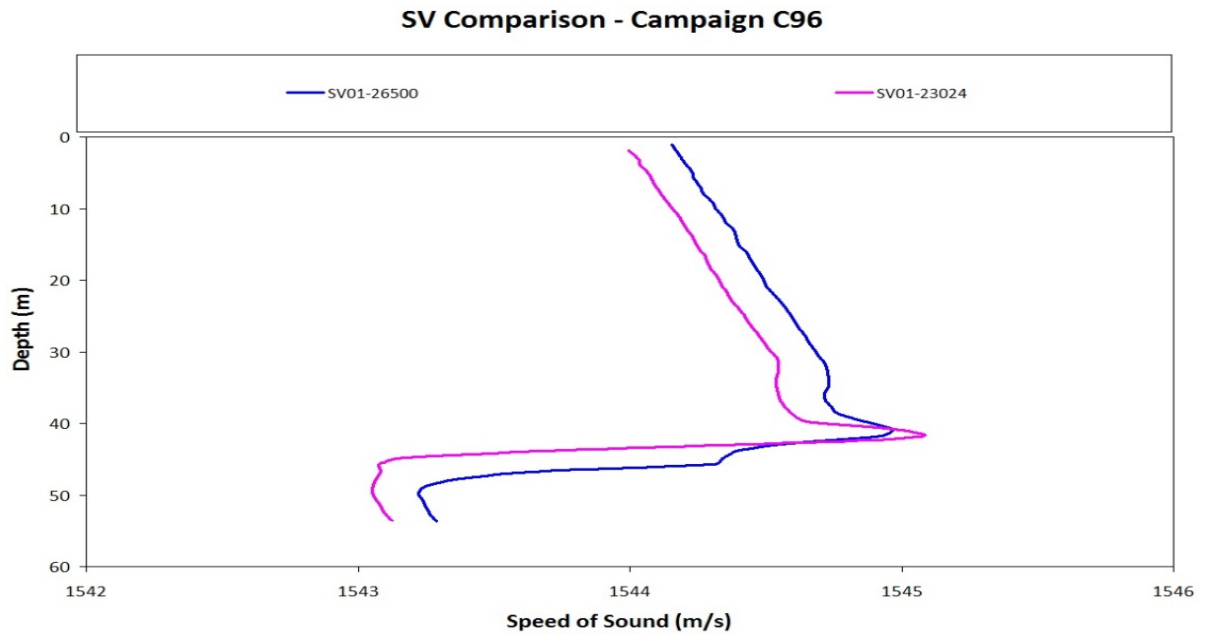
#### 1.4.4 Tầm nhìn thẳng

Hai yếu tố chính ảnh hưởng tới hoạt động của các hệ thống định vị bằng sóng âm là nhiễu và tầm nhìn thẳng bị hạn chế giữa các bộ thu phát. Bất kỳ cản trở nào trên đường truyền sóng trực tiếp từ các bộ thu phát đều ảnh hưởng đến sai số hoặc làm gián đoạn hoạt động của các hệ thống định vị sóng âm

#### 1.4.5 Hiện tượng đường truyền sóng bị bẻ cong và vùng mù

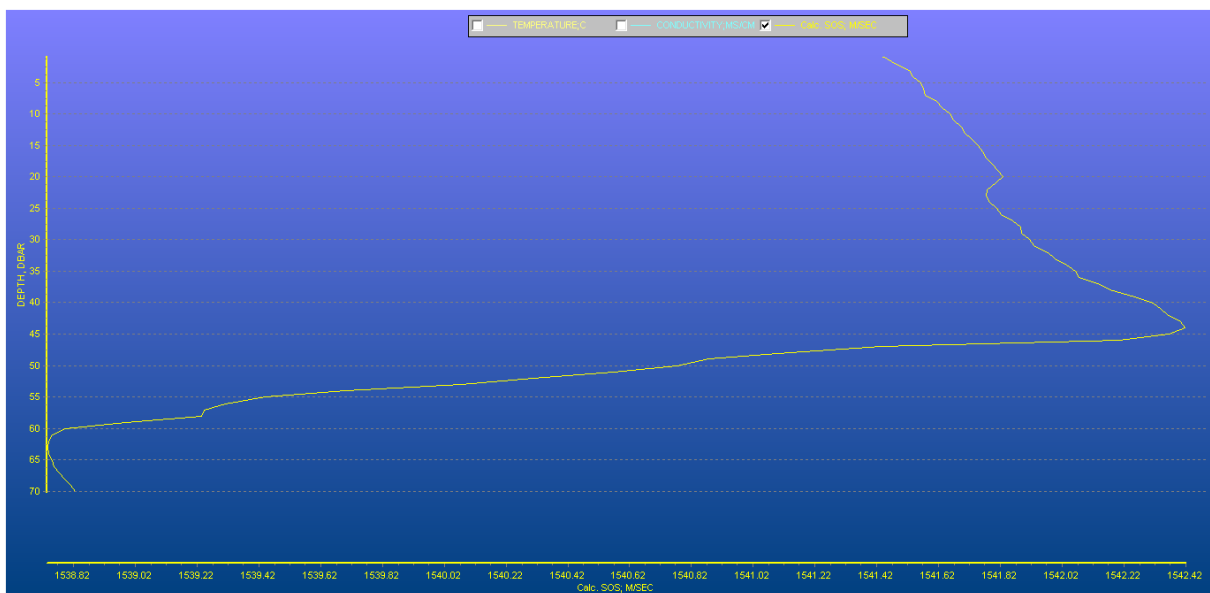
Tốc độ âm thanh lan truyền trong nước biển thay đổi theo nhiệt độ, độ dẫn điện và độ sâu (áp suất), dẫn đến hiện tượng khúc xạ, phản xạ khi lan truyền và làm đường lan truyền sóng bị bẻ cong. Các thiết bị đo vận tốc âm thanh theo độ sâu được sử dụng để hiệu chỉnh, tham chiếu cho các hệ thống đo và định vị chính xác dùng sóng âm ngày nay. Các phương pháp đo vận tốc âm thanh trong nước phổ biến hiện nay là phương pháp đo trực tiếp và gián tiếp:

- Phương pháp trực tiếp: sử dụng một bộ thu phát sóng âm và một mặt phản xạ đặt ở một khoảng cách nhất định. Tốc độ âm thanh được xác định bằng cách chia tổng quãng đường (biết trước và bằng hai lần khoảng cách từ bộ thu phát tới mặt phản xạ) cho tổng thời gian sóng lan truyền (đo được)
- Phương pháp gián tiếp: sử dụng các cảm biến đo nhiệt độ, áp suất và độ dẫn điện. Tốc độ âm thanh được tính dựa theo các công thức đã được đề xuất, trong đó ở độ sâu dưới 1000m công thức của Chen và Millero (1977) là phù hợp nhất và ở độ sâu lớn hơn công thức của Dell Grosso (1974) được sử dụng.



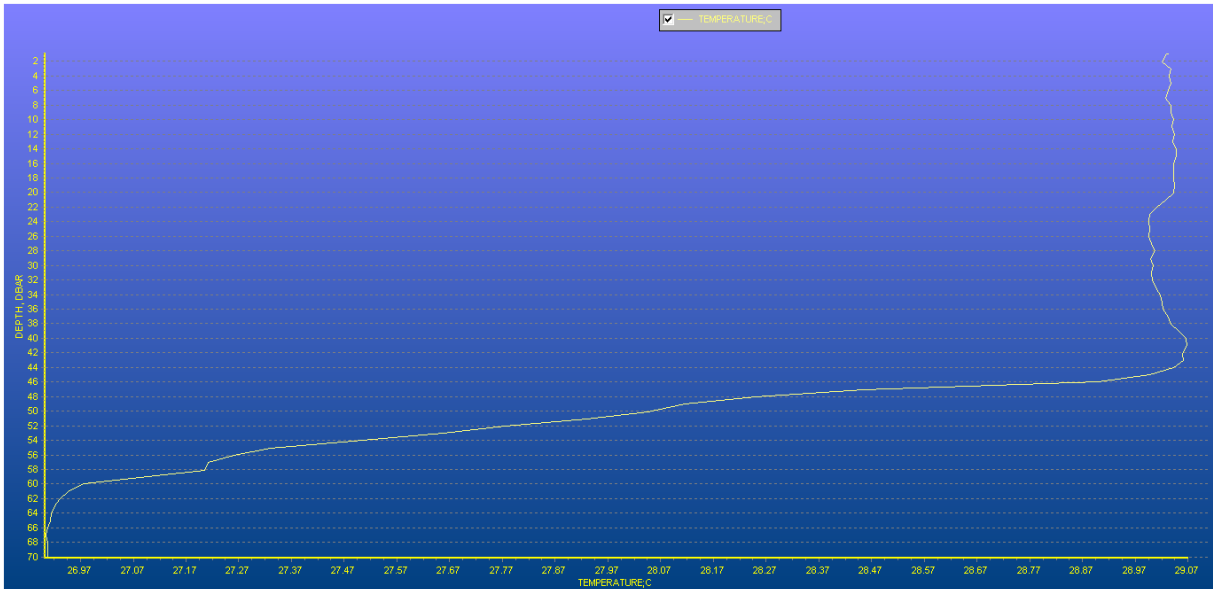
Hình 1.5 - Kết quả đo của hai thiết bị đo trực tiếp (Valeport MidasSVP) và đo gián tiếp (Valeport MidasCTD) trong cùng điều kiện

Các thiết bị đo vận tốc âm thanh ngày nay được thiết kế có thể đạt độ sâu tối đa lên tới 6000m, cho phép đọc kết quả trực tiếp thông qua dây cáp kết nối hoặc ghi kết quả vào bộ nhớ.



Hình 1.6 - Quan hệ tốc độ âm thanh và độ sâu nước

Khi tốc độ âm thanh tăng theo độ sâu, đường truyền sóng có xu hướng bị bẻ cong lên phía trên, ngược lại khi tốc độ âm thanh giảm đường truyền sóng có xu hướng bị bẻ cong xuống. Do đó trong một số trường hợp, đặc biệt ở vùng nước sâu, sóng âm có thể không tới được phía thu. Đó được gọi là các vùng mù.



Hình 1.7 - Thay đổi của nhiệt độ theo độ sâu (ở vùng biển có độ sâu 75m, đo được bằng thiết bị Valeport MidasCTD)

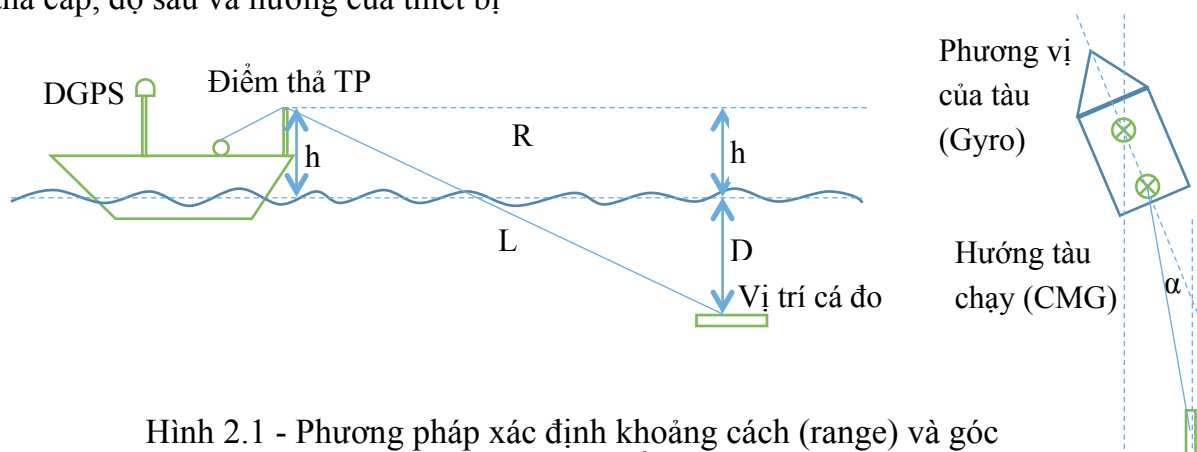
Dựa vào các số liệu có thể chia độ sâu nước thành ba vùng chính phân biệt theo tốc độ âm thanh:

- Vùng bề mặt hay vùng biến đổi theo mùa: có độ dày và tốc độ âm thanh biến đổi phụ thuộc nhiều điều kiện như mùa, thời gian trong ngày, dòng chảy, vĩ độ...
- Vùng biến đổi nhiệt: là vùng có nhiệt độ nước biển thay đổi đều theo nhiệt độ (thường giảm dần)
- Vùng đẳng nhiệt: là vùng nước sâu có nhiệt độ nước biển thay đổi rất chậm và tốc độ âm thanh trong nước chỉ tăng theo độ sâu

## CHƯƠNG 2: NGUYÊN LÝ CỦA HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ USBL VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐỊNH VỊ THỦ CÔNG

### 2.1 Phương pháp định vị thủ công

Trong một số điều kiện khảo sát nhất định không sử dụng hệ thống USBL như khu vực nước nông gần bờ, hay các trường hợp hệ thống USBL bị nhiễu hoặc hoạt động chập chờn, không tin cậy người ta sử dụng phương pháp định vị thủ công dựa trên chiều dài thả cáp, độ sâu và hướng của thiết bị



Hình 2.1 - Phương pháp xác định khoảng cách (range) và góc phương vị (bearing) từ điểm thả tới cá đo

- $h$ : Độ cao từ điểm thả cáp tới mặt nước. Phụ thuộc vào mớn nước của tàu. Mớn nước phụ thuộc vào tải trọng trên tàu và thường thay đổi rất ít (cỡ cm mỗi ngày) trong thời gian đo, được đọc định kỳ hàng ngày
- $L$ : Chiều dài thả cáp được tính từ điểm thả cho tới vị trí cá đo. Ở nước nông, khoảng cách cáp ngắn cáp thường được đánh dấu chiều dài ngay trên dây cáp. Với khoảng cách cáp dài thường sử dụng một bộ ròng rọc có gắn cảm biến đo chiều dài thả cáp (dựa vào số vòng quay của ròng rọc)
- $D$ : Độ sâu của cá đo so với mặt nước. Ở hầu hết các dòng thiết bị hiện nay đều được trang bị cảm biến áp suất và hướng cho phép xác định độ sâu và hướng phương vị của cá
- $R$ : Khoảng cách (Range) theo phương ngang từ điểm thả tới vị trí của cá đo
- $\alpha$ : Góc phương vị (Bearing) theo phương ngang từ điểm thả cá tới vị trí của cá đo
- Phương vị của tàu được xác định nhờ một la bàn, trong khi hướng chạy của tàu được xác định từ vị trí của GPS có độ trễ nhất định
- Điểm thả cáp là vị trí của ròng rọc, có tọa độ được xác định từ hệ thống định vị và dẫn đường

$$R = \sqrt{L^2 - (h + D)^2} \quad (2.1)$$

Trong thực tế lý số số liệu người ta coi cá đo luôn ở phía sau tàu theo hướng tàu chạy, do đó góc phương vị  $\alpha$  được tính bằng hướng ngược với hướng tàu chạy

Tuy nhiên bằng số liệu đo được cho thấy ở trạng thái ổn định, cá luôn hướng về phía lực kéo (cũng là hướng của dây cáp). Do đó góc phương vị  $\alpha$  có thể được xác định tương đối bằng góc ngược hướng phương vị của cá đo.

Hơn thế nữa tồn tại một mối quan hệ tuyến tính giữa góc phương vị  $\alpha$  với hướng của cá đo và hướng tàu chạy khi đối chiếu với kết quả của hệ thống USBL. Điều này rất có giá trị trong việc xác định vị trí cá đo bằng phương pháp thủ công trong trường hợp hệ thống USBL hoạt động không ổn định hoặc gián đoạn.

Vị trí của cá đo có thể xác định được từ vị trí của điểm thả, khoảng cách R và góc phương vị  $\alpha$

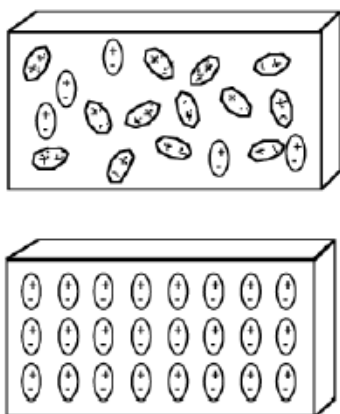
$$N_{cá} = N_{tp} + R \times \cos \alpha \quad (2.2)$$

$$E_{cá} = E_{tp} + R \times \sin \alpha$$

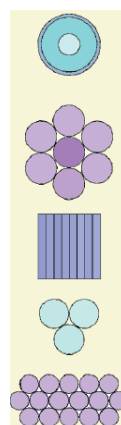
## 2.2 Các bộ thu phát sóng âm

Do sóng điện từ bị hấp thụ mạnh trong môi trường nước và đặc điểm truyền dẫn của sóng âm tốt trong chất lỏng và chất rắn, sóng âm được sử dụng trong gần như tất cả các thiết bị đo đạc, thông tin dưới nước. Các bộ thu phát sóng âm có nhiệm vụ chuyển đổi năng lượng điện xoay chiều thành sóng âm và ngược lại sóng âm thành tín hiệu điện xoay chiều.

Các bộ thu phát sóng âm sử dụng trong công nghiệp ngày nay đều được chế tạo dựa trên nguyên lý áp điện, ở đó các phân tử áp điện bị thay đổi kích thước và hình dạng khi được đặt vào một hiệu điện thế. Mỗi phân tử áp điện dao động sẽ tạo ra sóng âm có tần số nhất định (thường là một dải) theo đặc tính tự nhiên của phân tử đó bao gồm kích thước, hình dạng và độ dày, trong đó độ dày quyết định chủ yếu



Hình 2.2 - Phân tử áp điện trước và sau khi phân cực [3, pp.9]



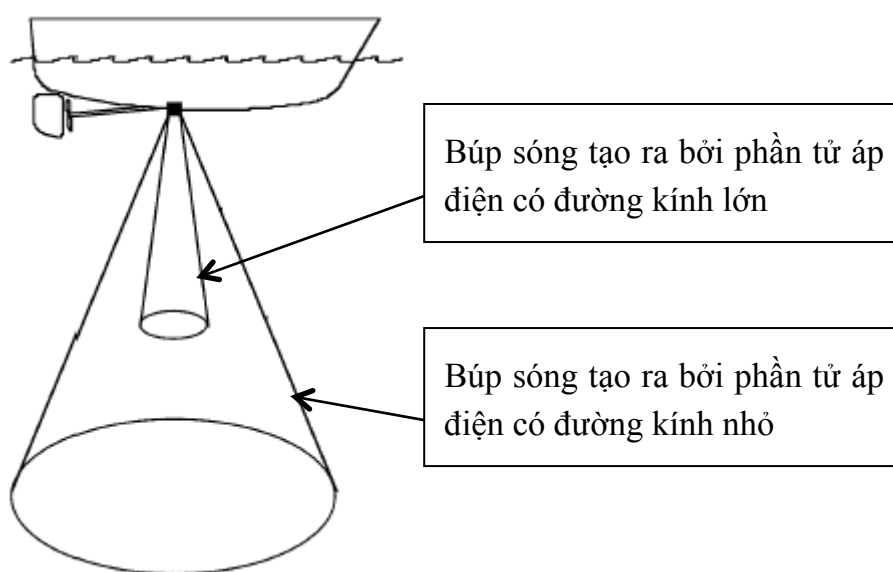
Hình 2.3 - Hình dạng và bố trí của các phân tử áp điện thường

Các phần tử áp điện được chế tạo sử dụng các hợp chất hóa học Barium Titanate (BT) hay Lead Zirconate Titanate (PZT). Các hợp chất hóa học này ban đầu dưới dạng bột, được nén lại thành các hình dạng như mong muốn, sau đó nung trong lò ở một nhiệt độ chính xác. Các phần tử áp điện sau khi nung sẽ trở nên cứng và khó để bị nứt hay gãy, tiếp tục được phủ hai lớp điện cực bạc ở hai mặt đối diện. Ở công đoạn cuối cùng các phần tử áp điện được phân cực bằng cách cách đặt vào nó một điện áp lớn, các tinh thể sau đó sẽ được sắp xếp lại thẳng hàng theo hướng cực tính âm và dương

Các phần tử áp điện có thể được chế tạo theo các hình dạng mong muốn, hầu hết là dạng đĩa, tuy nhiên cũng có thể là hình thanh hoặc hình nhẫn. Một bộ thu phát có thể chứa một phần tử áp điện hoặc nhiều phần tử áp điện được sắp xếp theo một hình dạng nhất định

### 2.3 Lan truyền của sóng âm

Sóng âm khi bắt đầu lan truyền sẽ được trải rộng ra và đi sâu vào trong môi trường nước và tạo ra vùng lan truyền sóng có dạng hình nón



Hình 2.4 - Hình dạng vùng lan truyền sóng âm [3, pp.11]

Đường kính hay độ dài phần phân đáy hình nón được gọi là độ rộng của búp sóng. Độ rộng búp sóng nhỏ cho phép xác định chính xác hơn vị trí của đối tượng phát hiện, trong khi độ rộng lớn cho phép phạm vi phủ sóng lớn hơn. Một trong những cách để thay đổi độ rộng búp sóng là sử dụng các phần tử áp điện có đường kính khác nhau. Đường kính càng lớn thì độ rộng búp sóng càng nhỏ, và ngược lại.

Trên thực tế độ rộng búp sóng có thể được tính được dựa trên độ sâu của đáy biển, còn trên lý thuyết độ rộng búp sóng được công bố và đo tại điểm nửa công suất (-3dB) hoặc đôi khi là điểm  $\frac{1}{4}$  công suất (-6dB). Trong các phép đo dưới nước, độ rộng búp

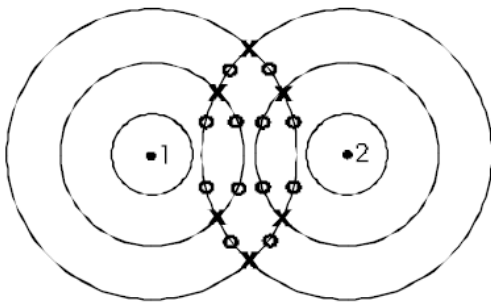
sóng ảnh hưởng trực tiếp tới độ chính xác của phép đo. Độ rộng búp sóng càng nhỏ phép đo càng chính xác và ngược lại.

Một hiện tượng thực tế là ngoài búp sóng chính còn tồn tại các búp sóng phụ ở xung quanh búp sóng chính, tương tự như trong thu phát sóng điện từ. Bằng các phép đo người ta nhận thấy chỉ khoảng 60-70% năng lượng sóng âm được truyền đi trong búp sóng chính. Ngoài trừ ở một khía cạnh nhỏ các búp sóng phụ có thể làm tăng vùng phủ sóng, trong các ứng dụng đo đạc trên biển các búp sóng phụ thường

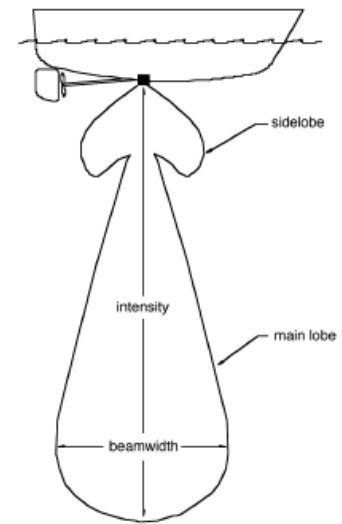
không được mong muốn do gây thất thoát công suất của các bộ phát, gây nhiễu cho chính bản thân bộ thu của máy đo hoặc các máy đo khác lắp đặt bên cạnh.

Giống như ăng-ten vô tuyến, mỗi loại phần tử áp điện và cách sắp xếp của chúng tạo ra các hình dạng búp sóng khác nhau và được cân nhắc trong khi thiết kế cho từng mục đích sử dụng

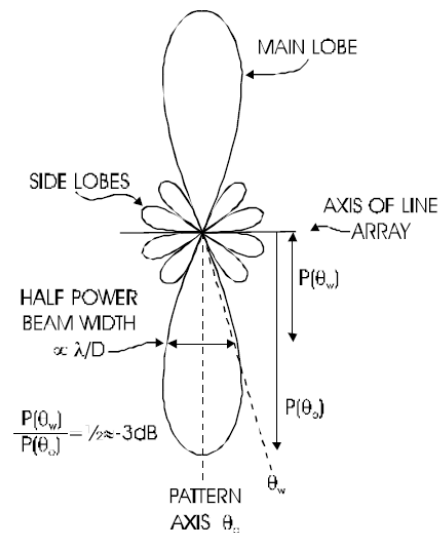
Hai hoặc nhiều phần tử áp điện đặt thẳng hàng với nhau có thể tạo thành các búp sóng dạng cánh hẹp do hiện tượng giao thoa. Hơn thế nữa với các bộ thu, hướng nghiêng của cánh sóng có thể được điều chỉnh nhờ vào việc làm trễ pha tương ứng tín hiệu thu được ở các phần tử áp điện. Cách sắp xếp này đã cho ra đời các thiết bị đo đạc tiên tiến và hiệu quả như hệ thống đo quét ngang âm bề mặt hay máy đo sâu đa tia, hệ thống USBL



Hình 2.7 - Các vị trí giao thoa tăng cường và triệt tiêu tạo thành cánh sóng [4, pp.27]



Hình 2.5 - Hình dạng búp sóng trên thực tế bao gồm búp sóng chính và các búp sóng phụ [3, pp.12]

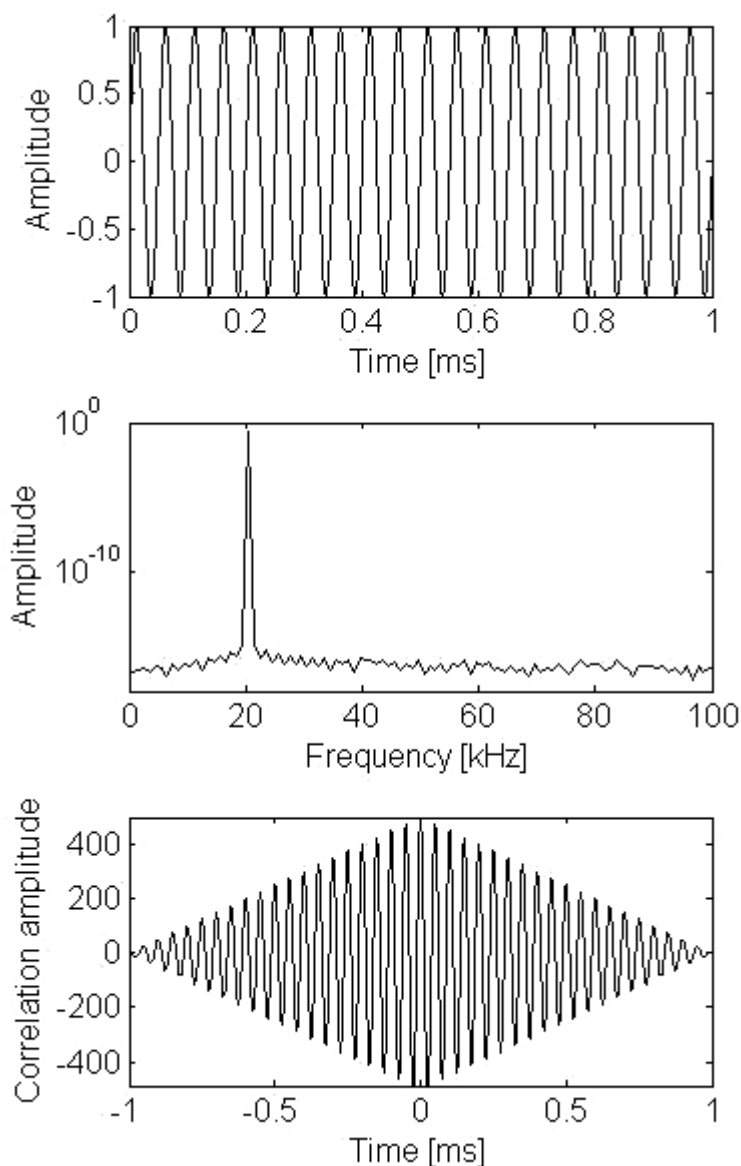


Hình 2.6 - Mặt cắt của cánh sóng được tạo bởi một dãy các phần tử áp điện thẳng hàng [4, pp.33]

## 2.4 Tín hiệu sóng âm

### 2.4.1 Tín hiệu nguyên gốc

Tín hiệu âm gốc là tín hiệu sóng âm có tần số nhất định, chưa được điều chế, được sử dụng trong các thiết bị đo lường và định vị dưới nước cho đến ngày nay. Mỗi thiết bị phải có dải tần số hoạt động được ngăn cách với dải tần số của các thiết bị khác



Hình 2.8 - Phổ tần số và biên độ tương quan của tín hiệu sóng âm gốc [5, tr.3]

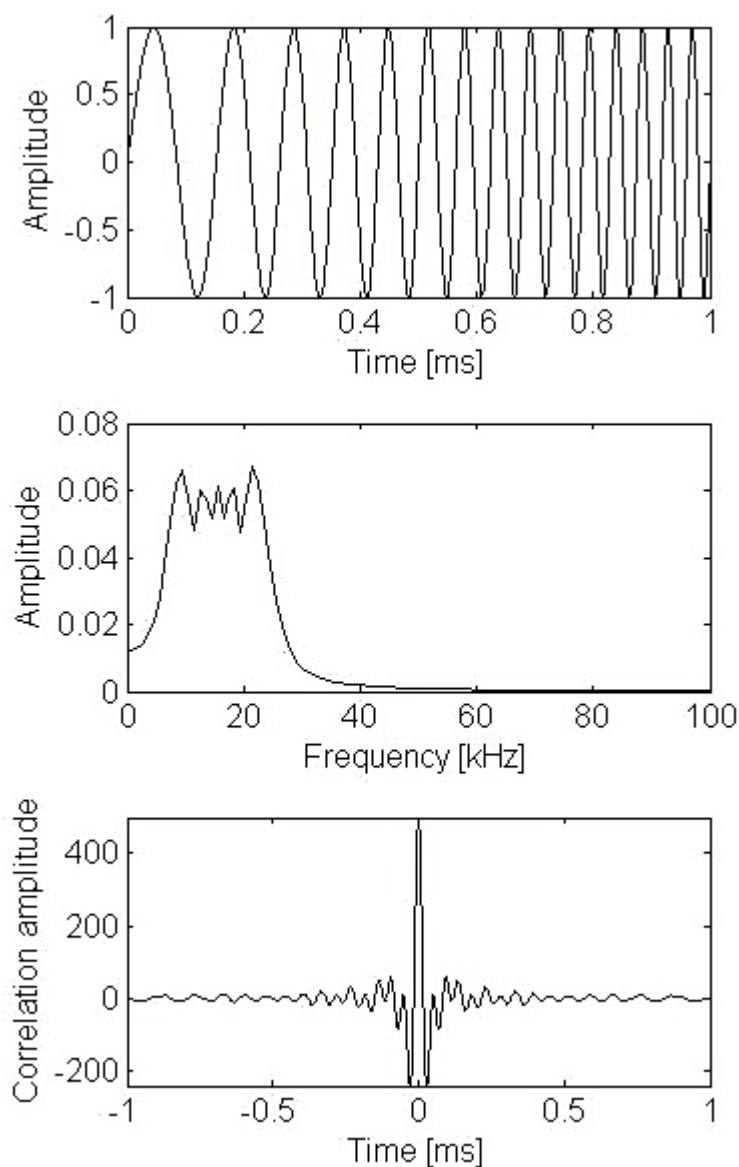
Độ dài xung phát có thể điều chỉnh được tùy theo từng ứng dụng, tần số và môi trường hoạt động. Độ dài xung phát càng lớn thì năng lượng càng nhiều, ngược lại làm giảm độ phân giải của máy đo, thông thường từ vài cho đến vài chục lần chu kỳ sóng. Ở môi trường nước sâu hoặc khoảng cách lớn việc điều chỉnh tăng độ rộng xung là cần thiết để đảm bảo đủ năng lượng sóng âm tới được đối tượng đo hoặc máy thu, ảnh hưởng tới độ phân giải của máy đo.



Trong xử lý tương quan việc xác định đỉnh tương quan của tín hiệu phát và tín hiệu phản hồi có độ chính xác không cao và ảnh hưởng tới độ chính xác của kết quả tính toán của máy đo

#### 2.4.2 Tín hiệu điều chế tần số (FM hay còn gọi là CHIRP)

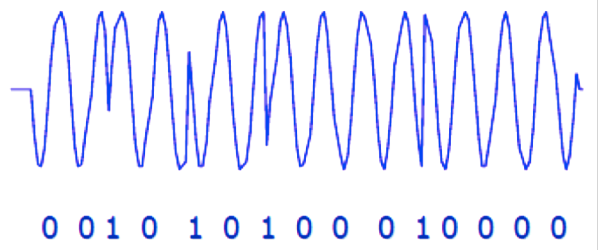
Tín hiệu điều chế tần số là tín hiệu sóng âm được điều chế tần số theo một hàm tuyến tính hoặc hàm mũ, tương tự như đối với sóng vô tuyến. So với tín hiệu nguyên gốc có cùng độ dài xung phát và biên độ, tín hiệu điều chế tần số có năng lượng phát tương đương trong khi vẫn đảm bảo được độ phân giải cao của máy đo và dải tần rộng cho kết quả đo chi tiết hơn so với tín hiệu gốc chỉ có một tần số. Đỉnh tương quan của tín hiệu phát và tín hiệu phản hồi cũng được xác định chính xác hơn. Các máy quét ngang âm bề mặt tiên tiến ngày nay sử dụng tín hiệu điều chế tần số và cho kết quả hình ảnh chi tiết và độ phân giải cao



Hình 2.9 - Phổ tần số và biên độ tương quan của tín hiệu điều chế tần số [5, tr.3]

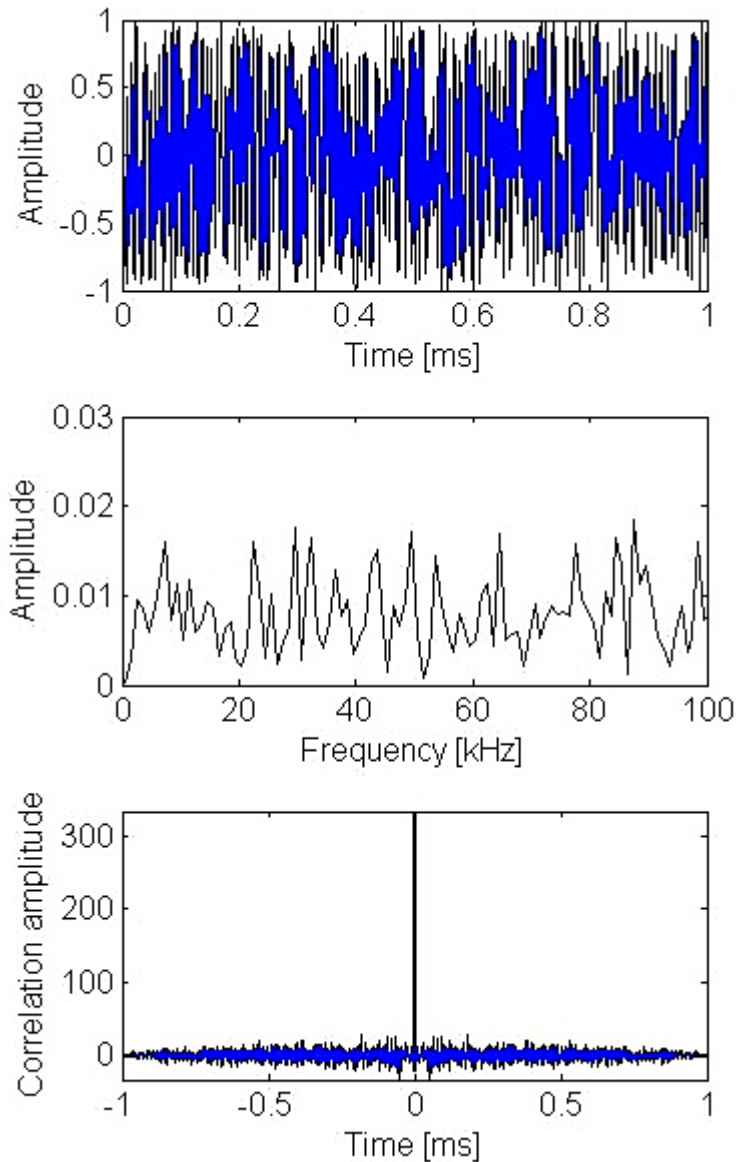
### 2.4.3 Tín hiệu điều chế pha (PSK)

Tín hiệu điều chế pha được điều chế từ tín hiệu sóng âm gốc có tần số đơn theo một dãy số nhị phân, ở đó pha của tín hiệu gốc thay đổi giữa  $\pm 180^\circ$  tùy theo giá trị của dãy nhị phân



Hình 2.10 - Tín hiệu sóng âm điều chế pha (còn gọi là tín hiệu băng rộng)

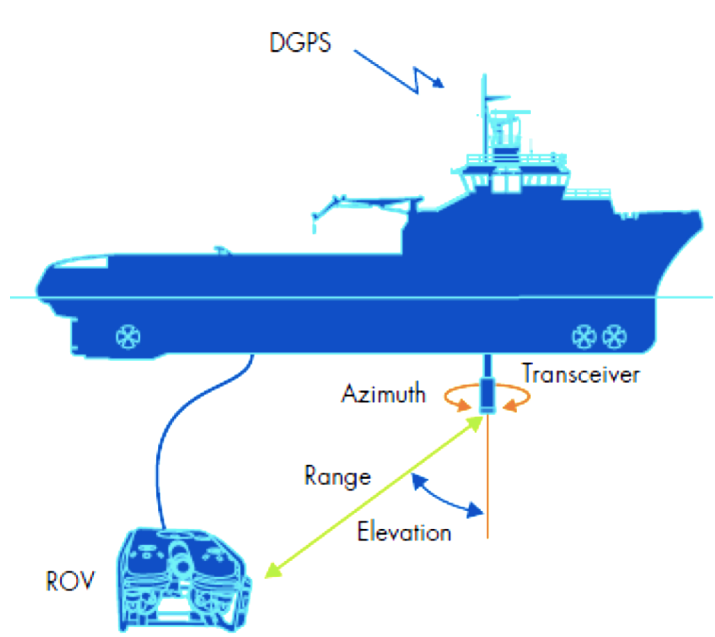
Tín hiệu điều chế pha có phổ tần số rất rộng và được ứng dụng trong các thiết bị tiên tiến như các hệ thống đo sâu đa tia, hệ thống USBL, có khả năng chống nhiễu tốt và có khả năng sử dụng nhiều thiết bị trên cùng một dải tần số.



Hình 2.11 - Phổ tần số và biên độ tương quan của tín hiệu sóng âm điều chế pha [5, tr.3]

Tín hiệu điều chế pha cho phép xác định đỉnh tương quan chính xác giữa tín hiệu phát đi và tín hiệu phản hồi, nhờ đó kết quả tính toán của máy đo chính xác hơn

## 2.5 Nguyên lý của hệ thống USBL



Hình 2.12 - Hệ thống định vị sóng âm USBL [6, tr.2]

Hệ thống USBL hoạt động dựa trên kỹ thuật truy vấn bằng sóng âm để đo khoảng cách từ bộ thu phát gắn trên tàu tới một bộ phát đáp gắn trên đối tượng cần xác định vị trí. Trong hệ thống USBL, bộ thu phát gắn trên tàu bao gồm một bộ phát đơn và nhiều bộ thu được đặt chung trong cùng một kết cấu vỏ



Hình 2.14 - Bộ phát đáp Sonardyne Coastal gắn trên cá đo quét ngang âm bề mặt EdgeTech 4200MP

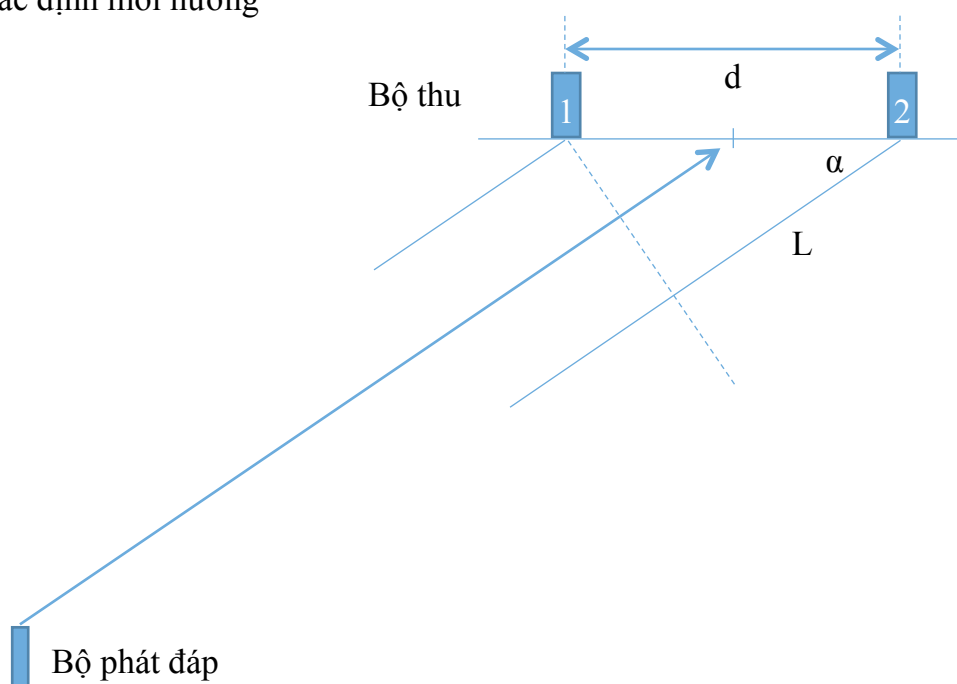


Hình 2.13 - Bộ thu phát Sonardyne 8024 Wideband gắn trên tàu khảo sát

Bộ thu phát sẽ gửi một tín hiệu sóng âm tới bộ phát đáp và sau đó chờ tín hiệu phản hồi do bộ phát đáp gửi về. Thời gian chờ là thời gian sóng âm đi được 2 lần khoảng cách giữa bộ thu phát và bộ phát đáp, phụ thuộc vào các yếu tố:

- Tầm nhìn thẳng giữa bộ thu phát và bộ phát đáp
- Độ trễ của bộ phát đáp từ lúc nhận được tín hiệu truy vấn cho đến lúc phát trả tín hiệu phản hồi
- Tốc độ âm thanh trong vùng nước hoạt động

Ngoài xác định khoảng cách, hệ thống USBL xác định hướng (phương vị và góc ngang) tương đối giữa bộ phát đáp và bộ thu phát, từ đó xác định được vị trí tương đối của bộ phát đáp. Để xác định hướng, hệ thống USBL dựa vào độ trễ thời gian và sai lệch pha của tín hiệu thu được giữa các bộ thu đặt trong bộ thu phát. Khoảng cách giữa các bộ thu là rất nhỏ (cỡ cm) và các hệ thống USBL hiện nay đều có tối thiểu 3 bộ thu để xác định mỗi hướng



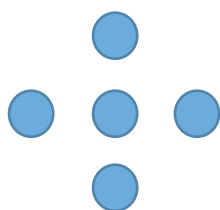
Hình 2.15 - Xác định góc dựa vào độ trễ thời gian

Vì khoảng cách các bộ thu rất nhỏ (cỡ cen ti mét) so với khoảng cách từ bộ phát đáp tới bộ thu phát (cỡ vài chục mét cho đến vài ki lô mét) nên có thể coi sóng âm tới các bộ thu 1 và 2 song song với nhau. Tốc độ sóng âm trong nước là  $c$ , khi đó độ trễ thời gian của tín hiệu trả lời từ bộ phát đáp tới các bộ thu 1 và 2 là:

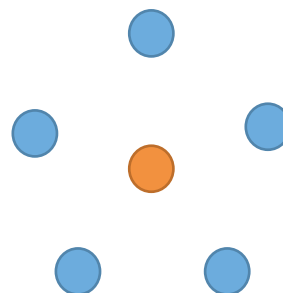
$$\tau = \frac{L}{c} = \frac{d \times \cos \alpha}{c} \text{ do đó } \alpha = \cos^{-1} \left( \frac{c \times \tau}{d} \right) \quad (2.3)$$

Ở tần số 38kHz sử dụng trong hệ thống USBL, tốc độ âm thanh trong nước biển vào khoảng 1540m/s, bước sóng âm sẽ là 4cm. Do đó khoảng trễ thời gian  $\tau$  là rất nhỏ tương đương với 1 phần bước sóng và hệ thống USBL đòi hỏi sử dụng các phép phân tích sai lệch thời gian – pha để cho giải pháp tốt nhất

Để xác định được cả góc ngẩng và hướng phương vị tương đối của bộ phát đáp, hệ thống USBL sắp xếp các phân tử thu thành dãy theo hai mặt phẳng hướng ngang (song song với mặt đất) và hướng thẳng đứng (vuông góc với mặt đất).



Hình 2.16 - Hai cách bố trí đơn giản các bộ thu trong bộ thu phát USBL



Hình 2.17 - Sắp xếp của bộ thu phát trong hệ thống USBL của Sonardyne (5 bộ thu xếp hình ngũ giác và 1 bộ phát ở giữa)

Các hệ thống USBL của Sonardyne phổ biến hiện nay sử dụng 5 phân tử thu được sắp xếp theo hình ngũ giác và 1 phân tử phát đặt chính giữa. Hệ thống sẽ lấy mẫu 8 lần riêng biệt cho tín hiệu thu được của mỗi trong số 5 bộ thu trong mỗi lần truy vấn và sử dụng 8 mẫu đó để kiểm tra và xác thực hướng.

## 2.6 Ảnh hưởng của độ nghiêng và góc xoay của bộ thu phát

Trên thực tế điều kiện đo đạc bộ thu phát USBL được gắn trên tàu và chịu ảnh hưởng bởi chuyển động của tàu, trong khi đó hệ thống USBL tính toán hướng và khoảng cách tương đối của bộ phát đáp tới bộ thu phát. Do đó kết quả đo đạc biệt là hướng sẽ bị thay đổi đáng kể khi bộ thu phát bị nghiêng hoặc xoay trong quá trình hoạt động và hệ thống phải sử dụng hàng loạt các thông tin tham chiếu chuyển động của tàu từ hệ thống dẫn đường như: thông tin định vị toàn cầu GPS, hệ thống tham chiếu chuyển động MRU, hệ thống la bàn chỉ hướng. Các thông tin này được đưa vào hệ thống USBL và sử dụng trong quá trình tính toán trên các thuật toán đủ phức tạp để đảm bảo bù lại sai lệch ngay cả trong trường hợp tư thế của bộ thu phát bị thay đổi trong khoảng thời gian phát tín hiệu truy vấn và thu tín hiệu phản hồi

## 2.7 Hiệu chỉnh hệ thống USBL

Hệ thống USBL có nhiệm vụ xác định vị trí tương đối (khoảng cách và hướng) của đối tượng so với tàu, kết hợp với vị trí của tàu xác định bằng hệ thống định vị toàn cầu GPS để có được vị trí của đối tượng. Do đó yêu cầu đặt ra bộ thu phát USBL phải được lắp đặt đúng tư thế so với tàu (song song với mặt phẳng ngang của tàu và thẳng hướng với trục dọc của tàu). Trên thực tế việc lắp đặt bộ thu phát không thể hoàn hảo và việc hiệu chỉnh được thực hiện nhằm xác định sự sai lệch tư thế của bộ thu phát so với tư thế của tàu. Các sai lệch này được sử dụng để hiệu chỉnh và cho ra kết quả cuối cùng

Các hệ thống USBL của Sonardyne được tích hợp một bộ cảm biến đo tư thế (pitch, roll) và từ đó xác định được sai lệch về tư thế của bộ thu phát so với tàu. Tuy nhiên các phương pháp hiệu chỉnh tại hiện trường có thể cho phép xác định chính xác hơn sai lệch về tư thế của bộ thu phát, bao gồm cả hướng của bộ thu phát so với trục dọc của tàu

### 2.7.1 Phương pháp hiệu chỉnh tĩnh

Là phương pháp hiệu chỉnh đơn giản tuy nhiên có độ chính xác không cao bằng cách sử dụng các bộ phát đáp đặt ở các vị trí biết trước trong khi tàu giữ vị trí cố định

Phương pháp này cho phép hiệu chỉnh sai lệch hướng phương vị của bộ thu phát so với trục dọc của tàu. Một bộ phát đáp được đặt tại một vị trí xác định và được đo khoảng cách tới bộ thu phát theo các hướng dọc thân tàu và ngang thân tàu  $X_{đo}$  và  $Y_{đo}$

Góc phương vị thực của bộ phát đáp so với tàu là

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{X_{đo}}{Y_{đo}} \right)$$

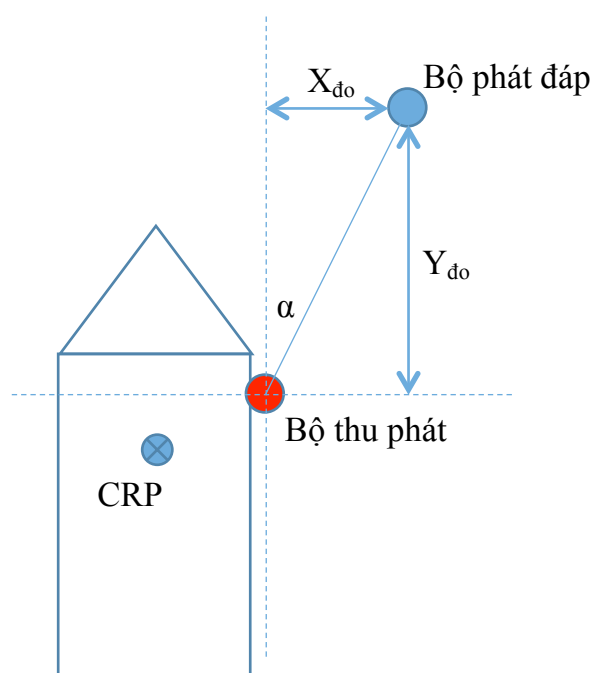
$\beta$  là góc phương vị đo được bởi hệ thống USBL

Khi đó sai lệch góc phương vị cần hiệu chỉnh là  $(\alpha - \beta)$

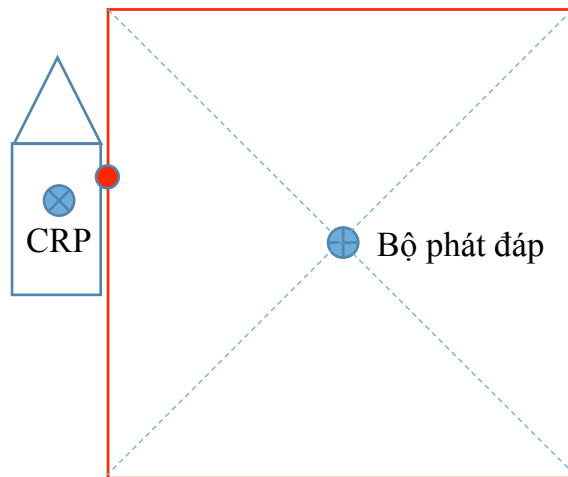
### 2.7.2 Phương pháp hiệu chỉnh động

Là phương pháp cho phép xác định sai lệch cả về tư thế (pitch, roll) và hướng của bộ thu phát so với tàu. Ở phương pháp này một bộ phát đáp được thả xuống một vị trí cố định, thẳng đứng dưới đáy biển và tàu sẽ di chuyển theo một hình vuông thiết kế có tâm là vị trí của bộ phát đáp

Sai lệch về tư thế (pitch, roll) của bộ thu phát được tính toán ban đầu dựa vào sai khác giữa cảm biến bên trong sẵn có và hệ thống bù chuyển động MRU của tàu. Kết quả được thu thập trong một khoảng thời gian nhất định và lấy trung bình, sau đó đưa vào hệ thống



Hình 2.18 - Phương pháp hiệu chỉnh tĩnh



Hình 2.19 - Phương pháp hiệu chỉnh động

Dữ liệu vị trí của bộ phát đáp được thu thập trong quá trình tàu chạy theo hình vuông thiết kế. Phần mềm sau đó sẽ thực hiện việc tính toán dựa trên dữ liệu thu thập được và đưa ra bộ thông số hiệu chỉnh tối ưu nhất bao gồm tư thế (pitch, roll) và hướng của bộ thu phát.

## CHƯƠNG 3: XỬ LÝ KẾT QUẢ ĐO BẰNG BỘ LỌC BÙ VÀ KALMAN

### 3.1 Thu thập dữ liệu

Số liệu sử dụng trong luận văn này được thu thập tại hiện trường trong dự án khảo sát địa vật lý tại Vịnh Thái Lan phục vụ việc đánh giá định kỳ hiện trạng của các giàn khoan, đường ống dẫn cũ và xây dựng các giàn khoan, đường ống mới cho tập đoàn khai thác và sản xuất dầu khí Chevron Thái Lan

Các thiết bị sử dụng để thu thập số liệu gồm có:

- Tàu khảo sát MV Miclyn Energy
- Hai hệ thống DPGS (chính + phụ): Veripos LD6 + Ăng-ten V460
- Hai hệ thống la bàn điện tử (chính + phụ): Raytheon Standard 22
- Hai hệ thống tham chiếu chuyển động (chính + phụ): Seatex MRU5
- Hệ thống USBL Sonardyne Scout Plus bao gồm bộ thu phát 8204 băng rộng, bộ phát đáp Costal và 8071 băng rộng
- Hệ thống cá đo quét ngang âm bề mặt đáy biển EdgeTech 4200MP
- Các hệ thống khác như hệ thống đo đa tia R2Sonic 2024, hệ thống đo âm địa chấn Sparker kèm theo nguồn phát CSP-D1200,...



Hình 3.1 - Lắp đặt thiết bị trên tàu

Các bộ số liệu điển hình khi hệ thống USBL hoạt động không ổn định và tin cậy trong điều kiện thời tiết xấu được sử dụng để đánh giá kết quả. Số liệu của cá đo quét ngang



âm bề mặt là xấp xỉ 10 lần/giây trong khi số liệu dẫn đường là 1 lần/giây. Toàn bộ số liệu được lọc bớt và đưa về tốc độ 1 lần/giây.

Vị trí của điểm thả cáp được tính từ vị trí ăng-ten GPS dựa theo sơ họa tàu đã được đo đạc từ trước.

### 3.2 Đánh giá dữ liệu

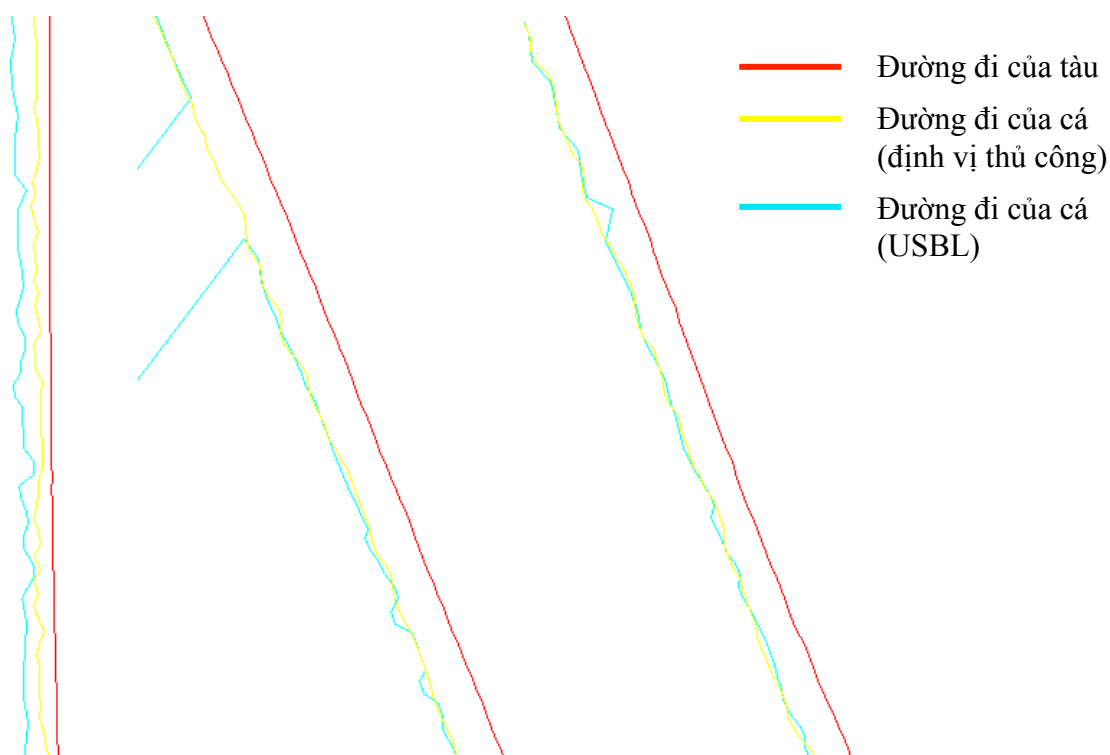
Trong luận văn này đề xuất ước lượng góc hướng phương vị  $\alpha$  theo hai cách:

- Bằng góc hướng ngược với hướng của cá đo: Cảm biến góc hướng trên cá khá ổn định và gần với góc hướng  $\alpha$  xác định bởi hệ thống USBL. Tuy vậy có những thời điểm khi hướng chạy của tàu thay đổi lớn, hướng của cá đo dao động mạnh hoặc có một độ lệch so với góc hướng  $\alpha$
- Bằng quan hệ tuyến tính với hướng của cá đo và hướng của tàu chạy:

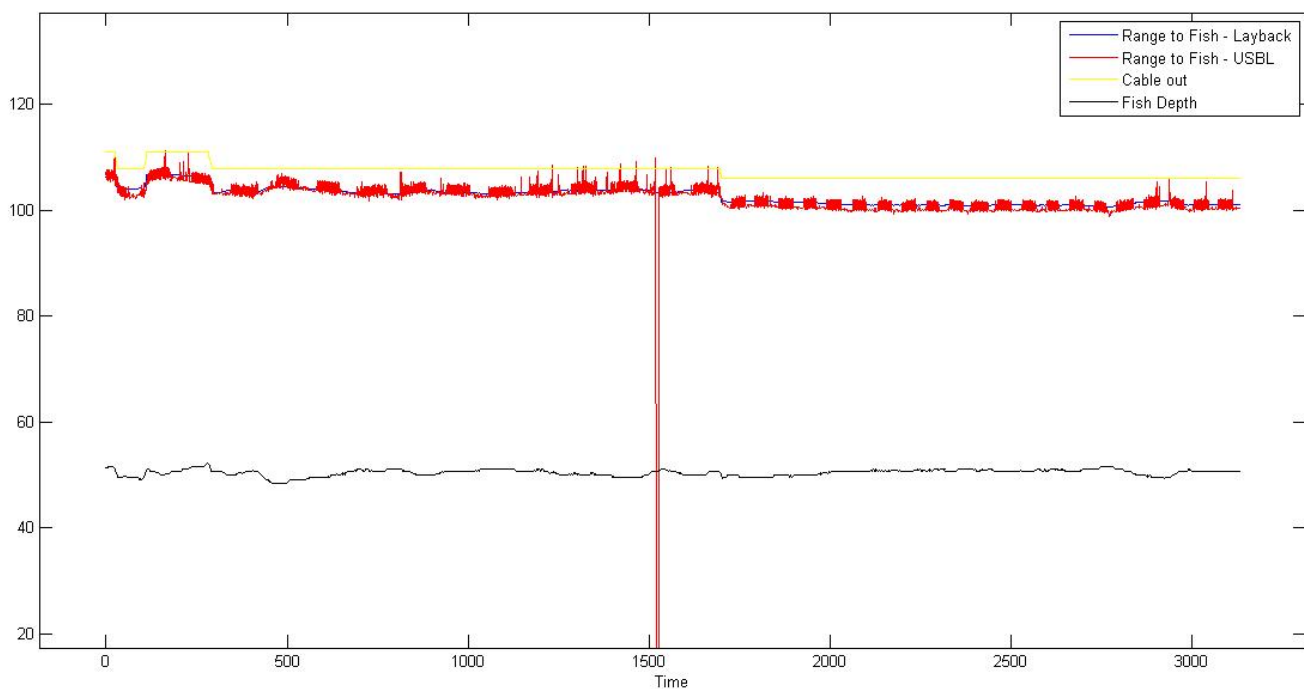
$$\alpha = a \times \text{hướng tàu chạy} + (1 - a) \times \text{hướng cá đo} + b \quad (3.1)$$

Trong đó hệ số  $a$  và độ lệch  $b$  được xác định khi so sánh với kết quả của hệ thống USBL. Góc hướng  $\alpha$  sau đó được lọc bằng một bộ lọc thông thấp để loại bỏ nhiễu tần số cao

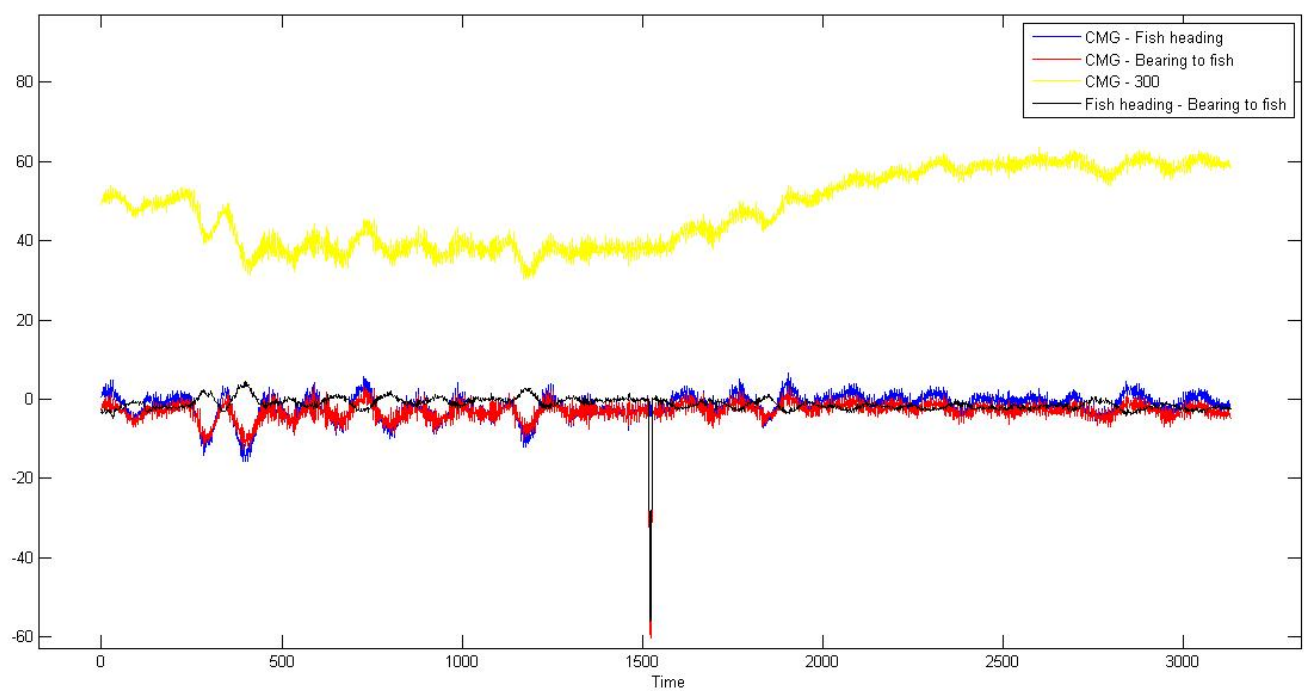
Bộ số liệu được thu thập trên đường khảo sát có chiều dài khoảng 5.3km, điều kiện thời tiết xấu dẫn đến hệ thống USBL hoạt động không tốt ở một số thời điểm



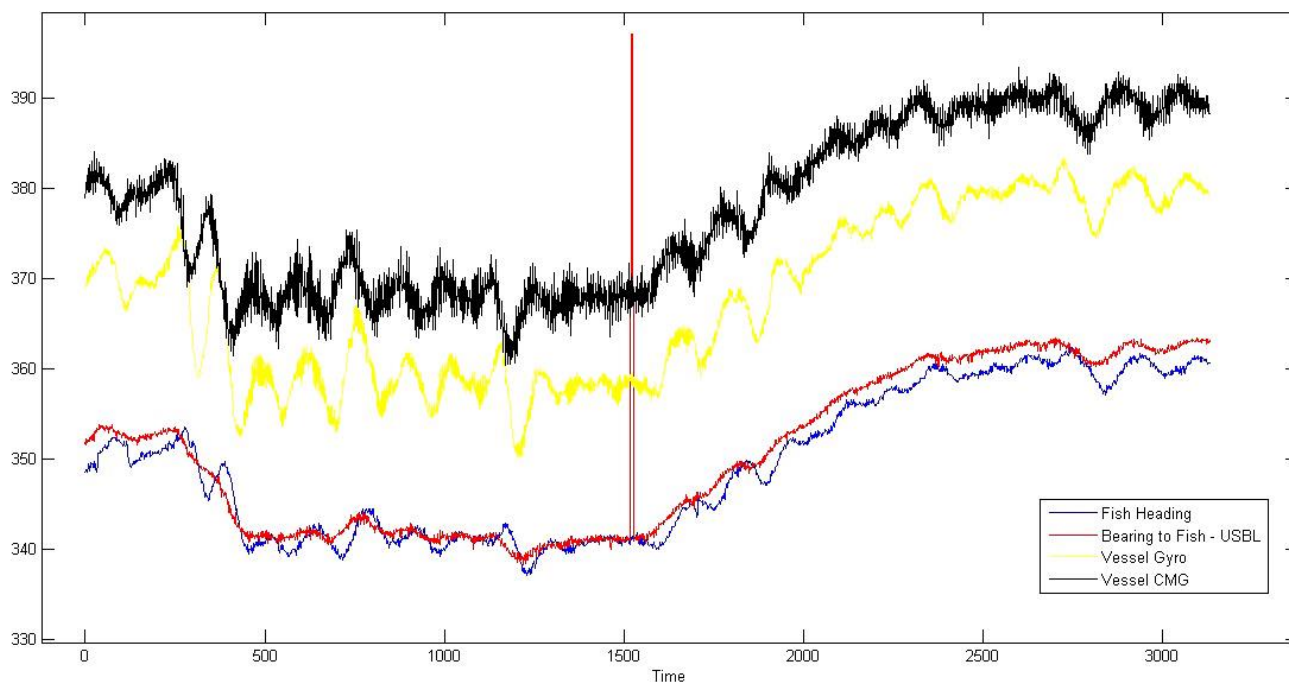
Hình 3.2 - Một vài diễn hình của hệ thống USBL khi hoạt động không tốt



Hình 3.3 - Khoảng cách từ điểm thả tới cá đo tính theo phương pháp thủ công và của USBL



Hình 3.4 - Tương quan giữa hướng của cá, hướng của cáp thả và hướng tàu chạy CMG



Hình 3.5 – Tương quan giữa hướng của cá đo, hướng phương vị  $\alpha$  của hệ thống USBL, hướng phương vị của tàu và hướng tàu chạy

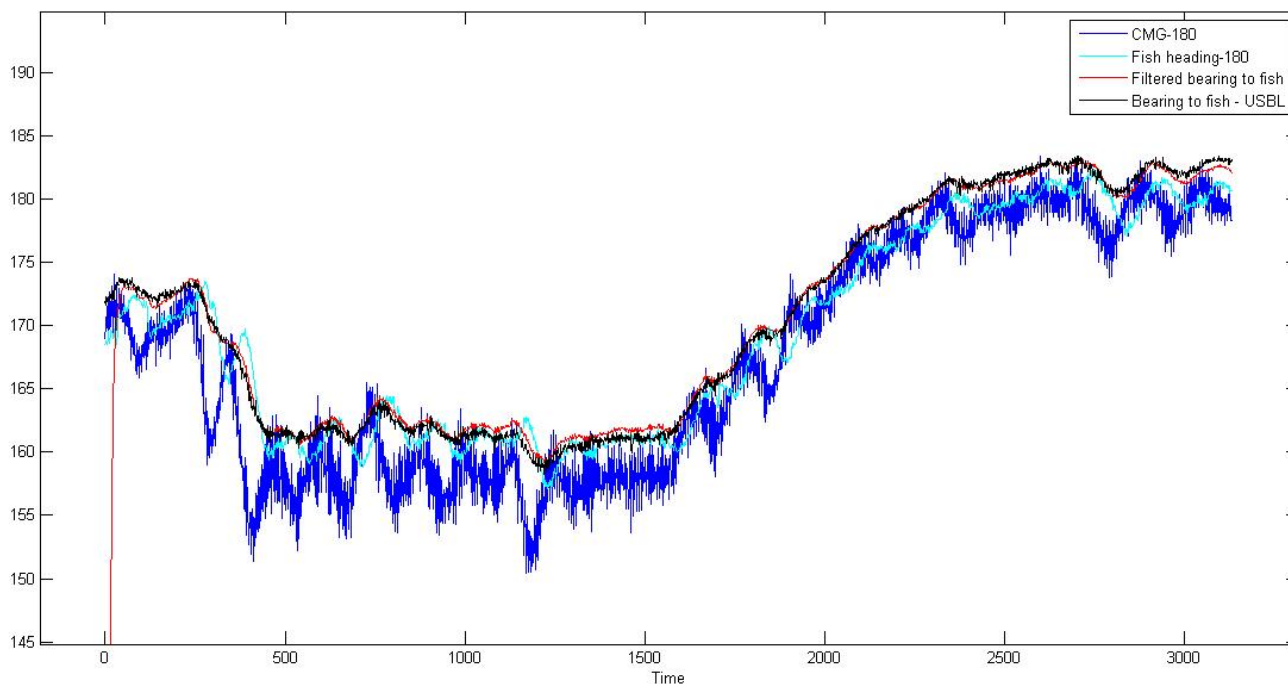
Ở những thời điểm tốt vị trí của cá đo tính theo phương pháp thủ công và bằng hệ thống USBL khá trùng khớp. Với phương pháp tính thủ công, khoảng cách từ điểm thả tới cá đo  $R$  rất ổn định do chỉ phụ thuộc vào chiều dài thả cáp và độ sâu của cá, trong khi hướng của cá đo từ cảm biến bị thay đổi do nhiễu động của môi trường và bản thân cảm biến

Với hệ thống USBL, khoảng cách  $R$  đo được bị nhiễu (trong trường hợp này xảy ra theo chu kỳ) nhưng vẫn bám sát khoảng cách  $R$  so với phương pháp tính thủ công và phù hợp với thay đổi của chiều dài thả cáp. Hướng từ điểm thả cáp tới cá đo ổn định và khá tương đồng với hướng của cá đo. Hình 28 cho thấy tương quan giữa hướng của cá đo, hướng của dây cáp (ngược với hướng từ điểm thả cáp tới cá đo) và hướng tàu chạy phù hợp với thực tế. Hướng của cá và dây cáp luôn có xu hướng tiệm cận đến hướng tàu chạy (hướng lực kéo), trong khi hướng của dây cáp thay đổi nhanh hơn hướng của cá khi hướng tàu chạy thay đổi

Sai khác giữa hướng của cá và hướng dây cáp có xu hướng tiệm cận về 0 và sai khác lớn khi hướng của tàu chạy thay đổi đột ngột

Ở bước tiếp theo, góc hướng phương vị  $\alpha$  sau đó được xác định bằng mối liên hệ tuyến tính với hướng của cá và hướng tàu chạy (3.1), hệ số  $a = 0,4$  và độ lệch  $b = 2$  (độ).

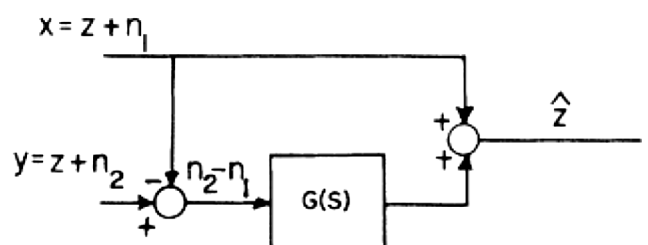
Do hướng tàu chạy chứa nhiều tần số cao, góc phương vị  $\alpha$  sau đó được lọc bởi một bộ lọc thông thấp. Kết quả cho thấy rất tốt khi đối chiếu với kết quả của hệ thống USBL và tạo ra sự khác biệt lớn trong kết quả của phương pháp định vị thủ công



Hình 3.6 - Hướng phương vị từ điểm thả cáp tới cá mô hình bằng quan hệ tuyến tính với hướng của cá và hướng tàu chạy

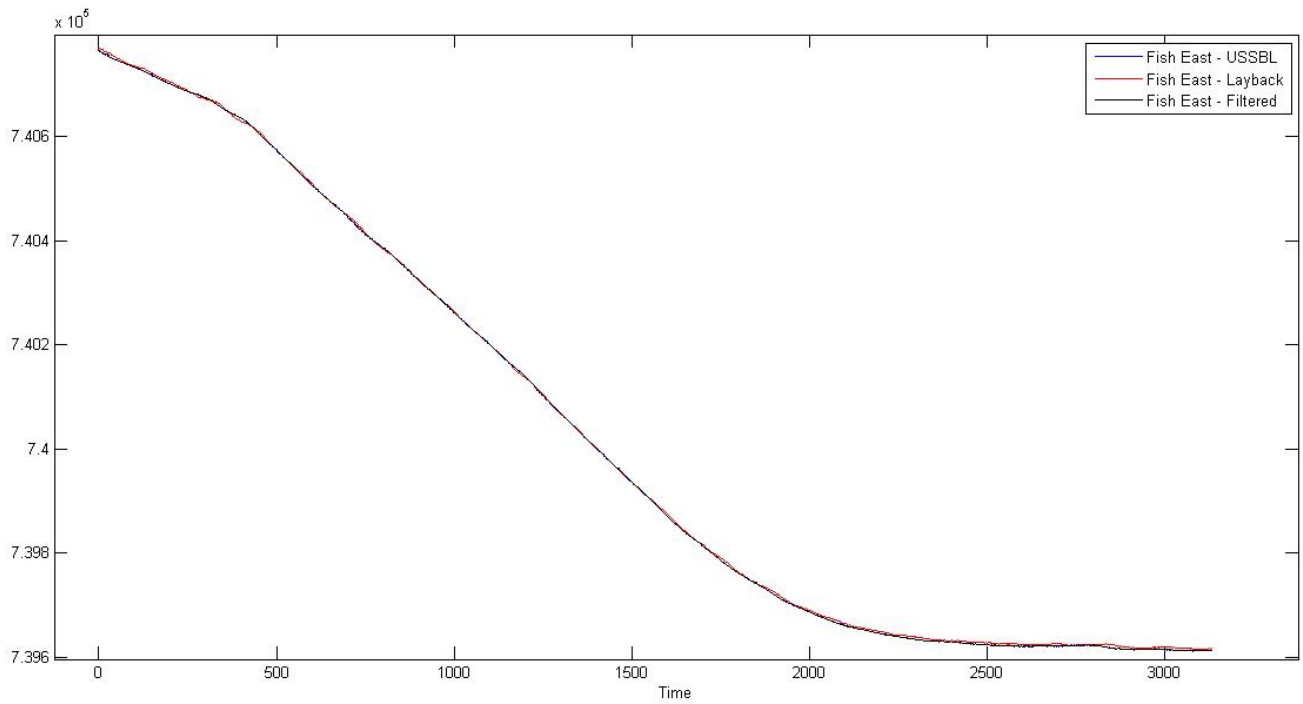
### 3.3 Kết quả sau khi áp dụng bộ lọc

#### 3.3.1 Sử dụng bộ lọc thông thấp

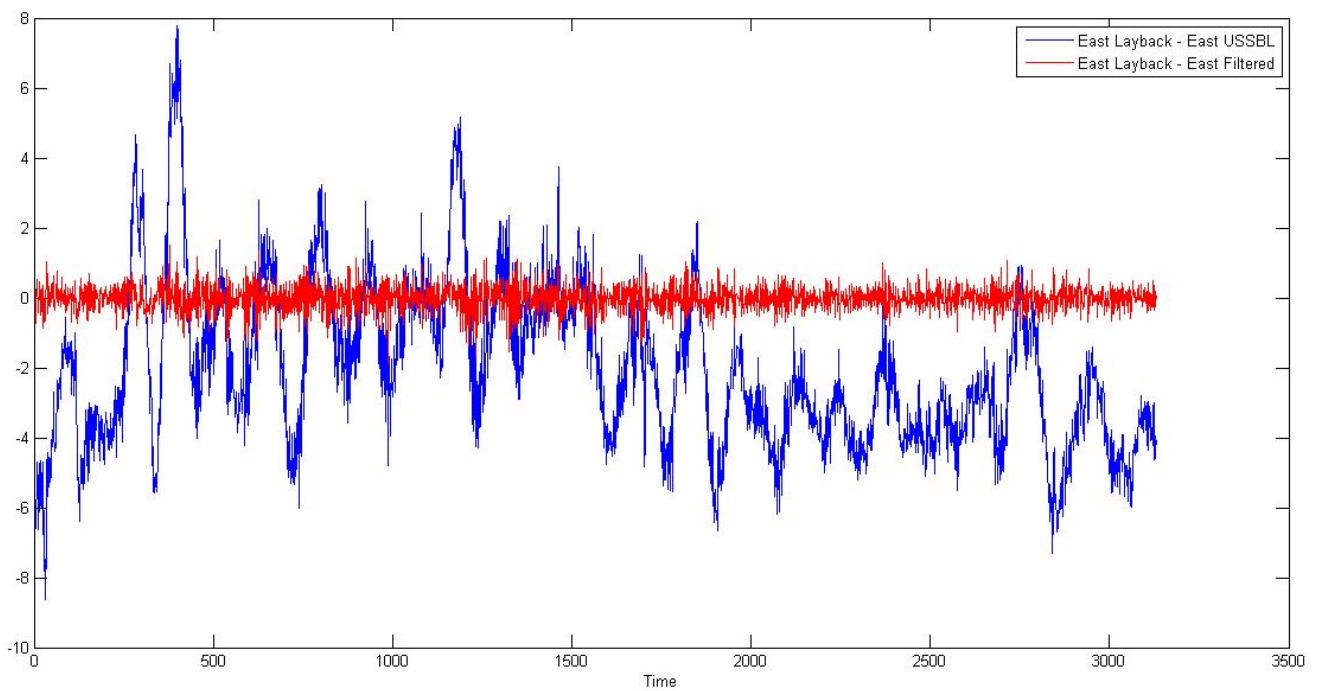


Hình 3.7 - Mô hình bộ lọc bù áp dụng khi đầu vào chỉ chứa nhiễu [8, tr.2]

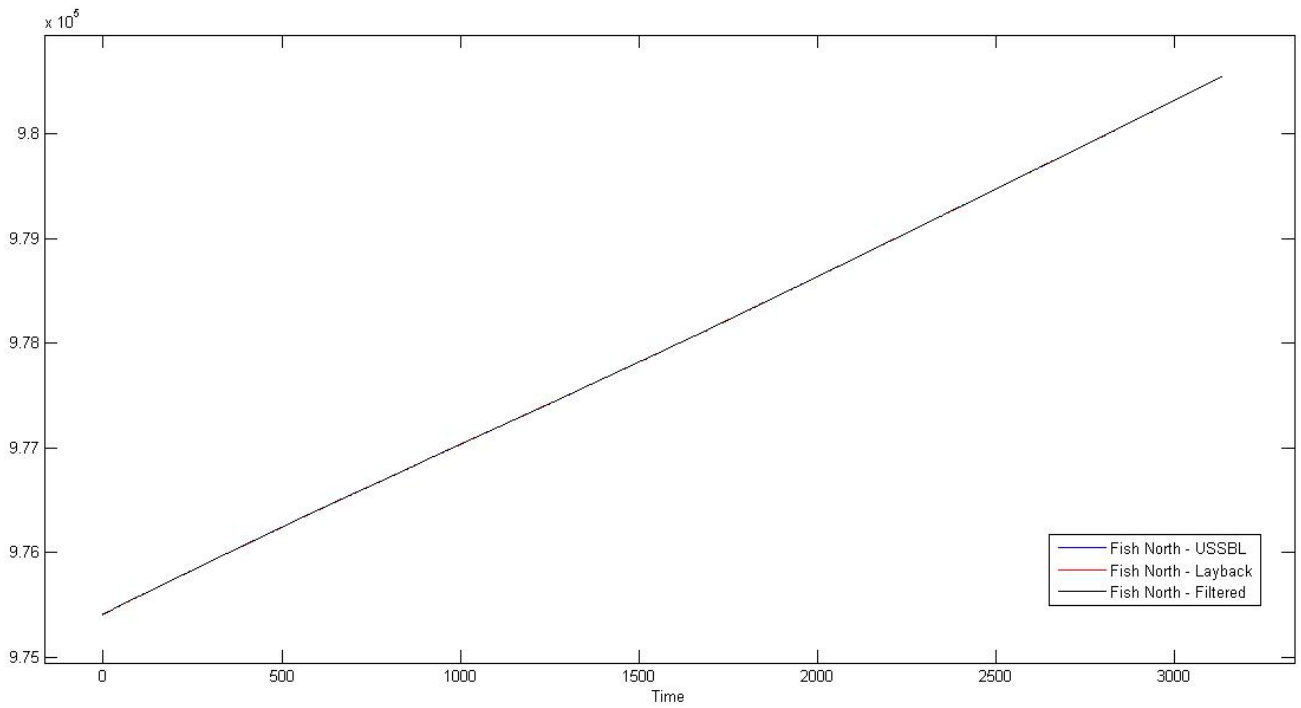
Đầu vào  $x$  là kết quả vị trí từ phương pháp định vị thủ công với góc hướng từ điểm thả cáp tới cá đo  $\alpha$  được ước lượng bằng chính hướng của cá, trong khi đầu vào  $y$  là kết quả vị trí từ hệ thống USBL sau khi đã nội suy các vị trí ở thời điểm hoạt động của hệ thống USBL bị gián đoạn



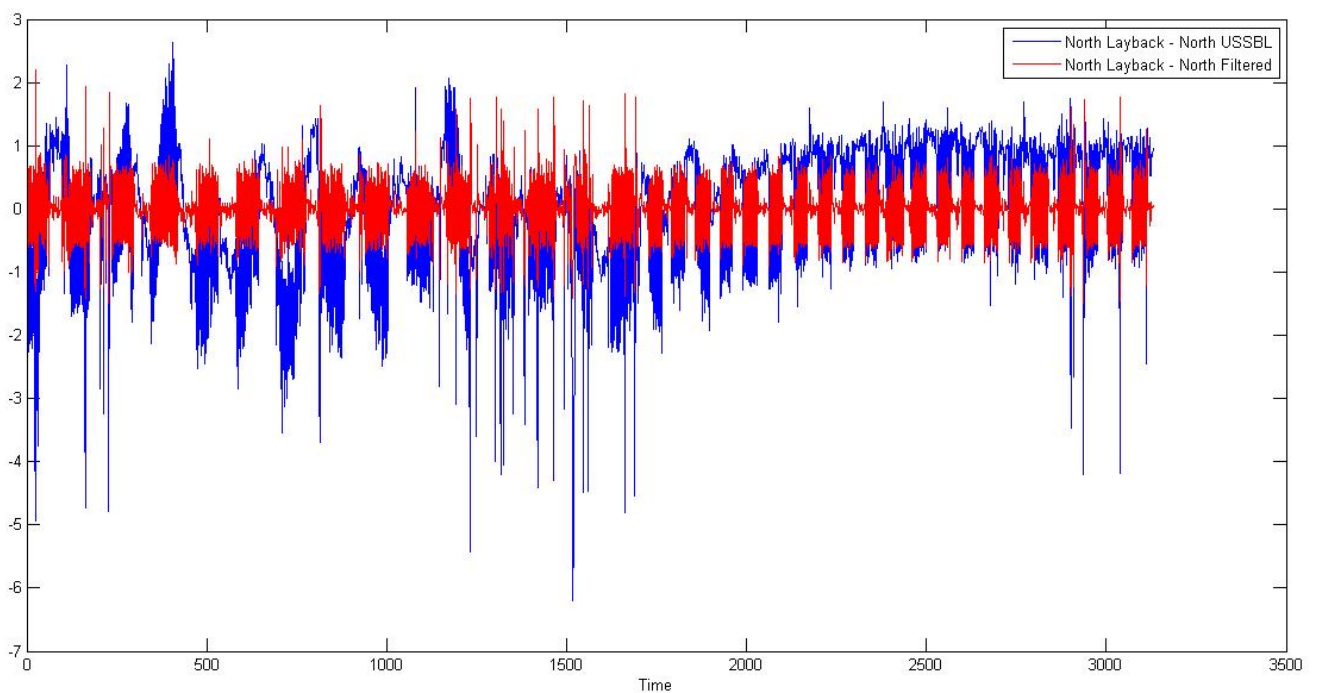
Hình 3.9 - Tọa độ (E) của phương pháp thủ công, USBL và sau khi lọc



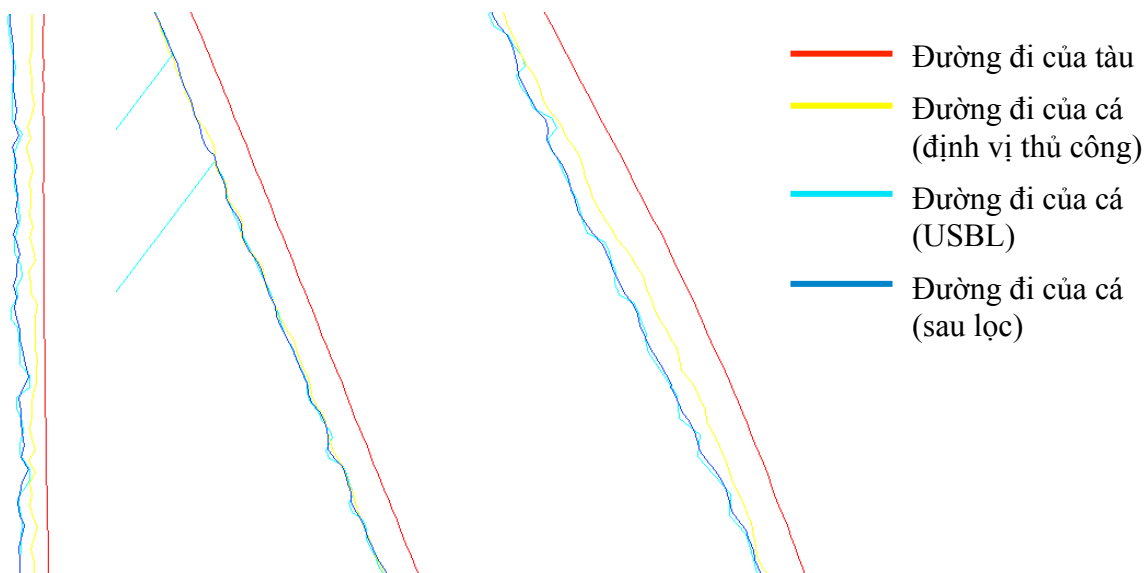
Hình 3.8 - Sai lệch tọa độ (E) giữa phương pháp tính thủ công và USBL trước và sau lọc



Hình 3.11 - Tọa độ (N) của phương pháp thủ công, USBL và sau khi lọc

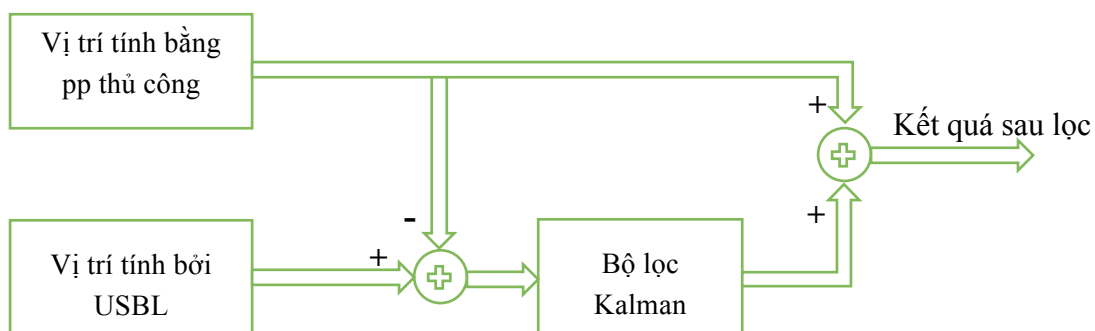


Hình 3.10- Sai lệch tọa độ (N) giữa phương pháp tính thủ công và USBL trước và sau lọc

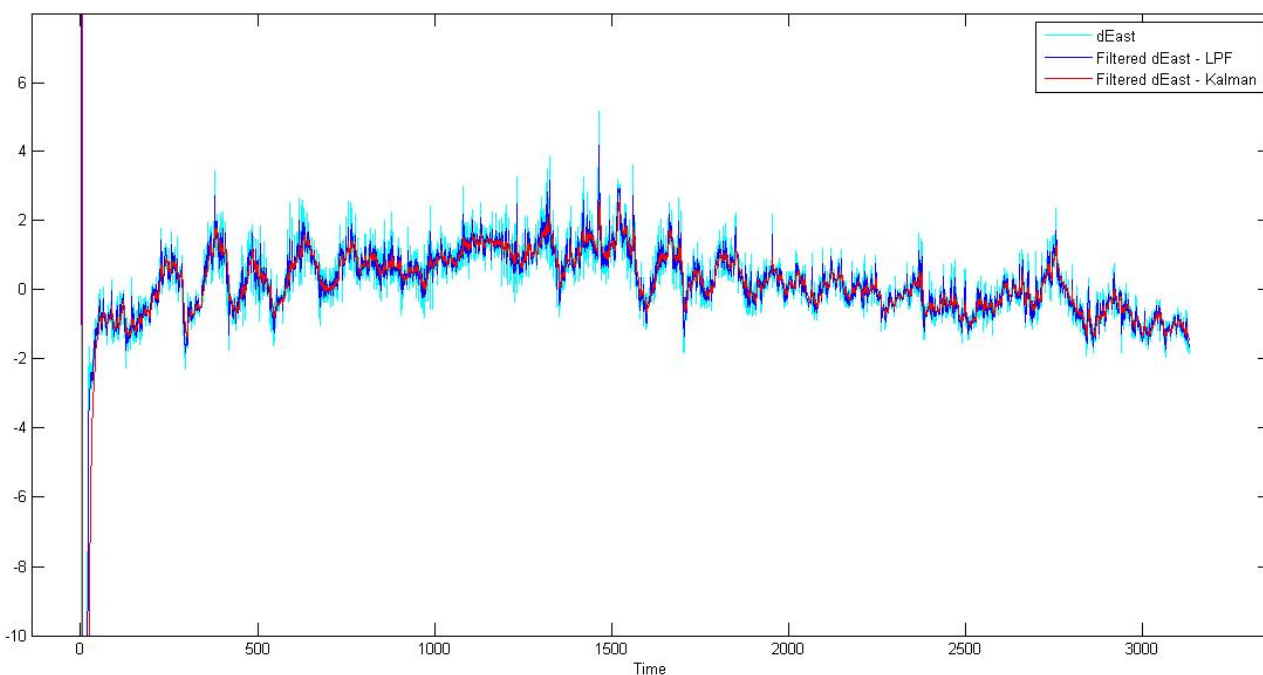


Hình 3.12 - Đường đi của cá đo sau lọc

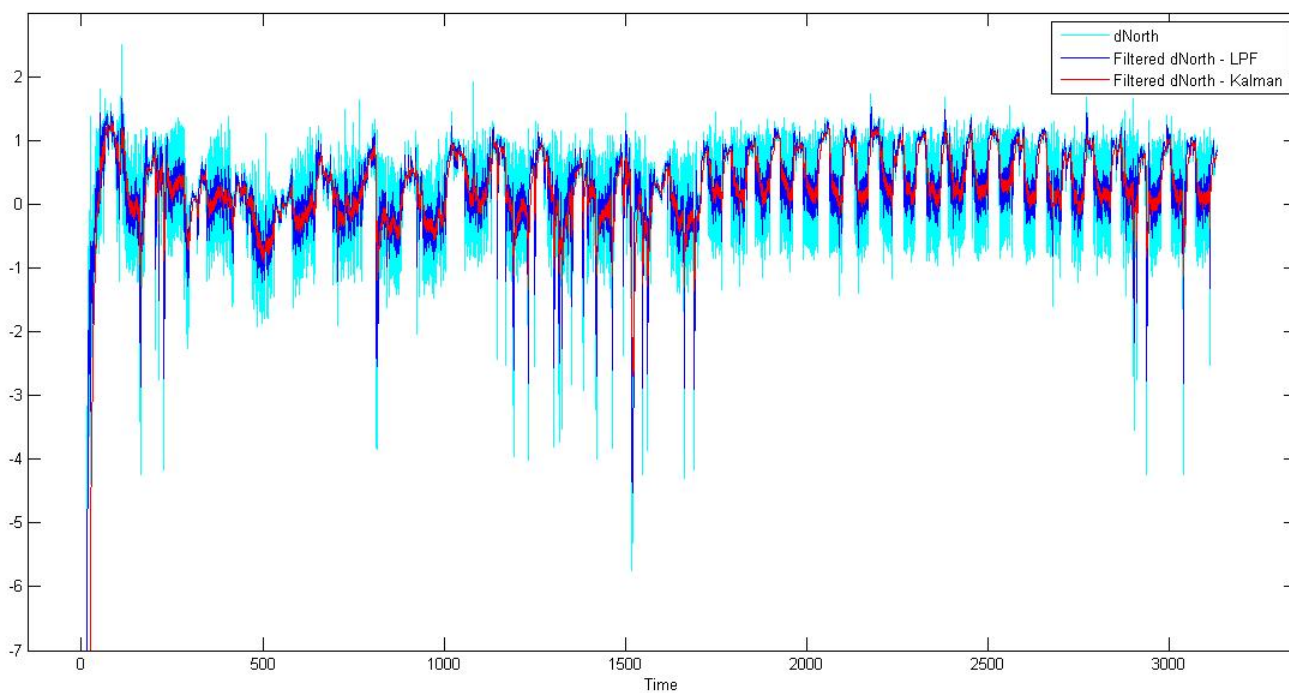
3.3.2 Sử dụng bộ lọc Kalman



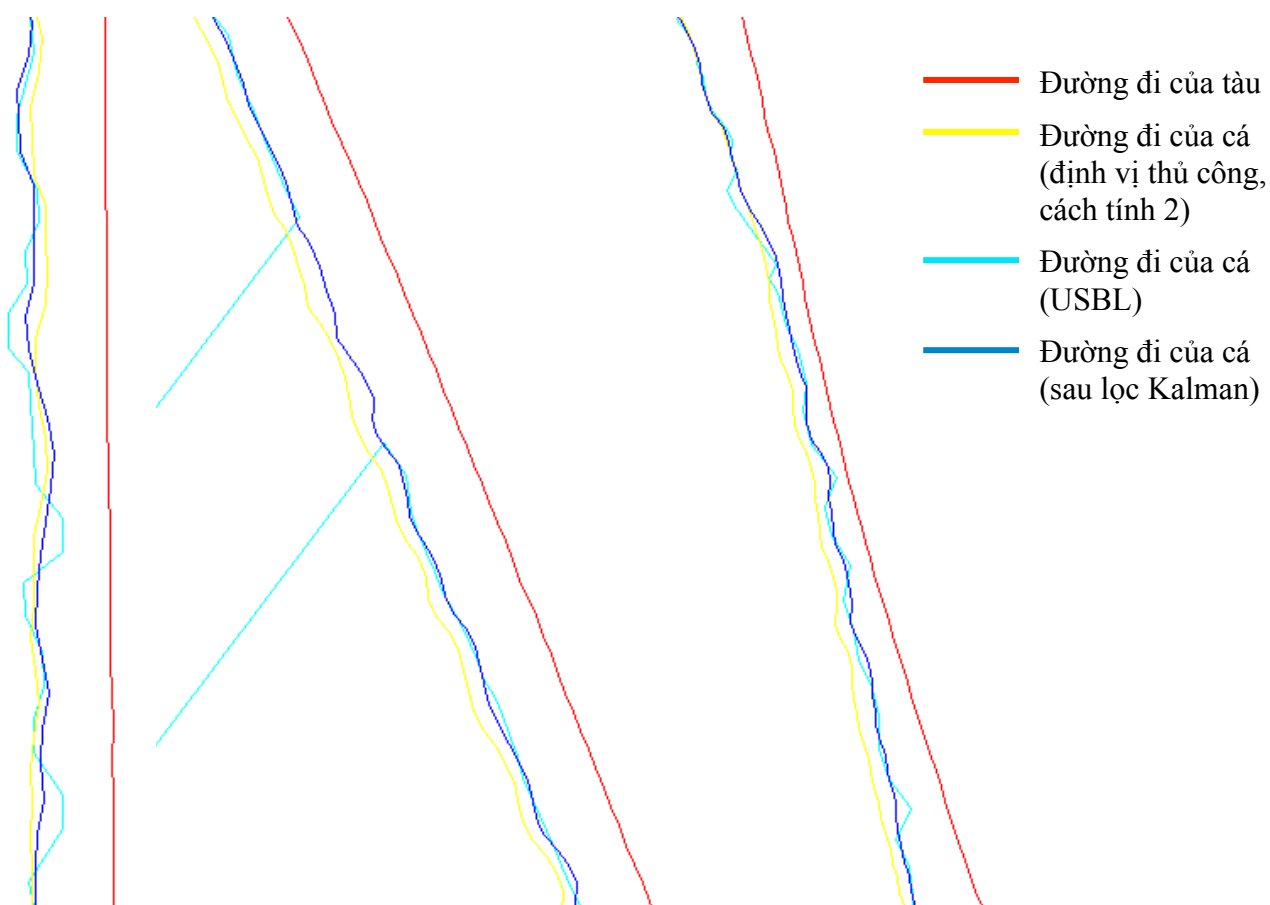
Hình 3.13 - Sơ đồ áp dụng bộ lọc Kalman thay thế



Hình 3.14 - So sánh kết quả (tọa độ East) của lọc thông thấp và Kalman



Hình 3.15 - So sánh kết quả (tọa độ North) của lọc thông thấp và Kalman



Hình 3.16 - Kết quả vị trí sau khi áp dụng bộ lọc Kalman



## KẾT LUẬN

Dựa trên số liệu thu thập được có thể khẳng định tương quan chặt chẽ giữa chiều dài thả cáp và khoảng cách tương đối  $R$  từ điểm thả cáp tới cá đo, giữa hướng từ điểm thả cáp tới cá đo và hướng tàu chạy, hướng của cá đo. Khoảng cách  $R$  xác định bằng phương pháp thủ công tương đối ổn định và chính xác dựa trên so sánh với kết quả đo của hệ thống USBL. Trong khi đó hướng dây cáp có độ ổn định thấp hơn và sai lệch nhiều hơn so với kết quả của hệ thống USBL.

Luận văn đã khẳng định mối liên hệ tuyến tính giữa góc hướng từ điểm thả cáp tới cá đo với hướng của cá hướng tàu chạy. Do hướng tàu chạy được tính từ hệ thống định vị toàn cầu GPS nên số liệu có chứa thành phần tần số cao, một bộ lọc thông thấp giúp loại bỏ các thành phần này. Kết quả thu được được kiểm chứng với số liệu đo của hệ thống USBL (hoàn toàn độc lập với tất cả các số liệu khác). Phát hiện này có thể giúp cho phương pháp định vị thủ công có độ chính xác cao trong trường hợp hệ thống USBL hoạt động gián đoạn hoặc không tốt

Khi áp dụng bộ lọc bù với đầu vào là kết quả của phương pháp tính thủ công và kết quả đo của hệ thống USBL đã giải quyết tốt các bất thường và gián đoạn trong kết quả đo của hệ thống USBL. Về cơ bản bộ lọc Kalman giải quyết tốt hơn bộ lọc thông thấp.

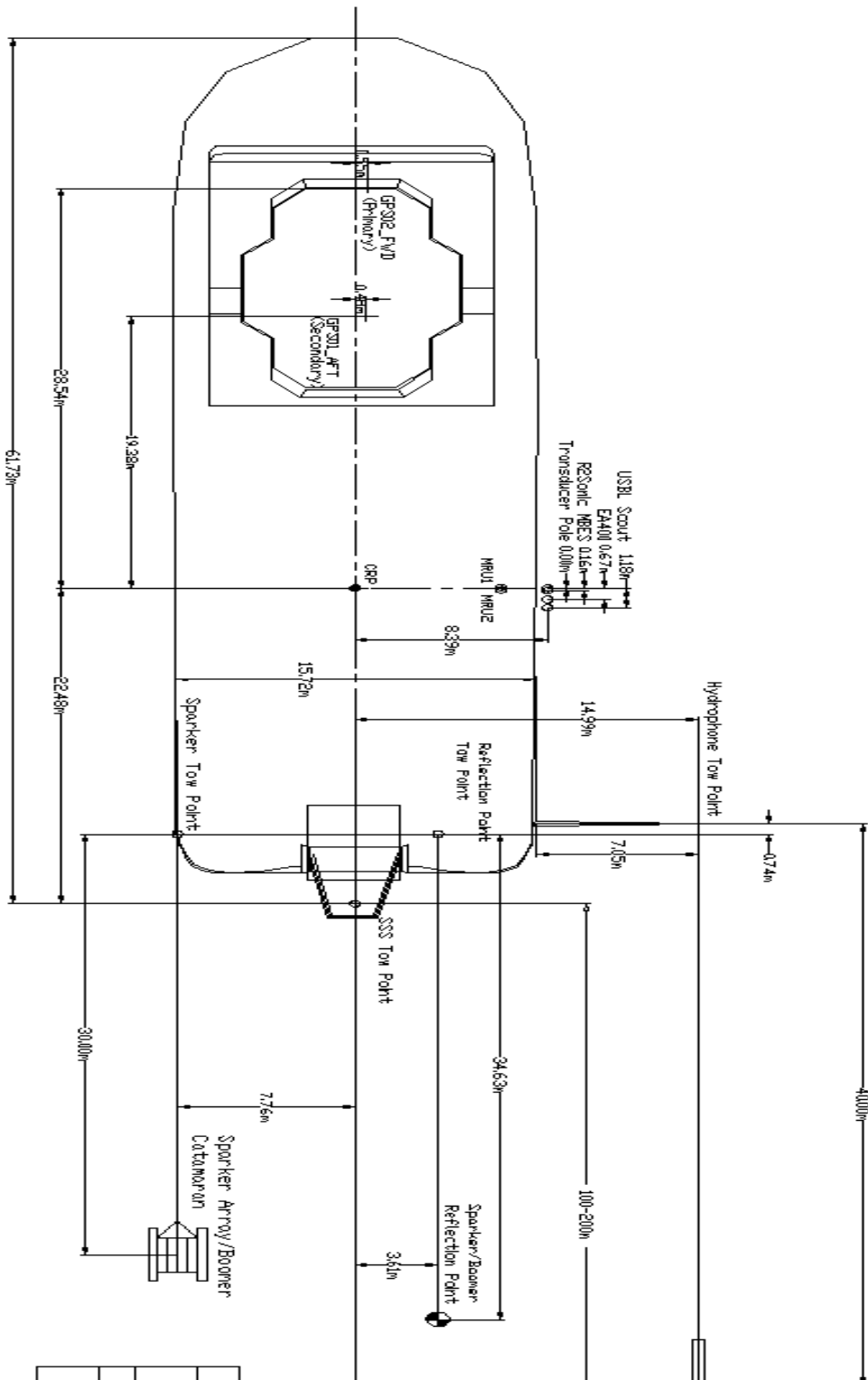
Hướng nghiên cứu tiếp theo tập trung vào sử dụng bộ cảm biến quán tính gắn trên cá đo để phát triển bài toán dẫn đường quán tính sử dụng bộ lọc Kalman áp dụng cho xác định vị trí của cá đo

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Anh

1. Jonathan Martin, *Subsea positioning through the ages*, www.sonardyne.com
2. Keith Vickery (1998), *Acoustic Positioning Systems “A Practical Overview Of Current Systems”*, Sonardyne, Inc.
3. Airmar Technology Corporation, *Theory of Operations*
4. L3 Communications SeaBeam Instruments (2000), *Multibeam Sonar Theory of Operation*
5. S.Adrián-Martínez, M.Ardid, M.Bou-Cabo, I.Felis, C.Llorens, J.A.Martínez-Mora, M.Saldaña, *Acoustic signal detection through the cross-correlation method in experiments with different signal to noise ratio and reverberation conditions*
6. Sonadyne, *Wideband™ Fusion LBL and USBL*
7. Sonardyne, *Fusion USBL System Manual*
8. Walter T. Higgins, Jr., *A Comparison of Complementary and Kalman Filtering*, IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems Vol. Aes-1 1, No. 3
9. Tran, D. T., Luu, M. H., Nguyen, T. L., Nguyen, D. D., & Nguyen, P. T. (2014). Land-vehicle mems INS/GPS positioning during GPS signal blockage periods. *Journal of Science, Vietnam National University, Hanoi.*, 23(4), 243-251.
10. Tan, T. D., Tue, H. H., Long, N. T., Thuy, N. P., & Van Chuc, N. (2006, November). Designing Kalman filters for integration of inertial navigation system and global positioning system. In *The 10th biennial Vietnam Conference on Radio & Electronics, REV-2006. Hanoi, November* (pp. 6-7).
11. Tan, T. D., Ha, L. M., Long, N. T., Thuy, N. P., & Tue, H. H. (2007). Performance Improvement of MEMS-Based Sensor Applying in Inertial Navigation Systems. *Research-Development and Application on Electronics, Telecommunications and Information Technology*, (2), 19-24.
12. Tan, T. D., Ha, L. M., Long, N. T., Tue, H. H., & Thuy, N. P. (2008, December). Novel MEMS INS/GPS Integration Scheme Using Parallel Kalman Filters. In *Proceedings of the 2008 IEEE International Symposium on System Integration* (pp. 72-76).
13. Tan, T. D., Ha, L. M., Long, N. T., Tue, H. H., & Thuy, N. P. (2007, October). Feedforward Structure Of Kalman Filters For Low Cost Navigation. In *International Symposium on Electrical-Electronics Engineering (ISEE2007)* (pp. 1-6).

Sơ họa vị trí thiết bị trên tàu



KAY / KATRI VAI PAIRNRY RPT