

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành Đồ án 2 lần này, nhóm em, gồm Võ Trọng Ân và Trần Lâm Hải An xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến Thầy GS. TS. Lê Tiến Thường đã tận tình hướng dẫn, cung cấp tài liệu và phương tiện để chúng em có thể hoàn thành Đồ án này.

Nhóm em xin chân thành cảm ơn các quý Thầy Cô của Bộ môn Viễn thông nói riêng, Khoa Điện – Điện tử nói chung đã truyền đạt cho chúng em những kiến thức nền tảng cần thiết để chúng em có thể hoàn thành Đồ án này.

Một lần nữa, nhóm em xin chân thành cảm ơn.

Tp. Hồ Chí Minh, 30 tháng 11 năm 2016

Võ Trọng Ân

Trần Lâm Hải An

TÓM TẮT

Ngày nay, việc nghiên cứu về lĩnh vực truyền thông bằng âm thanh dưới nước đang phát triển vô cùng nhanh chóng và đã đạt được nhiều thành tựu trong nhiều năm qua. Việc truyền thông bằng âm thanh dưới nước không phải là một công việc đơn giản, mà nó bị ảnh hưởng bởi rất nhiều yếu tố của môi trường, ví dụ như sự thay đổi các yếu tố vật lý của kênh truyền, sự lan truyền đa đường, hiệu ứng Doppler,... Điều này gây cản trở cho việc truyền dữ liệu và qua đó làm giảm hiệu quả của cả quá trình. Do đó, cấp thiết phải điều chế bằng thông một cách thật hiệu quả và phù hợp với kênh truyền để đạt được tốc độ truyền dữ liệu cao, hiệu suất cao.

Việc mô phỏng một mô hình đáng tin cậy của kênh âm thanh dưới nước cho các ứng dụng truyền thông là cần thiết. Để đạt được tốc độ dữ liệu cao, tất yếu phải sử dụng điều chế bằng thông hiệu quả và kỹ thuật điều chế QPSK đã được ứng dụng. Quá trình mô phỏng được thực hiện kết hợp với Matlab.

Nội dung của Đồ án gồm 5 chương:

- Chương 1: Tổng quan về lĩnh vực nghiên cứu
- Chương 2: Cơ sở lý thuyết về âm thanh ở môi trường nước, các yếu tố ảnh hưởng đến âm thanh và lý thuyết về phương pháp điều chế QPSK.
- Chương 3: Sử dụng phương pháp ảnh nguồn để xây dựng mô hình kênh truyền dưới nước
- Chương 4: Mô tả thiết kế hệ thống gồm các thành phần thu phát và hệ thống kết nối. Kết quả mô phỏng được đưa ra từ Matlab, đưa ra kết luận về kết quả, nhận xét.
- Chương 5: Các đoạn lệnh Matlab được sử dụng để thực hiện mô phỏng.

MỤC LỤC

Lời cảm ơn	i
Tóm tắt	ii
Mục lục	iii
Danh mục các hình	vi
Danh mục các bảng	vii
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN	
1.1. Tổng quan về lĩnh vực nghiên cứu	1
1.2. Giới hạn đề tài	1
1.3. Phương pháp nghiên cứu	1
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	
2.1. Giới thiệu chung về hệ thống truyền thông dưới nước	2
2.2. Nền tảng của âm thanh	3
2.2.1. Vận tốc âm thanh dưới nước	3
2.2.1.1. Sự phụ thuộc của vận tốc âm thanh vào các yếu tố	3
2.2.1.2. Sự phân bố theo độ sâu	4
2.2.2. Sự tổn thất của âm thanh lan truyền	8
2.2.2.1. Sự tổn thất do lan rộng	8
2.2.2.2. Sự tổn thất do suy giảm năng lượng trong môi trường nước	9
2.2.2.3. Sự tổn thất tại ranh giới	13
2.2.3. Nhiễu của kênh truyền	18
2.3. Kỹ thuật điều chế	19
2.3.1. Kỹ thuật điều chế số	19
2.3.1.1. ASK	19
2.3.1.2. FSK	20
2.3.1.3. PSK	20
2.3.1.4. Kỹ thuật điều chế QPSK	21
2.3.2. Tốc độ bit và tốc độ kí hiệu	22
2.3.3. Sự biểu diễn tín hiệu	23
2.3.3.1. Tín hiệu dải gốc và tín hiệu dải giữa	23
2.3.3.2. Dải gốc và dải giữa	23
2.3.4. Sự tạo dạng xung	25
CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG MÔ HÌNH LAN TRUYỀN ĐA ĐƯỜNG	
3.1. Phương trình sóng	26
3.2. Phương trình Helmholtz	29
3.3. Lan truyền âm thanh trong kênh truyền	29
3.3.1. Phương pháp ảnh nguồn	30
3.3.2. Độ dài lan truyền của các tia	31
3.3.3. Góc lướt qua	32
3.3.4. Thời gian hành trình	32
3.3.5. Tổn thất lan truyền cho các tia	33
CHƯƠNG 4: MÔ TẢ HỆ THỐNG	
4.1. Khái quát chung về hệ thống truyền thông	34
4.2. Mô phỏng hệ thống truyền thông dưới nước	34
4.2.1. Khối thiết bị phát	35

4.2.1.1. Chuỗi huấn luyện và chuỗi dữ liệu	35
4.2.1.2. Ánh xạ QPSK	36
4.2.1.3. Bộ tạo dạng xung	36
4.2.1.4. Điều chế sóng mang	36
4.2.2. Kênh truyền âm thanh dưới nước	36
4.2.3. Khối thiết bị thu	37
4.2.3.1. Bộ lọc dải giữa	37
4.2.3.2. Bộ chuyển đổi tần số xuống và lấy mẫu	38
4.2.3.3. Bộ lọc phù hợp	38
4.2.3.4. Sự đồng bộ hoá	38
4.2.3.5. Lấy mẫu xuống	39
4.2.3.6. Ước tính pha	39
4.2.3.7. Bộ quyết định	39
4.3. Một số kết quả mô phỏng trên Matlab	40
4.3.1. Thời gian trễ và sự tồn thất của các tia	41
4.3.2. Ảnh hưởng bề mặt và mặt đáy đến hệ số phản xạ	41
4.3.3. Ảnh hưởng của khoảng cách giữa các thiết bị phát và thu theo chiều ngang	42
4.3.4. Ảnh hưởng của khoảng cách thiết bị phát và thu theo chiều ngang và chiều thẳng đứng	44
4.3.5. Ảnh hưởng của gió và mặt đáy	47
4.3.6. Sự ảnh hưởng của lan truyền đa đường đến tỉ lệ lỗi bit BER	48
4.3.6.1. Đường truyền trực tiếp	48
4.3.6.2. Đa đường truyền	49
4.3.7. Biểu đồ chòm sao	51
4.3.8. Nhận xét chung	51
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN	
5.1. Kết quả đạt được	53
5.2. Những vấn đề còn tồn tại và hướng phát triển của đề tài	53
5.2.1. Những vấn đề tồn tại	53
5.2.2. Hướng phát triển của đề tài	53
Phụ lục: MÃ NGUỒN MATLAB CỦA MÔ PHỎNG	
1. Chương trình chính (main.m)	55
2. Thiết bị phát (transmitter.m)	56
2.1. Xung tạo dạng (root_raised_cosine.m)	56
2.2. Chuỗi huấn luyện (training_sequence.m)	57
2.3. Chuỗi dữ liệu (chuoi_du_lieu.m)	57
2.4. Điều chế QPSK (qpsk.m)	57
3. Kênh âm thanh dưới nước (underwater_acoustic_channel.m)	57
3.1. Kênh truyền (channel.m)	59
3.2. Độ suy giảm (attenuation.m)	59
3.3. Sự tồn thất (loss1.m)	60
3.3.1. Hệ số phản xạ trên bề mặt biển (SRC.m)	61
3.3.2. Hệ số phản xạ tại mặt đáy (BRC.m)	62
3.4. Nhiễu môi trường biển (ambient_noise.m)	63
4. Thiết bị nhận (receiver.m)	63

4.1. Ước lượng pha (phase_estimation.m)	64
4.2. Thiết bị quyết định (detect.m)	64
TÀI LIỆU THAM KHẢO	67

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 2.1: Sự phụ thuộc của vận tốc âm thanh vào nhiệt độ, độ mặn và độ sâu	4
Hình 2.2: Sự phụ thuộc của vận tốc âm thanh vào nhiệt độ và độ sâu	4
Hình 2.3: Kênh âm thanh dưới nước loại thứ nhất $c_0 < c_h$	5
Hình 2.4: Kênh âm thanh dưới nước loại thứ hai $c_0 > c_h$	6
Hình 2.5: Kênh âm thanh bề mặt	6
Hình 2.6: Lan truyền antiwaveguide	7
Hình 2.7: Lan truyền âm thanh trong vùng nước nông	7
Hình 2.8: Độ suy giảm α theo ba khu vực trong mô hình Francois – Garrison	11
Hình 2.9: Sự suy giảm theo độ mặn và nhiệt độ khác nhau	12
Hình 2.10: Độ suy giảm α tính theo ba công thức Throp, Shulkin – Marsh và Francois – Garrison.	12
Hình 2.11: Phản xạ và truyền dẫn giữa hai môi trường chất lỏng	13
Hình 2.12: Đặc trưng tán xạ cho A (mặt đáy nhẵn) và B (mặt đáy gồ ghề)	16
Hình 2.13: Tín hiệu và mật độ phổ ASK	19
Hình 2.14: Ví dụ điều chế FSK	19
Hình 2.15: Ví dụ điều chế PSK	20
Hình 2.16: Dạng pha của phương pháp điều chế QPSK	21
Hình 2.17: Sơ đồ khối điều chế QPSK	21
Hình 2.18: Tín hiệu dải giữa và dải gốc trong miền tần số	23
Hình 2.19: Chuyển đổi tín hiệu dải giữa thành tín hiệu dải gốc	24
Hình 2.20: Dạng xung root – raised – cosine	25
Hình 3.1: Sự di chuyển của một phần tử từ x đến $(x + dx)$ trong nước	26
Hình 3.2: Kênh truyền đồng nhất với nguồn S và thiết bị thu R	29
Hình 3.3: Sự phản xạ của một sóng từ ranh giới của một lớp và các ảnh hưởng	30
Hình 4.1: Khái quát chung về hệ thống truyền thông dưới nước	34
Hình 4.2: Sơ đồ khái quát hệ thống truyền thông dưới nước	34
Hình 4.3: Thiết bị phát	35
Hình 4.4: Ánh xạ bit thành ký hiệu QPSK	35

Hình 4.5: Mô hình kênh truyền âm thanh dưới nước	36
Hình 4.6: Thiết bị thu	36
Hình 4.7: Tín hiệu đầu ra từ bộ lọc phù hợp	38
Hình 4.9: Thời gian trễ của các tia trong lan truyền đa đường	40
Hình 4.10: Sự tổn thất của các tia trong lan truyền đa đường	40
Hình 4.11: Sự phụ thuộc của R_1 vào góc lướt qua, tần số và tốc độ gió v_w	41
Hình 4.12: Sự phụ thuộc của R_2 vào góc lướt qua và loại đáy bt	41
Hình 4.13: Kết quả mô phỏng khi thay đổi khoảng cách theo chiều ngang	42
Hình 4.14: Kết quả mô phỏng khi thay đổi khoảng cách theo chiều ngang, thẳng đứng và có sự tổn thất lan truyền	45
Hình 4.15: Kết quả mô phỏng sự ảnh hưởng của tốc độ gió và loại mặt đáy đến lan truyền đa đường và có sự tổn thất lan truyền	47
Hình 4.16: Mô tả tỷ lệ lỗi bit BER cho đường truyền trực tiếp	48
Hình 4.17: Mô tả tỷ lệ lỗi bit BER cho lan truyền đa đường trong trường hợp 1	
$v_w = 5, bt = 2$	49
Hình 4.18: Mô tả tỷ lệ lỗi bit BER cho lan truyền đa đường trong trường hợp 2	
$v_w = 10, bt = 8$	50
Hình 4.19: Trạng thái QPSK nhận được cho đường truyền trực tiếp	51
DANH MỤC CÁC BẢNG:	
Bảng 2.1: Các giá trị K và n cho bốn loại bồi tích	13
Bảng 2.2: Các giá trị bt đối với từng loại lớp bồi tích	17

CHƯƠNG 1:

TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về truyền thông dưới nước

Lĩnh vực truyền thông tin dưới nước là một trong những mảng nghiên cứu khoa học rất phát triển trong những năm gần đây và việc đi sâu nghiên cứu vào lĩnh vực này đã, đang và sẽ mang đến những đột phá mới, những bước tiến mới cho nhiều lĩnh vực khác.

Sơ lược về lịch sử, ý tưởng truyền và nhận thông tin dưới nước đã xuất hiện từ thời Leonardo Da Vinci, người họa sĩ tài ba và cũng đồng thời là nhà khoa học tài tình khi đã phát hiện ra khả năng theo dõi các tàu từ xa bằng cách nghe các ống dài được nhúng xuống biển. Trong thời kì hiện đại, thông tin truyền thông dưới nước đã bắt đầu phát triển từ Thế chiến thứ II nhằm phục vụ cho nhu cầu quân sự, mà điển hình là hệ thống Seafarer của Mỹ và hệ thống ZEVS của Liên Xô cũ. Tuy vậy, hai hệ thống này vẫn còn nhiều hạn chế do đều sử dụng các sóng điện từ có dải tần rất thấp ELF (Extremely Low Frequency) để truyền thông tin cho các tàu ngầm dưới nước có độ sâu lên đến 300m, mặc dù có thể truyền đi xa tuy nhiên tốc độ dữ liệu rất thấp và đòi hỏi những phương tiện phức tạp và khổng lồ mới có thể truyền được những dải tần cao hơn.

Hiện nay, hệ thống truyền thông dưới nước đã có những sự tiến bộ vượt bậc về tầm hoạt động và thông lượng so với các hệ thống trước đây. Các robot điều khiển bằng sóng âm đã được sử dụng để thay thế các thợ lặn bảo trì các hệ thống dưới đáy biển, sự truyền hình ảnh chất lượng cao từ đáy biển sâu nhất 6500km lên tàu được thiết lập và việc truyền dữ liệu đo đạc chân trời ở khoảng cách hơn 200km được thực hiện.

Trong các hệ thống hiện nay, truyền thông âm thanh dưới nước thường có 4 loại tín hiệu được truyền là: tín hiệu điều khiển, đo đạc, lời nói và hình ảnh. Ứng dụng điều chế QPSK được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều ứng dụng truyền thông như dịch vụ di động CDMA, vòng lặp cục bộ không dây và DVB-S. Do vậy, đề tài đã ứng dụng ý tưởng này cho thiết kế hệ thống.

1.2. Giới hạn đề tài:

Do thời gian có hạn nên báo cáo chỉ tập trung nghiên cứu mô hình kênh truyền âm thanh dưới nước, các kĩ thuật điều chế sóng mang cho thiết bị thu phát và liên kết lại thành một hệ thống truyền thông hoàn chỉnh.

1.3. Phương pháp nghiên cứu:

- Nghiên cứu các tài liệu, bài báo liên quan đến quá trình nghiên cứu đề tài.
- Kiểm chứng bằng cách mô phỏng bằng Matlab.

Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA TRUYỀN THÔNG DƯỚI NƯỚC

2.1. Giới thiệu chung về hệ thống truyền thông dưới nước

Hệ thống truyền thông dưới nước được ứng dụng trong điều khiển từ xa trong ngành công nghiệp dầu khí xa bờ, giám sát ô nhiễm trong các hệ thống môi trường, thu thập dữ liệu khoa học được ghi lại tại trạm dưới đáy đại dương, truyền tải thông tin qua lại giữa các tàu ngầm, thợ lặn và lập bản đồ đáy đại dương để khám phá các vật thể cũng như đối với việc tìm ra các nguồn tài nguyên mới. Truyền thông bằng sóng âm dưới nước có thể được thiết lập bằng cách truyền sóng âm, không cần kết nối dây truyền và cho phép thu thập dữ liệu từ các dụng cụ chìm trong nước một cách tự động mà không cần sự can thiệp của con người.

Tổng quát, truyền thông dưới nước bị ảnh hưởng do các yếu tố sau:

- ❖ Sự thay đổi của kênh truyền về:
 - nhiệt độ
 - độ mặn của nước
 - pH của nước
 - độ sâu của cột nước hoặc áp suất
 - bề mặt đáy gồ ghề
- ❖ Lan truyền đa đường: Các kênh có thể được xem xét như một ống dẫn sóng âm và do sự phản xạ tại bề mặt và mặt đáy dẫn đến sự lan truyền đa đường của tín hiệu.
- ❖ Độ suy giảm: Năng lượng âm, một phần chuyển thành nhiệt và một phần bị tổn thất do âm thanh phân tán bởi môi trường không đồng nhất.
- ❖ Hiệu ứng Doppler:
 - Do sự chuyển động của bề mặt nước, tia phản xạ từ bề mặt có thể được xem như một tia nhận được từ thiết bị phát di chuyển và do đó xuất hiện hiệu ứng Doppler.
 - Khi thiết bị thu và thiết bị phát di chuyển đối với nhau, các tín hiệu được truyền đi, hoặc sẽ được nén hoặc sẽ lan rộng và do đó xuất hiện hiệu ứng Doppler.

Sự thay đổi kênh truyền và lan truyền đa đường có nhiều ảnh hưởng đến tốc độ truyền dữ liệu và tỷ lệ lỗi bit BER. Ngoài ra, kênh truyền hấp thụ ngày càng tăng đối với các tần số càng cao nên ở khoảng cách lớn chỉ sử dụng băng thông một vài kHz.

Trong đề tài này em đã xem xét sự thay đổi trên truyền và sự lan truyền đa đường bằng phương pháp ảnh nguồn để mô hình hóa một kênh truyền đáng tin cậy cho các ứng dụng truyền thông âm thanh dưới nước (làm giảm sự cần thiết cho thực tế trên biển). Mô hình kênh âm thanh dưới nước được mô phỏng với sự lan truyền đa đường, hệ số phản xạ trên bề mặt và mặt đáy, sự tổn thất do suy giảm, do lan rộng và do phân tán. Để đạt được tốc độ dữ liệu cao, tất yếu phải sử dụng điều chế băng thông hiệu quả và kỹ thuật điều chế QPSK đã được sử dụng. Kỹ thuật điều chế QPSK đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng như dịch vụ di động CDMA, vòng lặp cục bộ không dây và DVB-S.

Một thiết bị phát bit ngẫu nhiên được sử dụng như là nguồn bit. Thiết bị phát chuyển đổi cho bit vào ký hiệu QPSK và đầu ra từ thiết bị phát được đưa vào “kênh âm thanh dưới nước”. Khối nhận lấy đầu ra từ kênh truyền, ước tính thời gian định thời, bù đắp pha và giải điều chế các tín hiệu QPSK khi nhận được thành các bit thông tin.

2.2. Các đặc điểm của âm thanh dưới nước

Nước biển là một môi trường âm thanh cực kỳ phức tạp. Các tính năng đặc trưng nhất của môi trường nước biển là bản chất không đồng nhất. Có hai loại không đồng nhất

- Điều đặn
- Ngẫu nhiên

Cả hai loại đều ảnh hưởng mạnh mẽ đến vận tốc âm thanh trong nước biển. Sự thay đổi thường xuyên của vận tốc âm thanh theo độ sâu nước biển dẫn đến sự hình thành “kênh âm thanh dưới nước” và lan truyền âm thanh đi xa. Không đồng nhất ngẫu nhiên làm tăng lên sự phản xạ của sóng âm.

2.2.1. Vận tốc và các yếu tố ảnh hưởng đến vận tốc của âm thanh trong môi trường nước

Sự thay đổi của vận tốc âm thanh c trong nước biển là tương đối nhỏ nhưng gây ảnh hưởng đáng kể đến sự lan truyền âm thanh dưới nước.

Nhiều thí nghiệm và đo đạc thực tế cho thấy rằng vận tốc âm thanh tăng một cách phức tạp với sự tăng nhiệt độ, áp suất thủy tĩnh và độ mặn của muối. Công thức đơn giản hóa cho vận tốc âm thanh được đưa ra là:

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.16z \quad (2.1)$$

Trong đó:

- T : là nhiệt độ, có đơn vị là $^{\circ}C$, $0 < T < 35^{\circ}C$.
- S : độ mặn, được tính bằng khối lượng muối [g] trong 1000g nước biển.
- z : độ sâu [m] và $0 < z < 1000m$.
- c : vận tốc âm thanh [m/s] và $1450 < c < 1540 m/s$.

Phương trình (2.1) được áp dụng trong hầu hết mọi trường hợp. Tuy nhiên, khoảng cách lan truyền được tính theo thời gian, do đó độ chính xác của vận tốc âm thanh được yêu cầu là $\leq 0.1 m/s$.

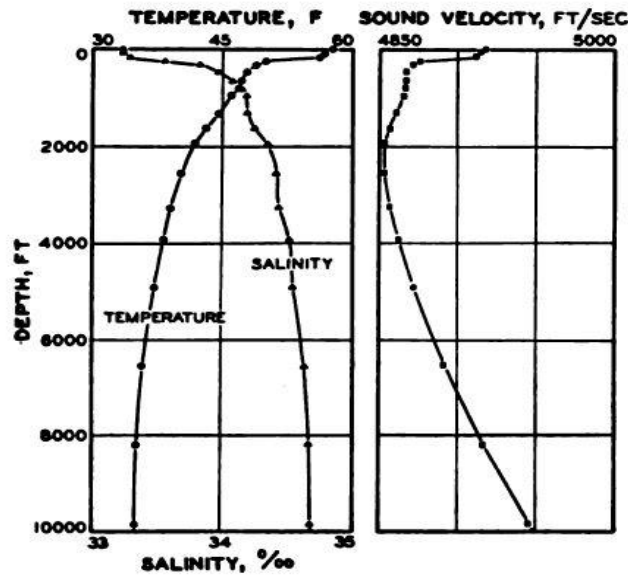
2.2.1.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và độ mặn

Trong môi trường nước biển, các yếu tố có ảnh hưởng mạnh mẽ và rõ rệt nhất đối với vận tốc âm thanh là nhiệt độ, độ mặn và độ sâu của môi trường biển đang xét. Tuy nhiên, ảnh hưởng của các yếu tố này là không giống nhau, ở một điều kiện nhất định sẽ có yếu tố ảnh hưởng mạnh hơn những yếu tố còn lại.

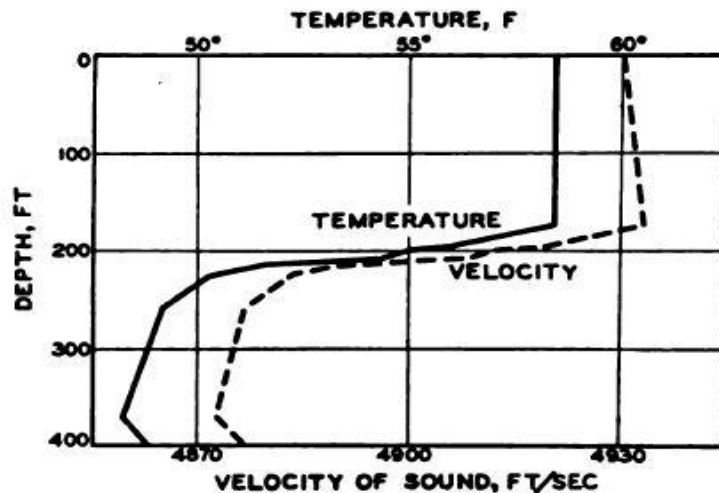
Hình 2.1 cho thấy khi càng xuống sâu, nhiệt độ giảm dần; trong khi đó, độ mặn lại có khuynh hướng tăng tỉ lệ thuận với độ sâu.

Vận tốc âm thanh thay đổi theo độ mặn, nhiệt độ và độ sâu (áp suất). Ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất đến vận tốc âm thanh c được thể hiện trong Hình 2.2.

Ta có thể phân đồ thị này ra thành 3 vùng. Vùng đầu tiên có độ sâu từ mặt nước biển cho đến độ sâu 200m, nhiệt độ là yếu tố chiếm ưu thế ảnh hưởng đến vận tốc âm thanh. Vùng thứ hai có độ sâu từ 200 đến 400m (khu vực chuyển tiếp), cả nhiệt độ và độ sâu ảnh hưởng vào vận tốc âm thanh. Vùng thứ ba có độ sâu trên 400m, vận tốc âm phụ thuộc hoàn toàn vào độ sâu (Hình 2.1).



Hình 2.1: Sự phụ thuộc của vận tốc âm thanh vào nhiệt độ, độ mặn và độ sâu.



Hình 2.2: Sự phụ thuộc của vận tốc âm thanh vào nhiệt độ và độ sâu.

Sự phụ thuộc của vận tốc âm thanh vào độ mặn S được thể hiện trong Hình 2.1. Với sự gia tăng của độ mặn S thì vận tốc âm thanh cũng tăng, do đó đường biểu diễn độ mặn và vận tốc có hình dạng tương tự nhau.

2.2.1.2. Sự phân bố vận tốc âm thanh theo độ sâu

Hình dạng của sự thay đổi vận tốc âm thanh

$$c(z) = c(T(z), S(z), z) \quad (2.2)$$

$$\text{Và} \quad \frac{d(c(z))}{dz} \quad (2.3)$$

là quan trọng cho nên truyền âm thanh dưới nước. Hình dạng $c(z)$ khác nhau theo các khu vực khác nhau và tùy theo từng thời điểm trong năm. Ở độ sâu dưới 1km, nhiệt độ T và độ

mặt S thay đổi và sự tăng vận tốc âm thanh hầu như chỉ do sự tăng của áp suất thủy tĩnh. Do đó vận tốc âm thanh tăng gần như tuyến tính với độ sâu. Sự thay đổi vận tốc âm thanh là cơ sở hình thành các kênh âm thanh dưới nước.

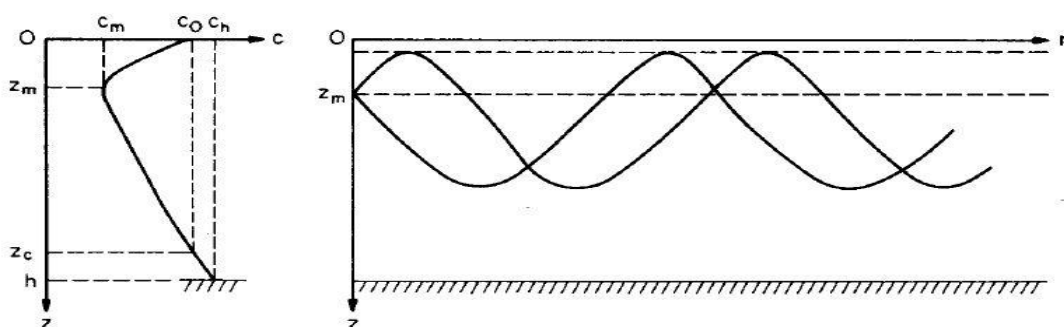
a. Kênh âm thanh dưới nước

Ở vùng nước sâu, vận tốc âm thanh có một giá trị tối thiểu ở độ sâu z_m (hình 2.3), trong đó:

- z_m xác định các trục của kênh âm thanh dưới nước.
- Trên z_m vận tốc âm thanh tăng chủ yếu là do tăng nhiệt độ
- Dưới z_m vận tốc âm thanh tăng chủ yếu là do sự tăng áp suất thủy tĩnh.

Nếu âm thanh được truyền vào kênh âm thanh dưới nước một phần năng lượng âm thanh lan truyền trong kênh và không va chạm đến mặt đáy hoặc bề mặt, thì phần năng lượng này không bị tán xạ hay tổn thất trong quá trình lan truyền.

- ❖ Kênh âm thanh dưới nước loại thứ nhất $c_0 < c_h$ (c_0 là vận tốc tại bề mặt, c_h là vận tốc tại độ sâu h).



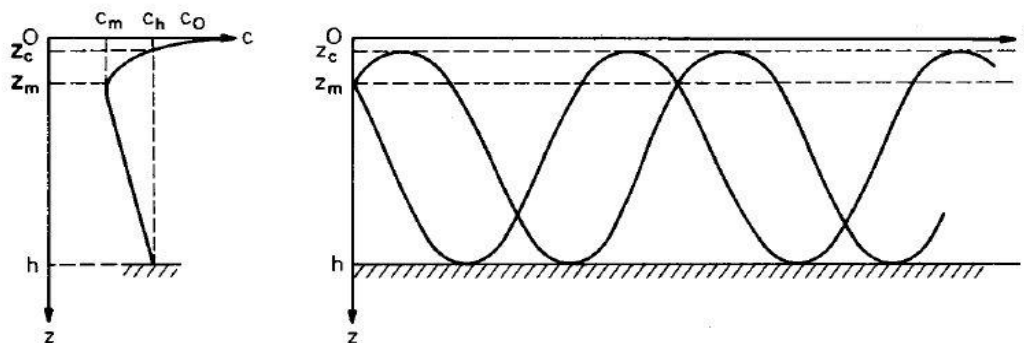
Hình 2.3: Kênh âm thanh dưới nước loại thứ nhất $c_0 < c_h$

Âm thanh được lan truyền dưới nước ở độ sâu khoảng từ $0 < z < z_c$, Tại độ sâu $z = 0$ và $z = z_c$ là ranh giới của âm thanh dưới nước USC. Kênh âm thanh dưới nước truyền tất cả các tia rời khỏi nguồn âm thanh mà có góc:

$$\varepsilon < \varepsilon_{\max} \text{ với } \varepsilon_{\max} = \sqrt{\frac{2(c_0 - c_m)}{c_m}} \quad (2.4)$$

trong đó c_m tương ứng là vận tốc âm thanh tại tâm và ranh giới của kênh truyền. Khi có sự khác biệt $c_0 - c_m$ càng lớn thì góc lướt qua của các tia truyền trong kênh truyền cũng lớn, do đó sự tổn thất của lan truyền càng lớn.

- ❖ Kênh âm thanh dưới nước loại thứ hai $c_0 > c_h$ (c_0 là vận tốc tại bề mặt, c_h là vận tốc tại độ sâu h).



(a) hình dạng $c(z)$, (b) đồ thị của tia sóng âm

Hình 2.4: Kênh âm thanh dưới nước loại thứ hai $c_0 > c_h$

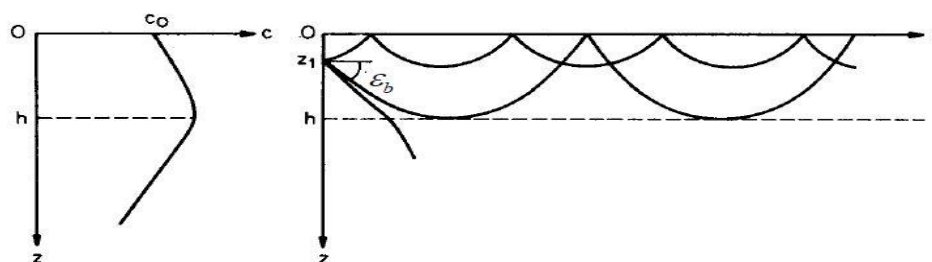
Kênh âm thanh dưới nước USC kéo dài từ dưới lên độ sâu z_c , z_c có vận tốc âm thanh tương đương với c_h . Kênh âm thanh dưới nước được giới hạn bởi 2 ranh giới được thể hiện trong Hình 2.5b. Các tia truyền trong kênh âm thanh chỉ lan truyền từ dưới lên đến độ sâu z_c và không được truyền đến trên độ sâu z_c .

Phạm vi độ sâu của kênh âm thanh dưới nước trong đại dương thường từ 1.000 đến 1.200m. Tại các khu vực nhiệt đới có thể lên đến 2.000m. Vận tốc âm thanh dao động từ:

- 1.450 m/s đến 1485 m/s ở Thái Bình Dương.
- 1450m/s đến 1.500m/s ở Đại Tây Dương.

b. Kênh âm thanh bề mặt

Kênh âm thanh bề mặt được hình thành khi chỉ có bề mặt là giới hạn của kênh. Một hình dạng đặc trưng cho vận tốc âm thanh trong trường hợp này được thể hiện trong hình 2.5a. Vận tốc âm thanh tăng đến độ sâu $z = h$ và sau đó bắt đầu giảm. Một tia âm thanh rời khỏi nguồn ở một góc $\varepsilon < \varepsilon_b$ sẽ lan truyền trong kênh âm thanh với sự phản xạ nhiều lần trên bề mặt kênh âm thanh.



(a) hình dạng $c(z)$,

(b) đồ thị của tia sóng âm

Hình 2.5: Kênh âm thanh bề mặt.

Trong trường hợp vể mặt nước biển gồ ghề, năng lượng âm thanh được phân tán vào góc $\varepsilon > \varepsilon_b$ tại mỗi tương tác với bề mặt. Tức là:

- Một phần tia âm thanh rời khỏi kênh âm thanh.

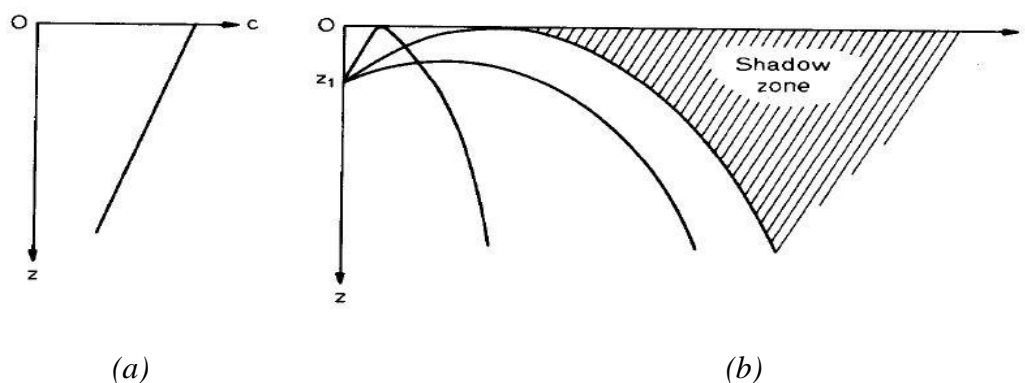
- Một phần âm thanh suy giảm trên bề mặt kênh âm thanh và một phần tăng dưới bề mặt kênh âm thanh.

Bề mặt kênh âm thanh thường xuyên xảy ra

- Tại các vùng nhiệt đới và vùng ôn hòa của đại dương, nơi nhiệt độ T và độ mặn S đều là hằng số, vận tốc âm thanh c tăng là do có gradient của áp lực thủy tĩnh.
- Nhiệt độ trên bề mặt suy giảm theo sự thay đổi mùa, tức là sẽ nóng nhất vào mùa hè và giảm dần đến mùa đông.
- Trong vùng Bắc Cực và Nam Cực hình dạng vận tốc âm thanh tăng đều từ bề mặt xuống đáy biển.

c. Lan truyền antiwaveguide

Lan truyền antiwaveguide xảy ra khi vận tốc âm thanh giảm đều theo độ sâu (Hình 2.6a). Như vậy, hình dạng của vận tốc âm thanh thường là kết quả của sự đốt nóng bởi bức xạ mặt trời lên lớp nước trên bề mặt đại dương.

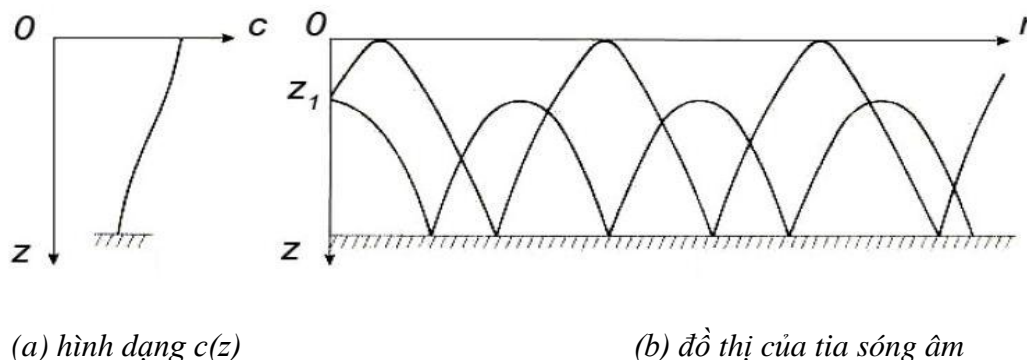


Hình 2.6: Lan truyền antiwaveguide

Các tia khi chuyển đến bề mặt nước biển đều bị khúc xạ xuống dưới và có một sự giới hạn trong kênh truyền. Vùng giới hạn được tô đậm như mô tả ở hình 2.6b, được gọi là vùng tối âm và có cường độ âm thanh bằng không.

d. Lan truyền âm thanh trong kênh nước nông

Lan truyền âm thanh trong kênh nước nông được hình thành mỗi tia âm thanh được truyền đi xa thì sẽ bị phản xạ tại mặt đáy. Một hình dạng đặc trưng được thể hiện trong hình 2.8a. Kênh âm thanh này thường xảy ra ở vùng biển nông và thềm đại dương, đặc biệt là trong suốt mùa hè đến mùa thu, khi các lớp nước phía trên bề mặt có dòng nước nóng chảy qua.



Hình 2.7: Lan truyền âm thanh trong vùng nước nông,

2.2.2. Sự tổn thất của âm thanh lan truyền:

2.2.2.1. Sự tổn thất do lan rộng:

Sự tổn thất lan rộng là sự suy yếu của tín hiệu do sự lan rộng hình học của sóng lan truyền từ nguồn ra bên ngoài. Hai cơ chế lan rộng hình học quan trọng trong lan truyền âm thanh dưới nước là:

a. Sự lan rộng hình cầu

Trong một môi trường đồng nhất và kéo dài vô hạn, công suất được tạo ra bởi một nguồn điểm bức xạ ở tất cả các hướng trên bề mặt của hình cầu gọi là hình cầu lan rộng. Cường độ âm thanh bằng công suất trên diện tích, ta có:

$$I_0 = \frac{P_a}{4\pi r_0^2}, \text{ và } I = \frac{P_a}{4\pi r^2} \quad (2.5)$$

Với

- r_0 : khoảng cơ bản ($r_0 = 1m$),
- r : khoảng cách tại vị trí thiết bị nhận,
- P_a : công suất âm thanh của nguồn,
- I_0 : cường độ âm thanh của nguồn tại khoảng cách r_0 ,
- I : cường độ âm thanh của nguồn tại khoảng cách r .

Sự tổn thất do lan rộng hình cầu là:

$$g_{sphere} = \left[\frac{I_0}{I} \right] = \left[\frac{r}{r_0} \right]^2 \quad (2.6)$$

Như vậy cường độ âm thanh giảm theo r^2 , ta có sự tổn thất lan rộng là:

$$G_{sphere} = 10 \log \left[\frac{I_0}{I} \right] = 20 \log \left[\frac{r}{r_0} \right] \quad (2.7)$$

b. Sự lan rộng hình trụ

Sự lan rộng hình trụ hình thành khi môi trường bị giới hạn bởi 2 mặt phẳng phản xạ và khoảng cách giữa hai mặt phẳng giới hạn đó được cho là $h > 10\lambda$, với λ là bước sóng âm thanh. Cường độ bằng công suất trên diện tích, ta có:

$$I_0 = \frac{P_a}{2\pi h r_0}, \text{ và } I = \frac{P_a}{2\pi h r}, \text{ với } r \leq h \quad (2.8)$$

Sự tổn thất lan rộng hình trụ là:

$$g_{sphere} = \left[\frac{I_0}{I} \right] = \left[\frac{r}{r_0} \right] \quad (2.9)$$

Như vậy, cường độ giảm tuyến tính với khoảng cách r , sự tổn thất lan rộng là:

$$G_{sphere}(r) = 10 \log \left[\frac{I_0}{I} \right] = 10 \log \left[\frac{r}{r_0} \right] \quad (2.10)$$

Lấy n là số mũ, chúng ta có sự tổn thất lan rộng trong tổng quát là:

$$G_{sphere}(r) = 10 \log \left[\frac{I_0}{I} \right] = 10n \log \left[\frac{r}{r_0} \right] \quad (2.11)$$

trong đó n bằng một cho sự lan rộng hình chũ và n bằng 2 cho sự lan rộng hình cầu.

2.2.2.2. Sự tổn thất do suy giảm năng lượng trong môi trường nước

Năng lượng âm thanh lan truyền trong nước biển một phần bị hấp thụ (tức là năng lượng âm thanh chuyển thành nhiệt) và một phần bị tổn thất do sự phân tán trong môi trường kênh truyền không đồng nhất.

Hiện tượng hấp thụ và tán xạ có tính tương đối, chúng ta khó có thể phân biệt rõ ràng gì cả hai hiện tượng đều góp phần vào sự suy giảm âm thanh trong nước biển.

Trên cơ sở lý thuyết và thực nghiệm ta có các công thức thực nghiệm sau đây để tính hệ số suy giảm trong nước biển:

- a. Công thức Thorp (miền tần số phù hợp: $100\text{Hz} - 3\text{kHz}$)

$$\alpha = \frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2} [dB/km] \quad (2.12)$$

Trong đó f là tần số $[kHz]$.

- b. Schulkin và Marsh (miền tần số phù hợp: $3\text{kHz} - 0.5\text{MHz}$)

$$\alpha = 8,686.10^3 \left(\frac{SAf_T f^2}{f_T^2 + f^2} + \frac{Bf^2}{f_T} \right) (1 - 6,54.10^{-4} P) [dB/km] \quad (2.13)$$

Trong đó:

$$A = 2,34.10^{-6}, B = 3,38.10^{-6};$$

S là độ mặn $[ppt]$;

P là áp suất thủy tĩnh $[kg/cm^2]$. $P = 1,01(1 + 0,1z)$;

f là tần số $[kHz]$;

$f_T = 21,9.10^{\frac{1520}{T+273}} [kHz]$ là tần số giãn ra tại nhiệt độ $T [^\circ C]$ $0^\circ < T < 30^\circ C$,

$59 < f_T < 210\text{kHz}$.

- c. Francois and Garrison (miền tần số phù hợp: $10\text{kHz} - 10\text{MHz}$)

$$\alpha = \frac{A_1 P_1 f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} + \frac{A_2 P_2 f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} + A_3 P_3 f^2 [dB/km] \quad (2.14)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} - \text{Boric acid } B(OH)_3: & \frac{A_1 P_1 f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} \\ A_1 = & \frac{8,686}{c} \cdot 10^{0,78ph-5} \\ P_1 = & 1 \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$f_1 = 2,8 \sqrt{\frac{S}{35}} \cdot 10^{4 - \frac{1245}{T+273}}$$

$$\begin{aligned} - \text{Magnesium sulphate } MgSO_4: & \frac{A_2 P_2 f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} \\ A_2 = & 21,44 \cdot \frac{S}{c} (1 + 0,025T) \\ P_2 = & 1,37 \cdot 10^{-4} z_{\max} + 6,2 \cdot 10^{-9} z_{\max}^2 \\ f_2 = & \frac{8,17 \cdot 10^{\frac{1990}{T+273}}}{1 + 0,0018(S-35)} \end{aligned} \quad (2.16)$$

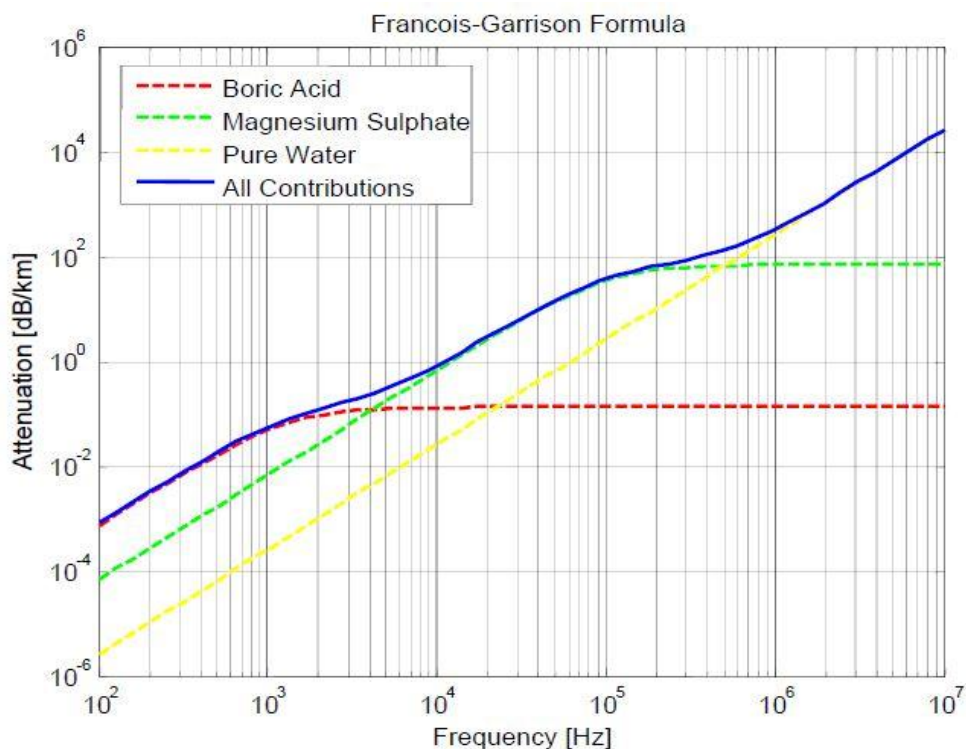
Tốc độ âm thanh được cho bởi:

$$c = 1412 + 3,21T + 1,19S + 0,0167z_{\max} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} - \text{Pure water } H_2O: & A_3 P_3 f^2 \\ A = & \begin{cases} 4,937 \cdot 10^{-4} - 2,59 \cdot 10^{-5}T + 9,11 \cdot 10^{-7}T^2 - 1,5 \cdot 10^{-8} \left(khi(T \leq 20^\circ C) \right) \\ 3,964 \cdot 10^{-4} - 1,164 \cdot 10^{-5}T + 1,45 \cdot 10^{-7}T^2 - 6,5 \cdot 10^{-8} \left(khi(T \geq 20^\circ C) \right) \end{cases} \\ P_3 = & 1 - 1,83 \cdot 10^{-5} z_{\max} + 4,9 \cdot 10^{-10} z_{\max}^2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Với $f [kHz]$, $T [^\circ C]$, $S [ppt]$, độ sâu $z_{\max} [m]$, độ pH và vận tốc âm thanh $c [m/s]$.

Độ suy giảm α theo ba khu vực Boric acid $B(OH)_3$, Magnesium sulphate $MgSO_4$ và nước H_2O được mô tả trong Hình 2.8.



Hình 2.8: Độ suy giảm α theo 3 khu vực trong mô hình Francois – Garrison.

Từ Hình 2.8 ta có thể thấy rằng trong cả 3 khu vực Acid Boric, Magnesium sunfate và nước có sự suy giảm axit tỷ lệ thuận với f^2 và trong khu vực chuyển tiếp, sự suy giảm α tỉ lệ thuận với f .

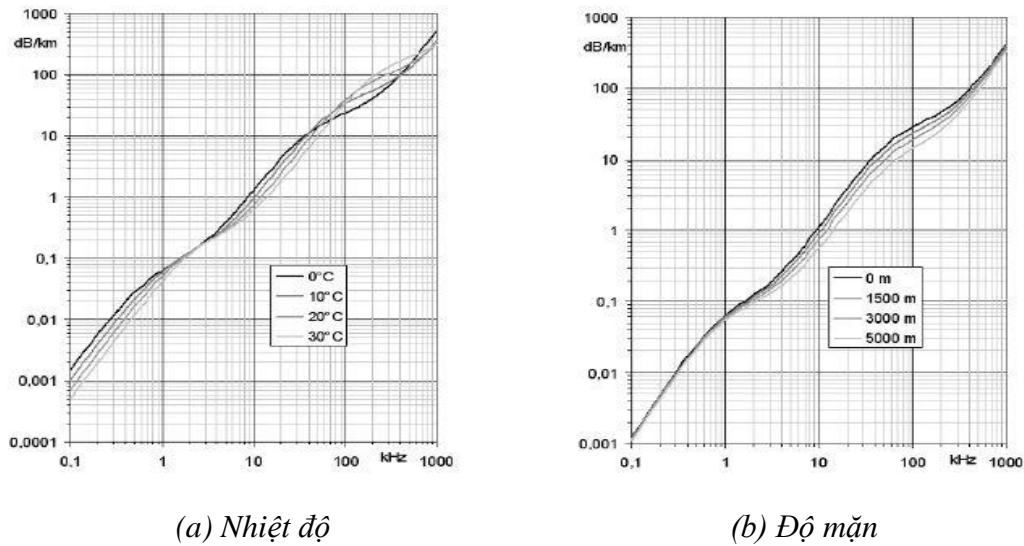
Hình 2.9 cho thấy, sự suy giảm α tỷ lệ thuận với độ mặn S và nhiệt độ T và sự suy giảm α cũng tăng khi tăng tần số f .

Hình 2.10 cho thấy độ suy giảm α theo ba công thức Thorp, Schulkin-Marsh và Francois-Garrison:

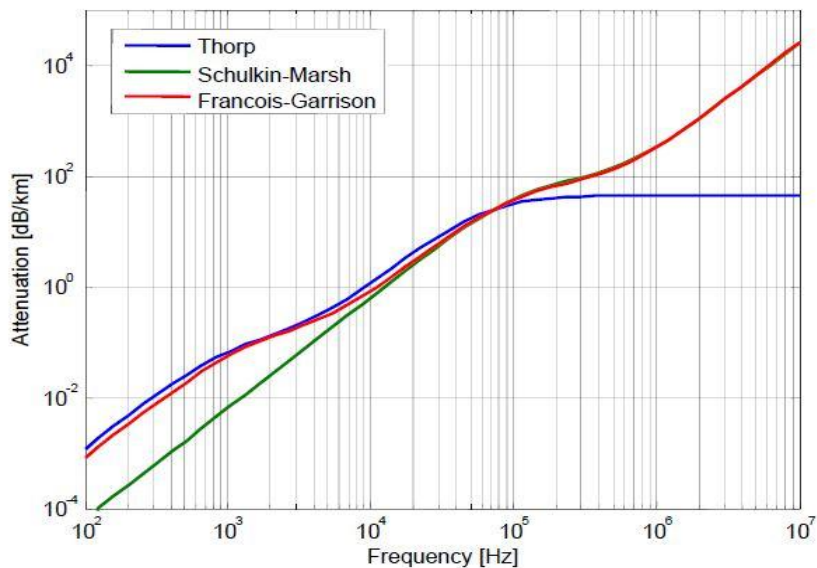
Độ suy giảm α trong các lớp bồi tích chủ yếu phụ thuộc vào loại vật chất hình thành nên chúng. Công thức thực nghiệm (2.19) để xác định độ suy giảm âm thanh trong các lớp bồi tích bt khác nhau (bt xác định các vật liệu của các lớp bồi tích đại dương).

$$\alpha_s = \frac{1}{8,686} K \left(\frac{f}{1kHz} \right)^n \left[\frac{1}{m} \right] \quad (2.19)$$

Trong đó: α_s là độ suy giảm của lớp bồi tích, K và n là hai thông số có giá trị phụ thuộc vào mỗi loại bồi tích.



Hình 2.9: Sự suy giảm theo độ mặn và nhiệt độ khác nhau.



Hình 2.10: Độ suy giảm α tính theo ba công thức Thorp, Schulkin – Marsh và Francois – Garrison

Bảng 2.1 cung cấp giá trị K và n cho bốn loại bồi tích thường gặp:

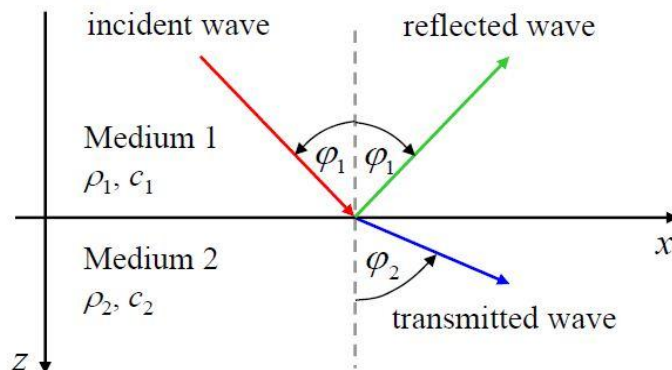
Parameter	Sediment type			
	Very fine silt	Fine sand	Medium sand	Coarse sand
K	0.17	0.45	0.48	0.53
n	0.96	1.02	0.98	0.96

Bảng 2.1: Các giá trị K và n cho bốn loại bồi tích

2.2.2.3. Sự tổn thất tại ranh giới

a. Hệ số phản xạ R và hệ số truyền dẫn T

Hệ số phản xạ R là tỷ số biên độ của sóng phản xạ đối với sóng tới tại một giao diện giữa hai môi trường kênh truyền. Hệ số phản xạ T là một đại lượng quan trọng thể hiện sự ảnh hưởng của mặt đáy và bề mặt đến sự lan truyền âm thanh dưới nước.



Hình 2.11: Phản xạ và truyền dẫn giữa hai môi trường chất lỏng

Hình 2.11 cho thấy sự phản xạ giữa mặt phân cách hai môi trường chất lỏng khác nhau với mật độ góc ρ_i , tốc độ âm thanh c_i (với $i = 1, 2$), φ_1 là góc tới bằng góc phản xạ và φ_2 là góc khúc xạ. Giả sử sóng tới có biên độ đơn vị là một và biểu thị biên độ của sóng phản xạ và sóng truyền qua là R và T tương ứng, ta có:

$$p_i = \exp\left[ik_1(x \sin \varphi_1 + z \cos \varphi_2)\right], k_1 = \frac{\omega}{c_1} \quad (2.20)$$

$$p_r = R \exp\left[ik_1(x \sin \varphi_1 - z \cos \varphi_2)\right], k_1 = \frac{\omega}{c_1} \quad (2.21)$$

$$p_t = T \exp\left[ik_2(x \sin \varphi_1 + z \cos \varphi_2)\right], k_2 = \frac{\omega}{c_2} \quad (2.22)$$

Trong đó hệ số thời gian $\exp(-i\omega t)$ có thể bỏ qua.

R, T và φ_2 được xác định từ điều kiện biên, với áp suất trong môi trường thứ nhất $p_1 = p_i + p_r$ và áp suất trong môi trường thứ hai $p_2 = p_t$, ta có điều kiện biên thứ nhất:

$$p_1 = p_2, \frac{1}{i\omega\rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial z} = \frac{1}{i\omega\rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial z} \quad (2.23)$$

Sau khi thế p_1 , p_r và p_t vào điều kiện thứ nhất, ta có:

$$1 + R = T \exp\left[i(k_1 \sin \varphi_1 - k_2 \sin \varphi_2)x\right] \quad (2.24)$$

Vì vế trái của phương trình (2.24) độc lập với x nên vế phải cũng độc lập với x, ta có:

$$k_1 \sin \varphi_1 - k_2 \sin \varphi_2 = 0 \quad (2.25)$$

Từ phương trình (2.25) cho ta định luật phản xạ:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{\omega/c_2}{\omega/c_1} = \frac{c_1}{c_2} = n \quad (2.26)$$

Điều kiện biên thứ hai và $k_1 \sin \varphi_1 = k_2 \sin \varphi_2$ ta có:

$$\frac{k_1}{\rho_1} (1-R) \cos \varphi_1 = \frac{k_2}{\rho_2} T \cos \varphi_2 \quad (2.27)$$

Đặt $m = \frac{\rho_2}{\rho_1}$, $n = \frac{k_2}{k_1}$, phương trình (2.27) kết hợp với $1+R=T$ ta được các biểu thức sau đây cho các hệ số phản xạ R và hệ số truyền T:

$$R = \frac{m \cos \varphi_1 - n \cos \varphi_2}{m \cos \varphi_1 + n \cos \varphi_2} = \frac{m \cos \varphi_1 - \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1}}{m \cos \varphi_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1}} \quad (2.28)$$

$$T = \frac{2m \cos \varphi_1}{m \cos \varphi_1 + n \cos \varphi_2} = \frac{2m \cos \varphi_1}{m \cos \varphi_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1}} \quad (2.29)$$

Ví dụ: Tại bề mặt ranh giới giữa nước với không khí, với mật độ và vận tốc âm thanh của nước và không khí là:

$$\rho_n = 1000 (kg/m^3), c_n = 1500 (m/s)$$

$$\rho_{kk} = 1.3 (kg/m^3), c_{kk} = 333 (m/s)$$

Chúng ta đạt được sóng âm thanh lan truyền từ nước đến không khí và ngược lại, hệ số phản xạ R và truyền dẫn T là: $R \approx -1$, $T \approx 0$ và $R \approx 1$, $T \approx 2$.

b. Sự hấp thụ tại ranh giới

Trong đặc tính phản xạ và đặc tính truyền dẫn không xem xét các sự hấp thụ tại ranh giới. Ngược lại với sự lan truyền âm thanh ở ranh giới không khí – nước, ở ranh giới nước – bồi tích có đầy đủ cơ sở để xác định sự hấp thụ tại ranh giới nước – bồi tích. Chúng ta có sóng phức:

$$k_2 = k_{2,r} + ik_{2,l} \quad (2.30)$$

Với $k_{2,r} = \frac{\omega}{c_2}$, và $k_{2,l} = -\alpha_2$ trong đó c_2 và α_2 lần lượt là vận tốc âm thanh và sự suy giảm của môi trường 2 (bồi tích). Sự suy giảm của môi trường 1 (nước) là không đáng kể và có thể được bỏ qua.

Phương trình (2.26) có thể được viết lại:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{k_{2,R}}{k_1} + i \frac{k_{2,I}}{k_1} = n_R + i n_I = n \quad (2.31)$$

Số sóng k_1 và $k_1 \sin \varphi_1$ là thực. Số lượng k_2 và $k_2 \sin \varphi_2$ là phức. Chúng ta có thể viết:

$$\sin \varphi_2 = \frac{k_1 \sin \varphi_1}{k_2} \quad (2.32)$$

$$k_2 \cos \varphi_2 = k_2 \sqrt{1 - \frac{k_1^2 \sin^2 \varphi_1}{k_2^2}} = k_1 \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1} = \tilde{k}_{2,I} + i \tilde{k}_{2,I} \quad (2.33)$$

$$k_1 = k_1 \sin \varphi_1 \quad (2.34)$$

Chúng ta có thể viết áp suất truyền đi là:

$$p_t = T \exp \left\{ i \left(0, \tilde{k}_{2,I} \right)^T \underline{r} \right\} \exp \left\{ i \left[\left(\tilde{k}_1, \tilde{k}_{2,R} \right)^T \underline{r} - \omega t \right] \right\} \quad (2.35)$$

Trong đó:

$$\underline{k}_p = \left(\tilde{k}_1, \tilde{k}_{2,R} \right)^T = k_p \left(\sin \varphi_{2,p}, \cos \varphi_{2,p} \right)^T \quad (2.36)$$

$$\underline{k}_A = \left(0, \tilde{k}_{2,I} \right)^T = k_A \left(\sin \varphi_{2,A}, \cos \varphi_{2,A} \right)^T \quad (2.37)$$

$$k_p = \sqrt{\tilde{k}_1^2 + \tilde{k}_{2,R}^2} = k_1 \sqrt{\sin^2 \varphi_1 + \left[\operatorname{Re} \left(\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1} \right) \right]^2} \quad (2.38)$$

$$k_A = \tilde{k}_{2,I} = k_1 \operatorname{Im} \left(\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1} \right) \quad (2.39)$$

Góc khúc xạ cho pha và biên độ là:

$$\varphi_{2,p} = \arg(\underline{k}_p) = \tan^{-1} \left(\frac{\tilde{k}_1}{\tilde{k}_{2,R}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \varphi_1}{\operatorname{Re} \left(\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1} \right)} \right) \quad (2.40)$$

$$\varphi_{2,A} = \arg(\underline{k}_A) = 0 \quad (2.41)$$

Với

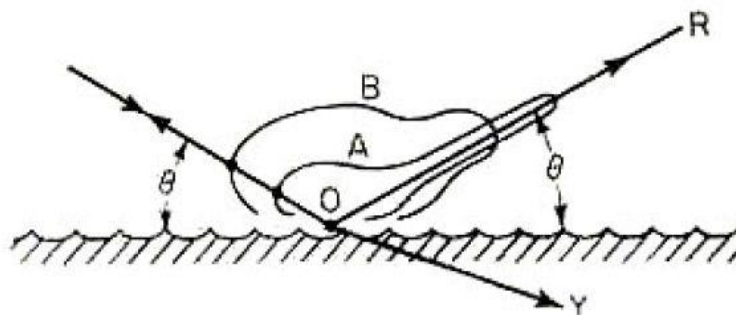
$$k_p = \frac{\omega}{c_p} = \frac{2\pi}{\lambda_p} \quad (2.42)$$

Vận tốc pha của sóng trong lớp bồi tích có thể được viết như sau:

$$c_p = \frac{\omega}{k_p} = \frac{c_1}{\sqrt{\sin^2 \varphi_1 + \left[\operatorname{Re} \left(\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1} \right) \right]^2}} \quad (2.43)$$

c. Sự tán xạ tại ranh giới

Bề mặt biển hoặc đáy biển gồ ghề gây ra sự suy giảm của âm thanh lan truyền trong nước biển. Sự suy giảm tăng với tần số ngày càng tăng. Khu vực phân tán đi từ hướng phản chiếu (được gọi là sự tán xạ ngược). Sự di chuyển trên bề mặt nước biển tạo ra dao động âm thanh trên bề mặt. Phía dưới đáy hồ về cũng có thể tạo ra biến động khi thiết bị phát và nhận di chuyển. Sự gồ ghề ranh giới phụ thuộc vào sự thay đổi vận tốc âm thanh, từ đó xác định mức độ tương tác của âm thanh với các ranh giới gồ ghề tương ứng.



Hình 2.12: Đặc trưng tán xạ cho A (mặt đáy nhẵn) và B (mặt đáy gồ ghề)

Sự tán xạ từ bề mặt gồ ghề được cộng vào sự tổn thất do phản xạ tại ranh giới. Nếu đáy biển hoặc bề mặt nước biển có thể được mô hình hóa như bề mặt gồ ghề ngẫu nhiên và ảnh hưởng của sự gồ ghề là nhỏ đối với bước sóng âm thanh thì sự tổn thất do phản xạ được xét thêm sự tán xạ. Một công thức thường được sử dụng để mô tả hệ số phản xạ từ một ranh giới gồ ghề là:

$$R(\varphi) = R(\varphi) e^{-0,5\Gamma^2} \quad (2.44)$$

Trong đó $\Gamma = 2k\sigma \cos \varphi$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (k là số phức), σ là độ gồ ghề hiệu dụng (rms) và φ là góc tới, $R(\varphi)$ là hệ số phản xạ suy giảm bởi sự tán xạ ở các giao diện gồ ghề ngẫu nhiên.

Sự suy giảm trong nước có thể được bỏ qua và do đó hệ số phản xạ tại bề mặt nước biển có thể lấy là $R = -1$. Vì vậy hệ số phản xạ tại bề mặt biển gồ ghề cho các môi trường đồng nhất là:

$$R(\varphi) = R(\varphi) e^{-0,5\Gamma^2} \quad (2.45)$$

Độ gồ ghề của bề mặt nước biển là do gió gây ra sóng, do vậy có thể tính được từ mức độ quang phổ của sự thay đổi nước biển và thường được mô hình hóa bằng sóng quang phổ Neumann – Pierson. Độ gồ ghề rms (chiều cao sóng rms) được xác định xấp xỉ bằng:

$$\sigma \cong \sqrt{0,341 \cdot 10^{-5} v_w^5} \quad (2.46)$$

Trong đó v_w là tốc độ gió $[m/s]$.

Đối với đáy biển, σ liên quan đến kích thước hạt (hạt dùng để chỉ các vật liệu của lớp bồi tích).

$$\sigma = \frac{2^{-bt}}{1000}(m) \quad (2.47)$$

Trong đó bt thể hiện cho các loại đáy khác nhau. Bảng 2.2 cho ta các giá trị bt đối với từng loại lớp bồi tích.

Sediment type	Mean Grain Size $[\varphi = -\log_2(a)]$	RMS Roughness σ $[cm]$
Sandy gravel	-1	2.5
Very coarse sand	-0.5	2.25
Coarse sand	0.5	1.85
Medium sand	1.5	1.45
Fine sand	2.5	1.15
Very fine sand	3.5	0.85
Coarse silt	4.5	0.7
Medium silt	5.5	0.65
Fine silt	6.5	0.6
Very fine silt	7.5	0.55
Slity clay	8.0	0.5
Clay	9.0	0.5

Bảng 2.2: Các giá trị bt đối với từng loại lớp bồi tích

2.2.3. Nhiễu của kênh truyền

Một đặc tính quan trọng của âm thanh dưới nước là nhiễu của môi trường xung quanh bao gồm một số lượng lớn tín hiệu liên quan đến trạng thái của bề mặt nước biển, trạng thái nước biển, các quá trình kiến tạo trong lớp vỏ trái đất dưới đáy đại dương và hoạt động của sinh vật biển.

- Nhiễu do vận tải giao thông trên biển, từ 10 đến 300 Hz:

$$NL_{traffic}(f) = 10 \log \left(\frac{3 \cdot 10^8}{1 + 10^4 f^4} \right), f [kHz] \quad (2.48)$$

- Nhiễu do sự chảy rối của dòng nước

$$NL_{turb}(f) = 30 - 30 \log(f), f [kHz] \quad (2.49)$$

- Nhiều của bạn thân tàu thuyền

$$NL_{vessel}(f, v_s), [dB] \quad (2.50)$$

Trong đó f và v_s lần lượt là tần số và tốc độ của tàu.

- Nhiều sinh học (các loài động vật dưới nước)

$$NL_{Bio}(f, s), [dB] \quad (2.51)$$

Trong đó f và s lần lượt là tần số và mùa.

- Nhiều trạng thái biển

Nhiều trạng thái biển có thể được xác định như một hàm của tốc độ $[km/h]$ và tần số $[kHz]$, được xác định:

$$NL_{ss}(f, v_w) = 40 + 10 \log \left(\frac{v_w^2}{1 + f^{\frac{5}{3}}} \right), [dB] \quad (2.52)$$

- Nhiều nhiệt:

Nhiều nhiệt là nhiều do chuyển động phân tử, có thể được thể hiện như một hàm có tần số $f [kHz]$ và được xác định:

$$NL_{therm} = -15 + 20 \log(f), [dB] \quad (2.53)$$

→ Vậy, tổng nhiễu trong kênh truyền có thể được xác định bởi:

$$NL(f, v_s, s, v_w) = 10 \log \left(10^{0,1NL_{traffic}} + 10^{0,1NL_{turbo}} + 10^{0,1NL_{vessel}} + 10^{0,1NL_{Bio}} + 10^{0,1NL_{ss}} + 10^{0,1NL_{therm}} \right), [dB] \quad (2.54)$$

2.3. Kỹ thuật điều chế

Trong hệ thống truyền thông, tại thiết bị phát cần có một sự thay đổi tần số cho phù hợp kênh truyền và tại thiết bị nhận có một sự biến đổi ngược lại tương ứng với dải tần số ban đầu. Để thay đổi tần số, ta sử dụng các kỹ thuật điều chế khác nhau (điều chế số hoặc tương tự). Thiết bị phát (gọi là bộ điều chế) thay đổi tần số của tín hiệu để phù hợp với kênh truyền tại thiết bị thu (gọi là bộ giải điều chế). Thiết bị thu có trách nhiệm thay đổi tần số ngược lại tương ứng với dải tần số ban đầu. Với kỹ thuật điều chế số, ta có 3 phương pháp điều chế: điều chế biên độ, tần số hoặc pha của sóng mang. Tương ứng với ba phương pháp điều chế, ta có ba kỹ thuật điều chế cơ bản là: điều chế ASK, điều chế FSK và điều chế PSK.

2.3.1. Kỹ thuật điều chế số

Điều chế khoá dịch biên độ: ASK (Amplitude Shift Keying)

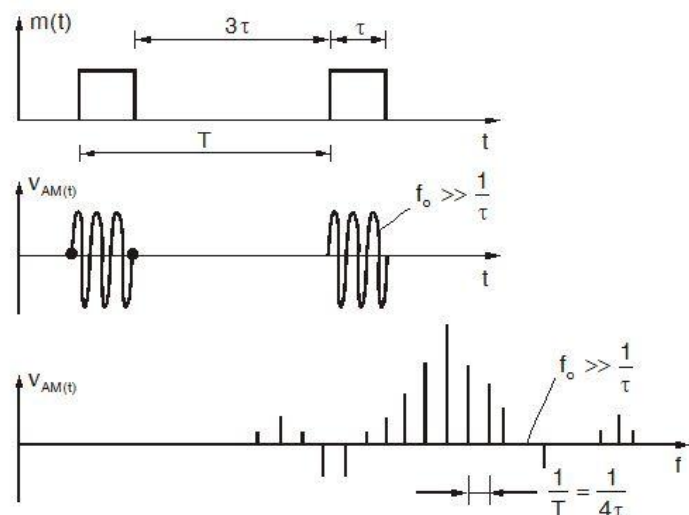
Điều chế khoá dịch tần số: FSK (Frequency Shift Keying)

Điều chế khoá dịch pha: PSK (Phase Shift Keying)

2.3.1.1. ASK

Biên độ sóng mang cao tần tỷ lệ với tín hiệu điều chế bằng gốc gọi là điều chế AM. Ta có đường bao cao tần AM lặp lại dạng tín hiệu điều chế $m_t = V_m \cos \omega_m t$.

Điều chế số ASK là một trường hợp riêng của điều chế AM: tín hiệu điều chế m_t dạng chuỗi số nhị phân chỉ gồm hai bit 1 và 0.

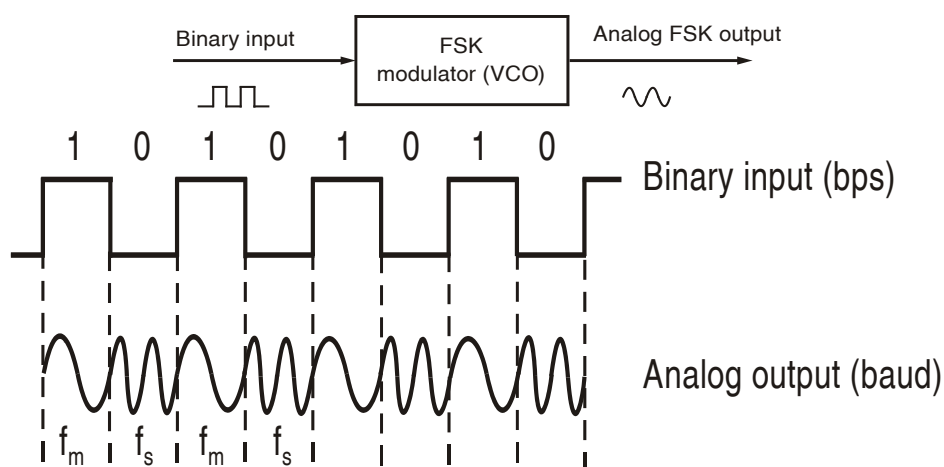


Hình 2.13: Tín hiệu và mật độ phổ ASK

2.3.1.2. FSK

Chúng ta thay đổi tần số của sóng mang, một phần tần số cho bit 1 và một phần tần số cho bit 0 như Hình 2.14, cho cùng một chuỗi bit như trên. Trong ví dụ dưới đây tần số f_1 được sử dụng cho bit 1 cao hơn tần số được sử dụng cho bit 0.

$$FSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) \\ \sin(2\pi f_2 t) \end{cases} \quad (2.56)$$



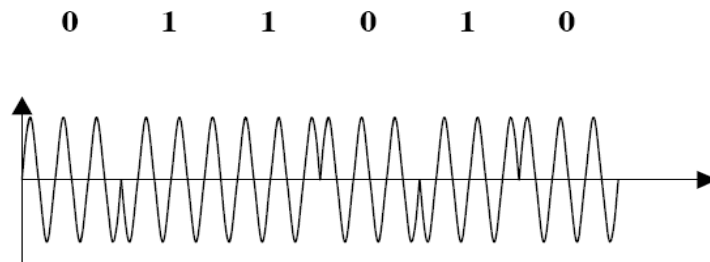
Hình 2.14: Ví dụ điều chế FSK

2.3.1.3. PSK

Chúng ta thay đổi pha của sóng mang theo tín hiệu thông tin cần truyền. Tùy thuộc vào chuỗi nhị phân cần truyền là 0 hay 1 để chúng ta thay đổi pha 180 độ. Sự thay đổi pha thể hiện sự thay đổi trạng thái của tín hiệu thông tin cần truyền.

Nếu $b(t)$ là chuỗi nhị phân khi đó chúng ta có thể viết:

$$PSK(t) = \sin(2\pi ft)b(t) \quad (2.57)$$



Hình 2.15: Ví dụ điều chế PSK

Nhận xét

❖ ASK:

- Xung tạo ra có thể được sử dụng để loại bỏ quan phổ lan rộng.
- Một bit nhị phân là sự hiện diện của sóng mang biên độ không đổi và một bit nhị phân khác là sự vắng mặt của sóng mang
- Dễ bị thay đổi bởi sự thay đổi các yếu tố kênh truyền và hiệu suất thấp

❖ FSK

- Băng thông của FSK phụ thuộc vào khoảng thời gian giữa hai ký hiệu.
- FSK có thể được mở rộng thành M – ary FSK khi sử dụng nhiều tần số.

❖ PSK

- PSK có thể được mở rộng thành M – ary PSK khi sử dụng nhiều tầng số
- Bộ lọc có thể được sử dụng để tránh phổ lây lan.

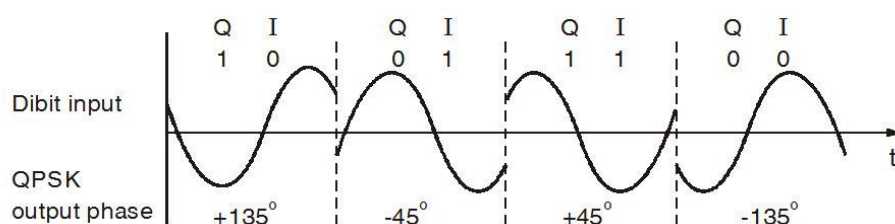
2.3.1.4. Kỹ thuật điều chế QPSK

Trong truyền thông kỹ thuật PSK, chúng ta sẽ chuyển một trong hai tín hiệu nhị phân trong khoảng thời gian T_b . Trong truyền thông kỹ thuật số M – ary chúng ta truyền một vài bit trong mỗi khoảng thời gian T. Số lượng các tín hiệu $M = 2^n$ (n là một số nguyên) và khoảng thời gian truyền tín hiệu là $T = nT_b$. Như vậy một hệ thống truyền thông truyền tải dữ liệu nhị phân là một trường hợp riêng của một hệ thống truyền thông M – ary. Mọi tín hiệu M được gọi là một ký hiệu. Tốc độ truyền mà tại đó các ký hiệu được truyền qua một kênh truyền được thể hiện bằng đơn vị baud.

Kỹ thuật điều chế QPSK là một ví dụ về truyền dữ liệu của M – ary với $M = 4$. Trong QPSK, một trong bốn hiệu có thể truyền đi trong mỗi khoảng thời gian tín hiệu, với mỗi tín hiệu có một dibit (một cặp bit). Ví dụ, với mã hóa Gray, một sóng truyền hình sin ta có bốn dibit là:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right), \text{dibit}(00) \\ A_c \cos\left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}\right), \text{dibit}(01) \\ A_c \cos\left(2\pi f_c t - \frac{\pi}{4}\right), \text{dibit}(10) \\ A_c \cos\left(2\pi f_c t - \frac{3\pi}{4}\right), \text{dibit}(11) \end{cases} \quad (2.58)$$

Trong đó $0 \leq t \leq T$, ta nói T là thời gian ký hiệu. Hình 2.16 mô tả trạng thái tín hiệu của phương trình (2.58).



Hình 2.16: Dạng pha của pp điều chế QPSK

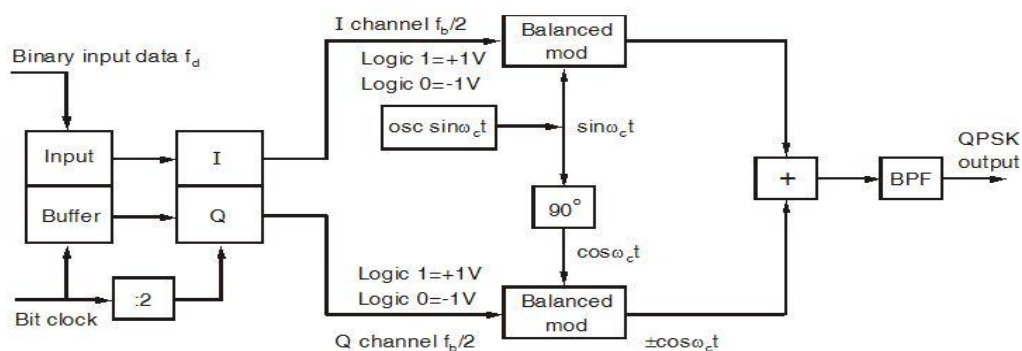
Rõ ràng QPSK là một hình thức đặc biệt của điều chế pha, $s(t)$ của phương trình (2.58) được thể hiện ngắn gọn:

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \phi(t)] \quad (2.59)$$

trong đó pha $\phi(t)$ là một giá trị không đổi trong mọi dibit của dòng dữ liệu truyền. Chúng ta có thể mở rộng phương trình (2.59) như sau:

$$s(t) = A_c \cos[\phi(t)] \cos(2\pi f_c t) - A_c \sin[\phi(t)] \sin(2\pi f_c t) \quad (2.60)$$

Như vậy, $s(t)$ cũng có 1 thành phần pha $A_c \cos[\phi(t)]$ và một thành phần vuông $A_c \sin[\phi(t)]$ tương tự như tín hiệu dải gốc. Phương trình (2.60) cho ta sơ đồ khối tổng quát của thiết bị phát QPSK được hiển thị trong Hình 2.17.



Hình 2.17: Sơ đồ khối điều chế QPSK

Sơ đồ khối bao gồm khối chuyển đổi nối tiếp – song song, một cặp khối điều chế QPSK, một khối oscillator cung cấp hai sóng mang. Chức năng của khối chuyển đổi nối tiếp – song song chuyển mỗi cặp bit kế tiếp của dòng bit dữ liệu nhị phân $m(t)$ thành hai bit riêng biệt chẵn và lẻ, tạo thành kênh pha (I) và kênh vuông góc (Q).

Như vậy, khoảng thời gian tín hiệu T trong hệ thống QPSK là gấp đôi thời gian bit T_b của dòng dữ liệu bit nhị phân vào $m(t)$. Do đó băng thông truyền dẫn của hệ thống QPSK bằng một nửa băng thông truyền dẫn của hệ thống BPSK.

2.3.2. Tốc độ bit và tốc độ ký hiệu

Ký hiệu là một khái niệm khá riêng biệt so với bit, mặc dù cả hai có thể được biểu diễn bằng một hàm sóng sin. Trong đó bit là đơn vị thông tin và ký hiệu là đơn vị truyền năng lượng. Theo lĩnh vực truyền thông, ký hiệu là một tập hợp các biểu thức kích thước của ký hiệu phụ thuộc vào phương pháp điều chế mà ta sử dụng trong hệ thống truyền thông. Ví dụ, BPSK chỉ có một bit duy nhất để tạo thành một ký hiệu và QPSK có 2 bit để tạo thành một ký hiệu. Số lượng bit trong một ký hiệu có thể được tính theo công thức $\log_2 M$ (M là số lượng thay đổi pha).

Để so sánh hiệu quả giữa các phương pháp điều chế khác nhau, điều quan trọng là chúng ta phân biệt giữa tốc độ bit và tốc độ ký hiệu. Băng thông của hệ thống truyền thông chỉ phụ thuộc vào tốc độ ký hiệu chứ không phụ thuộc vào tốc độ bit.

Tốc độ bit là số bit được truyền trong một giây. Lấy ví dụ, một mẫu 8 bit tốc độ lấy mẫu là 10kHz. Tốc độ bit sẽ là:

$$8 \times 10 = 80 \text{ Kbits/s}$$

Tốc độ ký hiệu là tốc độ bit chia số bit biểu diễn (trong một đơn vị truyền ký hiệu). Nếu một bit được truyền trong mỗi ký hiệu (như với BPSK) thì tốc độ ký hiệu là tốc độ bit (80 Kbits/s); nếu hai bit được truyền trong mỗi ký hiệu (như trong QPSK) thì tốc độ ký hiệu sẽ là một nửa tốc độ bit (40 Kbits/s). Tốc độ baud tương tự như tốc độ ký hiệu, là đơn vị tín hiệu trên một giây. Nếu số bit có thể được gửi đi xuyên mỗi ký hiệu nhiều hơn thì cùng một lượng dữ liệu có thể được gửi trong một phổ hẹp hơn.

2.3.3. Sự biểu diễn tín hiệu

2.3.3.1. Tín hiệu dải gốc và tín hiệu dải giữa

Trong hệ thống truyền thông tần số của tín hiệu dải gốc được chuyển đổi cho phù hợp với đặc điểm của kênh truyền. Ví dụ, một hệ thống truyền thông QPSK, đầu tiên một loạt các xung có giá trị phức được hình thành (tín hiệu dải gốc), sau đó tín hiệu này được chuyển đổi sang tần số sóng mang mong muốn (gọi là tín hiệu dải giữa) và được truyền qua kênh truyền.

2.3.3.2. Dải gốc và dải giữa

Bất kỳ kỹ thuật điều chế biên độ hoặc điều chế pha đều có thể được mô tả bởi mối quan hệ:

$$x(t) = A(t) \cos[2\pi f_c t + \phi(t)] \quad (2.61)$$

Trong đó, f_c là tần số sóng mang, các giá trị pha $\phi(t)$ và biên độ $A(t)$ thường là thấp hơn nhiều so với tần số sóng mang. Do đó, $x(t)$ là một tín hiệu ở dải giữa với phổ có tần số trung tâm là tần số sóng mang f_c .

Sử dụng các mối quan hệ lượng giác ta có thể thành hàm sau:

$$x(t) = x_1(t) \cos(2\pi f_c t) - x_Q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (2.62)$$

Trong đó:

$$x_1(t) = A(t) \cos(\phi(t)) \quad (2.63)$$

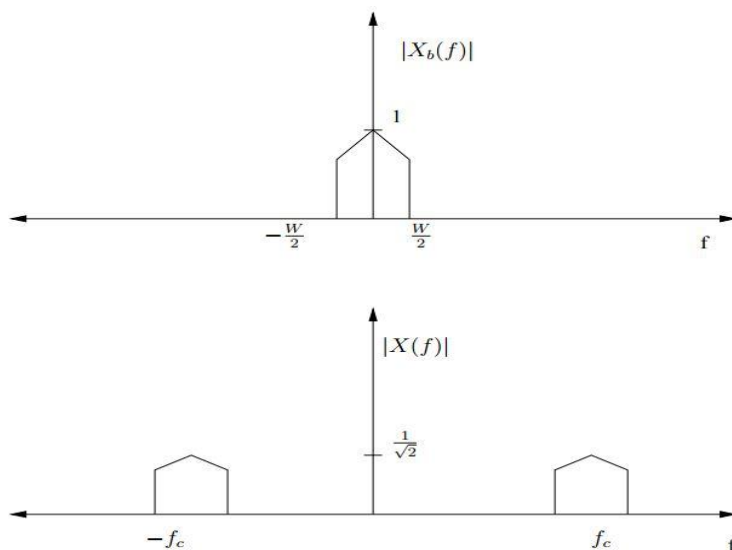
$$x_Q(t) = A(t) \sin(\phi(t)) \quad (2.64)$$

Là các thành phần vuông góc, phương trình (2.60) có thể được viết lại:

$$x(t) = \text{Re}\{x_{bb}(t) e^{2\pi f_c t}\} \quad (2.65)$$

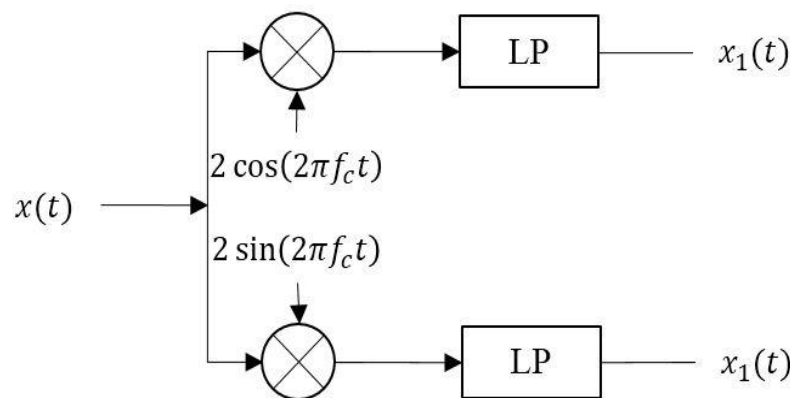
Trong đó $x_{bb}(t) = x_1(t) + jx_Q(t)$ là tín hiệu gốc. (2.66)

Như minh họa trong Hình (2.18), tín hiệu dải gốc được tạo thành từ các tín hiệu dải giữa bằng cách loại bỏ các tần số không mong muốn và dịch phổ f_c sang bên trái.



Hình 2.18: Tín hiệu dải giữa và dải gốc trong miền tần số

Một tín hiệu dải gốc được tạo thành bằng cách sử dụng một bộ chuyển đổi xuống. Một ví dụ được thể hiện trong Hình 2.19. Tín hiệu thu được từ kênh truyền là tín hiệu dải giữa được nhân với $2e^{-j2\pi f_c t}$ để di chuyển phổ và định lại bằng một bộ lọc thông thấp (Lowpass Filter). Các bộ lọc thông thấp loại bỏ các tần số không mong muốn. Như vậy bộ chuyển đổi xuống được đưa vào trong thiết bị nhận của hệ thống truyền thông để chuyển tín hiệu dải giữa thành tín hiệu giải gốc tương ứng với tín hiệu ban đầu.



Hình 2.19: Chuyển đổi tín hiệu dải giữa thành tín hiệu dải gốc

Hệ thống truyền thông thường sử dụng tín hiệu phức $x_{bb}(t)$ (tín hiệu dải gốc) để truyền đi bởi vì việc sử dụng tín hiệu dải gốc sẽ đơn giản hơn trong mô phỏng hệ thống truyền thông và trong phân tích. Mô phỏng hoặc phân tích một hệ thống truyền thông sử dụng tín hiệu dải gốc sẽ không bị ràng buộc bởi bất kỳ tần số sóng mang khác và có thể được tái sử dụng nước tần số sóng mang thay đổi. Việc thực hiện tính toán trở nên hữu ích và đơn giản khi sử dụng các tín hiệu phức (tín hiệu dải gốc). Ví dụ, thay đổi tần số tín hiệu truyền thành tần số f_{shift} , ta thực hiện bằng cách nhân tín hiệu với $e^{2\pi f_{shift} t}$. Tương tự một sự dịch pha ϕ_{shift} được thực hiện bằng cách nhân tín hiệu với $e^{2\pi \phi_{shift} t}$.

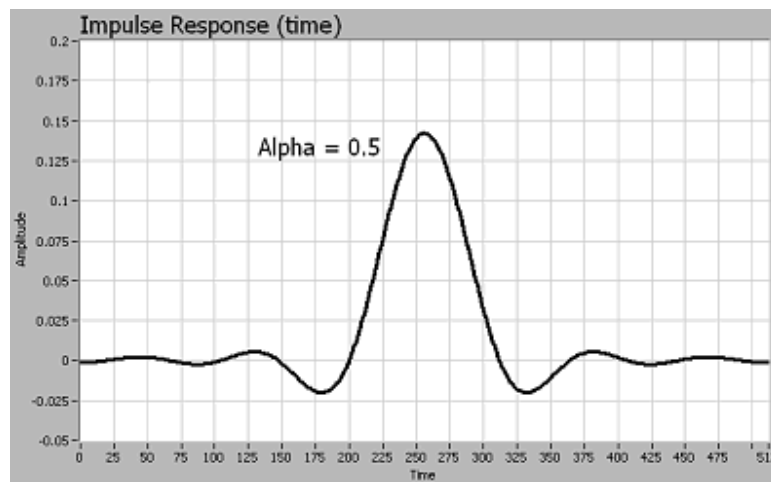
2.3.4. Sự tạo dạng xung

Các ký hiệu được đi qua một bộ lọc xung tạo dạng. Các khung hình chữ nhật không thực tế để truyền và cần băng thông rộng hơn. Vì vậy để thay thế, chúng ta cần sử dụng các xung tạo dạng thích hợp để truyền dữ liệu tốt hơn, sử dụng băng thông nhỏ hơn và có các thuộc tính khác tốt hơn (chẳng hạn như loại bỏ sự can thiệp nhiễu liên ký hiệu). Một trong những xung tạo dạng phổ biến nhất được sử dụng trong hệ thống là “root raised cosine”. Xung “root raised cosine” có một tham số gọi là tham số roll-off β dùng để kiểm soát hình dạng và băng thông của tín hiệu, [7].

Xung tạo dạng “root raised cosine” được cho bởi:

$$\psi_T(t) = 4\beta \frac{\cos[(1+\beta)\pi t/T] + \sin[(1-\beta)\pi t/T](4\beta t/T)^{-1}}{\pi \sqrt{T[1-16\beta^2 t^2/T^2]}} \quad (2.67)$$

trong đó T là thời gian ký hiệu và β là tham số roll-off. Tham số roll-off β thường nằm giữa 0 và 1, và để xác định thông dải dư thừa $100\beta\%$. Việc sử dụng β nhỏ hơn tương ứng với một phạm vi mật độ phổ công suất nhỏ gọn hơn, nhưng việc thực hiện mỗi liên kết trở nên nhạy cảm hơn với các lỗi trong thời gian ký hiệu. Một xung tạo dạng “root raised cosine” điển hình với tham số roll-off $\beta = 0,5$ được thể hiện trong Hình 2.20.



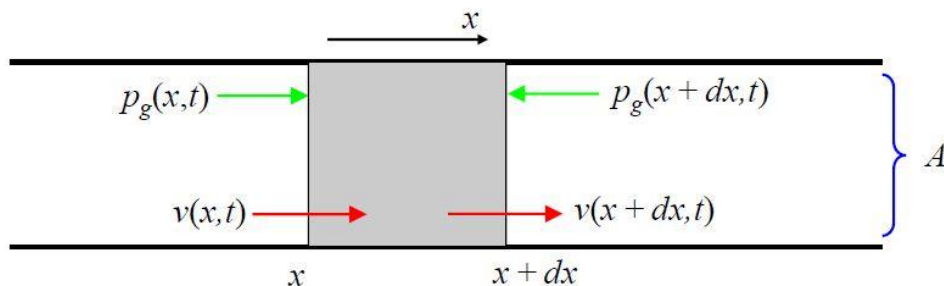
Hình 2.20: Dạng xung root-raised-cosine

CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG MÔ HÌNH LAN TRUYỀN ĐA ĐƯỜNG

3.1. Phương trình sóng

Các phương trình sóng trong chất lỏng lý tưởng được bắt nguồn từ thủy động lực học và mối quan hệ giữa áp lực và mật độ. Các phương trình sóng bao gồm: phương trình bảo toàn khối lượng, phương trình Euler (định luật 2 Newton) và phương trình trạng thái đoạn nhiệt.

Hình 3.1 được sử dụng để mô tả chuyển động của một phần tử trong cột nước



Hình 3.1: Sự di chuyển của một phần tử từ x đến $(x+dx)$ trong nước

Chúng ta có p_g và ρ_g , hai số hạng được xác định như sau:

$$p_g = p_0 + p \quad (3.1)$$

Trong đó:

- p_g là áp suất toàn phần
- p_0 là áp suất tĩnh
- p là áp suất động, xuất hiện do sự hoạt động của sóng âm

$$\rho_g = \rho_0 + \rho \quad (3.2)$$

Trong đó:

- ρ_g là mật độ toàn phần
- ρ_0 là mật độ tĩnh
- ρ là mật độ động

Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\rho_g(x+dx)Av(x+dx) - \rho_g(x)Av(x) = -Adx \frac{\partial \rho_g}{\partial t} \quad (3.3)$$

Trong đó:

- $Av(x+dx)$ thể tích giãn ra ứng với một sự dịch chuyển dx ;

- $\rho_g(x+dx)Av(x+dx)$ khối lượng tăng thêm khi dịch chuyển một đoạn dx ;
- $Av(x)$ thể tích ứng với độ dài x ;
- $\rho_g(x)Av(x)$ Khối lượng với độ dài x : (+) với khối lượng tăng; (-) với khối lượng giảm

Từ Hình 3.1, theo định luật II Newton ($F = ma$) ta có thể viết:

$$\rho_g(x)A - \rho_g(x+dx)A = \rho_g A dx \frac{dv}{dt} \quad (3.4)$$

Với

$$dv = \frac{\partial v}{\partial t} dt + \frac{\partial v}{\partial x} dx \quad (3.5)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{dx}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \quad (3.6)$$

$$\frac{p_g(x,t) - p_g(x+dx,t)}{dx} = \frac{-[p_g(x+dx,t) - p_g(x,t)]}{dx} = -\frac{\partial p_g}{\partial x} \quad (3.7)$$

Phương trình (3.4) có thể được viết lại như sau:

$$-\frac{\partial p_g}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

Và với

$$\frac{\rho_g(x+dx,t)x(x+dx,t) - \rho_g(x,t)x(x,t)}{dx} = \frac{\partial(\rho_g v)}{\partial x} \quad (3.9)$$

Phương trình (3.3) có thể được viết lại như sau:

$$\frac{\partial(\rho_g v)}{\partial x} = -\frac{\partial \rho_g}{\partial t} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.10)$$

Phương trình (3.10) gọi là phương trình liên tục.

Phương trình trạng thái đoạn nhiệt.

$$p_g = p_0 + \rho \left[\frac{\partial p_g}{\partial \rho_g} \right]_s + \frac{1}{2} (\rho)^2 \left[\frac{\partial^2 p_g}{\partial \rho_g^2} \right] + \dots, \quad (3.11)$$

Ta đặt:

$$c^2 = \left[\frac{\partial p}{\partial \rho} \right]_s \quad (3.12)$$

Trong đó c là vận tốc âm thanh trong chất lỏng, ρ là mật độ, v là vận tốc hạt, p là áp suất và s biểu thị đạo hàm cục bộ nhiệt động lực học được lấy tại entropy không đổi.

Cho $p \ll p_0$ và $\rho \ll \rho_0$, phương trình (3.11) trở thành:

$$p = c^2 \rho \quad (3.13)$$

Ta thấy thời gian thay đổi của hải dương học là lâu hơn so với thời gian thay đổi của lan truyền âm thanh nên chúng ta giả định rằng các thuộc tính vật liệu ρ_0 và c^2 độc lập với thời gian. Lấy đạo hàm cục bộ phương trình Euler (3.8) đối với x và phương trình liên tục (3.10) đối với t , ta được:

$$-\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_s \frac{\partial v}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_s v \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial t} v \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_s \frac{\partial v}{\partial t} \right) = -\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (3.15)$$

Cho tốc độ thấp hơn, trong phương trình (3.14), chúng ta có thể bỏ qua $\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_s v \frac{\partial v}{\partial x} \right)$ và cho $\rho \ll \rho_0$, số hạng $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial t} v \right)$ trong phương trình (3.15) có thể được bỏ qua. Bây giờ phương trình (3.14) và (3.15) có thể được viết lại:

$$-\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_s \frac{\partial v}{\partial t} \right) \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_s \frac{\partial v}{\partial t} \right) = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (3.17)$$

Kết hợp phương trình (3.16) và (3.17) ta có phương trình sóng tuyến tính:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (3.18)$$

Mở rộng để có phương trình ba chiều, chúng ta đạt được:

$$\Delta p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (3.19)$$

Trong đó, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$, biểu thị toán tử Laplace.

3.2. Phương trình Helmholtz

Cho $p = P(x, y, z, t) \exp(j\omega t)$, chúng ta đạt được:

$$\Delta P + k^2 P = 0 \quad (3.21)$$

Trong tọa độ cầu Laplacian có thể được thể hiện bởi $\Delta P = \frac{\partial^2 P}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial P}{\partial R}$, phương trình sóng của phương trình Helmholtz được cho bởi,

$$P = \frac{A \exp(-jkR)}{4\pi R} \quad (3.22)$$

$$\text{Với } R = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2} \quad (3.23)$$

Trong đó x_0, y_0, z_0 là tọa độ nguồn (quả cầu dao động với bán kính nhỏ).

Một giải pháp khác được đưa ra bởi sóng phẳng,

$$P = A \exp[-j(k_x x + k_y y + k_z z)] \quad (3.24)$$

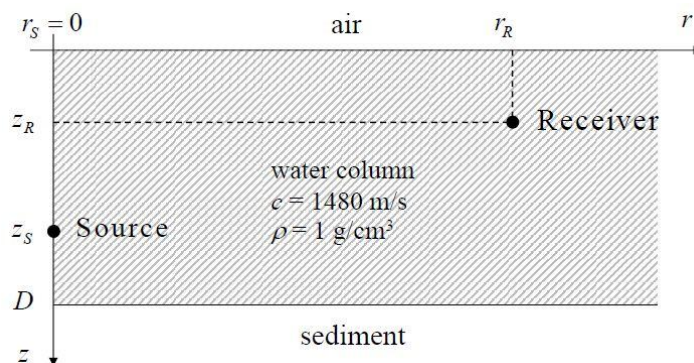
Trong đó, k_x, k_y và k_z biểu thị số sóng thỏa mãn:

$$k^T k = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 \quad (3.25)$$

Với $k = (k_x, k_y, k_z)^T$ là vector số sóng.

3.3. Lan truyền âm thanh trong kênh truyền

Hình 3.2 mô tả kênh truyền đồng nhất và các ranh giới giới hạn kênh truyền.



Hình 3.2: Kênh truyền đồng nhất với nguồn S và thiết bị thu R.

Thiết bị đặt tại $(0, z_s)$, trong trường hợp không có ranh giới, ta có:

$$P(r, z) = A(\omega) \frac{e^{-4jkR}}{4\pi R} \quad (3.26)$$

Trong đó,

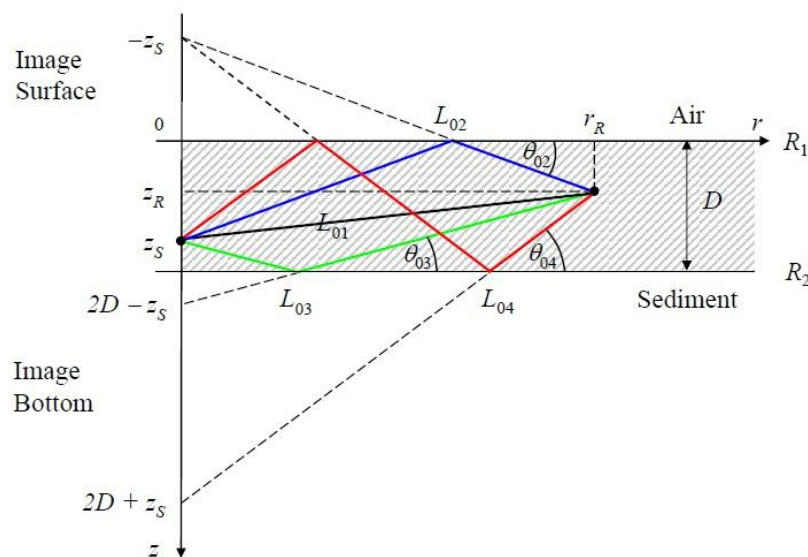
$$R = \sqrt{(z-z_s)^2 + (r-r_s)^2}$$

$A(\omega)$: biên độ của nguồn.

Ta thêm một số giải pháp vào phương trình Helmholtz để thỏa mãn các điều kiện biên của sự suy giảm áp suất ở bề mặt và mặt đáy của kênh truyền. Giải pháp ở đây, bề mặt và mặt đáy được coi là hai gương. Các tia chạm vào bề mặt và mặt đáy, sau đó được truyền đi với ảnh của nguồn. Với logic này, phương pháp ảnh nguồn (phương pháp gương) được ứng dụng thông qua các phương trình toán học.

3.3.1. Phương pháp ảnh nguồn

Trong kênh truyền sóng âm thanh, âm thanh sẽ được phản xạ nhiều giữa hai ranh giới, đòi hỏi một số lượng vô hạn các ảnh nguồn được đưa vào.



Hình 3.3: Sự phản xạ của một sóng từ ranh giới của một lớp và các ảnh nguồn

Hình 3.3 cho thấy sơ đồ của ba ảnh nguồn ở độ sâu z_s , dẫn đến bốn số hạng đầu tiên trong biểu thức tổng là:

$$P(r, z, \omega) \cong A(\omega) \left\{ \frac{e^{-jkL_{01}}}{L_{01}} + \hat{R}_1(\phi_{02}, \omega) \frac{e^{-jkL_{02}}}{L_{02}} + \hat{R}_2(\phi_{03}, \omega) \frac{e^{-jkL_{03}}}{L_{03}} + \hat{R}_1(\phi_{04}, \omega) \hat{R}_2(\phi_{04}, \omega) \frac{e^{-jkL_{04}}}{L_{04}} \right\} \quad (3.27)$$

Trong đó, $\hat{R}_i(\phi, \omega) = \tilde{R}_i\left(\frac{\pi}{2} - \phi, \omega\right) = \tilde{R}_i(\varphi, \omega)$ với $i = 1, 2$.

$$L_{01} = \sqrt{r^2 + (z_s - z)^2}$$

$$L_{02} = \sqrt{r^2 + (z_s + z)^2}$$

$$L_{03} = \sqrt{r^2 + (2D - z_s - z)^2}$$

$$L_{04} = \sqrt{r^2 + (2D + z_s - z)^2} \quad (3.28)$$

Các số hạng của các tia tiếp theo thu được bằng ảnh nguồn kế tiếp của các ảnh nguồn này.

$$\begin{aligned} P(r, z, \omega) \cong A(\omega) & \left\{ \hat{R}_1^m(\phi_{m1}, \omega) \hat{R}_2^m(\phi_{m1}, \omega) \frac{e^{-jkL_{m1}}}{L_{m1}} + \hat{R}_1^{m+1}(\phi_{m2}, \omega) \hat{R}_2^m(\phi_{m2}, \omega) \frac{e^{-jkL_{m2}}}{L_{m2}} \right. \\ & + \hat{R}_1^m(\phi_{m3}, \omega) \hat{R}_2^{m+1}(\phi_{m3}, \omega) \frac{e^{-jkL_{m3}}}{L_{m3}} \\ & \left. + \hat{R}_1^{m+1}(\phi_{m4}, \omega) \hat{R}_2^{m+1}(\phi_{m4}, \omega) \frac{e^{-jkL_{m4}}}{L_{m4}} \right\} \quad (3.29) \end{aligned}$$

Trong đó: A là biên độ của tín hiệu,

\hat{R}_1 là hệ số phản xạ tại bề mặt nước biển.

\hat{R}_2 là hệ số phản xạ tại đáy biển.

$k = k_R + jk_1$ (k là số phức), $k_R = \frac{2\pi}{\lambda}$, $k_1 = -\alpha$.

3.3.2. Độ dài lan truyền của các tia

$L_{m1}, L_{m2}, L_{m3}, L_{m4}$ là độ dài lan truyền của các tia, với:

$$\begin{aligned} L_{m1} &= \sqrt{r^2 + (2Dm - z_s + z)^2}; \\ L_{m2} &= \sqrt{r^2 + (2Dm + z_s + z)^2}; \\ L_{m3} &= \sqrt{r^2 + [2D(m+1) - z_s - z]^2}; \\ L_{m4} &= \sqrt{r^2 + [2D(m+1) + z_s - z]^2}. \end{aligned} \quad (3.30)$$

D là độ sâu thẳng đứng của kênh truyền.

3.3.3. Góc lướt qua (Grazing angle)

Góc lướt qua là góc giữa tia tới với ranh giới. Góc lướt qua là khá quan trọng vì ảnh hưởng đến hệ số phản xạ tại đáy và bề mặt. Góc lướt qua cho bốn đường truyền hoặc cho tất cả các tia có thể được tính như sau:

$$\phi_{m1} = \tan^{-1} \left(\frac{2Dm - z_s + z}{r} \right) \quad (3.31)$$

$$\phi_{m2} = \tan^{-1} \left(\frac{2Dm + z_s + z}{r} \right) \quad (3.32)$$

$$\phi_{m3} = \tan^{-1} \left[\frac{2D(m+1) - z_s - z}{r} \right] \quad (3.33)$$

$$\phi_{m3} = \tan^{-1} \left[\frac{2D(m+1) + z_s - z}{r} \right] \quad (3.34)$$

Trong đó:

- $\phi_{m1}, \phi_{m2}, \phi_{m3}, \phi_{m4}$ là góc lướt qua của tất cả các tia;
- D là độ sâu kênh truyền;
- $m = 0 \div \infty$;
- z_s là độ sâu của nguồn $[m]$;
- z là độ sâu của thiết bị thu $[m]$;
- r là khoảng cách của thiết bị thu $[m]$.

3.3.4. Thời gian hành trình

Thời gian hành trình của mỗi tia là thời gian lan truyền của mỗi tia từ lúc thiết bị phát truyền đến thiết bị thu. So với đường truyền trực tiếp thì các đường truyền khác cần nhiều thời gian hơn. Từ phương trình (3.30), chúng ta có được khoảng cách của tất cả các tia và tốc độ âm thanh c , ta có thể tính được thời gian hành trình của các tia như sau:

$$T_{m1} = L_{m1}/c; T_{m2} = L_{m2}/c; T_{m3} = L_{m3}/c; T_{m4} = L_{m4}/c \quad (3.35)$$

Trong đó:

- c là vận tốc âm thanh $[ms]$;
- $L_{m1}, L_{m2}, L_{m3}, L_{m4}$ là độ dài các tia $[m]$;
- $T_{m1}, T_{m2}, T_{m3}, T_{m4}$ là thời gian hành trình của tất cả các tia $[s]$.

3.3.5. Tổn thất lan truyền cho mỗi tia

Tổn thất truyền tải có thể được viết cho tia thứ tư là:

$$tl_{04} = \frac{1}{l_{04}} e^{-\alpha l_{04}} R_1 R_2 \quad (3.34)$$

Từ phương trình (3.29), sự tổn thất do lan rộng là do các số hạng $\frac{1}{l_{m1}}, \frac{1}{l_{m2}}, \frac{1}{l_{m3}}, \frac{1}{l_{m4}}$. Sự tổn thất do sự suy giảm hoặc hấp thụ được biểu thị bởi phần ảo của số sóng phức k . Sự tổn thất do phản xạ là tổng của:

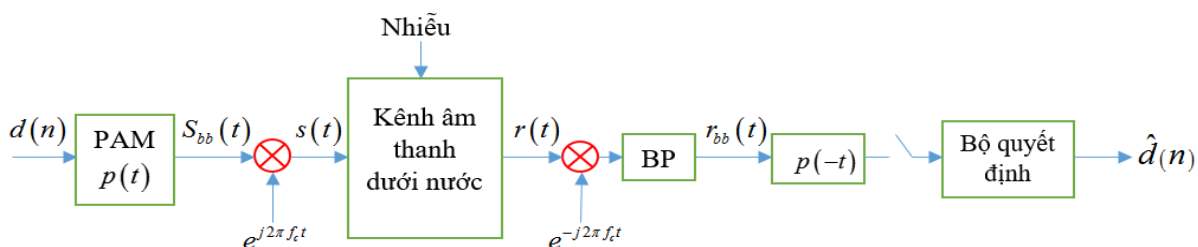
- Sự tổn thất phản xạ là tổn thất gây ra do sự khúc xạ và sự phản xạ của một tia truyền khi đi từ môi trường một đến môi trường hai.
- Sự tổn thất tán xạ là sự tổn thất gây ra bởi sự gồ ghề của ranh giới.

Trong phương trình (3.29), sự tổn thất do phản xạ được thể hiện bởi các số hạng $R_1^m R_2^m, R_1^{m+1} R_2^m, R_1^m R_2^{m+1}, R_1^{m+1} R_2^{m+1}$.

CHƯƠNG 4: MÔ TẢ HỆ THỐNG

4.1. Khái quát chung về hệ thống truyền thông

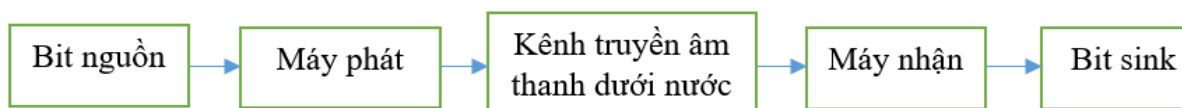
Hệ thống truyền thông được mô tả trong Hình 4.1 là một mô hình mô tả khái quát chung hệ thống truyền thông sử dụng kỹ thuật điều chế QPSK, đây cũng là một mô hình điển hình có thể ứng dụng cho bất kỳ hệ thống truyền thông mà sử dụng điều chế QAM. Hệ thống được mô tả khái quát như sau. Tại thiết bị phát, chuỗi các ký hiệu $d(n)$ được chuyển đổi thành tín hiệu dải gốc có thời gian liên tục $S_{bb}(t)$ bởi một bộ điều biến biên độ xung (PAM). $d(n)$ là chuỗi dữ liệu rời rạc và có giá trị phức. Sự chuyển đổi tần số lên được thực hiện bằng cách nhân với $e^{j2\pi f_c t}$, ta được kết quả là một tín hiệu dải giữa $s(t)$ và được truyền qua kênh truyền âm thanh dưới nước. Tại thiết bị thu, để loại bỏ sóng mang, tín hiệu nhận được từ kênh truyền $r(t)$ được nhân với $e^{-j2\pi f_c t}$ (gọi là bộ chuyển đổi xuống) và kết quả đầu ra là tín hiệu dải gốc $r_{bb}(t)$ tương ứng với tín hiệu dải gốc ban đầu $S_{bb}(t)$. Theo sau bộ chuyển đổi xuống là bộ lọc thông thấp để loại bỏ các nhiễu không mong muốn, bộ lọc phù hợp để tạo dạng xung và lấy mẫu xuống. Cuối cùng là bộ quyết định tạo ra chuỗi rời rạc $\hat{d}(n)$. Thời gian lấy mẫu là $T_s = \frac{T}{Q}$ và băng thông của bộ lọc phù hợp là nhỏ hơn $\frac{Q}{2T}$.



Hình 4.1: Khái quát chung về hệ thống truyền thông dưới nước

4.2. Mô phỏng hệ thống truyền thông dưới nước

Hệ thống truyền thông dưới nước được minh họa khái quát trong Hình 4.2. Hệ thống bao gồm nguồn bit, thiết bị phát, kênh truyền, thiết bị thu và bit sink. Nguồn bit tạo ra các chuỗi nhị phân ngẫu nhiên và được thiết bị phát truyền đi. Thiết bị phát chuyển đổi các bit ngẫu nhiên thành các ký hiệu QPSK, sử dụng bộ xung tạo dạng và bộ biến đổi tần số lên để tạo ra sóng mang có tần số phù hợp với kênh truyền.



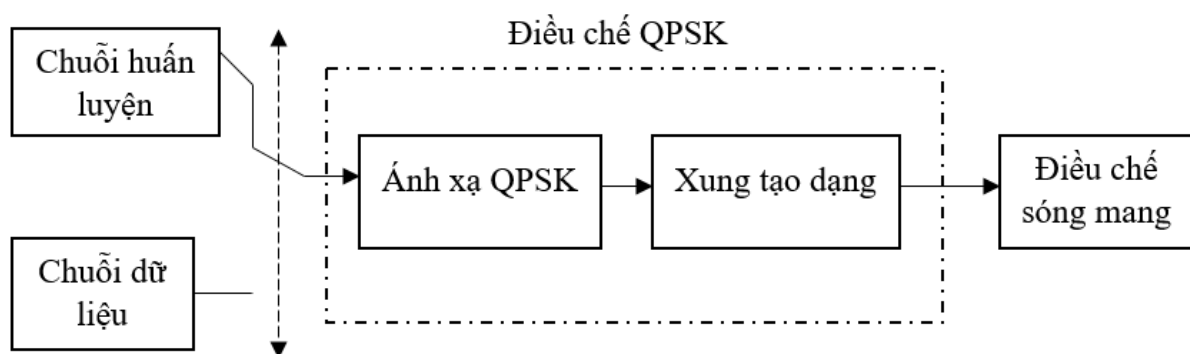
Hình 4.2: Sơ đồ khái quát hệ thống truyền thông dưới nước

Tín hiệu ra từ thiết bị phát được truyền qua kênh âm thanh dưới nước. Tại đây tín hiệu được cộng thêm nhiễu của môi trường biển và sau đó nhân tích chập với đáp ứng xung của

kênh truyền (đã được mô hình hoá). Các tín hiệu thu được từ đầu ra của kênh truyền âm thanh dưới nước tạo thành một ước lượng ban đầu của thiết bị thu. Thiết bị thu thực hiện biến đổi tần số xuống (tách sóng mang), ước tính pha, định thời gian bù và giải điều chế các ký hiệu QPSK nhận được thành các bit thông tin, sau đó đưa vào khối bit sink. Ở đây, bit sink thu thập và thống kê số lượng các lỗi bit xảy ra, để xác định hiệu suất của ứng dụng. Hình A.1 và Hình A.2 (phụ lục A) mô tả chi tiết hơn về mô hình của hệ thống.

4.2.1. Khối thiết bị phát

Khối thiết bị phát của hệ thống truyền thông dưới nước được minh hoạ trong Hình 4.3. Khối thiết bị phát bao gồm các khối tạo chuỗi huấn luyện, khối tạo chuỗi dữ liệu, khối ánh xạ QPSK và khối tạo dạng xung (đặt cùng nhau trong khối điều chế QPSK) và khối điều chế sóng mang.



Hình 4.3: Thiết bị phát

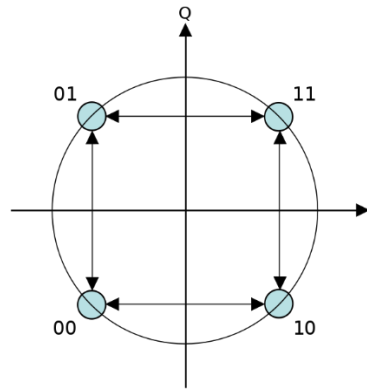
4.2.1.1. Chuỗi huấn luyện và chuỗi dữ liệu

Chuỗi huấn luyện tạo ra một chuỗi dữ liệu đã biết trước và được truyền trước khi truyền dữ liệu data. Mục đích của chuỗi huấn luyện là cung cấp cho thiết bị thu một chuỗi đã được biết trước để sử dụng cho ước tính pha và đồng bộ hoá. Ở đây, đã có sự ghép kênh, chẳng hạn chuỗi huấn luyện được ghép với chuỗi dữ liệu. Chuỗi huấn luyện được truyền trước, theo sau là chuỗi dữ liệu trước khi thực hiện điều chế QPSK như trong Hình 4.3. Chúng ta cũng có thể giữ chuỗi huấn luyện ở giữa các chuỗi dữ liệu, tức là một nửa các bit dữ liệu, tiếp theo là chuỗi huấn luyện, theo sau là một nửa khác của các bit dữ liệu.

Chuỗi huấn luyện không mang thông tin nên chuỗi huấn luyện được xem là chi phí vô ích. Chuỗi huấn luyện ngắn được ưu tiên hơn, tuy nhiên chuỗi huấn luyện dài hơn là sẽ cho kết quả tốt hơn trong thực hiện đồng bộ hoá và các thuật toán ước tính pha ở thiết bị thu. Chiều dài của chuỗi huấn luyện phụ thuộc vào việc thiết kế thiết bị thu và kỹ thuật điều chế được sử dụng trong hệ thống truyền thông dưới nước.

4.2.1.2. Ánh xạ QPSK

Các bit được ánh xạ tạo thành các ký hiệu QPSK tương ứng bằng cách sử dụng mã hoá Gray, như trình bày trong Hình 4.4. Mỗi ký hiệu QPSK được xác định bởi $d_I + jd_Q$, theo thứ tự giá trị thực là kênh I và giá trị ảo là kênh Q (điều này được nói đến trong phần 2.3.4).



Hình 4.4: Ánh xạ bit thành ký hiệu QPSK

4.2.1.3. Bộ tạo dạng xung

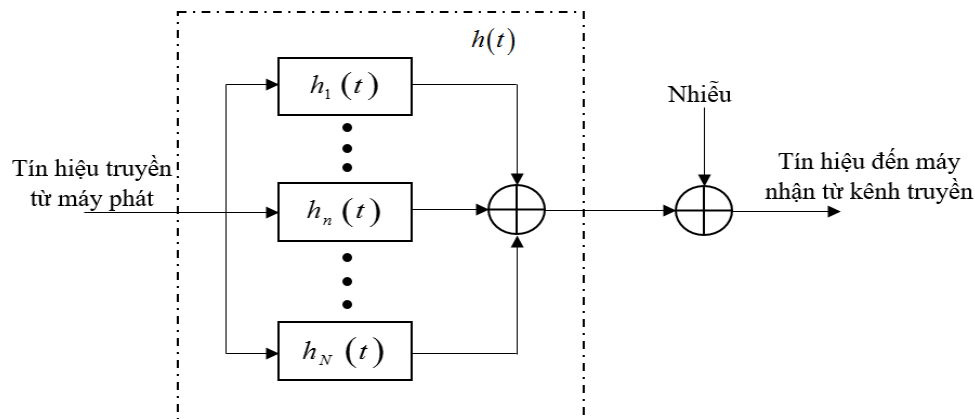
Các ký hiệu QPSK được truyền qua bộ lọc tạo dạng xung. Trong mô phỏng thường sử dụng bộ tạo dạng xung hình chữ nhật, tuy nhiên trong hệ thống thực người ta thường sử dụng bộ tạo dạng xung “root raised cosine”. Trong ứng dụng này, đã sử dụng bộ tạo dạng xung “root raised cosine”. Hình dạng xung “root raised cosine” được mô tả đầy đủ trong phần 2.3.5.

4.2.1.4. Điều chế sóng mang

Sau bộ tạo dạng xung là bộ điều chế sóng mang, biến đổi tần số tín hiệu dải gốc thành tần số tín hiệu sóng mang. Tần số sóng mang phải lựa chọn phù hợp với kênh truyền âm thanh dưới nước. Kênh âm thanh dưới nước là kênh có tần số thấp và sóng mang được lựa chọn trong khoảng từ 20 – 30 kHz. Tuy nhiên, sóng mang thường có tần số cao hơn so với tần số tín hiệu dải gốc và được xác định bởi tốc độ ký hiệu.

4.2.2. Kênh truyền âm thanh dưới nước

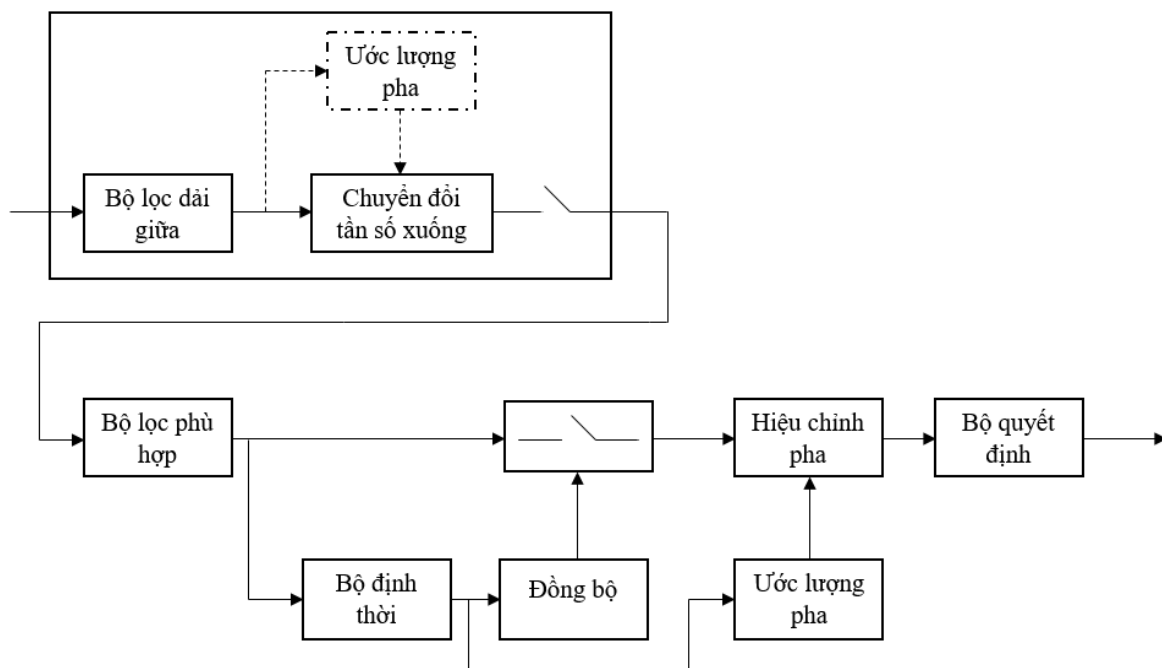
Vấn đề chính của kênh truyền âm thanh dưới nước là lan truyền đa đường, có liên quan đến nguyên nhân gây nhiễu. Và tiếp theo là sự thay đổi kênh truyền, đó là sự thay đổi các tham số vật lý của nước biển như nhiệt độ, pH, áp suất, độ mặn, độ sâu của nước biển. Tất cả đều được mô tả đầy đủ ở chương 1, 2 và 3. Ứng dụng này xem xét hầu hết các tham số của kênh truyền âm thanh dưới nước. Sơ đồ khối mô phỏng của kênh truyền được trình bày ở Hình A.2 (phụ lục A). Hình 4.5 mô tả mô hình kênh truyền âm thanh dưới nước, trong đó $h_1(t)$ đại diện cho đường truyền trực tiếp hoặc tia đầu tiên với sự chậm trễ là 0 (tương đối) và $h_N(t)$ là tia thứ N với một sự chậm trễ là τ_N so với đường truyền trực tiếp.



Hình 4.5: Mô hình kênh truyền âm thanh dưới nước

4.2.3. Khối thiết bị thu

Thiết kế thiết bị thu trong bất kỳ hệ thống truyền thông nào cũng đều phức tạp hơn so với thiết kế thiết bị phát và thiết kế kênh truyền. Tuy nhiên, như ta đã xem xét kênh truyền âm thanh dưới nước phức tạp nên việc thiết kế thiết bị thu cũng phức tạp hơn. Hình 4.6 mô tả sơ đồ khối chức năng thiết bị thu với chức năng của từng thành phần được trình bày như sau



Hình 4.6: Thiết bị thu

4.2.3.1. Bộ lọc dải giữa

Khối đầu tiên của thiết bị thu là bộ lọc tín hiệu dải giữa với tần số trung tâm bằng tần số sóng mang f_c và có băng thông phù hợp với băng thông của tín hiệu truyền. Mục đích của bộ lọc tín hiệu dải giữa là để loại bỏ tiếng ồn có tần số nằm ngoài dải thông. Chọn băng thông của bộ lọc tín hiệu dải giữa cần đưa ra một vài yêu cầu. Nếu băng thông là lựa chọn quá lớn sẽ bị ảnh hưởng nhiều. Mặt khác, nếu băng thông là quá hẹp thì tín hiệu mong muốn sẽ bị méo.

4.2.3.2. Bộ chuyển đổi tần số xuống và lấy mẫu

Khối chuyển đổi tần số xuống nhận kết quả từ tín hiệu dải giữa chuyển thành tín hiệu dải gốc có giá trị phức. Trong thực hiện chuyển đổi tần số xuống, tín hiệu đầu vào được nhân với tín hiệu của bộ dao động nổi. Bộ dao động nổi được giả định sử dụng có tần số sóng mang f_c cho cả thiết bị thu và thiết bị phát. Vì vậy, điều này sẽ không có sự bất đồng bộ của tần số sóng mang giữa thiết bị thu và phát. Để thiết lập pha cho bộ dao động nổi, bộ ước tính pha được kết nối đến bộ dao động nổi để ước tính pha ban đồng cho bộ dao động nổi. Ngoài ra, trong thiết bị thu còn có một bộ ước tính pha khác ở sau bộ lọc phù hợp (nơi chỉ là một vòng quay đơn giản của chòm sao tín hiệu) để làm một sự bù pha của tín hiệu dải gốc.

4.2.3.3. Bộ lọc phù hợp

Bộ lọc phù hợp có chứa bộ tạo dạng xung. Trong Hình 4.7, bộ tạo dạng xung là hình chữ nhật tín hiệu đầu ra từ bộ lọc phù hợp (hoặc là kênh I hoặc là kênh Q) được hiển thị đối với trường hợp xung hình chữ nhật. Các chấm đen thể hiện cho tín hiệu được lấy mẫu ở thiết bị thu, giả định bốn mẫu cho mỗi ký hiệu. Sự lấy mẫu tối ưu tức thời được minh họa bởi các mũi tên nhỏ.

Trên Hình 4.7, các dòng liền là kết quả tín hiệu đầu ra từ bộ lọc phù hợp, các đường nét đậm là tín hiệu đầu ra từ bộ lọc phù hợp, những đường chấm chấm là sự đóng góp của hai bit và các mũi tên nhỏ minh họa cho việc lấy mẫu tức thời.

4.2.3.4. Sự đồng bộ hoá

Các thuật toán đồng bộ hoá là rất quan trọng cho sự vận hành hệ thống. Nhiệm vụ của đồng bộ hoá là để tìm ra thời gian lấy mẫu tốt nhất cho thiết bị lấy mẫu. Lý tưởng nhất, bộ lọc phù hợp cần được thực hiện để cho tỷ lệ tín hiệu chia cho tiếng ồn là tối đa. Đối với một bộ tạo dạng xung hình chữ nhật, thời gian lấy mẫu t_{smp} tốt nhất là tại đỉnh của hình tam giác được lấy ra từ bộ lọc phù hợp, được minh họa bằng các mũi tên nhỏ trong Hình 4.7.

Thuật toán đồng bộ hoá được sử dụng dựa trên chuỗi huấn luyện phức. Chuỗi huấn luyện tại thiết bị thu và thiết bị phát là đã biết trước. Do đó, một trong các phương pháp để có thể khôi phục lại thời gian ký hiệu là sử dụng phép tương quan giữa các mẫu có giá trị phức sau khi đi qua bộ lọc phù hợp với các mẫu của chuỗi huấn luyện. Bằng cách di chuyển thời gian trong các bước T/Q , trong đó Q là số lượng mẫu trên mỗi ký hiệu, thời gian ký hiệu có thể được tìm thấy với số nguyên lần của T/Q . Chẳng hạn, nếu $\{c(n)_N^L\}$ là bản sao cục bộ được tạo ra của chuỗi huấn luyện, có chiều dài L và $r(n)$ là tín hiệu đầu ra từ bộ lọc phù hợp, thời gian định thời t_{smp} có thể được tính bởi phương trình (4.1).

$$t_{smp} = \arg \left(\max \left| \sum_{k=0}^{L-1} r(kQ + t_{smp})^* c(k) \right| \right) \quad (4.1)$$

Trong ví dụ này, sự chậm trễ là được ước tính đến 211 mẫu (tương ứng với mức tối đa) và do đó bộ lọc phù hợp phải lấy mẫu tại 211, $211 + Q, \dots$ để thu hồi lại các ký hiệu QPSK. Các thuộc tính tương quan của chuỗi huấn luyện là quan trọng vì nó ảnh hưởng đến độ chính xác ước tính pha và đồng bộ hoá.

4.2.3.5. Lấy mẫu xuống

Tín hiệu ra từ bộ lọc phù hợp được lấy mẫu xuống với một tốc độ lấy mẫu là $1/Q$, tức là thứ tự ký hiệu Q trong chuỗi tín hiệu ra từ bộ lọc phù hợp là được giữ nguyên. Thời gian và vị trí lấy mẫu tức thời (Hình 4.7) được điều khiển bởi thiết bị đồng bộ hoá.

4.2.3.6. Ước tính pha

Bộ ước tính pha được sử dụng để điều chỉnh pha của tín hiệu nhận, điều này là cần thiết cho giải điều chế tín hiệu. Đặc biệt ước tính pha khi năng lượng tín hiệu nhận được thấp là một vấn đề khó khăn. Ta có thuật toán ước tính pha, sử dụng các mẫu ký hiệu từ đầu ra bộ lọc phù hợp là tín hiệu dải gốc phức và được biểu diễn như sau:

$$..., e^{j(\phi_{n-1}+\varphi)}, e^{j(\phi_n+\varphi)}, e^{j(\phi_{n+1}+\varphi)}, e^{j(\phi_{n+2}+\varphi)}, ..., \quad (4.2)$$

Trong đó, $\phi_n \in \{\pm\pi/4, \pm3\pi/4\}$ là mang thông tin pha của ký hiệu thứ n và φ là sự bù đắp pha. Giá trị ϕ_n đã được biết đến nhờ sự đồng bộ hoá và giá trị của φ có thể tính bằng cách tính giá trị trung bình. Giả sử $\{\tilde{r}(n)\}_{n=0}^{L-1}$ biểu thị ký hiệu QPSK nhận được sau khi lấy mẫu xuống và $\{c(n)_N^L\}_{n=0}^{L-1}$ là bản sao địa phương của chuỗi huấn luyện phức, một ước tính bù đắp pha được tính như phương trình (4.3), với L là chiều dài của chuỗi huấn luyện.

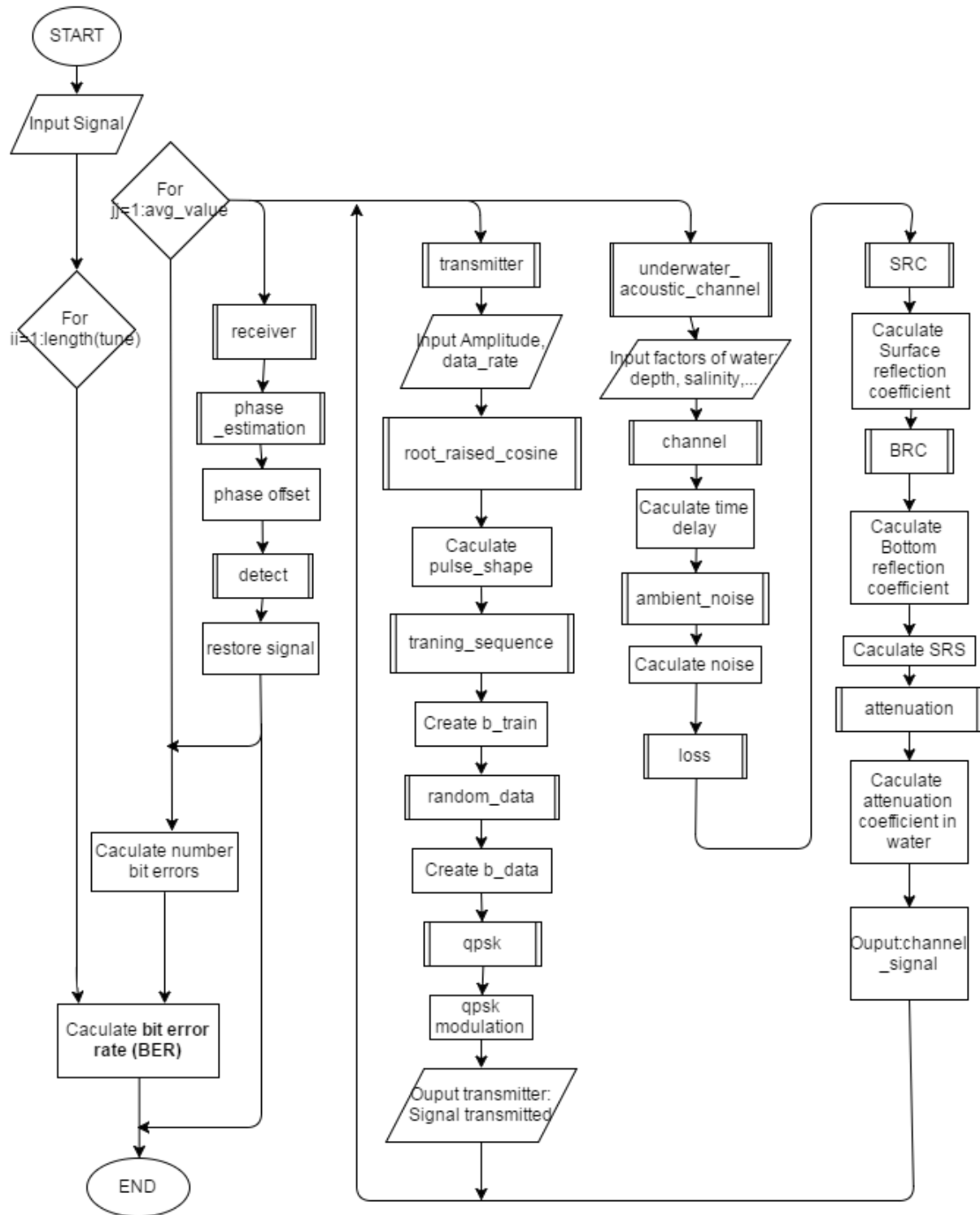
$$\hat{\varphi} = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} \arg(\tilde{r}(k)c(k)^*) \quad (4.3)$$

Chiều dài của chuỗi huấn luyện dài hơn thì ước tính pha tốt hơn vì ảnh hưởng từ nhiễu giảm. Nhưng sẽ làm giảm số lượng tải trọng tín hiệu truyền đi trong một thời gian nhất định.

4.2.3.7. Bộ quyết định

Các thiết bị quyết định là một thiết bị ngưỡng để so sánh kênh I và kênh Q so với ngưỡng 0. Nếu biên quyết định là lớn hơn không, một logic “0” là được quyết định, nếu biên quyết định là nhỏ hơn 0, một logic “1” là được quyết định.

Tóm lại, dựa trên điều kiện môi trường, các yếu tố ảnh hưởng thường gặp ở thực tế môi trường biển, kết hợp cùng với các cơ sở lý thuyết vừa nêu ra, ta có thể suy ra được các bước cần thiết để thực hiện một mô hình mô phỏng cho hệ thống truyền thông dưới nước. Quá trình thực hiện mô phỏng gồm nhiều khối, mỗi khối có những chức năng nhất định. Ở đây, ta chia hệ thống mô phỏng ra làm 3 khối chính: khối thứ nhất tính toán các yếu tố (nhiều) ảnh hưởng đến chất lượng kênh truyền và dữ liệu; khối thứ hai thực hiện quá trình điều chế QPSK, giúp giảm băng thông kênh truyền, gián tiếp tăng tốc độ truyền dữ liệu, làm cho tín hiệu có thể lan truyền tốt hơn và tiết kiệm được thời gian; khối thứ ba có tác dụng tổng hợp tín hiệu tại đầu thu, là tín hiệu đầu vào sau khi bị ảnh hưởng bởi các yếu tố nhiễu như đã nêu trên. Cuối cùng, sau khi tổng hợp được tín hiệu thu được tại đầu thu, ta sẽ tính được tỉ lệ lỗi bit BER, qua đó có thể đánh giá được chất lượng của kênh truyền. Sau khi qua hệ thống, tín hiệu ngõ ra nhận được sẽ là tín hiệu thu được và tỉ lệ lỗi bit BER. Chi tiết các bước của quá trình mô phỏng được thể hiện như ở sơ đồ sau:



Sơ đồ khối thực hiện mô phỏng hệ thống truyền thông dưới nước

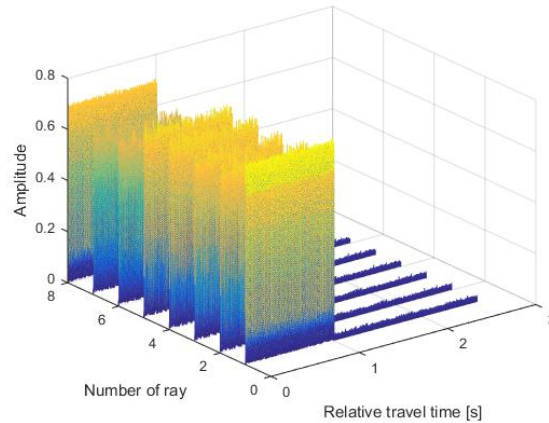
4.3. Kết quả mô phỏng bằng Matlab

Như đã thảo luận trong chương 2 và 3, tác động chủ yếu vào kênh âm thanh dưới nước là sự lan truyền đa đường. Mục tiêu mà chúng ta mong muốn là đạt được tốc độ truyền dữ liệu cao và tỷ lệ lỗi bit BER thấp. Dựa vào hệ thống mô phỏng được nêu ra và sơ đồ khối thực hiện quá trình mô phỏng như trên, phần này đưa ra một số kết quả mô phỏng cùng với một số kết quả đạt được khi chúng ta khảo sát kênh truyền âm thanh dưới nước và toàn bộ hệ thống truyền

thông. Kết quả mô phỏng này có ý nghĩa quan trọng để triển khai và thiết kế hệ thống truyền thông dưới nước.

4.3.1. Thời gian trễ và sự tổn thất của các tia

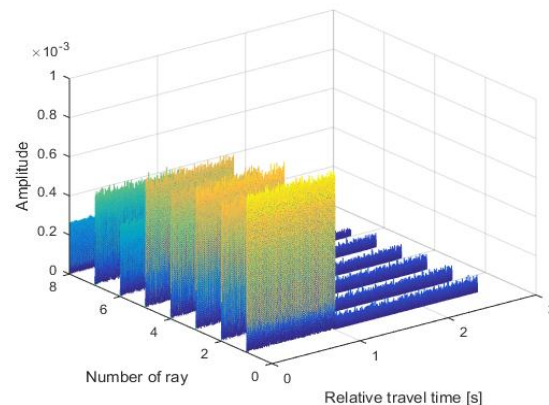
Hình 4.9 cho thấy sự chậm trễ của tia thứ nhất đến tia thứ 8.



Hình 4.9: Thời gian trễ của các tia trong lan truyền đa đường

Như vậy, so với tia truyền trên đường truyền trực tiếp thì các tia truyền khác trong lan truyền đa đường có thời gian lan truyền trễ hơn như chúng ta đã mong đợi.

Hình 4.10 minh họa hiện tượng tổn thất truyền tải của tia thứ nhất đến tia thứ 8.

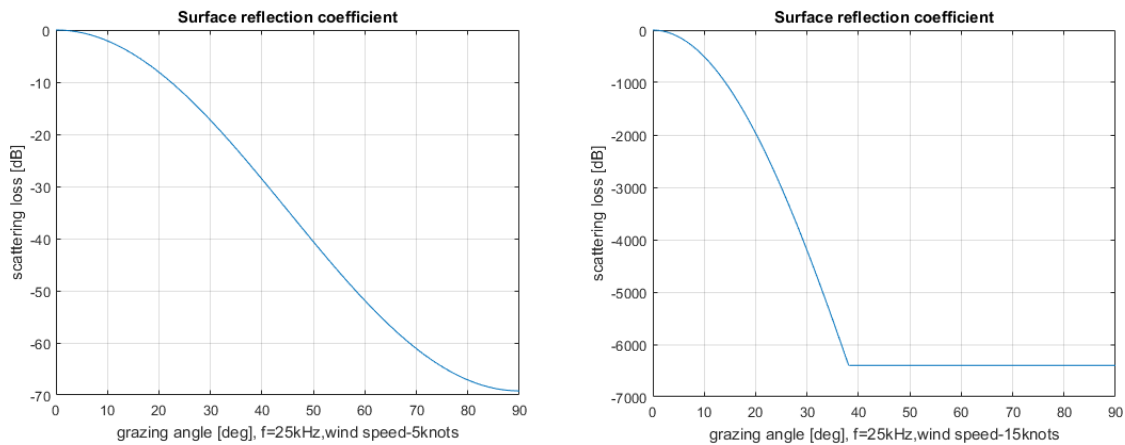


Hình 4.10: Sự tổn thất của các tia trong lan truyền đa đường

Như vậy, so với tia truyền trên đường truyền trực tiếp thì các tia truyền khác trong lan truyền đa đường có sự tổn thất lớn hơn như chúng ta đã mong đợi.

4.3.2. Sự ảnh hưởng của bề mặt và mặt đáy đến hệ số phản xạ

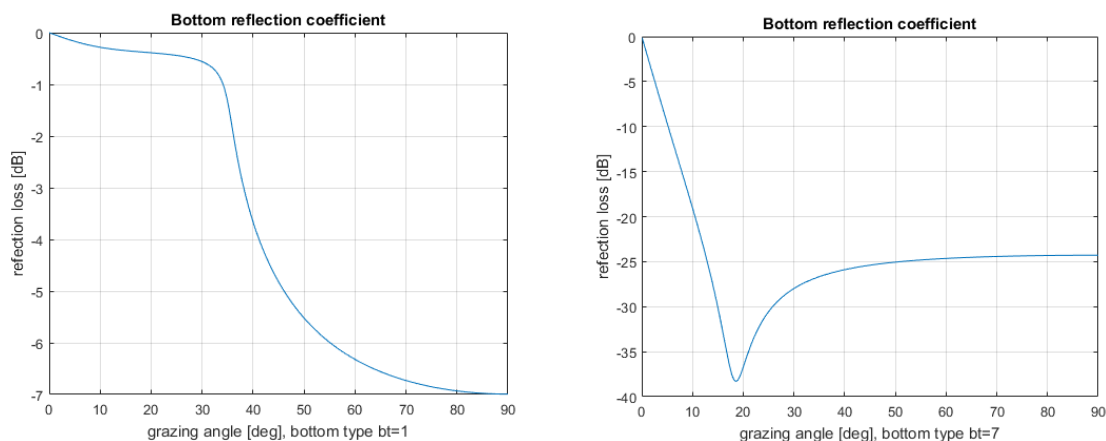
Từ phương trình (3.27), chúng ta có thể thấy được ảnh hưởng của tốc độ gió, tần số và góc lướt qua đến hệ số phản xạ bề mặt R_1 (được minh họa trong Hình 4.11).



Hình 4.11: Sự phụ thuộc của R_1 vào góc lướt qua, tần số và tốc độ gió v_w

Từ Hình 5.3, ta có thể thấy được ảnh hưởng của tốc độ gió, tần số góc lướt qua ϕ_m đến hệ số phản xạ bề mặt R_1 . Khi tăng góc lướt qua và tốc độ gió thì hệ số phản xạ R_1 giảm và sự tổn thất tăng.

Tương tự, từ phương trình (3.27), chúng ta có thể thấy được sự ảnh hưởng của góc lướt qua ϕ_m và loại đáy bt đến hệ số phản xạ mặt đáy R_2 (Hình 4.12).



Hình 4.12: Sự phụ thuộc của R_2 vào góc lướt qua và loại đáy bt

Từ Hình 4.12, ta có thể thấy sự ảnh hưởng của góc lướt qua ϕ_m và loại đáy bt đến hệ số phản xạ mặt đáy R_2 . Khi tăng góc lướt qua và tăng hệ số bt (tức là loại đáy mềm hơn) thì hệ số phản xạ R_2 giảm và sự tổn thất tăng.

4.3.3. Khi thay đổi khoảng cách của thiết bị phát và thu theo chiều ngang

Ở đây, chúng ta không đưa ra các hình ảnh của tổn thất phản xạ và tổn thất trong lan truyền mà chúng ta chỉ đưa ra thời gian trễ (mà gián tiếp là góc lướt qua gây nên). Do đó chúng ta khảo sát chủ yếu góc lướt qua để giải thích hoạt động của hệ thống.

Hình 4.13 trình bày các kết quả mô phỏng cho một môi trường cụ thể với sự thay đổi khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu theo chiều ngang. Kết quả mô phỏng này giải thích ảnh hưởng của khoảng cách (gián tiếp là góc lướt qua của tia truyền) đến thời gian trễ của các tia trong lan truyền đa đường. Ở đây, tốc độ gió và loại mặt đáy là không đề cập tới.

Tham số môi trường kênh truyền:

Vị trí nguồn $(r_s, z_s) = (0, 20)m$

Vị trí nhận $(r_{R_i}, z_{R_i}) = (x, 20)m, x = 10, 100, 500, 1000$

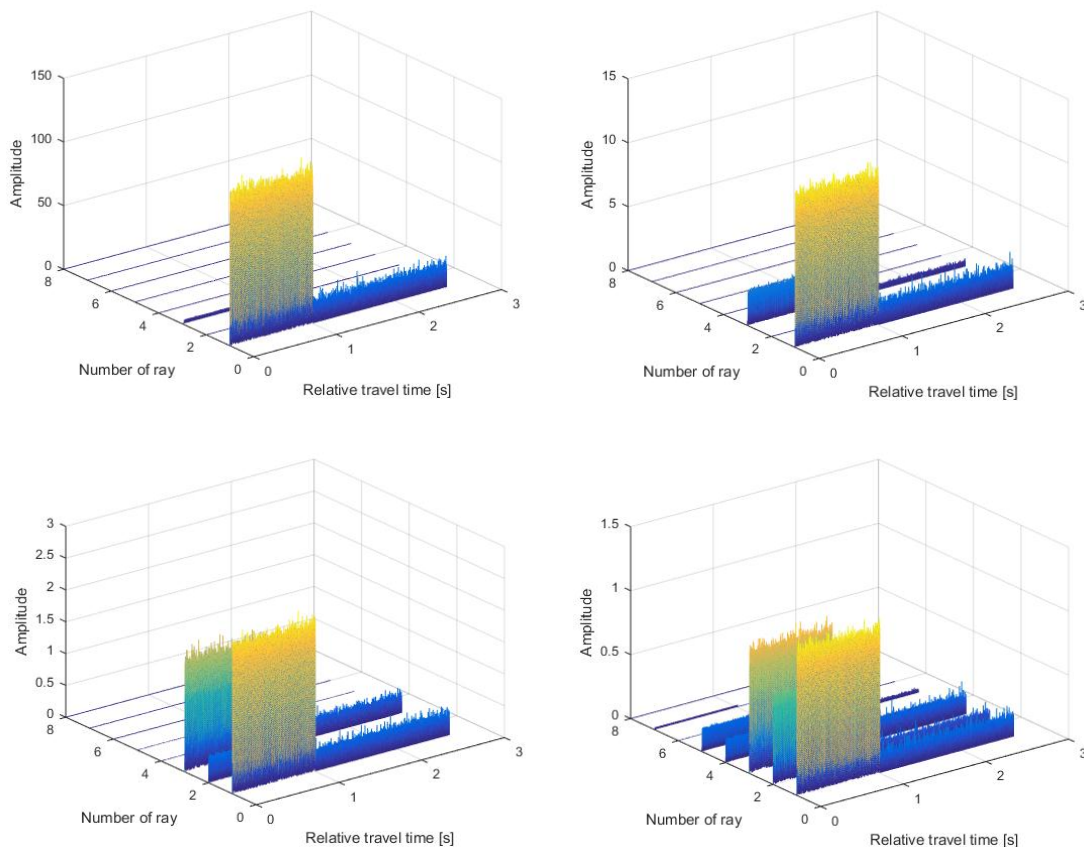
Vận tốc âm thanh $c = 1500 m/s$

Độ sâu của kênh truyền $D = 40m$

Độ mặn của kênh truyền $S = 35 ppt$

Nhiệt độ của kênh truyền $T = 14^\circ C$

Độ pH của kênh truyền $pH = 8$



Hình 4.13: Kết quả mô phỏng khi thay đổi khoảng cách theo chiều ngang

Thời gian trễ tương đối T từ tia thứ 1 đến tia thứ 8 so với đường truyền trực tiếp và các góc lướt qua (Angles) tương ứng cho mỗi trường hợp

a) Vị trí nhận $(r_{R_1}, z_{R_1}) = (10, 20)$

$T = [0 \quad 0.0208 \quad 0.0208 \quad 0.0471 \quad 0.0471 \quad 0.0736 \quad 0.0736 \quad 0.1002]$

$\text{Angles} = [0 \quad 75.9638 \quad 75.9638 \quad 82.8750 \quad 82.8750 \quad 85.2364 \quad 85.2364 \quad 86.4237]$

b) Vị trí nhận $(r_{R_2}, z_{R_2}) = (100, 20)$

$T = [0 \quad 0.0051 \quad 0.0051 \quad 0.0187 \quad 0.0187 \quad 0.0375 \quad 0.0375 \quad 0.0591]$

$\text{Angles} = [0 \quad 21.8014 \quad 21.8014 \quad 38.6598 \quad 38.6598 \quad 50.1944 \quad 50.1944 \quad 57.9946]$

c) Vị trí nhận $(r_{R_3}, z_{R_3}) = (500, 20)$

$T = [0 \quad 0.0011 \quad 0.0011 \quad 0.0042 \quad 0.0042 \quad 0.0095 \quad 0.0095 \quad 0.0167]$

$\text{Angles} = [0 \quad 4.5739 \quad 4.5739 \quad 9.0903 \quad 9.0903 \quad 13.4957 \quad 13.4957 \quad 17.7447]$

d) Vị trí nhận $(r_{R_4}, z_{R_4}) = (1000, 20)$

$T = [0 \quad 0.0005 \quad 0.0005 \quad 0.0021 \quad 0.0021 \quad 0.0048 \quad 0.0048 \quad 0.0085]$

$\text{Angles} = [0 \quad 2.2906 \quad 2.2906 \quad 4.5739 \quad 4.5739 \quad 6.8428 \quad 6.8428 \quad 9.0903]$

Có sự khác biệt rất lớn trong thời gian trễ tương đối cho khoảng cách ngắn 10m (Hình 4.13a) so với khoảng cách 1000m (Hình 4.13d). Điều này có thể giải thích khi chúng ta quan sát các góc lướt qua tương ứng cho từng trường hợp. Trong trường hợp Hình 4.13a, các góc lướt qua là rất cao do khoảng cách ngắn hơn và trong trường hợp Hình 4.13d, góc lướt qua nhỏ hơn do khoảng cách dài hơn. Như vậy, khoảng cách càng lớn thì thời gian truyền trễ càng giảm. Ngược lại khoảng cách càng gần thì thời gian lan truyền càng lớn.

4.3.4. Khi thay đổi khoảng cách của thiết bị phát và thu theo chiều ngang và thẳng đứng

Các kết quả mô phỏng được trình bày để hiển thị các ảnh hưởng của tổn thất truyền tải (bao gồm cả sự trễ thời gian) trong lan truyền đa đường tại các khoảng cách khác nhau của thiết bị phát và thiết bị thu theo chiều thẳng đứng và chiều ngang.

Khi khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu là 10 – 200m, không bị ảnh hưởng nhiều của lan truyền đa đường và do đó việc thiết kế thiết bị thu đơn giản hơn. Tuy nhiên, trong các ứng dụng thực tế khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu thường vượt quá 500m. Vì vậy, kết quả mô phỏng được trình bày ở khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu là 200m và 1000m. Mặt khác, khi độ sâu kênh truyền là 40m và thiết bị thu ở độ sâu 35m, chắc chắn rằng thiết bị thu sẽ nhận được tín hiệu phản xạ từ bề mặt hơn so với tín hiệu phản xạ từ mặt đáy. Do đó chúng ta cũng khảo sát cả vị trí thiết bị phát và thiết bị thu đặt tại các độ sâu khác nhau.

Tham số môi trường kênh truyền:

Vị trí nguồn $(r_s, z_s) = (0, y)m, y = 10; 35$

Vị trí nhận $(r_R, z_R) = (x, y)m, x = 200, 1000$

Vận tốc âm thanh $c = 1500 m/s$

Độ sâu của kênh truyền $D = 40m$

Độ mặn của kênh truyền $S = 35 ppt$

Nhiệt độ của kênh truyền $T = 14^\circ C$

Độ pH của kênh truyền $pH = 8$

Tốc độ gió $v_w = 8$

Loại đáy $bt = 6$ (coarse silt)

Đầu tiên chúng ta quan sát vào Hình 4.14a và Hình 4.14b, trường hợp này thiết bị thu đặt tại một khoảng cách gần 200m và độ sâu theo phương thẳng đứng của thiết bị phát và thiết bị thu được trao đổi giữa hai độ sâu 10m và 35m. Ta chỉ quan sát được đường truyền trực tiếp và không quan sát được đa đường. Điều này là do các hệ số phản xạ thấp hơn tại góc lướt qua cao hơn và do đó, tổn thất lan truyền của mỗi tia khá đáng kể. Tổn thất lan truyền là do sự phản xạ khi một tia chạm vào ranh giới, cùng với sự tổn thất do lan rộng ($1/L$) và do độ suy giảm α trong nước biển. Do vậy, đường truyền trực tiếp sẽ không có sự tổn thất do phản xạ mà chỉ có tổn thất do lan rộng ($1/L$) và do độ suy giảm α trong nước biển, làm suy giảm cường độ tín hiệu. Các kết quả mô phỏng cho các góc lướt qua (Angles) và hệ số phản xạ bề mặt (R_1) và mặt đáy (R_2):

$$a) \quad (r_{S_1}, z_{S_1}) = (0, 10) \text{ và } (r_{R_1}, z_{R_1}) = (200, 35)$$

Angles = [7.1250 12.6804 9.9262 15.3763 27.6995 32.0054 29.8989 34.0193]

R_1 = [0.0198 0.0000 0.0005 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000]

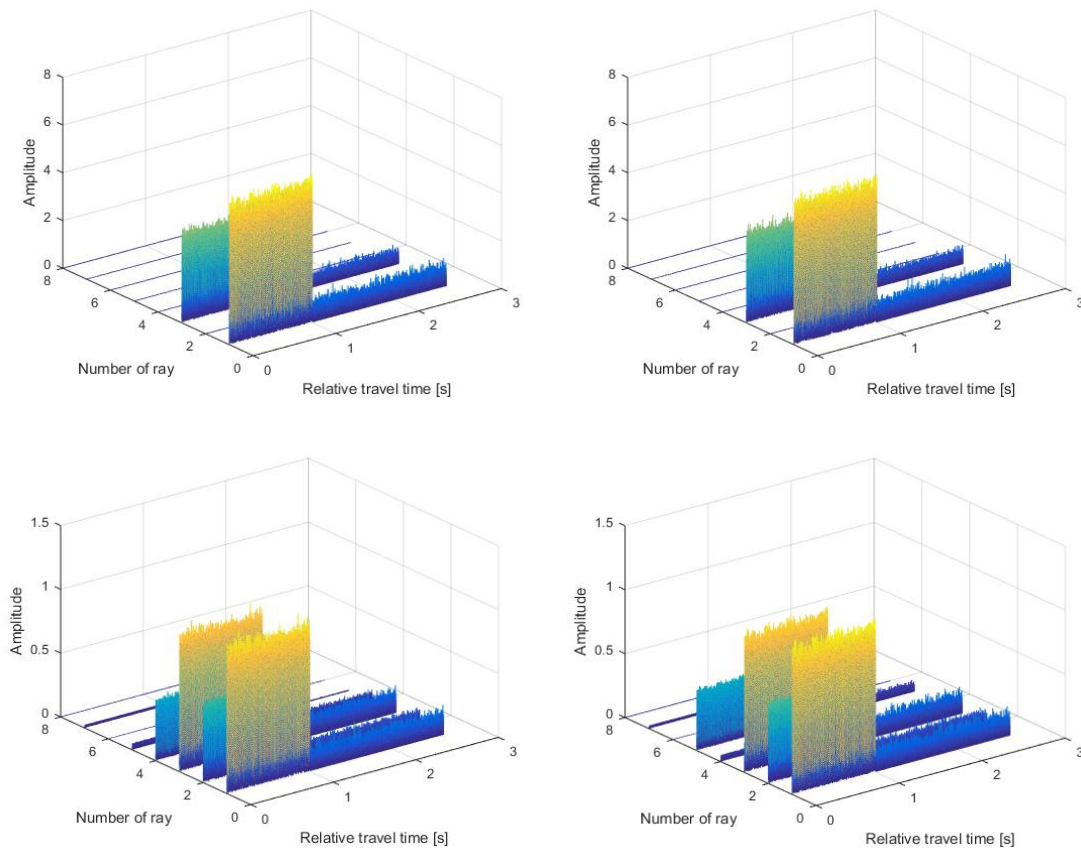
R_2 = [0.7688 0.5918 0.6849 0.4796 0.1976 0.1720 0.1829 0.1637]

$$b) \quad (r_{S_2}, z_{S_2}) = (0, 35) \text{ và } (r_{R_2}, z_{R_2}) = (200, 10)$$

Angles = [-7.1250 12.6804 9.9262 27.6995 15.3763 32.0054 29.8989 42.7688]

R_1 = [0.0198 0.0000 0.0005 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000]

R_2 = [0.9964 0.5918 0.6849 0.1976 0.4796 0.1720 0.1829 0.1416]



Hình 4.14: Kết quả mô phỏng khi thay đổi khoảng cách theo chiều ngang và thẳng đứng và có sự tổn thất lan truyền

Quan sát Hình 4.14c và Hình 4.14d, ta thấy khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu là 1000m thì sự tác động của đa đường mạnh hơn. Trong Hình 4.14c, ta thấy tia thứ tư tại góc lướt qua 3.1481° và tia thứ năm tại góc lướt qua 5.9941° , làm giảm hệ số phản xạ của tia thứ năm so với tia thứ tư. Do vậy tia thứ tư có biên độ lớn hơn tia thứ năm. Tương tự, trong Hình 4.14d, tia thứ năm có biên độ lớn hơn tia thứ tư. Điều này là do sự trao đổi vị trí theo chiều đứng của thiết bị phát và thu (10m và 35m). Trong Hình 4.14d, tia thứ năm tại góc lướt qua 3.1481° và tia thứ tư tại góc lướt qua 5.9941° , làm giảm hệ số phản xạ của tia thứ tư so với tia thứ năm. Do vậy tia thứ năm có biên độ lớn hơn tia thứ tư. Các kết quả mô phỏng cho các góc lướt qua (Angles) và hệ số phản xạ bề mặt (R_1) và mặt đáy (R_2):

$$c) \quad (r_{S_3}, z_{S_3}) = (0, 10) \text{ và } (r_{R_3}, z_{R_3}) = (1000, 35)$$

$$\text{Angles} = [1.4321 \quad 2.5766 \quad 2.0045 \quad 3.1481 \quad 5.9941 \quad 7.1250 \quad 6.5602 \quad 7.6884]$$

$$R_1 = [0.8528 \quad 0.5974 \quad 0.7320 \quad 0.4635 \quad 0.0620 \quad 0.0198 \quad 0.0359 \quad 0.0104]$$

$$R_2 = [0.9490 \quad 0.9101 \quad 0.9294 \quad 0.8913 \quad 0.8025 \quad 0.7688 \quad 0.7856 \quad 0.7521]$$

$$d) \quad (r_{S_4}, z_{S_4}) = (0, 35) \text{ và } (r_{R_4}, z_{R_4}) = (1000, 10)$$

$$\text{Angles} = [-1.4321 \quad 2.5766 \quad 2.0045 \quad 5.9941 \quad 3.1481 \quad 7.1250 \quad 6.5602 \quad 10.4812]$$

$$R_1 = [0.8528 \quad 0.5974 \quad 0.7320 \quad 0.0620 \quad 0.4635 \quad 0.0198 \quad 0.0359 \quad 0.0002]$$

$$R_2 = [0.9964 \quad 0.9101 \quad 0.9294 \quad 0.8025 \quad 0.8913 \quad 0.7688 \quad 0.7856 \quad 0.6674]$$

Như vậy, đa đường chiếm ưu thế khi khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu tăng lên và ngược lại ở khoảng cách ngắn thì lan truyền đa đường ít ảnh hưởng hơn. Trong thiết kế hệ thống truyền thông ở khoảng cách ngắn là dễ dàng hơn. Khi thay đổi khoảng cách giữa thiết bị phát và thu theo chiều thẳng đứng thì có sự trao đổi góc lướt qua (Angles) giữa các tia lan truyền đa đường với nhau làm thay đổi cường độ tín hiệu giữa các tia lan truyền đa đường.

4.3.5. Khi thay đổi tốc độ gió và loại mặt đáy

Kết quả mô phỏng Hình 4.15 mô tả ảnh hưởng của tốc độ gió và loại mặt đáy đến lan truyền đa đường. Trường hợp 1 là loại môi trường có loại mặt đáy cứng và có tốc độ gió thấp, trường hợp 2 là loại môi trường có loại mặt đáy mềm và có tốc độ gió cao.

Tham số môi trường kênh truyền cho trường hợp 1:

$$\text{Vị trí nguồn } (r_{S_1}, z_{S_1}) = (0, 20)m$$

$$\text{Vị trí nhận } (r_{R_1}, z_{R_1}) = (1000, 20)m$$

$$\text{Vận tốc âm thanh } c = 1500 m/s$$

$$\text{Độ sâu của kênh truyền } D = 40m$$

$$\text{Độ mặn của kênh truyền } S = 35 ppt$$

$$\text{Nhiệt độ của kênh truyền } T = 14^\circ C$$

$$\text{Độ pH của kênh truyền } pH = 8$$

$$\text{Tốc độ gió } v_w = 5(knots)$$

$$\text{Loại đáy } bt = 2 \text{ (medium sand)}$$

Tham số môi trường kênh truyền cho trường hợp 2:

$$\text{Vị trí nguồn } (r_{S_2}, z_{S_2}) = (0, 20)m$$

$$\text{Vị trí nhận } (r_{R_2}, z_{R_2}) = (1000, 20)m$$

$$\text{Vận tốc âm thanh } c = 1500 m/s$$

$$\text{Độ sâu của kênh truyền } D = 40m$$

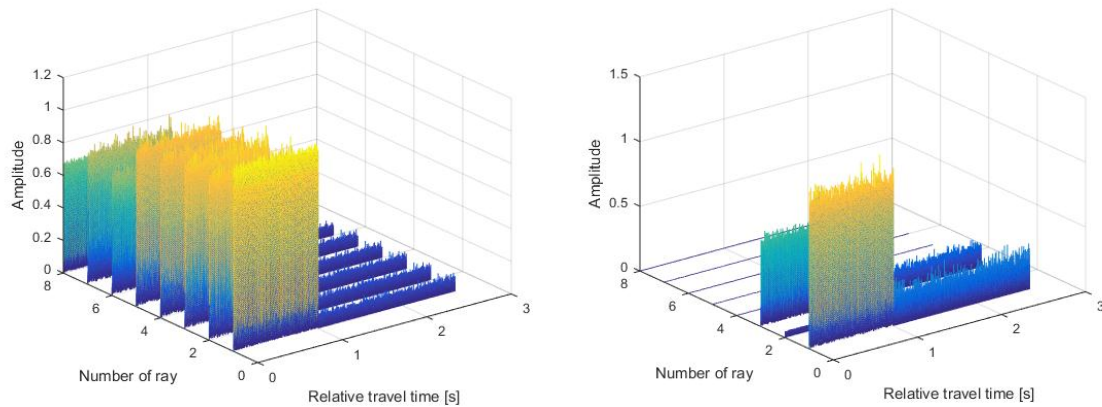
$$\text{Độ mặn của kênh truyền } S = 35 ppt$$

$$\text{Nhiệt độ của kênh truyền } T = 14^\circ C$$

$$\text{Độ pH của kênh truyền } pH = 8$$

Tốc độ gió $v_w = 15(knots)$

Loại đáy $bt = 8$ (fine silt)



Hình 4.15: Kết quả mô phỏng sự ảnh hưởng của tốc độ gió và loại mặt đáy đến lan truyền đa đường và có sự tồn thất lan truyền

Vậy, sự khác biệt được quan sát thấy trên Hình 4.15a và Hình 4.15b. Khi có một tốc độ gió cao hơn và một loại mặt đáy mềm hơn thì ảnh hưởng lan truyền đa đường thấp hơn. Ngược lại khi một tốc độ gió thấp và một loại mặt đáy cứng hơn thì ảnh hưởng lan truyền đa đường nhiều hơn. Như vậy trong thiết kế hệ thống truyền thông ở tốc độ gió cao hơn và loại mặt đáy mềm hơn là dễ dàng hơn.

4.3.6. Sự ảnh hưởng của lan truyền đa đường đến tỷ lệ lỗi bit (BER)

Mục tiêu trong truyền thông thường là để đạt được tỷ lệ tín hiệu trên tiếng ồn là tối đa. Trong kênh âm thanh dưới nước, nhiễu âm tồn tại trong hai hình thức, một là nhiễu do môi trường kênh truyền tạo ra và thứ hai là nhiễu do tự bản thân đa đường sinh ra. Chúng ta cũng có thể nói, ở đây các tín hiệu tự nó hoạt động sinh ra nhiễu đa đường. Vì vậy, SNR là tỷ lệ giữa chiều dài của tín hiệu đa đường đối với chiều dài của tín hiệu đường truyền trực tiếp. Sau đây là một số kết quả mô phỏng cho thấy tỷ lệ lỗi bit cho đường truyền trực tiếp và đa đường truyền với các tốc độ gió khác nhau và các loại đáy khác nhau.

4.3.6.1. Đường truyền trực tiếp

Tham số môi trường kênh truyền:

Vị trí nguồn $(r_s, z_s) = (0, 10)m$

Vị trí nhận $(r_R, z_R) = (1000, 35)m$

Vận tốc âm thanh $c = 1500 m/s$

Độ sâu của kênh truyền $D = 40m$

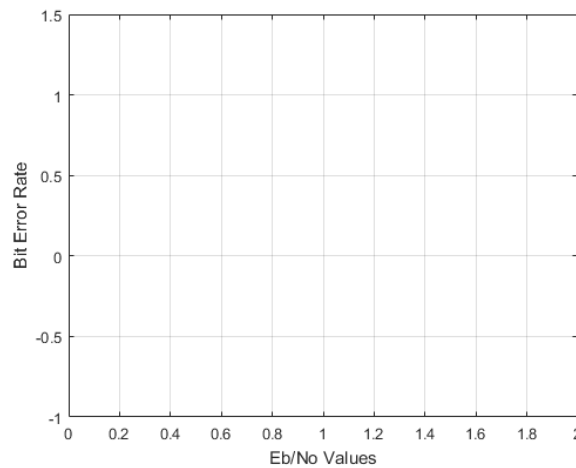
Độ mặn của kênh truyền $S = 35 ppt$

Nhiệt độ của kênh truyền $T = 14^\circ C$

Độ pH của kênh truyền $pH = 8$

Tốc độ gió $v_w = 6(knots)$

Loại đáy $bt = 6$ (coarse silt)



Hình 4.16: Mô tả tỷ lệ lỗi bit BER cho đường truyền trực tiếp

Từ Hình 4.16 ta thấy tỷ lệ lỗi bit BER cho đường truyền trực tiếp là rất thấp, bằng ‘0’, vì khi tín hiệu truyền trên đường truyền trực tiếp, sẽ không có sự phản xạ tại ranh giới, chỉ có sự tác động nhiễu của môi trường nước biển và có sự suy giảm do lan rộng và do độ suy giảm α trong nước biển, dẫn đến chỉ có cường độ tín hiệu bị suy giảm.

4.3.6.2. Đa đường truyền

Trong hai trường hợp sau đây của lan truyền đa đường là được xem xét. Trường hợp một là một loại đáy cứng và tốc độ gió thấp hơn và trường hợp hai là tốc độ gió cao hơn và loại đáy mềm. Trong trường hợp một, tỷ lệ lỗi bit BER cao hơn rất nhiều so với trường hợp hai như đã được mong đợi. Điều này là do khi một tốc độ gió thấp và một loại mặt đáy cứng hơn thì ảnh hưởng lan truyền đa đường nhiều hơn, dẫn đến lỗi trong lan truyền tín hiệu nhiều hơn (tỷ lệ lỗi bit BER cao hơn).

Trường hợp 1: Tham số môi trường kênh truyền:

Vị trí nguồn $(r_s, z_s) = (0, 10)m$

Vị trí nhận $(r_r, z_r) = (1000, 35)m$

Vận tốc âm thanh $c = 1500m/s$

Độ sâu của kênh truyền $D = 40m$

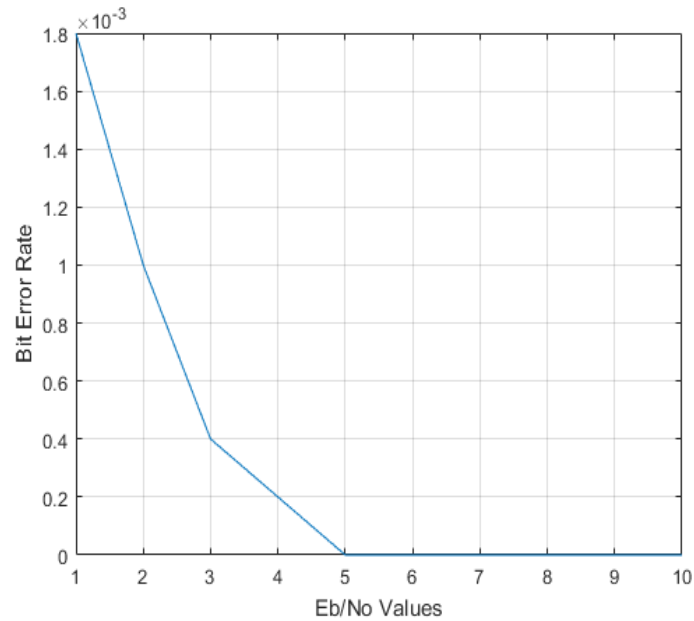
Độ mặn của kênh truyền $S = 35ppt$

Nhiệt độ của kênh truyền $T = 14^\circ C$

Độ pH của kênh truyền $pH = 8$

Tốc độ gió $v_w = 5(knots)$

Loại đáy $bt = 2$ (medium sand)



Hình 4.17: Mô tả tỷ lệ lỗi bit BER cho lan truyền đa đường trong trường hợp 1, $v_w = 5$ và $bt = 2$

Trường hợp 2: Tham số môi trường kênh truyền:

Vị trí nguồn $(r_s, z_s) = (0, 10)m$

Nhiệt độ của kênh truyền $T = 14^\circ C$

Vị trí nhận $(r_R, z_R) = (1000, 35)m$

Độ pH của kênh truyền $pH = 8$

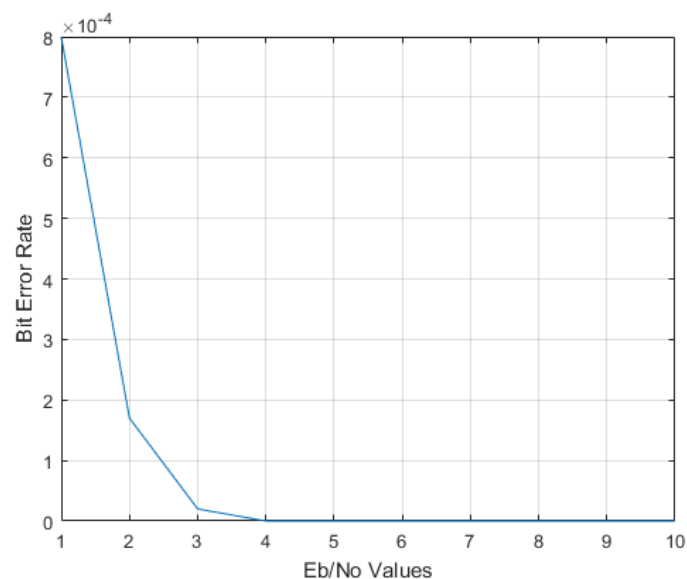
Vận tốc âm thanh $c = 1500m/s$

Tốc độ gió $v_w = 10(knots)$

Độ sâu của kênh truyền $D = 40m$

Loại đáy $bt = 8$ (fine silt)

Độ mặn của kênh truyền $S = 35ppt$

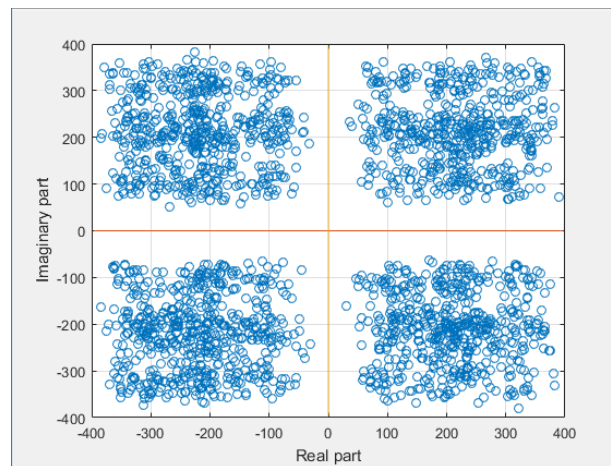


Hình 4.18: Mô tả tỷ lệ lỗi bit BER cho lan truyền đa đường trong trường hợp 2, $v_w = 10$ và $bt = 8$

Từ Hình 4.17 và Hình 4.18, cho ta thấy rằng khi có tốc độ gió cao hơn và loại mặt đáy mềm hơn thì sự ảnh hưởng của lan truyền đa đường thấp hơn, dẫn đến tỷ lệ lỗi bit BER thấp hơn (trường hợp hai) và ngược lại, khi có tốc độ gió thấp hơn và loại mặt đáy cứng hơn thì sự ảnh hưởng của lan truyền đa đường nhiều hơn, dẫn đến tỷ lệ lỗi bit BER cao hơn (trường hợp một). Như vậy trong thiết kế hệ thống truyền thông ở tốc độ gió cao hơn và loại mặt đáy mềm hơn là dễ dàng hơn như đã mong đợi.

4.3.7. Biểu đồ chòm sao

Từ biểu đồ chòm sao (Hình 4.18 và Hình 4.19), chứng minh một lan truyền có lỗi thấp cho đường truyền trực tiếp (Hình 4.18) và một lan truyền có lỗi cao cho đa đường (Hình 4.19).



Hình 4.19: Trạng thái QPSK nhận được cho đa đường truyền

4.3.8. Nhận xét chung

Mục tiêu trong truyền thông thường là để thu được tỷ lệ lỗi bit BER là thấp nhất. Vì vậy việc mô hình hoá một kênh âm thanh dưới nước là cần thiết để xem xét sự ảnh hưởng của các yếu tố đến lan truyền sóng âm dưới nước. Qua kết quả mô phỏng ta có một số nhận xét chung như sau:

- So với đường truyền trực tiếp thì các tia khác có thời gian lan truyền trễ hơn và sự tổn thất cao hơn.
- Khi tăng góc lướt qua, tốc độ gió và hệ số bt (tức là loại bồi tích mềm hơn) thì hệ số phản xạ R_1 và R_2 giảm và sự tổn thất tăng, ảnh hưởng của lan truyền đa đường giảm, tỷ lệ lỗi bit BER thấp.
- Khi khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu càng lớn (góc lướt qua càng nhỏ) thì thời gian trễ càng giảm và lan truyền đa đường chiếm ưu thế. Và ngược lại khi khoảng cách thiết bị phát và thu càng gần (góc lướt qua càng lớn) thì thời gian trễ càng cao và lan truyền đa đường giảm (không quan sát được lan truyền đa đường mà chỉ quan sát được đường truyền trực tiếp).

- Khi khoảng cách giữa thiết bị phát và thu thay đổi theo chiều đứng làm trao đổi góc lướt qua giữa các tia với nhau, do đó làm trao đổi cường độ của các tia lan truyền với nhau.
- Kết quả mô phỏng tỷ lệ lỗi bit BER cho đường truyền trực tiếp là rất thấp, bằng '0', vì khi tín hiệu truyền trên đường truyền trực tiếp, sẽ không có xạ phản xạ tại ranh giới, chỉ có sự tác động nhiễu của môi trường nước biển và có sự suy giảm đa lan rộng và do độ suy giảm α trong nước biển, dẫn đến chỉ có cường độ tín hiệu bị suy giảm.
- Khi có một tốc độ gió thấp hơn và một loại mặt đáy cứng hơn (hệ số bt giảm) thì ảnh hưởng lan truyền đa đường cao hơn (lan truyền đa đường chiếm ưu thế). Ngược lại khi có một tốc độ gió cao hơn và một loại mặt đáy mềm hơn (hệ số bt tăng) thì ảnh hưởng lan truyền đa đường ít hơn (cường độ của lan truyền đa đường thấp hơn), dẫn đến tỷ lệ lỗi bit BER thấp hơn. Như vậy, trong các mô phỏng với tốc độ gió cao và loại đáy mềm hơn thì việc thiết kế hệ thống truyền thông dễ dàng hơn.
- Từ biểu đồ chòm sao, cũng cho chúng ta thấy một lan truyền cho đường truyền trực tiếp có lỗi thấp hơn một lan truyền cho lan truyền đa đường.

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN

5.1. Kết quả đạt được của đề tài

Một số ứng dụng truyền thông bằng sóng âm dưới nước thường yêu cầu tốc độ bit là 100bit/s. Tuy nhiên, một vài ứng dụng khác như điều khiển robot dưới nước, lập bản đồ đáy biển, tín hiệu đo đạc từ xa và trong một số ứng dụng quân sự, yêu cầu tốc độ bit là một vài kbits/s. Vì vậy, như một bước khởi đầu để khám phá các hệ thống truyền thông dưới nước bằng kỹ thuật số, có khả năng truyền dữ liệu ở tốc độ cao nhiều kbits/s trên một khoảng cách vài kilomet.

Mô hình hệ thống truyền thông thông dưới nước này được thiết kế bằng cách sử dụng kỹ thuật điều chế QPSK kết hợp với một mô hình kênh âm thanh dưới nước (UAC). Hệ thống bao gồm chủ yếu thiết bị phát, kênh UAC và thiết bị thu. Hệ thống đã cung cấp cho chúng ta các kết quả:

- Một cái nhìn toàn diện vào các vấn đề khác nhau đang gặp phải bởi kênh âm thanh dưới nước và cũng giải thích sự suy giảm của tỷ lệ lỗi bit (BER) do sự thay đổi kênh âm thanh dưới nước và sự lan truyền đa đường. Tất cả các nguyên lý cơ bản của sóng âm lan truyền dưới nước đã được xem xét trong kênh UAC.
- Kỹ thuật điều chế QPSK đã được sử dụng cho hệ thống. Hệ thống này cho thấy tỷ lệ lỗi BER thấp cho lan truyền đa đường và nó tạo ra kết quả thoả đáng trong dãy băng thông từ 1 – 2Kbps.
- Khả năng để thiết kế và phân tích các bộ cân bằng bất biến thời gian với độ nhạy cho cân bằng không đối xứng.
- Sự linh hoạt để thay đổi tần số sóng mang phù hợp với kênh truyền.
- Mô hình là cơ sở để thực hiện các nghiên cứu và ứng dụng truyền thông dưới nước.

5.2. Những vấn đề tồn tại và hướng phát triển của đề tài

5.2.1. Những vấn đề tồn tại của đề tài

Sự ổn định của hệ thống truyền thông giảm mạnh khi các biến kênh truyền trở nên xấu hơn.

Mô hình hệ thống truyền thông này được xây dựng cho vị trí thiết bị phát và thu đã được bố trí trước.

Hệ thống đã hoạt động nhưng tỷ lệ lỗi bit BER vẫn còn cao. Nguyên nhân là do sự lan truyền đa đường, gây ra nhiễu liên ký hiệu (ISI) và phá huỷ các tín hiệu truyền đi do thời gian di chuyển khác nhau đối với các tia khác nhau. Tuỳ thuộc vào các kênh âm thanh dưới nước khác nhau, ISI có thể liên quan đến hàng chục hoặc thậm chí hàng trăm ký hiệu.

5.2.2. Hướng phát triển của đề tài

Với một số vấn đề của đề tài, một giải pháp cho vấn đề này có thể sử dụng một bộ cân bằng thích nghi trong ứng dụng (bộ cân bằng thích nghi được sử dụng là vì chúng ta đề cập đến thiết bị phát và thu là chuyển động). Bộ cân bằng có thể được xem như một bộ lọc ngược với kênh truyền. Tuy nhiên, trong tình huống thực tế ngay cả những việc làm của một bộ cân bằng sẽ không giải quyết vấn đề truyền với tốc độ bit cao. Vì vậy, hướng phát triển cho sự mở rộng công cụ mô phỏng này sẽ là:

- Ứng dụng mô phỏng hệ thống truyền thông dưới nước với sự di chuyển của thiết bị phát và thiết bị thu.
- Xây dựng mô hình chuẩn với các phép đo.
- Nghiên cứu bộ cân bằng thích nghi đơn đầu ra và đầu vào (SIMO).
- Ứng dụng truyền thông ghép kênh chia tần số trực giao (OFDM) và hệ thống CDMA để cho hệ thống có các đặc tính tốt hơn.
- Ứng dụng các loại mã hoá để cải thiện hệ thống QPSK có các đặc tính tốt hơn.
- Thực hiện chỉnh sửa các thuật toán để tiếp tục giảm tỷ lệ lỗi bit BER do lan truyền đa đường.

Phụ Lục:**MÃ NGUỒN MATLAB CỦA MÔ PHỎNG****1. Chương trình chính (Main.m)**

```

close all;
clear all;
clc;
tic;
Flag_signal=0;%default
A=10;
data_rate=5000;
tune=[1];
avg_value=1;
for ii=1:length(tune)
    for jj=1:avg_value

[Mod_Signal,b_train,b_data,fc,ts,Tsym,Q]=transmitter(A,data_rate);

[Channel_Signal]=underwater_acoustic_channel(Mod_Signal,ts,fc,Flag_signal);

[dat,r_new]=receiver(Channel_Signal,b_train,fc,Tsym,Q,length(b_data),tune(ii));
temp=dat~=b_data;
nr_errors(jj)=sum(temp);
    end
    BER(ii)=sum(nr_errors)./(avg_value*data_rate);
    clear nr_errors;
end
BER
if length(tune)>1
    figure
    plot(BER);
    xlabel('Eb/No Values');
    ylabel('Bit Error Rate');
    grid on
end
constellation_plot=0;%Default
if constellation_plot==1
    figure
    plot(real(r_new),imag(r_new),'o');
    hold on;
    plot([- (round(max(abs(real(r_new))))+5)
(round(max(abs(real(r_new))))+5)], [0 0]);
    plot([0 0], [- (round(max(abs(real(r_new))))+5)
(round(max(abs(real(r_new))))+5)]);
    xlabel('Real part');
    ylabel('Imaginary part');

```

```

        grid on
end
Computational_time_in_seconds=toc

```

2. Thiết bị phát (transmitter.m)

```

function
[tx_signal,b_train,b_data,fc,ts,Tsym,Q]=transmitter(A,data_rate)
if nargin==1
    A=10;
end
nr_blocks = 50;%total no. of blocks = 50
nr_bits_per_symbol = 2;
tb=1/data_rate;
Tsym=2*tb;
tr_time=1;
total_bits=tr_time/tb;
nr_data_bits = (total_bits)*90/100;
nr_training_bits = (total_bits)*10/100;
t_data=tb:tb:(tr_time-tb*nr_training_bits);
Q=10;
ts=Tsym/Q;
fs=1/ts;
fc=25000; %carrier frequency in Hz
mf_pulse_shape = root_raised_cosine(Q,Tsym);
b_train=training_sequence(nr_training_bits);
b_data=[0 0 chuỗi_du_lieu(nr_data_bits-2)];
b = [b_train b_data];
d = qpsk(b);
d1 = upfirdn(d,mf_pulse_shape,Q,1);
t = ts*(1:1:length(d1));
tx_signal=A*(d1.*exp(j*2*pi*fc*t));%Signal Transmitted

```

2.1. Xung tạo dạng (root_raised_cosine.m)

```

function pulse_shape = root_raised_cosine(Q,Tsym)
trunc = 5;
b = .66;
T=Tsym*Q;
t=Tsym*(-trunc*Q:1:trunc*Q);
pulse_shape = 4*b*(cos((1+b)*pi*t/T)-(1-b)*pi/(4*b)*sinc((1-b)*t/T))./(pi*sqrt(T)*(1-16*b^2*t.^2/T^2));

```

2.2. Chuỗi huấn luyện (training_sequence.m)

```

function b=training_sequence(nr_training_bits)
b=(rand(1,nr_training_bits)>.5);
%b=(rand(1,500)>.9);

```

2.3. Chuỗi dữ liệu (chuoi_du_lieu.m)

```
function b = chuoi_du_lieu(nr_data_bits)
b = (rand(1,nr_data_bits)>.5);
%b = (rand(1,500)>.9);
```

2.4. Điều chế QPSK (qpsk.m)

```
function d=qpsk(b)
data=b;
bit_len=length(data);
I_data=data(1:2:bit_len);
Q_data=data(2:2:bit_len);
for k=1:length(I_data);
    if I_data(k)==0 & Q_data(k)==0
        phase=pi/4;
    elseif I_data(k)==0 & Q_data(k)==1
        phase=7*pi/4;
    elseif I_data(k)==1 & Q_data(k)==0
        phase=3*pi/4;
    elseif I_data(k)==1 & Q_data(k)==1
        phase=5*pi/4;
    end
    d(k)=exp(j*phase);
end
```

3. Kênh âm thanh dưới nước (underwater_acoustic_channel.m)

```
function
[Channel_Signal]=underwater_acoustic_channel(Mod_Signal,ts,fc,
Flag_signal)
depth=40; %Depth of the water channel in [m]
n=1;%Total number of path's=n+1 and each path% constitutes 4
rays
rs=0; zs=20; %Position of the source (rs,zs) in [m]
rr=1000; zr=20; %Position of the receiver (rr,zr) in [m]
S=35; %Salinity of the water in [ppt]
Temp=14; %Temperature of the water in [0C]
PH=8; %pH of the water
vw=15; %Wind Speed [knots]
bt=7;
Ts=ts;%sampling tune of the signal in seconds
fs=1/Ts;%Sampling frequency of the signal in [Hz]
tx_signal=[Mod_Signal]; %transmitted signal
M=2^(round(log2(length(tx_signal))+1)); %length of the
transmitted signal rounded
fb=(0:M/2-1)*(fc/M); %frequency bins
w=2*pi*[fb fc/2 -fb(M/2:-1:2)];
[t1,t2,t3,t4,R,grazing_angles_rays]=channel(depth,rs,zs,rr,zr,
n);
```



```
%T=[(t1-t1(1))' (t2-t1(1))' (t3-t1(1))' (t4-t1(1))'];
T1=(t1-t1(1))';
T2=(t2-t1(1))';
T3=(t3-t1(1))';
T4=(t4-t1(1))';
T=[T1 T2 T3 T4]
Noise=sqrt(ambient_noise(fc,vw))*randn(1,M);
SRS=loss1(fc,R,n,vw,bt,grazing_angles_rays);
[alpha_carrier]=attenuation(fc,S,Temp,depth,PH);
[alpha]=attenuation(fb,S,Temp,depth,PH);
[alpha1]=attenuation(fc/2,S,Temp,depth,PH);
alpha_all_freq_bins=[alpha alpha1 alpha(length(alpha):-1:2)];
tx_signal=[Mod_Signal zeros(1,(M-length(tx_signal)))]+Noise;
Xi=fft(tx_signal,M);
ii=0;
d1=[];
dB_Np=(1000*8.686);%converting from dB/km to Np/m
for p=1:(n+1)
    for q=1:4 %number of rays
        ii=ii+1; %variable
        if n==0 %n=0 => only 4 rays or 1 path
            R_new=R(p,q)./dB_Np;%d1(q,:)=SRS(p,q)*exp(-
j*T(p,q)*w-alpha_carrier.*R_new));
            d1(q,:)=SRS(p,q)*exp(-j*T(p,q)*w-
(alpha_all_freq_bins.*R_new));
            X1=Xi.*d1(q,:);
            sig(q,:)=(ifft(X1,M));
        else
            R_new=R(p,q)./dB_Np;%d1(ii,:)=SRS(p,q)*exp(-
j*T(p,q)*w-(alpha_carrier.*R_new));
            d1(ii,:)=SRS(p,q)*exp(-j*T(p,q)*w-
(alpha_all_freq_bins.*R_new));
            X1=Xi.*d1(ii,:);
            sig(ii,:)=(ifft(X1,M));
        end
    end
end
multi_path=sum(sig);
direct_path=sig(1,:);
if Flag_signal==0
    Channel_Signal=sig;
else
    Channel_Signal=direct_path;
end
temp=size(sig);
if nargout==0
    figure

waterfall((1:temp(2))./fs,(1:temp(1)),abs(sig(:,1:temp(2))));
xlabel('Relative travel time [s]');
```

```

        ylabel('Number of ray');
        zlabel('Amplitude');
    end

```

3.1. Kênh truyền (channel.m)

```

function [T1,T2,T3,T4,Rm,thet]=channel(D,rs,zs,rr,zr,n)
c=1500;%velocity of sound in [m/s]
m=0:n;
Rm1 =sqrt((rr-rs).^2+(2*D*m-zs+zr).^2);
Rm2 =sqrt((rr-rs).^2+(2*D*m+zs+zr).^2);
Rm3 =sqrt((rr-rs).^2+(2*D*(m+1)-zs-zr).^2);
Rm4 =sqrt((rr-rs).^2+(2*D*(m+1)+zs-zr).^2);
T1 =Rm1./c;
T2 =Rm2./c;
T3 =Rm3./c;
T4 =Rm4./c;
theta1 =atan((2*D*m-zs+zr)/rr);
theta2 =atan((2*D*m+zs+zr)/rr);
theta3 =atan((2*D*(m+1)-zs-zr)/rr);
theta4 =atan((2*D*(m+1)+zs-zr)/rr);
Rm =[Rm1' Rm2' Rm3' Rm4'];
thet =[theta1' theta2' theta3' theta4'];

```

3.2. Độ suy giảm (attenuation.m)

```

function alpha=attenuation(f,S,T,z,PH)
if nargin==0 & nargin==0
    plotFlag=1;
else
    plotFlag=0;
end
f_kHz=f*1e-3; %Changmg Frequency [kHz]
c=1412+3.21*T+1.19*S+.0167*z; %velocity of Sound [m/s]
A1=(8.86*10^(.78*PH-5))/c;
P1=1; %pressure dependence
F1=2.8*sqrt(S/35)*10^(4-1245/(273+T));%relaxation frequency
[kHz]
boric_acid=(A1*P1*F1)./(f_kHz.^2+F1^2).*f_kHz.^2; %boric acid
contribution [dB/km]
A2=21.44*(S/c)*(1+.025*T);
P2=1-1.37e-4*z+6.2e-9*z^2;%pressure dependence
F2=8.17*10^(8-1990/(273+T))/(1+.0018*(S-35)); %relaxation
frequency [kHz]
mgso4=(A2*P2*F2)./(f_kHz.^2+F2^2).*f_kHz.^2;
if T<=20
    A3=4.937e-4-2.59e-5*T+9.11e-7*T^2-1.5e-8*T^3;
else
    A3=3.964e-4-1.146e-5*T+1.45e-7*T^2-6.5e-10*T^3;
end

```

```
P3=1-3.83e-5*z+4.9e-10*z^2;%pressure dependence
pure_water=A3*P3*f_kHz.^2;
alpha=double(boric_acid+mgso4+pure_water);
if plotFlag
    figure
    loglog(f_kHz,pure_water,'m:');
    hold on
    loglog(f_kHz,mgso4,'g:');
    loglog(f_kHz,boric_acid,'r:');
    loglog(f_kHz,alpha,'linewidth',2);
    title('Attenuation Coefficient in water from Franco
is/Ganison method');
    legend('Pure Water',...
           'Magnesiimisulphate',...
           'Roric Acid',...
           'Attenuation=Sum of All',2);
    xlabel('Frequency [kHz]');
    ylabel('Attenuation [dB/km]');
    grid on
end
return
```

3.3. Sự tổn thất (loss1.m)

```
function [SRS]=loss1(fc,R,n,wg,bt,thet)
if nargin==5
    thet=0:0.1:90;
end
c=1500;%sound speed in water in [tn/s]
theta_deg=thet*(180/pi)
R1=SRC(fc,wg,c,theta_deg)
R2=BRC(bt,c,fc,theta_deg)
m=0:n;
i=1;
for m=0:length(m)-1
    A(m+1,:)=[(R1(m+1,1))^(m))*((R2(m+1,1))^(m))
    ((R1(m+1,2))^(m+1))*((R2(m+1,2))^(m))
    ((R1(m+1,3))^(m))*((R2(m+1,3))^(m+1))
    ((R1(m+1,4))^(m+1))*((R2(m+1,4))^(m+1))];
end
SRS=A./R;
```

3.3.1. Hệ số phản xạ trên bề mặt nước biển (SRC.m)

```
function [Rs]=SRC(f,wg,c,thet)
if nargin==3
    thet=0:0.1:90;
end
Eps=1.0e-320;
deg2rad=pi/180;
```

```

h=.0018*(wg*.514)^2.5;
theta_inc_rad=(90-thet)*deg2rad;
k=2*pi*f/c;
A=(k*h)^2;
Rs=zeros(size(thet));
temp=size(thet);
for p=1:temp(1)
    for q=1:temp(2)
        Rs(p,q)=-exp(-A*(1+cos(2*theta_inc_rad(p,q))));
        Rs(p,q)=abs(Rs(p,q));
        SRL(p,q)=20*log10(Rs(p,q)+Eps);
    end
end
if nargin==0
    figure
    plot(thet,SRL);
    title('Surface reflection coefficient');
    xlabel(['grazing angle [deg],',
f=',num2str(f/1000),'kHz,wind speed-',num2str(wg),'knots']);
    ylabel('scattering loss [dB]');
    grid on
end

```

3.3.2. Hệ số phản xạ mặt đáy (BRC.m)

```

function [Rb]=BRC(bt,c,fc,thet)
if nargin==2
    thet=0:0.1:90;
end
deg2rad=pi/180;
h=2^(-bt)*1e-3;%particle size [m]
if bt<=5.3
    if bt<0, bt=0;
    end
    m=-.0165406*bt^3+.2290201*bt^2-1.1069031*bt+3.0455234;
    n=1/(-.0014881*bt^3+.0213937*bt^2-.1382798*bt+1.3424740);
else
    if bt>10, bt=10;
    end
    m=-.0012973*bt+1.1564755;
    n=1/(-.0024324*bt+1.0018916);
end
omega=2*pi*fc;
dk=interp1([0 2.5 4.5 5.5 6.5 10],[.45 .5 .75 .325 .125
.05],bt);
lossTangent=log(10)*fc*1e-3*dk*c/(n*omega*20);%Loss Tangent
kappa=n*(1+i*lossTangent);
P=2*(omega*h/c)^2;
Rb=zeros(size(thet));
temp=size(thet);

```

```

for p=1:temp(1); %represent no. of rows of thet
    for q=1:temp(2); %represent no. of columns of thet
        winkel=thet(p,q);
        if winkel<0.1;
            winkel=0.1;
        end
        if winkel>89.9
            winkel=89.9;
        end
        v=m*sin(winkel*deg2rad);
        w=sqrt(kappa^2-cos(winkel*deg2rad).^2);
        R=(v-w)./(v+w);
        C=exp(-P.*(sin(winkel*deg2rad)).^2);
        Rb(p,q)=(C*abs(R));
    end
end
BRL=20.*log10(abs(Rb)); %[dB]
if nargout==0
    figure
    plot(thet,BRL);
    title(['Bottom reflection coefficient']);
    xlabel(['grazing angle [deg], bottom type']);
    bt=',num2str(bt)'];
    ylabel('refection loss [dB]');
    grid on
end

```

3.4. Nhiễu môi trường biển (ambient_noise.m)

```

function NL=ambient_noise(fc,vw)
f=fc*.001;
NL_thermal=-15+20*log10(f);
NL_traffic=10*log10(3e8./(1+1e4*f.^4));
NL_turbo=30-30*log10(f);
NL_seastate=40+10*log10((vw.^2)./(1+f.^(5/3)));
NL_vessel=-999;
NL_bio=-999;
NL=(10.^(0.1*NL_traffic)+10.^(0.1*NL_turbo)+10.^(.1*NL_vessel)+10.^(.1*NL_bio)+10.^(.1*NL_seastate)+10.^(.1*NL_thermal));

```

4. Thiết bị nhận (receiver.m)

```

function
[dat,r_new]=receiver(Channel_Signal,b_train,fc,T,Q,data_length,tune)
temp=size(Channel_Signal);
multi_path=zeros(1,temp(2));
if temp(1)>1
    for ii=2:temp(1)
        multi_path=multi_path+Channel_Signal(ii,:);
    end
end

```

```

end
rx_new=Channel_Signal(1,:)+(multi_path)./tune;%noise*10^(-
EbN0dB(i)/20)
else
rx_new=Channel_Signal;
end
t=T/Q*(1:1:length(Channel_Signal));
rx_new=(rx_new.*exp(-j*2*pi*fc*t));
mf_pulse_shape=root_raised_cosine(Q,T);
mf=conv(rx_new,mf_pulse_shape);
train=qpsk(b_train);
train_sample=upsample(train,Q);
var=xcorr(mf,train_sample);
[maximum,tsamp]=max(abs(var((length(mf)-
length(train_sample)):length(var))));
r1=mf(tsamp:Q:length(mf));
tsamp;
size(r1);
r_new=r1(1:data_length/2);
phihat=phase_estimation(r_new,train,tsamp/Q);
r=r_new*exp(-j*phihat);
dat=detect(r);

```

4.1. Ước lượng pha (phase_estimation.m)

```

function phihat=phase_estimation(r,train,tsamp)
phihat=(1/length(train))*sum(angle(r(1:length(train)).*conj(tr
ain)));

```

4.2. Thiết bị quyết định (detect.m)

```

function bhat_new=detect(r)
rx=r;
l=1;
for k=1:length(rx);
    if(real(rx(k))>0)&(imag(rx(k))>0)
        rx_new(l)=0;
        l=l+1;
    elseif(real(rx(k))<0)&(imag(rx(k))>0)
        rx_new(l)=1;
        l=l+1;
    elseif(real(rx(k))<0)&(imag(rx(k))<0)
        rx_new(l)=1;
        l=l+1;
    elseif(real(rx(k))>0)&(imag(rx(k))<0)
        rx_new(l)=0;
        l=l+1;
    end
end
bhat_new=rx_new;

```

```

        rx_new(1)=1;
    end
    l=l+1;
end
bhat=rx_new;
aux=1;
if (bhat(1)==0 & bhat(2)==0)
    bhat=bhat;
elseif (bhat(1)==1&bhat(2)==0)
    for g=1:(length(bhat)/2)
        if (bhat(aux)==0&bhat(aux+1)==0)
            bhat(aux)=0;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=1;
        elseif (bhat(aux)==1&bhat(aux+1)==0)
            bhat(aux)=0;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=0;
        elseif (bhat(aux)==1&bhat(aux+1)==1)
            bhat(aux)=1;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=0;
        elseif (bhat(aux)==0&bhat(aux+1)==1)
            bhat(aux)=1;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=1;
        end
        aux=aux+1;
    end
elseif (bhat(1)==1&bhat(2)==1)
    for g=1:(length(bhat)/2)
        if (bhat(aux)==0&bhat(aux+1)==0)
            bhat(aux)=1;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=1;
        elseif (bhat(aux)==1&bhat(aux+1)==0)
            bhat(aux)=0;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=1;
        elseif (bhat(aux)==1&bhat(aux+1)==1)
            bhat(aux)=0;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=0;
        elseif (bhat(aux)==0&bhat(aux+1)==1)
            bhat(aux)=1;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=0;
        end
        aux=aux+1;
    end
end
end

```

```
elseif (bhat(1)==0&bhat(2)==1)
    for g=1:(length(bhat)/2)
        if (bhat(aux)==0&bhat(aux+1)==0)
            bhat(aux)=1;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=0;
        elseif (bhat(aux)==1&bhat(aux+1)==0)
            bhat(aux)=1;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=1;
        elseif (bhat(aux)==1&bhat(aux+1)==1)
            bhat(aux)=0;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=1;
        elseif (bhat(aux)==0&bhat(aux+1)==1)
            bhat(aux)=0;
            aux=aux+1;
            bhat(aux)=0;
        end
        aux=aux+1;
    end
end
bhat_new=bhat;
```


TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Đình Chiến, *Mạch điện tử thông tin* (Sách), NXB ĐHQG Tp.HCM, 2013
- [2]. Finn B. Jensen., *Sonar Acoustics Handbook*, NURC (NATO Undersea Research Centre), March 2008.
- [3]. Ing. Dieter Kraus., *Slide Underwater Acoustics, Chapter 1*, Hochschule Bremen University Of Applied Sciences.
- [4]. A. Doosti Aref., M. J. Jannati., V. Tabataba Vakili., Paper *Design and Analysis of Low Frequency Transmitter and Receiver for an Insecure Shallow Water Acoustic Channel of the Persian Gulf*, Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunication (JSAT), April Edition, 2011, ISSN 1925-2676.
- [5]. Elias Hagmann., Thesis *Design of the High Speed, Short Range Underwater Communication System, Part I – Electronic Concept and Simulation of the Acoustic Underwater Channel*, Swiss Federal Institute Of Technology Zurich, Spring Term, 2009.
- [6]. Elias Hagmann., Thesis *Design of the High Speed, Short Range Underwater Communication System, Part II – Implementation of the Communication System*, Swiss Federal Institute Of Technology Zurich, Spring Term, 2009.
- [7]. Finn Jacobsen., Torben Poulsen., Jens Holger Rindel., Anders Christian Gade., and Mogens Ohlrich., *Curriculum Fundamentals Of Acoustics And Noise Control*, Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark, Note no 31200, August 2011.
- [8]. Shanaz Akter., Nusrat Sharmin., Md. Iftekharul Islam., Thesis *Design and Development of a QPSK Modulator*, BRAC University, Dhaka, Bangladesh, Summer 2010.
- [9]. *Principles of Underwater Sound (Volume 7 of Summary technical report of the National Defense Research Committee: Summary technical report of Division 6, NDRC)* (Book) by University of California (1868-1952). Division of War Research. Sonar Data Division, California. University. Division of War Research. Sonar Data Division, Publisher: National Academies, 1946.
- [10]. <http://www.complextoreal.com/>
- [11]. <http://www.mathworks.com/>
- [12]. <http://www.reson.com/>
- [13]. https://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_acoustics
- [14]. https://en.wikipedia.org/wiki/Fessenden_oscillator
- [16]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroacoustics>