



- (12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
(51)⁷ H04B 1/00; H04L 27/00; H04L 1/00; (13) B
H04B 11/00; H04B 13/00



1-0047499

-
- (21) 1-2017-01951 (22) 25/05/2017
(45) 25/06/2025 447 (43) 26/11/2018 368A
(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)
Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội
(72) Đỗ Việt Hà (VN); Nguyễn Văn Đức (VN).
-

- (54) PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH PHỔ DOPPLER CHO KÊNH THÔNG
TIN THỦY ÂM VÙNG NƯỚC NÔNG

(21) 1-2017-01951

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp xây dựng mô hình phổ Doppler cho kênh thông tin thủy âm vùng nước nông, và mô hình toán học mô tả phổ công suất Doppler trong kênh thông tin thủy âm vùng nước nông. Mô hình phổ Doppler đề xuất cho kênh thủy âm là tổng của hai thành phần Gaussian và Spike. Trong đó, thành phần Gaussian mô tả các dịch tần Doppler do sự nhiễu động mặt nước gây ra, còn thành phần Spike mô tả các dịch tần Doppler do sự chuyển động tương đối của máy thu phát gây ra. Để xác nhận tính đúng đắn của mô hình phổ Doppler đề xuất, sáng chế đã so sánh mô hình đề xuất với dữ liệu đo đặc phổ Doppler thực tế tại vịnh Hạ Long, Quảng Ninh, Việt Nam vào ngày 9 tháng 6 năm 2015. Cụ thể, các thông số của mô hình đề xuất sẽ được xác định từ dữ liệu đo bằng thuật toán tối ưu LpNM. Kết quả so sánh cho thấy, mô hình đề xuất phù hợp với dữ liệu đo. Nói cách khác, mô hình phổ Doppler đề xuất mô tả chính xác hiệu ứng Doppler trong kênh thông tin thủy âm.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp xây dựng mô hình phổ công suất Doppler cho kênh truyền thông tin thủy âm vùng nước nông. Mô hình đề xuất này có thể được ứng dụng hiệu quả trong việc xây dựng các bộ mô phỏng kênh truyền thủy âm cũng như việc khảo sát, phân tích và đánh giá trong quá trình thiết kế hệ thống thông tin thủy âm.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong nhiều năm qua, thông tin thủy âm đã và đang có rất nhiều ứng dụng quan trọng trên nhiều lĩnh vực như địa lý, kinh tế, quân sự quốc phòng, v.v.. Tuy nhiên, đặc tính truyền sóng âm trong môi trường dưới nước rất phức tạp như độ suy hao cao phụ thuộc vào tần số tín hiệu, hiệu ứng Doppler mạnh, sự phân tán thời gian, hiệu ứng đa đường, nhiễu màu phụ thuộc tần số v.v.. Do đó, rất nhiều thách thức đặt ra trong việc phát triển thông tin thủy âm trong tương lai.

Tương tự như các hệ thống thông tin khác, để tạo cơ sở cho việc thiết kế và phân tích hiệu năng hệ thống thông tin thủy âm, các đặc tính của kênh thủy âm như các hàm tương quan, hàm phổ công suất Doppler, hàm công suất trễ của kênh (Power delay profiles – PDPs) cần được xác định và phân tích.

Trong thực tế, có rất nhiều nghiên cứu xác định hàm công suất trễ của kênh (PDP) đã được thực hiện. Trong khi đó, mặc dù tầm quan trọng của phổ công suất Doppler trong thiết kế và phân tích cũng như cải thiện chất lượng hệ thống thông tin thủy âm rất lớn, nhưng các nghiên cứu về mô hình hóa phổ Doppler trong thông tin thủy âm vẫn còn rất ít (nguồn: *Stretched-exponential Doppler spectra in underwater acoustic communication channels*, P. van Walree và cộng sự, The Journal of the Acoustical Society of America, 2010).

Trong hệ thống thông tin thủy âm, hiệu ứng Doppler xảy ra rất đáng kể do một số nguyên nhân như vận tốc sóng thủy âm thấp, sự nhiễu động của mặt biển dẫn đến tần số Doppler đáng kể so với tần số sóng mang. Hai nguyên nhân chính gây ra dịch tần Doppler trong thông tin thủy âm là sự dịch chuyển tương đối giữa máy thu và máy phát, sự nhiễu động của bề mặt nước [nguồn: *Evaluation of frequency offset and Doppler effect in terrestrial RF and in underwater acoustic OFDM systems*, S. Ahmed and H. Arslan, IEEE Military Communications Conference, Nov. 2008]

Mặc dù dịch tần Doppler do nhiễu động của bề mặt nước là nhỏ hơn so với sự dịch chuyển tương đối của máy thu phát, tuy nhiên nó có sự biến đổi nhanh theo thời gian và khó nhận dạng trong phổ Doppler đo được [nguồn: *A discrete-time channel simulator driven by measured scattering functions*, P. Van Walree và các cộng sự, IEEE Journal

on Selected Areas in Communications, 2008]. Do đó, rất cần thiết phải xét hiệu ứng Doppler cả từ hai nguyên nhân trên.

Thực tế, hiệu ứng Doppler do sự nhiễu động của mặt nước đã được nghiên cứu từ rất sớm [nguồn: *Asymptotic frequency spread in surface- scatter channels at large Rayleigh numbers*, J. McDonald and P. Schultheiss, the Journal of the Acoustical Society of America, 1975]. Trong các nghiên cứu này, phổ Doppler được phân tích và đánh giá dựa trên các tham số hình học của mặt nước, tuy nhiên các tham số này rất phức tạp và thay đổi nhanh, rất khó xác định chính xác trong điều kiện môi trường nước nông. Do đó việc tính toán phổ Doppler dựa trên các thông số này rất khó thể hiện chính xác sự biến thiên theo thời gian của môi trường nước nông. Hơn nữa, các nghiên cứu này cũng chưa kết hợp nghiên cứu hiệu ứng Doppler từ cả hai nguyên nhân nói trên.

Bằng sáng chế quốc tế số hiệu WO2013066940A2, “Channel simulator and method for acoustic communication”, công bố ngày 10 tháng 5 năm 2013, đã xây dựng bộ mô phỏng kênh sóng âm dưới nước sử dụng mô hình sóng bề mặt với các thông số của mặt nước để tạo ra phổ của bề mặt. Mô hình mặt nước biến động theo thời gian được tạo ra bằng cách sử dụng một mô hình Monterey-Miami PE model (MMPE) kết hợp với một mô hình tuyến tính của mặt nước. Tuy nhiên, chưa mô hình hóa được dạng phổ Doppler của bề mặt, đồng thời không kết hợp nghiên cứu với thành phần phổ Doppler do sự dịch chuyển của máy thu/phát gây ra.

Bằng sáng chế Mỹ số hiệu US 7844006 B2, “Method of non-uniform Doppler compensation for wideband orthogonal frequency division multiplexed signals”, công bố ngày 30.11.2010, đã đưa ra thuật toán bù Doppler không đồng đều cho mỗi sóng mang con của hệ thống thông tin thủy âm dùng kỹ thuật điều chế đa sóng mang trực giao OFDM. Trong đó, dịch tần Doppler được mô tả thay đổi theo thời gian chuyển động. Tuy nhiên, hệ số thay đổi này chưa được phân tích theo các yếu tố dịch chuyển mặt nước cũng như sự dịch chuyển của máy thu phát.

Trong rất nhiều các nghiên cứu hiện nay, phổ Doppler trong kênh thủy âm được xem xét khi có sự chuyển động tương đối giữa máy thu và máy phát. Một số nghiên cứu giả định dạng phổ Doppler theo phân bố Jake, phân bố đồng đều, hoặc phân bố hai đường [nguồn: *Effect of Doppler spread in OFDM based UWB systems*, I. R. Capoglu và các cộng sự, IEEE Transaction Wireless Communications, Sep. 2005]. Ngoài ra, hầu hết các nghiên cứu còn lại đều tính toán phổ Doppler từ tín hiệu thu được từ việc đo đặc kênh thủy âm thông qua hàm tương quan thời gian (ACF) từ giả thiết kênh dừng, từ hàm tán xạ, hoặc một số kỹ thuật khác. Tuy nhiên, các nghiên cứu chưa đưa ra một dạng phổ Doppler tổng quát cho kênh thủy âm phản ánh các yếu tố từ sự chuyển động tương đối của máy thu phát cũng như sự nhiễu động của mặt nước.

Trong thực tế, hiện tượng Doppler xảy ra không đơn lẻ do một trong hai yếu tố trên mà luôn do hai yếu tố đồng thời tác động. Bản đăng ký sáng chế này đưa ra một mô

hình toán học mô tả tổng quát phổ Doppler cho kênh thủy âm từ cả hai yếu tố gây ra dịch tần Doppler gồm sự dịch chuyển tương đối giữa máy thu phát và sự nhiễu động bề mặt môi trường nước.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Bản chất kỹ thuật của sáng chế là đề xuất một mô hình toán học mô tả phổ công suất Doppler trên cơ sở phân tích các dịch tần Doppler gây ra bởi sự nhiễu động bề mặt môi trường và sự chuyển động tương đối giữa máy phát và máy thu. Mô hình đề xuất mô tả phổ Doppler cho kênh thủy âm là sự kết hợp tuyến tính của hai thành phần: phổ dạng Spike (Spike-Shape) và phổ dạng Gaussian (Gaussian-Shape). Cụ thể, phổ Spike-Shape mô tả các thành phần dịch tần Doppler gây ra bởi chuyển động tương đối giữa máy thu và máy phát, còn phổ Gaussian-Shape mô tả các thành phần dịch tần Doppler gây ra bởi sự nhiễu động của mặt nước.

Tính đúng đắn của mô hình đề xuất sẽ được kiểm chứng thông qua việc ứng dụng mô hình này để mô tả phổ Doppler từ các dữ liệu đo đạc thực nghiệm của kênh thủy âm nước nông tại vịnh Hạ Long, Việt Nam. Dữ liệu đo đạc được thu trong ba kịch bản khác nhau nhằm xác định tính đúng đắn của mô hình đề xuất một cách toàn diện.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các hình vẽ dưới đây nhằm mục đích minh họa cho sáng chế:

Hình 1 là hình vẽ mô hình hình học cho kênh thủy âm vùng nước nông.

Hình 2 minh họa sơ đồ liên kết các thiết bị trong hệ thống đo, thu thập dữ liệu.

Hình 3 minh họa các kịch bản đo phổ Doppler trong kênh thủy âm.

Hình 4 minh họa các bước xác định tham số của mô hình phổ Doppler đề xuất.

Hình 5 so sánh mô hình phổ Doppler đề xuất và phổ Doppler đo được theo kịch bản đo 1, khi máy thu chuyển động ra xa máy phát.

Hình 6 so sánh mô hình phổ Doppler đề xuất và phổ Doppler đo được theo kịch bản đo 2, khi máy thu chuyển động lại gần máy phát.

Mô tả chi tiết phương án thực hiện sáng chế

Sáng chế đề xuất một mô hình toán học mô tả phổ công suất Doppler trong kênh thông tin thủy âm vùng nước nông. Cơ sở lý thuyết hiệu ứng Doppler trong kênh thông tin thủy âm được phân tích dùng mô hình hình học. Dịch tần Doppler cho mỗi kênh truyền sóng đa do cả hai yếu tố là sự nhiễu động của mặt nước và sự chuyển động của máy thu sẽ được tính toán dùng mô hình hình học. Trên cơ sở đặc tính kênh truyền thủy âm vùng nước nông, thành phần phổ Doppler do mỗi nguyên nhân trên sẽ được mô hình hóa. Từ đó, đề xuất mô hình phổ Doppler tổng quát cho kênh thủy âm là tổng của hai thành phần Gaussian và Spike. Trong đó, thành phần Gaussian mô tả các dịch tần

Doppler do sự nhiễu động mặt nước gây ra, còn thành phần Spike mô tả các dịch tần Doppler do sự chuyển động tương đối của máy thu phát gây ra. Để xác nhận tính đúng đắn của mô hình phổ Doppler đề xuất, sáng chế sẽ so sánh mô hình đề xuất với dữ liệu đo đặc phổ Doppler thực tế tại vịnh Hạ Long, Quảng Ninh, Việt Nam vào ngày 9 tháng 6 năm 2015. Cụ thể, các thông số của mô hình đề xuất sẽ được xác định từ dữ liệu đo bằng thuật toán tối ưu LpNM. Kết quả so sánh cho thấy, mô hình đề xuất rất phù hợp với dữ liệu đo. Nói cách khác, mô hình phổ Doppler đề xuất mô tả chính xác hiệu ứng Doppler trong kênh thông tin thủy âm vùng nước nông.

1. *Phân tích và đề xuất mô hình phổ công suất Doppler cho các thành phần dịch tần Doppler gây ra bởi sự nhiễu động của mặt nước.*

Hình 1 là mô hình hình học cho kênh nước nông, giả sử các điểm tán xạ $S_{i,n}$ ($n = 1, 2, \dots, N_i; i = 1, 2$) phân bố ngẫu nhiên trên mặt nước ($i = 1$) và dưới mặt đáy ($i = 2$). Xét trường hợp máy phát (Tx) đứng yên và máy thu (Rx) di chuyển với vận tốc V_R tạo với tia truyền theo đường tầm nhìn thẳng một góc α_v^R . Dịch tần Doppler được xét riêng biệt cho mỗi đường truyền sóng đa đường. Độ dịch tần này phụ thuộc vào các góc tới của tia sóng đa đường so với phương của vận tốc dịch chuyển của máy thu hoặc vận tốc của sóng bề mặt, cụ thể là các góc $\varphi_{i,n}$, θ_{S_n} và θ_{R_n} , sẽ được xét chi tiết như trình bày sau đây.

Xét điểm tán xạ trên mặt nước $S_{1,n}$ dịch chuyển với vận tốc danh định V_{S_n} . Dịch tần Doppler sẽ được xem xét gồm hai thành phần khi xét lần lượt sự dịch chuyển của $S_{1,n}$ so với Tx và so với Rx. Hai thành phần này sẽ khác nhau do tần số Doppler gây ra bởi nguồn phát dịch chuyển khác với bởi người quan sát dịch chuyển trong truyền sóng âm.

Điểm tán xạ $S_{1,n}$ được coi là điểm quan sát khi xét sự chuyển động của nó so với Tx, khi đó độ dịch tần Doppler tại $S_{1,n}$ được xác định theo công thức sau:

$$f_{TxS_n} = \frac{f_c \times V_{S_n}}{c_s} \cos \theta_{S_n} \quad (1)$$

trong đó:

θ_{S_n} : Góc giữa vận tốc V_{S_n} và trục nối Tx và $S_{1,n}$

c_s : Tốc độ sóng âm thanh trong môi trường nước nông, lấy giá trị 1500 m/s

f_c : Tần số sóng mang tín hiệu phát

Do chịu ảnh hưởng của độ dịch tần Doppler f_{TxS_n} , tần số tín hiệu thu được tại điểm tán xạ $S_{1,n}$ sẽ là $(f_{TxS_n} + f_c)$. Tín hiệu này sẽ được coi là một nguồn phát khi xét sự dịch chuyển của $S_{1,n}$ so với máy thu Rx, do đó sẽ gây ra dịch tần Doppler cho tín hiệu thu được ở Rx tính theo công thức sau:

$$f_{RxS_n} = (f_{TxS_n} + f_c) \times \frac{V_{S_n} \cos \theta_{R_n}}{c_s - V_{S_n} \cos \theta_{R_n}} \quad (2)$$

với θ_{R_n} là góc giữa vận tốc V_{S_n} và trục nối Rx - $S_{1,n}$.

Độ dịch tần Doppler tổng f_{D,S_n} gây ra bởi sự dịch chuyển của điểm tán xạ $S_{1,n}$ bằng tổng hai độ dịch tần thành phần f_{TxS_n} và f_{RxS_n} .

$$f_{D,S_n} = f_{TxS_n} + f_{RxS_n} = \frac{f_c \times V_{S_n}(\cos \theta_{S_n} + \cos \theta_{R_n})}{c_s - V_{S_n} \cos \theta_{R_n}} \quad (3)$$

Gọi f_m là độ dịch tần có thành phần phổ lớn nhất do sự dịch chuyển của các điểm tán xạ gây ra. Với các cơ chế tán xạ của mặt nước khi các điểm tán xạ có vận tốc thay đổi theo thời gian, hàm Gaussian được dùng để mô hình hóa thành phần Doppler $S_{Surface}(f)$ do sự nhiễu động mặt nước gây ra theo công thức sau:

$$S_{Surface}(f) = \frac{1}{w\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{f-f_m}{w}\right)^2} \quad (4)$$

với: w : Băng thông phổ Doppler do sự nhiễu động của bề mặt

f_m : Độ dịch tần Doppler gây ra bởi sự nhiễu động của mặt nước

2. Phân tích và đề xuất mô hình phổ công suất Doppler cho các thành phần dịch tần Doppler gây ra bởi sự chuyển động tương đối giữa máy thu và máy phát

Xét dịch tần Doppler của đường đến thứ n do sự chuyển động của Rx gây ra. Dịch tần này phụ thuộc vào góc tới $\varphi_{i,n}$, được tính theo công thức sau:

$$f_{i,n} = f_{D,max} \cdot \cos(\alpha_{i,n}) \quad (5)$$

với $f_{D,max}$ đại diện cho độ dịch tần Doppler lớn nhất.

Trong môi trường nước nông, hiệu ứng đa đường do phản xạ bề mặt hoặc đáy rất mạnh, tương tự như kênh vô tuyến trong môi trường có hiệu ứng đa đường mạnh. Do đó, thành phần phổ công suất Doppler $S_{TxRx}(f)$ do sự chuyển động tương đối giữa máy thu Tx và máy phát Rx được mô hình hóa bằng hàm dạng Spike [nguồn: T. C. Models, IEEE std. 802.11-03/940r4, May 2004] như sau:

$$S_{TxRx}(f) = \frac{1}{1 + C \left(\frac{f - f_{Spike}}{f_{Spike}} \right)^2} \quad (6)$$

với f_{Spike} là dịch tần Doppler có thành phần công suất lớn nhất do sự chuyển động của Rx, đó chính là thành phần tầm nhìn thẳng có dịch tần được tính theo công thức sau:

$$f_{Spike} = \frac{f_c \times V_R}{c_s} \times \cos(\pi - \alpha_V^R)$$

với f_c là tần số tín hiệu, c_s là vận tốc sóng âm dưới nước (khoảng 1500m/s cho cùng nước nông). C là tham số dùng để xác định băng thông phổ Doppler B_{Spike} do sự chuyển động của máy thu gây ra. Băng thông phổ Doppler B_{Spike} được xác định trong dải tần số mà $S_{TxRx}(f)$ giảm 10dB so với đỉnh của nó. Công thức tính B_{Spike} như sau

$$B_{Spike} = \frac{6}{\sqrt{C}} |f_{D,max}| \quad (7)$$

3. Phân tích và đề xuất mô hình phổ công suất Doppler cho kênh thông tin thủy âm

Mô hình phổ công suất Doppler cho kênh thông tin thủy âm được đề xuất là sự kết hợp tuyến tính của hai thành phần theo công thức sau:

$$S_{Rx}(f) = \frac{1}{1 + C \left(\frac{f - f_{Spike}}{f_{Spike}} \right)^2} + Ae^{-\left(\frac{f - f_m}{w} \right)^2} \quad (8)$$

Trong đó hạng tử thứ nhất trong công thức biểu diễn thành phần Spike do sự dịch chuyển tương đối giữa máy thu và máy phát gây ra, hạng tử thứ hai biểu diễn thành phần Gaussian do sự nhiễu động mặt biển gây ra. Hệ số điều chỉnh A đại diện cho tỷ lệ giữa giá trị đỉnh của phổ Gaussian và phổ Spike.

4. Phương pháp tính toán các thông số của mô hình phổ Doppler đề xuất

Các thông số trong mô hình phổ Doppler cần được tính toán để mô hình đề xuất có thể mô tả được phổ Doppler thực tế trong kênh thủy âm vùng nước nông. Các thông số này được tính bằng phương pháp tối ưu LpNM (Lp Norm Method) nhờ việc tối thiểu hóa hàm sai sau:

$$E_n = \left[\frac{1}{\Delta f} \int_{f_{min}}^{f_{max}} |\tilde{S}_n(f) - S(f)|^p df \right]^{\frac{1}{p}} \quad (9)$$

trong đó $\tilde{S}_n(f)$ là phổ Doppler đo được trong khoảng thời gian t_n , $\Delta f = f_{max} - f_{min}$ là khoảng cách tần số quan sát. Kết quả tối thiểu hóa hàm sai trên là tập tham số của mô hình đề xuất $\{A, f_m, w, C, f_{Spike}\}$. Hình 2 minh họa sơ đồ liên kết các thiết bị trong hệ thống đo, thu thập dữ liệu để thu được phổ công suất Doppler của kênh thông tin thủy âm tại vịnh Hạ Long, Việt Nam vào ngày 09/06/2015. Bên phát gồm máy tính phát, mạch khuếch đại công suất và một bộ chuyển đổi năng lượng (transducer) tần số thấp. Tất cả các thiết bị này được đặt trên thuyền phát. Máy tính phát sẽ phát liên tục sóng sin tần số 12 kHz. Sóng sin này sẽ được khuếch đại và nối với transducer để phát đi trên kênh truyền thủy âm. Tại bên thu, tín hiệu sẽ được thu bằng một đầu thu dưới nước (hydrophone) và được khuếch đại bằng một bộ khuếch đại tạp âm thấp (LNA). Máy tính thu sẽ thu và lưu trữ tín hiệu để xử lý để đưa ra phổ công suất Doppler của tín hiệu truyền trên kênh thủy âm.

Hình 3 minh họa các kịch bản đo phổ Doppler trong kênh thủy âm.

Hình 3a minh họa kịch bản đo phổ Doppler trong trường hợp máy thu chuyển động ra xa máy phát. Ban đầu hai thuyền thu và phát tín hiệu giữ vị trí tại A và B, khoảng cách giữa hai thuyền là 10m. Sau đó thuyền thu Rx di chuyển ra xa Tx với vận tốc

khoảng $3.5 \div 4$ km / giờ cho tới khi thuyền thu tới vị trí C cách B 165m. Từ vị trí B thuyền thu giảm tốc và trôi dần tới vị trí D cách C 38m (A, B, C, D thẳng hàng).

Hình 3b minh họa kịch bản đo phổ Doppler trong trường hợp máy thu Rx (tại B) chuyển động lại gần máy phát (tại A) với $AB=385$ m. Sau đó thuyền thu tăng tốc khi di chuyển lại gần thuyền phát theo đường thẳng cho tới khi đến điểm C cách B một khoảng 230m, vận tốc tối đa đạt được khoảng $5 \div 5.5$ km/giờ. Sau đó thuyền thu giảm tốc độ và di chuyển từ C lại gần và dừng lại gần thuyền phát, quãng đường di chuyển là 155m.

Hình 4 minh họa các bước xác định tham số của mô hình phổ Doppler đề xuất.

Bước một sẽ thực hiện đo phổ Doppler của kênh thủy âm thu được trong các kịch bản đo. Giá trị trung bình của phổ Doppler $\tilde{S}_n(f)$ đo được trong khoảng thời gian quan sát ΔT_n sẽ được coi như một mô hình tham chiếu trong bước 2. Tiếp đến trong bước 3, mô hình phổ Doppler cho kênh thủy âm sẽ được chọn là phổ hình sáng chế đề xuất $S(f)$ như trong công thức (4). Thuật toán tối ưu Lp-Norm Method (LPNM) được dùng để ước lượng các tham số của mô hình đề xuất được thực hiện trong bước 4. Kết quả là các tham số tối ưu $\{A, f_m, w, C, f_{Spike}\}$ của mô hình phổ Doppler đề xuất sẽ được xác định.

Sử dụng kết quả f_{Spike} , vận tốc trung bình $V_{n,R}$ trong khoảng thời gian quan sát ΔT_n sẽ được tính theo công thức

$$V_{n,R} = \frac{c_s \times f_{Spike}}{f_c \times \cos(\pi - \alpha_V^R)} \quad (10)$$

Tiếp đến, quãng đường dịch chuyển s_n trong thời gian này được tính theo công thức:

$$s_n = V_{n,R} \times \Delta T_n \quad (11)$$

Sau khi xác định các thông số $\{A, f_m, w, C, f_{Spike}\}$, phổ công suất Doppler đề xuất sẽ được so sánh với phổ Doppler đo được của kênh thông tin thủy âm trong mỗi khoảng thời gian quan sát của mỗi kịch bản đo. Kết quả so sánh này được minh họa trong các hình 5 và 6. Bảng 1 và 2 liệt kê các thông số tối ưu cho mô hình Doppler đề xuất cho mỗi kịch bản đo.

Hình 5 so sánh mô hình phổ Doppler đề xuất và phổ Doppler đo được theo kịch bản đo 1, khi máy thu chuyển động ra xa máy phát.

Hình 6 so sánh mô hình phổ Doppler đề xuất và phổ Doppler đo được theo kịch bản đo 2, khi máy thu chuyển động lại gần máy phát.

Hiệu quả của sáng chế

Mô hình phổ Doppler đề xuất mô tả hiệu ứng Doppler trong kênh thủy âm cho trường hợp tổng quát, xét đến hai thành phần phổ Doppler gây ra bởi sự nhiễu động của mặt nước và sự chuyển động tương đối giữa máy thu và máy phát. Mô hình này được

dùng rất hiệu quả để xây dựng các bộ mô phỏng kênh truyền thủy âm cũng như hỗ trợ việc phân tích và thiết kế hệ thống truyền thông tin tin cậy dưới nước, phục vụ cho liên lạc tàu ngầm, người nhái, v.v..

Mô hình phổ Doppler theo sáng chế giúp:

Mô phỏng chính xác kênh truyền thông thủy âm: dự đoán chính xác hơn tác động của Doppler trong kênh truyền thủy âm, đặc biệt là trong vùng nước nông. So với các mô hình đã biết, mô hình này kết hợp cả hai thành phần Doppler (do chuyển động của máy thu/phát và do nhiễu động mặt biển, giúp tăng độ chính xác.

Giảm chi phí và thời gian thử nghiệm thực tế: sử dụng mô phỏng trên hệ thống máy tính giảm thiểu số lần thử nghiệm thực tế cần thiết, tiết kiệm chi phí vận hành thiết bị đo lường thực tế dưới nước.

Hỗ trợ các thiết bị và hệ thống liên lạc thủy âm xác định chính xác hơn dịch tần Doppler, giúp tăng độ tin cậy của việc thu nhận tín hiệu.

Khi triển khai trong thực tế, mô hình có thể giúp cải thiện tốc độ truyền tin bằng cách bù trừ Doppler tốt hơn, hỗ trợ tối ưu hóa phương thức điều chế và giải mã tín hiệu, giúp giảm tỷ lệ lỗi bit (BER – Bit Error Rate) trong môi trường thủy âm.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp xây dựng mô hình phổ Doppler cho kênh thông tin thủy âm vùng nước nông, phương pháp này được thực hiện trên máy tính, và trong đó:

bên phát gồm máy tính phát, mạch khuếch đại công suất và bộ chuyển đổi năng lượng (transducer) tần số thấp, tất cả các thiết bị này được đặt trên thuyền phát, máy tính phát sẽ phát liên tục sóng sin, sóng sin này sẽ được khuếch đại và nối với bộ chuyển đổi năng lượng để phát đi trên kênh truyền thủy âm; tại bên thu, tín hiệu thu sẽ được thu bằng một đầu thu sóng trong nước (hydrophone) và được khuếch đại bằng một bộ khuếch đại tạp âm thấp (LNA), máy tính thu sẽ thu và lưu trữ tín hiệu để xử lý để đưa ra phổ công suất Doppler của tín hiệu truyền trên kênh thủy âm; và

phổ công suất Doppler đề xuất cho kênh thông tin thủy âm là sự kết hợp của thành phần Doppler gây ra do dịch chuyển tương đối của máy phát và máy thu với thành phần Doppler gây ra bởi nhiễu động mặt biển, phổ công suất Doppler đề xuất cho kênh thông tin thủy âm được xây dựng như sau:

$$S_{Rx}(f) = \frac{1}{1 + C \left(\frac{f - f_{Spike}}{f_{Spike}} \right)^2} + A e^{-\left(\frac{f - f_m}{w} \right)^2} \quad (12)$$

trong đó hạng tử thứ nhất trong công thức mô hình phổ Doppler biểu diễn thành phần Spike đại diện cho sự dịch chuyển tương đối giữa máy thu và máy phát gây ra, hạng tử thứ hai biểu diễn thành phần Gaussian do sự nhiễu động mặt biển gây ra, và

trong đó:

w là băng thông phổ Doppler do sự nhiễu động của bề mặt,

f_m là độ dịch tần Doppler gây ra bởi sự nhiễu động của mặt nước,

f_{Spike} là dịch tần Doppler có thành phần công suất lớn nhất do sự chuyển động của Rx, đó chính là thành phần tầm nhìn thẳng có dịch tần được tính theo công thức sau:

$$f_{Spike} = \frac{f_c \times V_R}{c_s} \times \cos(\pi - \alpha_v^R), \text{ với:}$$

f_c là tần số tín hiệu,

c_s là vận tốc sóng âm dưới nước (khoảng 1500m/s cho cùng nước nông),

V_R là vận tốc của máy thu (Rx) di chuyển với máy phát (Tx) tạo với tia truyền theo đường tầm nhìn thẳng một góc α_v^R ,

C là tham số dùng để xác định băng thông phổ Doppler B_{Spike} do sự chuyển động của máy thu (Rx) gây ra,

A là hệ số điều chỉnh đại diện cho tỷ lệ giữa giá trị đỉnh của phổ Gaussian và phổ Spike;

trong đó phương pháp xây dựng mô hình hóa phổ Doppler cho kênh thông tin thủy âm vùng nước nông này tính toán các thông số của mô hình phổ Doppler theo các bước như sau:

- bước 1: thực hiện đo kênh thủy âm để thu được phổ Doppler của kênh thủy âm thu trong các kịch bản đo,
- bước 2: xây dựng mô hình tham chiếu từ dữ liệu đo, giá trị trung bình của phổ Doppler $\tilde{S}_n(f)$ đo được trong khoảng thời gian quan sát ΔT_n sẽ được coi như một mô hình tham chiếu,
- bước 3: chọn mô hình mô phỏng phổ Doppler cho kênh thủy âm là mô hình phổ Doppler đề xuất trong sáng chế $S(f)$ như sau:

$$S_{Surface}(f) = \frac{1}{w\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{f-f_m}{w}\right)^2} \quad (13)$$

- bước 4: sử dụng thuật toán tối ưu Lp-Norm Method (LPNM) được dùng để ước lượng các tham số bằng cách tối thiểu hóa hàm sai giữa mô hình tham chiếu và mô hình mô phỏng như sau:

$$E_n = \left[\frac{1}{\Delta f} \int_{f_{min}}^{f_{max}} |\tilde{S}_n(f) - S(f)|^p df \right]^{\frac{1}{p}} \quad (14)$$

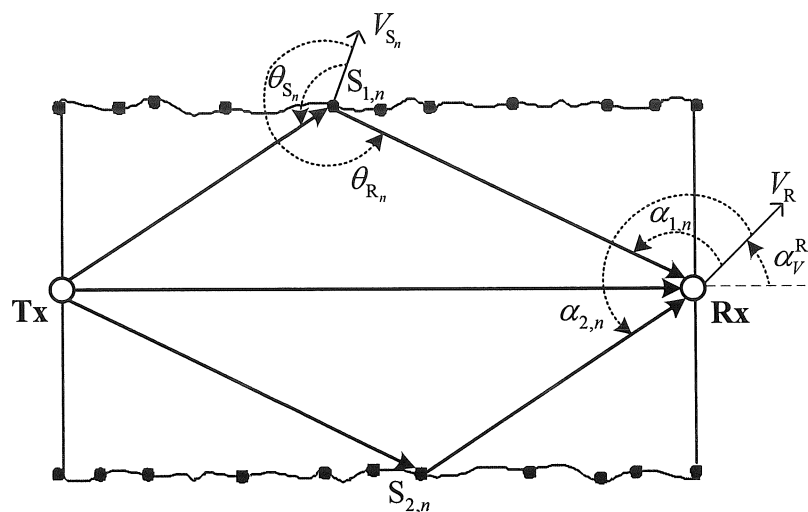
trong đó $\tilde{S}_n(f)$ là phổ Doppler đo được trong khoảng thời gian t_n ,

$\Delta f = f_{max} - f_{min}$ là khoảng cách tần số quan sát,

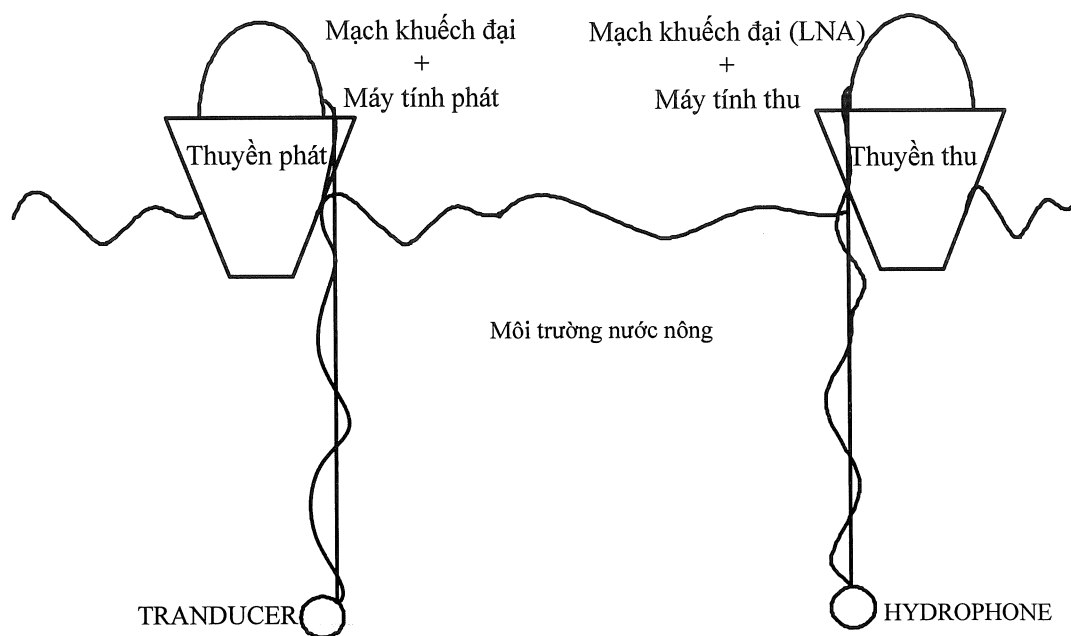
kết quả là xác định được các tham số tối ưu $\{A, f_m, w, C, f_{Spike}\}$ của mô hình phổ Doppler.

2. Phương pháp xây dựng mô hình phổ Doppler cho kênh thông tin thủy âm vùng nước nông theo điểm 1, trong đó, băng thông phổ Doppler của thành phần Spike, B_{Spike} được xác định trong dải tần số mà thành phần Spike $S_{TxRx}(f)$ giảm 10dB so với đỉnh của nó, có công thức tính B_{Spike} như sau:

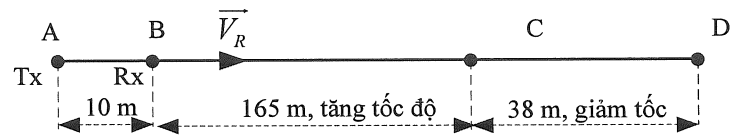
$$B_{Spike} = \frac{6}{\sqrt{C}} |f_{D,max}| \quad (15)$$



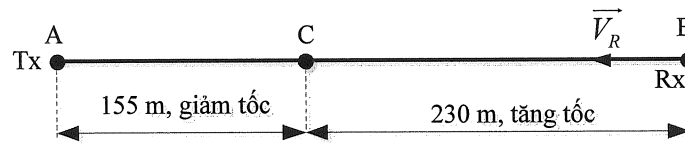
Hình 1



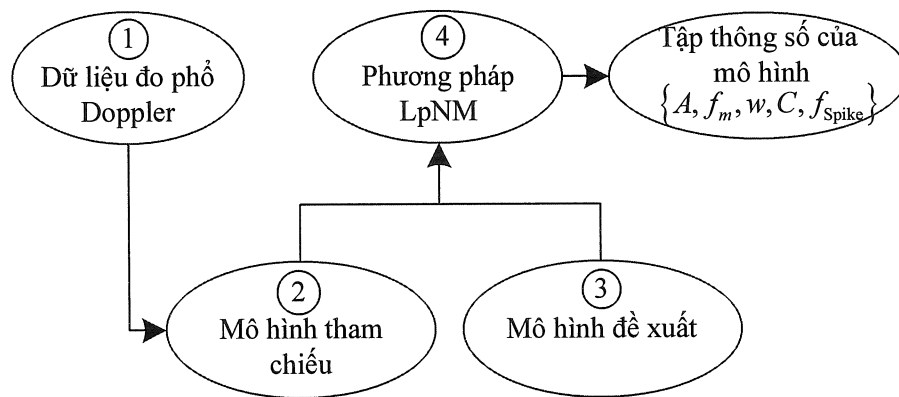
Hình 2

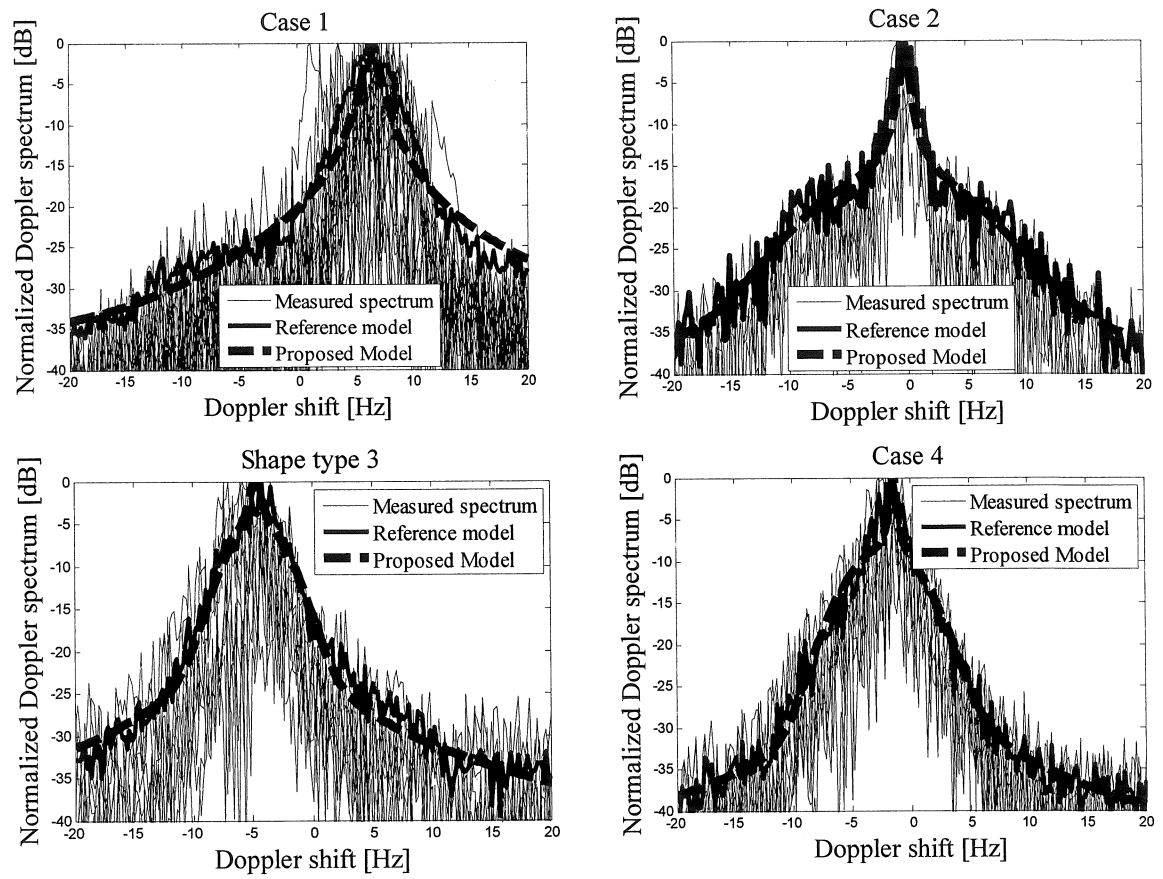


(a) Kịch bản đo 1

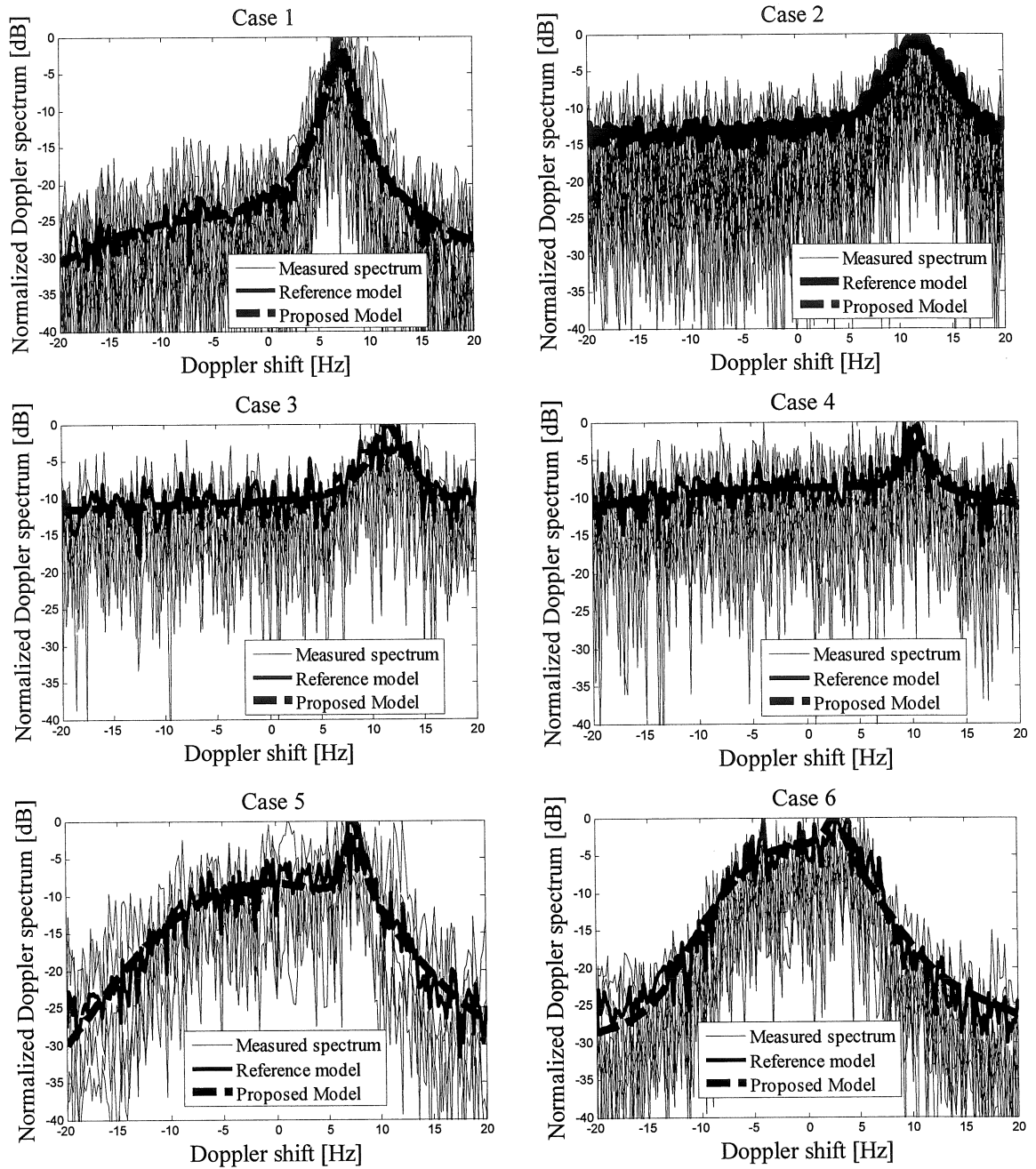


(b) Kịch bản đo 2

Hình 3**Hình 4**



Hình 5



Hình 6

