

# PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG BỘ THỜI GIAN CHO HỆ THỐNG OFDM TRUYỀN DỮ LIỆU DƯỚI NƯỚC

Đặng Thành Trung<sup>1</sup>, Đỗ Đình Hưng<sup>1\*</sup>

\*Tác giả liên hệ, email: hungdd@hou.edu.vn. ORCID: 0009-0000-6265-7452

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 15/01/2026

Ngày phản biện đánh giá: 17/03/2026

Ngày bài báo được duyệt đăng: 14/04/2026

DOI: 10.59266/houjs.2026.1149

**Tóm tắt:** Trong bài báo này, nhóm tác giả xin đề xuất một phương pháp mới dùng để đồng bộ thời gian  $T$  cho hệ thống OFDM sử dụng loại sóng âm thanh để truyền dữ liệu trong môi trường dưới nước. Với đặc điểm của hệ thống thông tin dưới nước là rất hạn chế về băng thông, do tín hiệu bị ảnh hưởng mạnh của nhiễu trắng và nhiễu màu. Kênh truyền biến đổi nhanh với độ dịch tần Doppler lớn nên khi thiết kế các khung truyền dẫn, để tăng hiệu quả băng thông chúng tôi không sử dụng thêm các thông tin mào đầu (preamble) để đồng bộ như trong các hệ thống OFDM sử dụng sóng radio trên mặt đất mà kỹ thuật đồng bộ ở đây chỉ dựa trên khoảng GI của các tín hiệu OFDM để xác định chính xác vị trí bắt đầu của mỗi OFDM. Kết quả thực nghiệm cho thấy thuật toán đồng bộ đề xuất hoạt động tốt và có ưu điểm vượt trội hơn so với một số thuật toán khác trong môi trường truyền thông dưới nước.

**Từ khóa:** đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao, thuật toán đồng bộ, khoảng bảo vệ, phương pháp Schmidl, phương pháp Seung

## I. Đặt vấn đề

Hiện nay, các phương pháp đồng bộ thời gian thông thường sử dụng chuỗi ký tự đặc biệt biết trước hoặc Header như phương pháp của Schmidl (H. Esmail và cộng sự, 2013), phương pháp của Park và Seung (P. A. van Walree, 2013). Các phương pháp này dẫn đến sự thừa của băng thông để gửi các ký hiệu thí điểm. Do đó, tác giả đề xuất một thuật toán đồng bộ hóa thời gian cho thông tin liên lạc âm

thanh dưới nước, sử dụng khoảng bảo vệ (GI) được lấy ra từ trong ký tự OFDM. Mục đích chính của việc sử dụng GI là để chống lại nhiễu ISI.

Thông tin dưới nước (UWA) đang trở thành một trong những vấn đề được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm hiện nay (P. A. van Walree, 2013). Việc truyền tin dưới nước gặp nhiều khó khăn do tốc độ truyền sóng âm rất chậm (1,5km/s) so với tốc độ truyền tín hiệu sóng vô tuyến trong chân không (300,000km/s) nên băng

<sup>1</sup> Khoa Điện - Điện Tử, Trường Đại học Mở Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

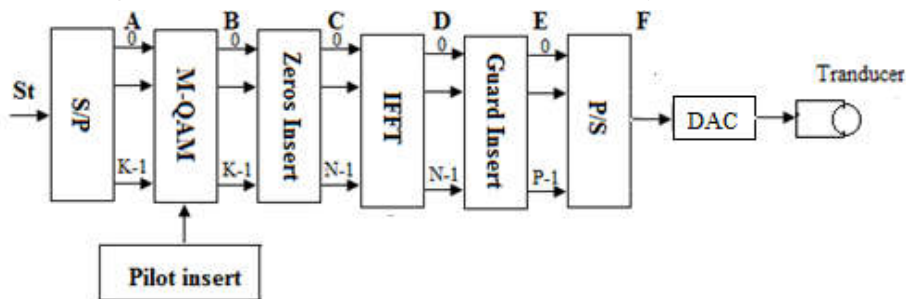
thông truyền tín hiệu trong nước là rất nhỏ chỉ vài Khz đến vài chục Khz (B. Li et và cộng sự, 2007). Ngoài ra do suy hao lớn và nhiễu mạnh do ảnh hưởng của nhiều yếu tố như môi trường, sóng, gió và các phương tiện giao thông đường thủy, ... nên khoảng cách truyền tin cũng bị hạn chế rất nhiều chỉ một vài km (M. Stojanovic, Sept, 2006; J. A. Hildebrand, 2009). Có nhiều kỹ thuật truyền tin đã được áp dụng cho truyền thông dưới nước như ASK, FSK, QAM, đã được ứng dụng từ lâu nhưng có bị hạn chế về tốc độ truyền tin do khả năng điều chế nhiễu mức kém. Một số công nghệ truyền tin mới được ứng dụng trong truyền thông dưới nước như OFDM (P. A. van Walree, 2013) được ứng dụng do khả năng sử dụng hiệu quả băng tần và đặc biệt là khả năng chống nhiễu đa đường tốt (M. Stojanovic and J. Preisig, Jan. 2009). Tuy nhiên OFDM đặc điểm là rất nhạy cảm với sai lệch tần số (B. Li và cộng sự, 2007), do vậy nó cần được đồng bộ chính xác. Do đặc điểm của truyền tin hiệu dưới nước là bị ảnh hưởng rất mạnh của nhiễu và tính chất không tuyến tính của bộ thu phát sóng âm nên băng tần truyền dẫn bị

ảnh hưởng rất mạnh của lựa chọn tần số. Thêm vào đó do băng thông rất hạn chế nên cần hạn chế tối đa các thông tin mào đầu dữ liệu. Vì vậy, luận án đề xuất một phương pháp đồng bộ sử dụng khoảng bảo vệ (GI) của tín hiệu OFDM để xác định điểm bắt đầu của dữ liệu. Ưu điểm của phương pháp này là khả năng xác định chính xác điểm bắt đầu của tín hiệu trong trường hợp có nhiễu mạnh và loại trừ được ảnh hưởng của nhiễu khi chưa có tín hiệu thực sự được truyền đi.

## II. Cơ sở lý thuyết và mô tả hệ thống

Trong truyền thông thủy âm, do tần số tín hiệu truyền thấp, chỉ khoảng một vài chục Khz nên có thể điều chế trực tiếp ở băng tần cơ bản mà không cần thực hiện bước điều chế IQ sau bước biến đổi tín hiệu số sang tương tự như các mô hình OFDM sử dụng sóng radio trên mặt đất. Do không sử dụng bộ điều chế IQ nên dễ có thể truyền được tín hiệu chỉ gồm các giá trị phần thực sau khi biến đổi nhanh Fourier thuận IFFT, kỹ thuật ánh xạ sắp xếp tín hiệu lên sóng mang đặc biệt được sử dụng như Hình 2.

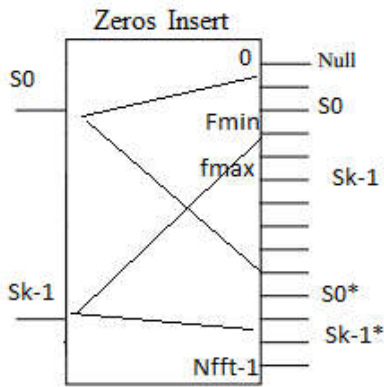
Sơ đồ hệ thống OFDM được thể hiện như hình dưới đây:



Hình 1: Mô hình hệ thống OFDM

Nguyên lý hoạt động của hệ thống OFDM như sau: dòng bit dữ liệu vào sẽ được đưa đến bộ biến đổi nối tiếp thành M dòng bit song song. Tiếp đó các dòng bit này được đưa vào khối thực hiện điều chế MQAM, đầu ra của khối điều

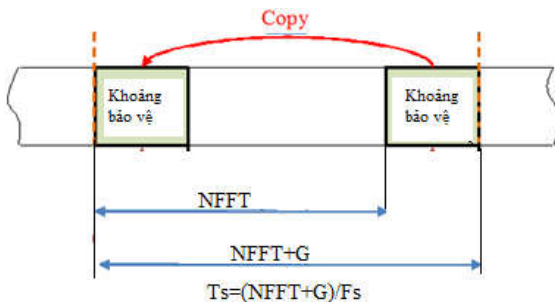
chế MQAM là:  $S=[S_0 S_1 \dots S_{M-1}]$  với  $M \leq (NFFT-1)/2$ . Sau đó tín hiệu sẽ được đưa đến khối chèn không zeros để sắp xếp các tín hiệu lên các sóng mang OFDM tại dải tần số mong muốn được tính toán dựa trên tần số lấy mẫu như sau:



Hình 2: Cách chèn zeros và sắp xếp dữ liệu

$$X = [0 \dots 0 S_0 S_1 \dots S_{M-1} 0 0 \dots S_{M-1}^* \dots S_1^* S_0^* 0 \dots 0]$$

Tín hiệu  $X$  sau khối ánh xạ được đưa qua khối biến đổi nhanh Fourier thuận IFFT sẽ cho  $N_{FFT}$  kết quả đầu ra gồm toàn số thực là tín hiệu  $x(n)$  ở trong miền thời gian. Tiếp đó, tín hiệu được chuyển đổi từ song song sang nối tiếp và đưa tới khối chèn khoảng GI để chống nhiễu ISI (Intersymbol Interference)



Hình 3: Chèn khoảng bảo vệ cho tín hiệu OFDM

rồi qua biến đổi số sang tương tự (DAC) tới bị thu phát transducer để phát đi dưới dạng tín hiệu sóng âm. Ở sơ đồ thu, tín hiệu nhận được thông qua bộ thu âm thanh Hydrophone sẽ được giải mã OFDM theo trình tự ngược lại.

### III. Phương pháp, vật liệu nghiên cứu

Đặc điểm của tín hiệu OFDM trong môi trường thủy âm là chịu ảnh hưởng rất lớn của nhiễu, hiệu ứng Doppler do

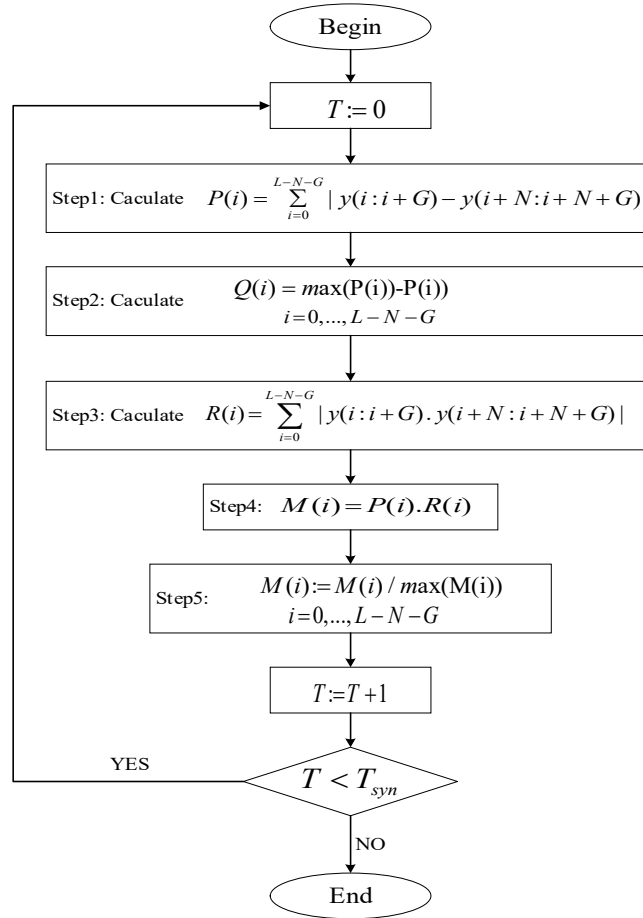
sóng mặt nước, kênh lựa chọn tần số và đặc tuyến vật lý không tuyến tính của các phương tiện thu phát như transducer và hydrophone nên trong kỹ thuật đồng bộ việc chúng ta xác định điểm bắt đầu của OFDM symbol là khá khó khăn. Hiện nay, nhiều phương pháp đồng bộ OFDM symbol được ứng dụng nhưng việc đồng bộ thường dựa trên những chuỗi tín hiệu được thiết kế đặc biệt như các phương pháp của Schmidl (M. Stojanovic và cộng sự, 2009), phương pháp Park và phương pháp của Seung. Những thiết kế này không phù hợp với tiêu chí truyền tin của chúng tôi đó là tiết kiệm băng thông và hạn chế việc sử dụng thông tin mào đầu. Ngoài ra, do đặc điểm tín hiệu sóng âm khác với sóng điện từ nên việc sử dụng các phương pháp đồng bộ ở trên cho hiệu quả xác định thời gian bắt đầu của tín hiệu OFDM không cao. Ở đây, nhóm tác giả đề xuất một thuật toán phù hợp với tín hiệu truyền thông dưới nước là chỉ sử dụng khoảng GI để đồng bộ cho tín hiệu, phương pháp này mang lại sự chính xác và hiệu quả sử dụng băng thông cao.

Thuật toán đồng bộ được đề xuất được mô tả như sau: cho  $x(n)$  là một tín hiệu truyền qua kênh  $h(n)$ . Sau đó, tín hiệu thu được  $y(n)$  có thể được biểu diễn như sau:

$$y(n) = h(n) * x(n) + w(n)$$

Trong đó  $w(n)$  là nhiễu.

Vị trí bắt đầu của mỗi tín hiệu OFDM được phát hiện bằng cách tìm kiếm vị trí của khoảng bảo vệ. Thuật toán đề xuất để tìm kiếm GI dựa trên tiêu chí MSE được mô tả như sau:



Hình 4: Thuật toán đồng bộ thời gian sử dụng chuỗi GI

Nội dung của lưu đồ thuật toán được diễn giải như sau:

- Bước 1: Tính tổng chênh lệch biên độ giữa tín hiệu thu được  $y(i)$  và  $y(i+N)$  như sau:

$$P(i) = \sum_{i=0}^{L-N-G} |y(i:i+G) - y(i+N:i+N+G)| \quad (1)$$

Với  $i$  là chỉ số của mỗi ký tự OFDM,  $G$  là độ dài chuỗi bảo vệ GI,  $L$  là độ dài của tín hiệu  $y(n)$  và  $N$  là độ dài FFT.

- Bước 2: Tính toán hàm như sau:

$$Q(i) = \max(P(i)) - P(i) \quad (2)$$

Với  $i=0, \dots, L-N-G$ :

- Bước 3: Nhân tín hiệu  $y(i)$  và  $y(i+N)$  như sau:

$$R(i) = \sum_{i=0}^{L-N-G} |y(i:i+G) . y(i+N:i+N+G)| \quad (3)$$

- Bước 4: Ma trận thời gian  $M(i) = P(i) \cdot R(i)$  được xác định bằng cách nhân  $P(i)$  với  $R(i)$  như sau:

$$M(i) = P(i) \cdot R(i) \quad (4)$$

- Bước 5: Chuẩn hóa ma trận thời gian  $M(i) = P(i) \cdot R(i)$ :

$$M(i) := M(i) / \max(M(i)) \quad (5)$$

Với  $i=0, \dots, L-N-G$ .

### III. Kết quả và thảo luận

Hệ thống được nhóm tác giả thực hiện tại Hồ Tiên trong khuôn viên trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Khoảng cách đo được giữa bộ phát và thu là 80m. Tín hiệu phát đi được máy tính thu lại với tần số lấy mẫu là 95Khz sau đó sẽ được xử lý bằng Matlab.



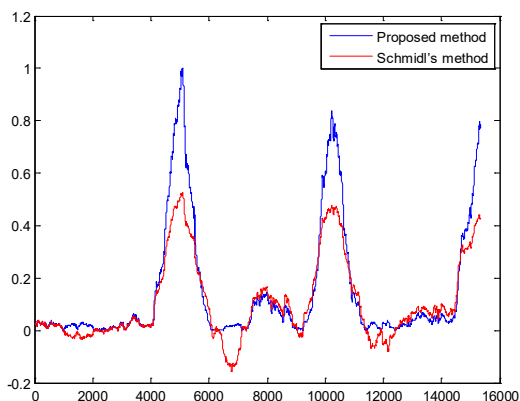
Các thông số đầu vào điều chế OFDM được thể hiện trong Bảng dưới đây:

Bảng 1. Các thông số hệ thống

Tần số lấy mẫu	96Khz
Băng thông	12-15Khz
NFFT	4096
GI	1024
Số mức điều chế	QPSK
Độ dài 1 OFDM symbol	125ms



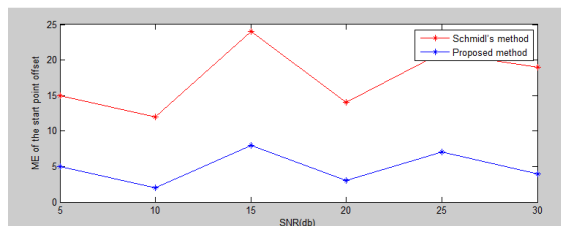
Hình 4. Tín hiệu OFDM thu được thực tế



Hình 5. Kết quả tín hiệu đồng bộ của phương pháp đề xuất với phương pháp Schmidl

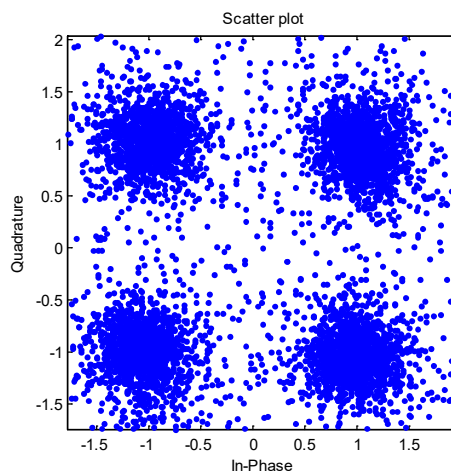
Sử dụng tín hiệu truyền thực nghiệm ta có thể thấy là với phương pháp đồng bộ

được đề xuất cho khả năng nhận diện điểm bắt đầu của tín hiệu OFDM tốt hơn so với phương pháp Schmidl (M. Stojanovic và cộng sự, 2009). Hình 6 là Kết quả so sánh độ chính xác sai lệch định vị điểm bắt đầu của OFDM symbol của phương pháp chúng tôi đề xuất với phương pháp Schmidl (M. Stojanovic và cộng sự, 2009).



Hình 6: Sai lệch trung bình điểm đồng bộ thời gian giữa phương pháp đề xuất với phương pháp Schmidl

Kết quả của chòm sao thu được sau khi giải mã như sau:



Hình 7. Chòm sao OFDM thu được

Như vậy, dựa vào kết quả so sánh Hình 6 cho sai lệch trung bình của điểm đồng bộ phương pháp đề xuất tại các vị trí đồng bộ có giá trị nhỏ hơn đối với phương pháp Schmidl. Điều đó chứng tỏ phương pháp được trình bày trong bài báo có khả năng ứng dụng tốt trong thực tiễn. Với kết quả của chòm sao thu được sau khâu điều chế QPSK cho ta thấy rõ 4 chòm sao tại 4 vị trí, điều đó cũng cho thấy khả năng giải

mã và khôi phục tín hiệu tại bên thu là rất khả quan.

#### IV. Kết luận

Việc sử dụng phương pháp điều chế OFDM đã khắc phục được ảnh hưởng nhiễu đa đường và hiệu ứng Doppler trong truyền dữ liệu dưới nước là hoàn toàn có thể thực hiện được. Công nghệ OFDM cũng giúp cải thiện hiệu quả truyền dẫn trong điều kiện băng thông hạn hẹp của kênh truyền dưới nước dẫn. Thực tế thì thuật toán đồng bộ thời gian đề xuất mới chỉ áp dụng cho trường hợp kênh tĩnh với ảnh hưởng của hiệu ứng Doppler nhỏ sinh ra do sóng mặt nước chứ chưa có sự chuyển động của máy thu phát. Trong trường hợp có sự chuyển động tương đối giữa máy thu phát thì cần phải tính đến các giải pháp để đồng bộ cả tần số nữa.

#### Tài liệu tham khảo

- B. Li, S. Zhou, M. Stojanovic, L. Freitag, and P. Willett, (2007): Non-uniform Doppler compensation for zero-padded OFDM over fast-varying underwater acoustic channels, in *OCEANS 2007-Europe*. IEEE, pp.1-6.
- H. Esmail and D. Jiang, (Aug. 2013): Review article: Multicarrier communication for underwater acoustic channel, *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, vol. 6, pp. 361-376.
- J. A.Hildebrand, (2009): Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean, *Marine Ecology Progress Series*, vol. 395, pp. 5-20.
- Dinh Hung Do, Quoc Khuong Nguyen, (2017): Comparison of single carrier FDMA vs. OFDMA in underwater acoustic communication system, *Journal of Science & Technology on Information and Communications (JSTIC)*, ISSN 2525-2224, pp.65-68.
- M.Stojanovic, (Sept. 2006) :Low complexity OFDM detector for underwater acoustic channels, *IEEE Oceans Conf*.
- M. Stojanovic and J. Preisig, (Jan. 2009): Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization. *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 1, pp. 84-89.
- P. A. van Walree, (2013): Propagation and scattering effects in underwater acoustic communication channels, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. vol. 38, no. 4, pp. 614-631.

# SIGNAL SYNCHRONIZATION METHOD FOR UNDERWATER COMMUNICATION SYSTEMS

Dang Thanh Trung<sup>1</sup>, Do Dinh Hung<sup>1</sup>

***Abstract:** This paper proposes method for synchronizing the time of OFDM signals using acoustic waves for underwater communication. Underwater communication is characterized by limited bandwidth due to strong interference from white and color noise. The channel changes rapidly with large Doppler shifts, so to increase bandwidth efficiency, we did not design additional preamble information for synchronization as in radio-based OFDM systems. Therefore, the synchronization technique here relies only on the guard interval of the OFDM signals to determine the start point of each OFDM signal, rather than using the preamble information of the transmission frames. Experimental results show that the synchronization algorithm performs well and has significant advantages over some other algorithms in underwater communication environments.*

***Keywords:** OFDM (orthogona frequency divition multiplexing), synchronization method, GI (Guard Interval), schmidl's method, seung's method*

---

<sup>1</sup> Faculty of Electric and Electronic Engineering, Hanoi Open University, Hanoi, Vietnam