



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) 
1-0020132

(51)⁷ H04B 11/00, H04L 27/00

(13) B

(21) 1-2017-01077

(22) 24.03.2017

(45) 25.12.2018 369

(43) 25.08.2017 353

(73) 1. TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI (VN)

Số 1 Đại Cồ Việt, quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội

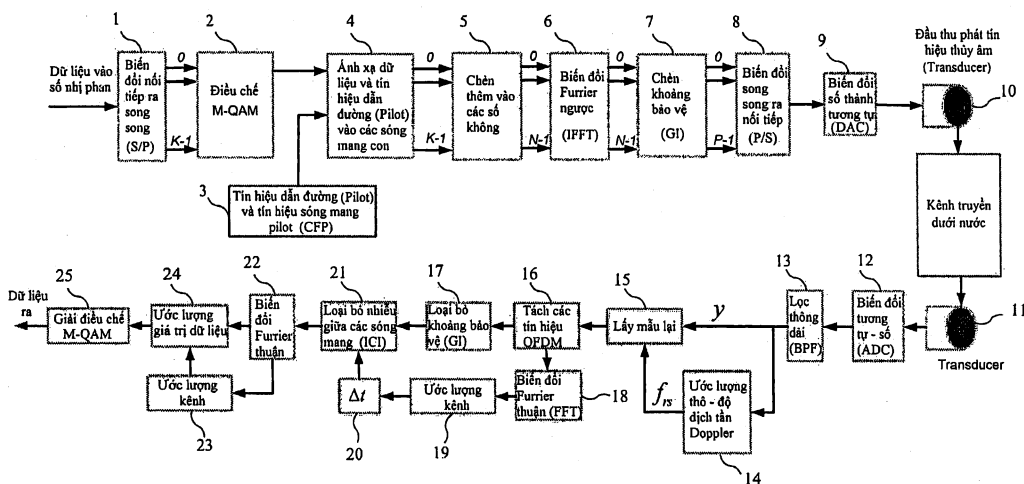
2. VIỆN ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG, TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI (VN)

Số 1 Đại Cồ Việt, quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Quốc Khương (VN), Đô Đình Hưng (VN), Nguyễn Văn Đức (VN)

(54) PHƯƠNG PHÁP BÙ DỊCH TẦN DOPPLER

(57) Sáng chế đề cập tới việc thiết kế một hệ thống thông tin vô tuyến dưới nước sử dụng công nghệ OFDM. Độ dịch tần Doppler sinh ra do sự chuyển động tương đối giữa bên thu và bên phát được ước lượng và tính toán dựa trên tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP. Quá trình bù dịch tần Doppler được thực hiện theo hai bước. Bước thứ nhất là đồng bộ thô, ở bước này giá trị độ lệch tần Doppler được ước lượng một cách gần đúng và được làm tròn để xác định lại tần số lấy mẫu tại phía thu. Bước thứ hai là đồng bộ tinh, khi đó độ lệch tần Doppler vẫn còn dư do sai số tính toán và làm tròn ở bước đồng bộ thô sẽ được tính toán lại dựa trên giá trị của CFP trong các khung OFDM. Sai lệch tần số này được quy đổi thành sai lệch thời gian lấy mẫu và sử dụng nó để tính toán lại giá trị các mẫu tín hiệu OFDM trong miền thời gian. Sai lệch về thời gian cũng được sử dụng để tính toán ma trận khử nhiễu ICI nhằm mục đích khử nhiễu ICI gây ra bởi dịch tần Doppler. Sau khi bù dịch tần Doppler và khử nhiễu ICI, hệ thống có chất lượng tín hiệu tốt hơn so với các hệ thống thông tin thủy âm số hiện tại.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Lĩnh vực của sáng chế là phương pháp bù dịch tần Doppler cho hệ thống thông tin thủy âm số sử dụng công nghệ ghép kênh phân chia theo tần số trực giao OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Lĩnh vực sáng chế được ứng dụng cho thông tin và tàu ngầm, người nhái và điều khiển các robot tự hành dưới biển.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Hệ thống truyền dữ liệu số trên kênh truyền thủy âm được mô tả ở hình 1, bao gồm sơ đồ khối máy phát và máy thu.

Ở phía máy phát: Nguồn dữ liệu cần phát (Data input) được gửi đến bộ biến đổi nối tiếp ra song song S/P (Serial to Parallel) 1 rồi đưa đến khối điều chế M-QAM (M-ary Quadrature Amplitude Modulation) 2 sau đó nó kết hợp với tín hiệu dẫn đường (Pilot) và tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP (Carrier Frequency Pilot) từ khối 3 để sắp xếp lên các sóng mang của hệ thống OFDM 4 như mô tả ở hình 2. Tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP là sóng mang đặc biệt được thiết kế để có thể làm việc tương tự như sóng mang dữ liệu trong các hệ thống thông tin như các hệ thống đơn biên có phát kèm sóng mang VSB (Vestigial Side Band). Nhờ đó mà bên thu có thể xác định được chính xác tần số của tín hiệu phải thu để có thể xử lý phù hợp. Tín hiệu tiếp đó được đưa đến khối 5 để chèn thêm các giá trị không và được sắp xếp đặc biệt như hình 3, để tạo ra tín hiệu chỉ gồm các số thực sau khi biến đổi Fourier ngược IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) ở khối 6. Khối thứ 7 làm nhiệm vụ chèn khoảng bảo vệ cho tín hiệu OFDM. Tín hiệu OFDM được hiểu là tín hiệu điện sau khi đã được điều chế OFDM. Khối thứ 8 biến đổi tín hiệu từ song song ra nối tiếp P/S (Parallel to Serial) và được đưa đến bộ biến đổi số tương tự DAC (Digital Analog Conversion) là khối thứ 9. Tín hiệu tương tự ở đầu ra khối 9 sẽ được đưa đến đầu thu phát thủy âm (transducer) 10.

Ở phía thu, tín hiệu khi nhận được tại đầu thu phát thủy âm 11 sẽ được đưa qua bộ biến đổi tương tự số ADC (Analog Digital Converter) để biến thành tín hiệu số 12 sau đó đưa qua bộ lọc thông dải BPF (Band Pass Filter) 13 để loại bỏ các tín hiệu không thuộc dải tần thông tin phát đi. Tín hiệu đầu ra 13 sẽ được đưa đến khối 14 để tính toán độ lệch tần Doppler, rồi sau đó sẽ được lấy mẫu trở lại ở khối 15. Khối 16 thực hiện việc phát hiện điểm bắt đầu của mỗi tín hiệu OFDM. Khối 17 sẽ loại bỏ chuỗi khoảng bảo vệ GI (Guard Interval) của mỗi tín hiệu OFDM. Khối 18 thực hiện việc biến đổi Fourier thuận cho mỗi tín hiệu OFDM. Khối 19 sẽ tính toán độ lệch pha giữa hai tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP của hai tín hiệu OFDM liên tiếp. Khối 20 sẽ tính độ lệch thời gian lấy mẫu của tín hiệu OFDM cần điều chỉnh. Khối 21 thực hiện việc tính toán lại các mẫu tín hiệu trong mỗi tín hiệu OFDM trong miền thời gian. Khối 22 thực hiện biến đổi Fourier cho tín hiệu OFDM. Khối 23 thực hiện tách các tín hiệu dẫn đường (Pilot) và ước lượng kênh truyền. Khối 24 sẽ ước lượng giá trị dữ liệu truyền đi và cuối cùng khối 25 sẽ giải điều chế M-QAM cho dữ liệu nhận được để khôi phục lại dữ liệu ban đầu.

Bài báo khoa học: "A Transceiver Architecture for Ultrasonic OFDM with Adaptive Doppler Compensation," của các tác giả: Tran Minh Hai, Saotome Rie, Suzuki Taisuki, Tomohisa Wada, đăng trong tạp chí "*International Journal of Information and Electronics Engineering*", năm 2014 đã thực hiện tính toán và bù dịch tần Doppler qua 2 bước đồng bộ thô và đồng bộ tinh. Ở bước đồng bộ thô, phần nguyên của độ dịch tần Doppler được tính dựa trên các tín hiệu gắn thêm vào đầu khung X1, X2, X3 sau đó tín hiệu OFDM sẽ được quay pha lần 1 để triệt tiêu độ dịch tần này. Ở bước đồng bộ tinh, độ lệch tần Doppler được tính dựa trên các pilot liên tục trong miền tần số và việc loại bỏ nhiễu ICI được thực hiện trong miền tần số với ma trận khử nhiễu kích thước $N \times N$.

Bài báo khoa học "Non-uniform Doppler compensation for zero-padded OFDM over fast-varying underwater acoustic channels," của các tác giả B. Li, S. Zhou, M. Stojanovic, L. Freitag, và P. Willett, báo cáo trong "*OCEANS 2007-Europe. IEEE*", năm 2007 cũng thực hiện bù dịch tần Doppler cho hệ thống OFDM theo hai bước. Ở bước đồng bộ thô, việc tính toán độ dịch tần Doppler dựa trên các tín hiệu gắn vào trước (preamble) và sau (postamble) của mỗi khung tín hiệu OFDM sau đó tín hiệu OFDM sẽ được lấy mẫu lại. Ở phần đồng bộ tinh, độ dịch tần dư còn lại CFO (Carrier Frequency Offset) sẽ được tính dựa trên các sóng mang không, sau đó nhiễu ICI (Intercarrier Interference) sẽ được loại bỏ thông qua phép nhân ma trận trong miền tần số.

Các phương pháp này có đặc điểm là phải gắn thêm các thông tin vào đầu hoặc cuối các khung truyền dữ liệu, do đó nó sẽ làm giảm hiệu quả sử dụng băng thông của hệ thống và tiêu tốn công suất phát tín hiệu. Thêm vào đó việc thực hiện bù Doppler của những phương pháp này được thực hiện sau khi đồng bộ tín hiệu, nghĩa là phải xác định được đúng điểm bắt đầu của dữ liệu. Tuy nhiên trong thực tế đối với trường hợp kênh truyền bị ảnh hưởng lớn của dịch tần Doppler thì tín hiệu sẽ bị méo dạng nghiêm trọng do đó rất khó có thể xác định chính xác điểm bắt đầu của tín hiệu.

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, mô tả phương pháp ước lượng tần số Doppler thông qua ước lượng pha trên các sóng mang phụ. Tuy nhiên việc ước lượng pha trên các sóng mang của hệ thống thông tin thủy âm thông thường chịu sự ảnh hưởng lớn bởi kênh truyền.

Bằng sáng chế Mỹ số hiệu US 7859944 B2, "Apparatus, systems and methods for enhanced multi-carrier based underwater acoustic communications", công bố ngày 28.12.2010, mô tả phương pháp ước lượng tần số Doppler và tần số dịch tần sóng mang CFO bằng sóng mang phụ không mang dữ liệu. Phương pháp này có nhược điểm là độ phức tạp cao, đồng thời tiêu tốn băng thông vì cần một số sóng mang con dành riêng cho mục đích ước lượng dịch tần Doppler.

Sáng chế đề xuất có ưu điểm là không cần gắn thêm phần thông tin bổ sung vào đầu hay cuối của khung dữ liệu, thay vào đó sẽ sử dụng một trong nhiều sóng mang của hệ thống OFDM làm tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP. Các CFP sẽ được tăng công suất phát lớn hơn mức công suất phát trung bình của tín hiệu OFDM. CFP sẽ có hai chức năng, một chức năng vẫn làm tín hiệu dẫn đường cho hệ thống OFDM như những tín hiệu dẫn đường thông thường khác và một chức năng thứ hai là làm sóng mang dùng để bên thu có thể qua đó tính được độ dịch tần số Doppler. Nhược điểm của phương pháp chúng tôi đề xuất là sẽ làm tăng công suất phát tín hiệu. Tỷ lệ phần trăm mức công suất tăng thêm của tín hiệu phát được tính

$$\eta = \frac{P_{CFP} - P}{P} = 100 \times \frac{[A_c^2 - (2(M-1)/3)]}{2K(M-1)/3} (\%) \quad (\text{Công thức 1})$$

Trong đó

- P_{CFP} là công suất phát của tín hiệu OFDM có gắn CFP
- P là công suất phát của tín hiệu OFDM không có CFP
- A_c là biên độ của CFP,
- K là tổng số sóng mang dữ liệu của hệ thống OFDM
- M là số mức điều chế

Ví dụ khi sử dụng băng thông 20-28Khz với $A_c=6$ thì $\eta \approx 10\%$

Giải nghĩa vắn tắt các thuật ngữ chuyên ngành

1. Công nghệ OFDM: Là công nghệ điều chế đa sóng mang trực giao OFDM
2. Tín hiệu OFDM: là tín hiệu điện ở miền thời gian của các dữ liệu đã được điều chế bằng công nghệ OFDM
3. Khung truyền OFDM: là một khung dữ liệu ở miền thời gian của tín hiệu OFDM. Một khung truyền dữ liệu OFDM được định nghĩa có độ dài với số mẫu tín hiệu bằng số điểm FFT cộng với độ dài chuỗi bảo vệ
4. Tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP là tín hiệu được truyền trên một tần số sóng mang con, và truyền liên tục trên miền thời gian với công suất được phát tăng cường so với các sóng mang thông thường như mô tả ở hình 2.
5. Tín hiệu dẫn đường (pilot) là một tín hiệu được phát trên một sóng mang và trên một khe thời gian được xác định trước (như mô tả ở hình 2). Mục đích của các mẫu tin dẫn đường là để ước lượng kênh truyền và để đồng bộ tín hiệu.
6. Độ lệch tần Doppler là độ lệch của tần số sóng mang tín hiệu thu do ảnh hưởng của hiệu ứng Doppler. Độ lệch tần số Doppler đồng nghĩa với độ dịch tần Doppler.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Bản chất sáng chế là đề xuất giải pháp bù dịch tần Doppler sử dụng sóng mang dẫn đường CFP cho hệ thống thông tin thủy âm số sử dụng công nghệ OFDM.

Các phương pháp hiện tại tiêu tốn băng thông của hệ thống và thích ứng kém với sự thay đổi lớn về tốc độ chuyển động tương đối giữa máy phát và máy thu và đòi hỏi khung truyền dẫn có độ dài lớn.

Sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế hệ thống có thể tính và bù được độ dịch tần Doppler lớn. Tính mới của sáng chế được thể hiện trong một số dấu hiệu sau :

Sáng chế đề xuất thay đổi mức công suất phát của một trong các tín hiệu dẫn đường của hệ thống OFDM. Việc thay đổi mức công suất phát của một trong các sóng mang dẫn đường trong tín hiệu OFDM không làm thay đổi hiệu quả sử dụng băng thông của hệ thống mà chỉ làm thay đổi mức công suất phát của tín hiệu OFDM. Mức độ thay đổi công suất phát của tín hiệu OFDM khi áp dụng giải pháp này được chỉ ra trong (Công thức 1). Kết quả của việc thay đổi công suất phát của tín hiệu dẫn đường sẽ làm cho việc ước lượng tần số dịch tần Doppler tốt hơn so với các phương pháp hiện tại.

Dựa trên tín hiệu dẫn đường đã được tăng mức công suất phát, sáng chế đề xuất phương pháp tính và bù độ dịch tần Doppler thông qua hai bước đồng bộ thô và tinh.

Ở bước đồng bộ thô, độ sai lệch tần số Doppler giữa tín hiệu phát và thu được tính và làm tròn số theo công thức 7 trong phần mô tả chi tiết phương án thực hiện của sáng chế, sau đó tín hiệu sẽ được lấy mẫu trở lại theo với tần số lấy mẫu theo công thức 8 trong phần mô tả chi tiết phương án thực hiện của sáng chế. Việc lấy mẫu trở lại theo tần số xác định ở công thức 8 cũng chưa được đề xuất ở bất kỳ sáng chế nào trên thế giới, phương pháp này nhằm mục đích tăng độ chính xác của kết quả ước lượng dịch tần Doppler trong đề xuất của sáng chế.

Bước thứ hai là đồng bộ tinh. Bước này sẽ tính toán sự sai lệch tần số Doppler còn dư sinh ra do quá trình làm tròn số và sai lệch do tính toán có thể có ở bước đồng bộ thô. Sự sai lệch tần số Doppler giữa phát và thu ở bước này gây ra sự lệch pha của cùng một sóng mang ở hai tín hiệu OFDM kế tiếp nhau. Sự sai lệch này sẽ gây ra nhiễu liên kênh ICI (Intercarrier Interference) giữa các sóng mang của hệ thống OFDM. Để khử nhiễu liên kênh ICI thì sáng chế đề xuất cách tính độ lệch tần Doppler sử dụng sóng mang dẫn đường CFP trong khung OFDM (Công thức 9 trong phần mô tả chi tiết phương án thực hiện của sáng chế). Giá trị độ lệch tần Doppler này được quy đổi thành giá trị độ dịch thời gian (Công thức 10 trong phần mô tả chi tiết phương án thực hiện của sáng chế) và được đưa vào để khử nhiễu liên kênh ICI (Công thức 11 trong phần mô tả chi tiết phương án thực hiện của sáng chế). Giải pháp tính độ lệch tần Doppler như trình bày ở công thức 9, và phương pháp quy đổi độ lệch tần Doppler thành giá trị độ dịch thời gian (công thức 10) nhằm mục đích khử nhiễu liên kênh ICI là mới và chưa được đề xuất ở bất kỳ sáng chế nào, do vậy giải pháp khử nhiễu liên kênh ICI của sáng chế là hiệu quả hơn các phương pháp hiện tại và có khả năng ứng dụng công nghiệp.

Sáng chế có thể xử lý dịch tần Doppler hàng nghìn Hz tương đương với tốc độ di chuyển của các đối tượng dưới nước hàng trăm m/s. Do đó sáng chế có thể áp dụng cho các hệ thống có tốc độ thay đổi nhanh trong thời gian ngắn bằng việc sử dụng các khung truyền có thời gian ngắn. Ví dụ 5 khung truyền OFDM tương đương với thời gian khoảng 0,16s.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các hình vẽ dưới đây nhằm mục đích minh họa cho sáng chế được mô tả như sau:

Hình 1 là sơ đồ khối của hệ thống thủy âm mô tả hoạt động của hệ thống thủy âm.

Hình 2 mô tả sơ đồ mô tả bộ ghép xen khối giữa dữ liệu, tín hiệu dẫn đường (pilot) và tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP.

Hình 3 mô tả kỹ thuật chèn sóng mang không và phương pháp sắp xếp lại dữ liệu. Phương pháp chèn sóng mang không và sắp xếp lại sóng mang của hệ thống OFDM nhằm làm cho tín hiệu sau khi biến đổi Fourier là tín hiệu thực.

Mô tả chi tiết phương án thực hiện của sáng chế

Sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế và tính toán độ độ dịch tần Doppler được mô tả một cách chi tiết dựa vào các hình 1, 2 và 3. Trong đó Hình 1 mô tả sơ đồ khối của hệ thống thủy âm ở phía phát, và ở phía thu. Hình 2 mô tả cấu trúc của khung dữ liệu OFDM với các tín hiệu dẫn đường (Pilot) được phát liên tục trong miền tần số. Tín hiệu dẫn đường (Pilot) làm nhiệm vụ phát sóng mang có mức công suất cao hơn các tín hiệu

dẫn đường thông thường khác, nó có thể là một tín hiệu dẫn đường liên tục nằm ở một sóng mang bất kỳ. Trong hình 2, tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP được đặt ở vị trí trung tâm. Hình 3 mô tả phương pháp chèn sóng mang không và phương pháp sắp xếp sóng mang của hệ thống OFDM nhằm làm cho tín hiệu sau khi biến đổi Fourier là tín hiệu thực.

Điểm mới thứ nhất của sáng chế là đề xuất sử dụng một sóng mang trong hệ thống OFDM thành tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP – vừa có chức năng của tín hiệu dẫn đường (Pilot) vừa có chức năng của sóng mang tần số. Mức biên độ cụ thể của CFP ký hiệu là A_c phải lớn hơn mức biên độ trung bình của tín hiệu OFDM:

$$A_c \geq \sqrt{2(M-1)/3} \quad (\text{Công thức 2})$$

Tần số của tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP ký hiệu là F_c được tính:

$$F_c = \Delta F \cdot (c-1) \quad (\text{Công thức 3})$$

Ở đây ΔF là khoảng cách giữa hai sóng mang trong hệ thống OFDM, c là chỉ số sóng mang tương ứng với CFP. Khoảng cách giữa hai sóng mang trong hệ thống OFDM được tính:

$$\Delta F = \frac{f_s}{N-1} \quad (\text{Công thức 4})$$

Với f_s là tần số lấy mẫu của tín hiệu, N là độ dài dùng để biến đổi Fourier cho tín hiệu OFDM. N cũng chính là tổng số sóng mang của hệ thống.

Điểm mới thứ 2 là hệ thống thu thực hiện lấy mẫu lại tín hiệu trước khi thực hiện đồng bộ nên đảm bảo phát hiện chính xác điểm bắt đầu khung dữ liệu. Với y là tín hiệu ở đầu ra khối lọc thông dải BPF (khối 13), L_f là độ dài của y . Tại khối 14 thực hiện biến đổi Fourier rời rạc cho y với độ dài L_f được tín hiệu Y :

$$Y = F\{y\} \quad (\text{Công thức 5})$$

Tần số tín hiệu thu được F_r tương ứng với CFP được tính theo công thức:

$$F_r = \frac{\arg(\max |Y(1:L_f/2)|) \cdot f_s}{L_f} \quad (\text{Công thức 6})$$

Trong đó f_s là tần số lấy mẫu của tín hiệu

Độ lệch tần Doppler khi thực hiện đồng bộ thô sẽ được tính dựa trên tần số thu F_r theo công thức:

$$\Delta f = \left[\frac{(F_c - F_r) \cdot f_s}{F_c} \right] \quad (\text{Công thức 7})$$

Trong đó hàm $[\cdot]$ dùng để làm tròn số. Khi đó tần số lấy mẫu mới f_{rs} được tính:

$$f_{rs} = f_s + \Delta f \quad (\text{Công thức 8})$$

Tần số lấy mẫu này được đưa đến khối 15 để lấy mẫu lại cho tín hiệu y để được tín hiệu y_r , cụ thể là $y_r = \text{resample}(y)$. Tín hiệu y_r sau đó sẽ được đưa đến khối 16.

Điểm mới thứ 3 là tính toán độ lệch tần Doppler dựa trên CFP trong khung tín hiệu OFDM sau khi đã đồng bộ thô. Gọi Γ là góc lệch giữa hai CFP liên tiếp, khi đó Γ sẽ được tính:

$$\Gamma = \text{mean}(\text{angle}(H_{k,i} - H_{k,i+1})) \quad (\text{Công thức 9})$$

Ở đây H là giá trị kênh truyền ước lượng được tại các CFP; k là chỉ số sóng mang con thứ k và i là số thứ tự của tín hiệu OFDM thứ i trong khung tín hiệu OFDM; hàm $mean(.)$ sử dụng để tính giá trị trung bình, và hàm $angle(.)$ dùng để tính góc của một giá trị là số phức. Từ giá trị Γ , độ lệch thời gian giữa hai mẫu tín hiệu trong mỗi tín hiệu OFDM được tính như sau:

$$\Delta t = \frac{\Gamma \cdot f_s}{(N + GI) \cdot 2 \cdot \pi \cdot F_c} \quad (\text{Công thức 10})$$

Tín hiệu thu được qua bộ khử nhiễu ICI như sau:

$$\tilde{y}_r = I_{ICI} \cdot y_r \quad (\text{Công thức 11})$$

Trong đó y_r là tín hiệu thu được ở đầu ra khối 17, \tilde{y}_r sẽ được đưa đến đầu vào khối 22. I_{ICI} là ma trận khử nhiễu ICI được đề xuất như sau:

Trong công thức 12, $g(t)$ là hàm dùng để xây dựng ma trận khử nhiễu I_{ICI} trong miền thời gian :

$$g(t) = \frac{\sin(\pi t / T) \cos(\alpha \pi t / T)}{\pi t / T \quad 1 - 4\alpha^2 t^2 / T^2} \quad (\text{Công thức 13})$$

trong đó α là hệ số cosin nâng, T là chu kỳ lấy mẫu tín hiệu.

1. Nguồn dữ liệu cần phát Data input được gửi đến bộ biến đổi nối tiếp ra song song (S/P)
2. Khối điều chế M-QAM
3. Tín hiệu dẫn đường (Pilot) và tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP
4. Sắp xếp dữ liệu và tín hiệu dẫn đường (pilot) lên các sóng mang của hệ thống OFDM.
5. Khối để chèn không và sắp xếp đặc biệt
6. Biến đổi Fourier ngược (IFFT)
7. Chèn khoảng bảo vệ cho tín hiệu OFDM.
8. Biến đổi tín hiệu từ song song ra nối tiếp (P/S)
9. Bộ biến đổi số thành tương tự DAC
10. Thiết bị thu phát tín hiệu thủy âm (Transducer) phía phát.
11. Thiết bị thu phát tín hiệu thủy âm (Transducer) phía thu.
12. Bộ biến đổi tín hiệu tương tự số ADC
13. Bộ lọc thông dải BPF
14. Khối tính toán độ lệch tần Doppler thô
15. Lấy mẫu lại.
16. Phát hiện điểm bắt đầu của mỗi tín hiệu OFDM.
17. Loại bỏ khoảng bảo vệ (GI) của mỗi tín hiệu OFDM.
18. Biến đổi Fourier thuận (FFT) cho mỗi tín hiệu OFDM.
19. Ước lượng kênh.
20. Tính độ lệch thời gian lấy mẫu của tín hiệu OFDM cần điều chỉnh.
21. Thực hiện việc khử nhiễu ICI trong miền thời gian của mỗi tín hiệu OFDM
22. Biến đổi Fourier thuận (FFT) cho tín hiệu OFDM.
23. Tách các tín hiệu dẫn đường (Pilot) và ước lượng kênh truyền.
24. Ước lượng giá trị dữ liệu truyền đi
25. Giải điều chế M-QAM

Hiệu quả của sáng chế

Việc áp dụng phương pháp đề xuất của sáng chế cho phép ước lượng độ dịch tần Doppler của các hệ thống truyền thông OFDM dưới nước với độ chính xác cao, đồng thời tăng hiệu quả sử dụng băng thông của hệ thống OFDM. Ứng dụng sáng chế cho phép truyền tín hiệu OFDM ở dưới nước trong khi các máy thu phát di chuyển tương đối với tốc độ rất cao. Kết quả mô phỏng cho thấy độ lệch tần Doppler giữa bên phát với bên thu có thể ước lượng chính xác, khi mức độ dịch tần Doppler là hàng nghìn Hz. Với tần số sóng mang cho hệ thống thông tin thủy âm là 24Khz, tần số Doppler này tương đương với tốc độ di chuyển tương đối giữa bên phát và bên thu là hàng trăm m/s. Kết quả này có thể ứng dụng cho thông tin và tàu ngầm, người nhái và điều khiển các robot tự hành dưới biển.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp bù dịch tần Doppler sử dụng tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP cho hệ thống thông tin thủy âm số sử dụng công nghệ OFDM trong đó: tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP được phát đi trên một tần số cố định và được truyền liên tục trong miền thời gian; vị trí sóng mang dẫn đường CFP được đặt ở trung tâm của dải tần hệ thống, hoặc có thể đặt ở một sóng mang bất kỳ nhưng cố định nằm trong dải tần của tín hiệu OFDM; công suất của sóng mang dẫn đường CFP được phát tăng cao hơn mức công suất trung bình của tín hiệu OFDM, và được xác định như sau đối với trường hợp sử dụng phương pháp điều chế M-QAM:

$$A_c \geq \sqrt{2(M-1)/3},$$

ở đây A_c là mức biên độ trung bình của CFP, M là số mức điều chế tín hiệu M-QAM.

2. Phương pháp bù dịch tần Doppler theo điểm 1, trong đó, hệ thống thu thực hiện lấy mẫu lại tín hiệu trước khi thực hiện đồng bộ nhằm đảm bảo phát hiện chính xác điểm bắt đầu khung dữ liệu; ký hiệu y là chuỗi tín hiệu ở đầu ra bộ lọc thông dải BPF, L_f là độ dài của y ; biến đổi Fourier rời rạc của tín hiệu y với độ dài phép biến đổi FFT là L_f cho kết quả tín hiệu Y ở miền tần số như sau:

$$Y = F\{y\};$$

tần số tín hiệu thu được F_r tương ứng với CFP ở phía thu được tính theo công thức:

$$F_r = \frac{\arg\left(\max|Y(1:L_f/2)|\right) \cdot f_s}{L_f},$$

trong đó f_s là tần số lấy mẫu của tín hiệu; độ lệch tần Doppler khi thực hiện ở bước đồng bộ thô sẽ được tính dựa trên tần số thu F_r theo công thức:

$$\Delta f = \left[\frac{(F_c - F_r) \cdot f_s}{F_c} \right],$$

trong đó ký hiệu hàm $[.]$ được dùng để làm tròn số; tần số lấy mẫu lại tại phía thu được ký hiệu là f_{rs} và được tính như sau:

$$f_{rs} = f_s + \Delta f;$$

tần số lấy mẫu f_{rs} được đưa đến khối (15) để lấy mẫu lại cho chuỗi tín hiệu y ; tín hiệu sau khi lấy mẫu lại được ký hiệu là y_r , tức $y_r = \text{resample}(y)$, sẽ được đưa đến khối (16) phục vụ cho mục đích ước lượng và bù dịch tần số Doppler cho hệ thống.

3. Phương pháp bù dịch tần Doppler theo điểm 2, trong đó, độ lệch tần Doppler được tính toán dựa trên tín hiệu sóng mang dẫn đường CFP trong khung tín hiệu OFDM sau khi đã đồng bộ thô; ký hiệu Γ là góc lệch giữa các sóng mang dẫn đường CFP trong hai khung OFDM liên tiếp, khi đó Γ được tính:

$$\Gamma = \text{mean}(\text{angle}(H_{k,i} - H_{k,i+1})),$$

trong đó H là giá trị kênh truyền ước lượng được tại các CFP ở các khung OFDM khác nhau; ký hiệu k là chỉ số sóng mang con thứ k và i là số thứ tự của khung OFDM thứ i ; hàm “*mean*” là hàm dùng để tính giá trị trung bình và hàm “*angle*” dùng để tính góc của một giá trị là số phức; từ giá trị Γ , độ lệch thời gian giữa hai mẫu tín hiệu trong một khung OFDM được xác định như sau:

$$\Delta t = \frac{\Gamma \cdot f_s}{(N + GI) \cdot 2 \cdot \pi \cdot F_c}$$

4. Phương pháp bù dịch tần Doppler theo điểm 3, trong đó tín hiệu thu được khử nhiễu ICI bằng cách nhân ma trận khử nhiễu I_{ICI} với tín hiệu thu y_r ở đầu ra khối(17) như sau:

$$\tilde{y}_r = I_{ICI} \cdot y_r;$$

trong đó \tilde{y}_r là tín hiệu đã được khử nhiễu và sẽ được đưa đến đầu vào khối (22) biến đổi Fourier I_{ICI} là ma trận khử nhiễu.

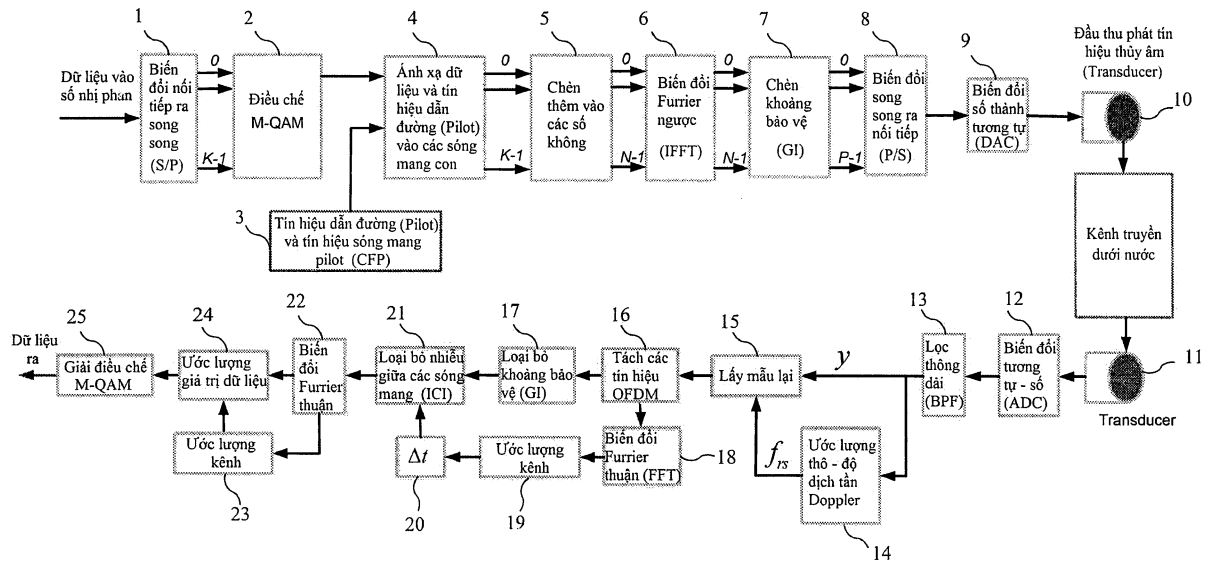
5. Phương pháp bù dịch tần Doppler theo điểm 4, trong đó ma trận khử nhiễu I_{ICI} được xác định như sau:

$$\mathbf{I}_{ICI} = \begin{bmatrix}
g(0) & g(-T) & \dots & g((-L-1)T) & 0 & \dots & 0 \\
g(T-\Delta t) & g(-\Delta t) & \dots & g(-LT-\Delta t) & g((-L-1)T-\Delta t) & \dots & 0 \\
g(2T-2\Delta t) & g(T-2\Delta t) & \dots & g((-L+1)T-2\Delta t) & g((-L-1)T-2\Delta t) & \dots & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
g((L-1)T-(L-1)\Delta t) & g((L-2)T-(L-1)\Delta t) & \dots & g(-3T-(L-1)\Delta t) & g(-5T-(L-1)\Delta t) & \dots & 0 \\
0 & g((L-1)T-L\Delta t) & \dots & g(-2T-L\Delta t) & g(-4T-L\Delta t) & \dots & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & \dots & g(LT-(N-2)\Delta t) & g((L-2)T-(N-2)\Delta t) & \dots & 0 \\
0 & 0 & \dots & 0 & g(LT-(N-1)\Delta t) & \dots & g((N-1)\Delta t)
\end{bmatrix}$$

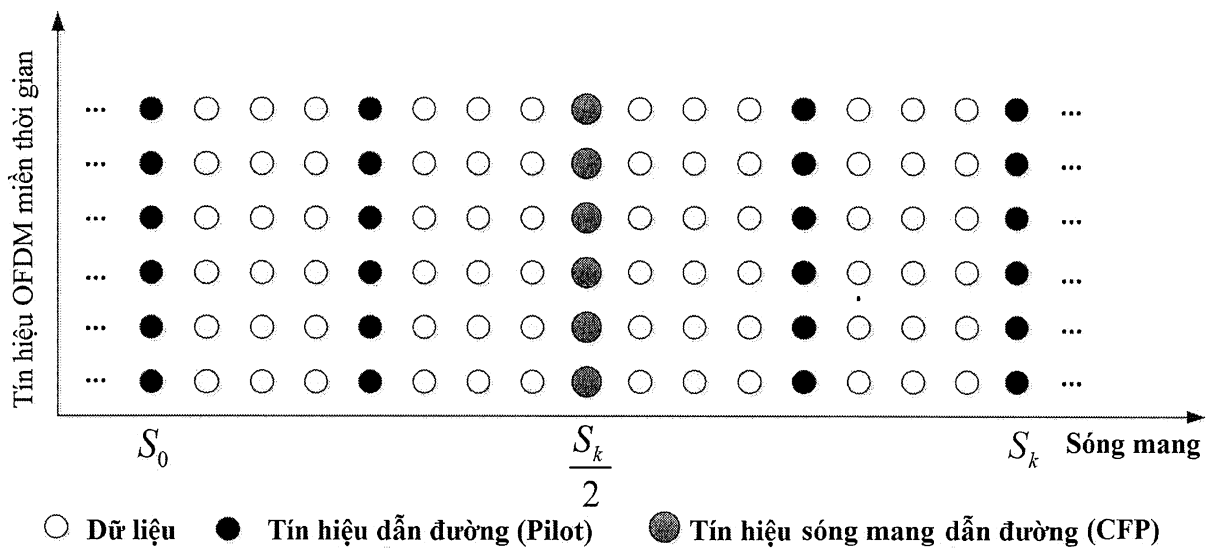
-12- trong đó $g(t)$ là hàm dùng để xây dựng ma trận khử nhiễu \mathbf{I}_{ICI} trong miền thời gian và được xác định như sau:

$$g(t) = \frac{\sin(\pi t / T) \cos(\alpha \pi t / T)}{\pi t / T - 1 - 4\alpha^2 t^2 / T^2},$$

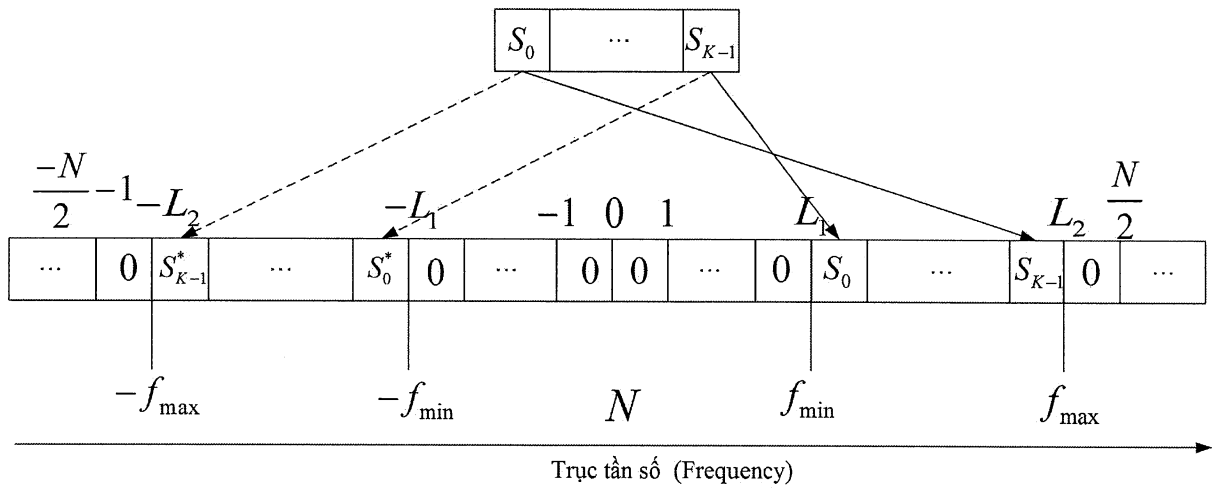
trong đó α là hệ số cosin nâng, T là chu kỳ lấy mẫu tín hiệu.



Hình 1: Sơ đồ khối hệ thống thu phát dữ liệu không dây trên kênh truyền thủy âm



Hình 2: Sơ đồ mô tả bộ ghép xen khối giữa dữ liệu và tín hiệu dẫn đường



Hình 3: Kỹ thuật chèn không và sắp xếp dữ liệu