SÓNG CON GÓI – MỘT DẠNG SÓNG MANG NHIỀU CHIỀU SỬ DỤNG TRONG TRUYỀN DẪN SỐ BĂNG GỐC CÓ HIỆU QUẢ CAO

THE WAVELET PACKET – A HIGH-EFFECTIVE MULTIDIMENSIONAL WAVEFORM USING IN BASE BAND DIGITAL TRANSMISSION

TS. LÊ QUỐC VƯỢNG
Khoa Điện - Điện tử tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt

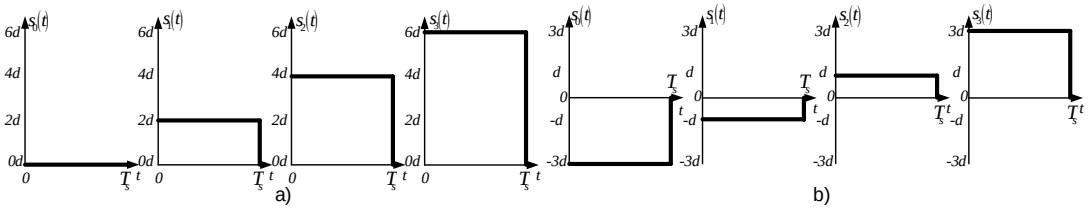
Bài viết này trình bày việc sử dụng sóng con gói như một dạng sóng mang để truyền dẫn tín hiệu số băng gốc. Đồng thời với các phân tích lý thuyết, tác giả đã tiến hành mô phỏng và từ đó đưa ra những kết quả nhằm khẳng định rằng, việc ứng dụng sóng con là có hiệu quả cao và làm tăng độ tin cậy của quá trình truyền tin.

Abstract

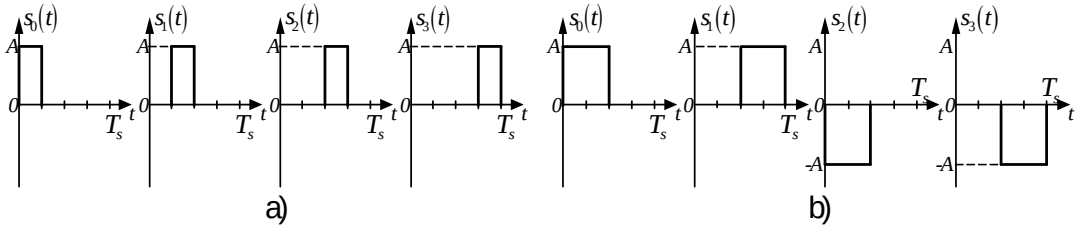
This article presents the using of wavelet packet as an waveform for base band digital transmission. Concurrently with the theoretical analysis, the author has performed simulations and from there have brought out results to confirm, that the using of wavelets have high-effect and increase the reliability of informational transmission.

1. Đặt vấn đề

Trong một số bài viết trước đây đã trình bày việc ứng dụng các tín hiệu nhiều chiều trong truyền dẫn số băng gốc và cũng đã phân tích rằng đó chính là một giải pháp tối ưu. Hình 1.1 minh họa một số dạng sóng mang 1 chiều là các ***dạng sóng nhiều mức biên độ*** đóng ngắt và đối cực. Hình 1.2 minh họa một số dạng sóng mang nhiều chiều, cùng mức năng lượng hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong truyền dẫn dữ liệu internet tốc độ thấp (1260, 1269, …) hay trong một số chuẩn truyền thông công nghiệp đó là các ***dạng sóng trực giao đồng năng lượng*** (Equal - Energy Orthogonal Signals – EEOS). Hình 1.3 minh họa một số ***dạng sóng mang nhiều chiều trực giao*** khác hiện đang được nghiên cứu và thử nghiệm nhằm tìm ra một giải pháp tối ưu, đạt hiệu quả cao, độ tin cậy trong truyền tin lớn, nghĩa là với cùng một giá trị SNR thì xác suất lỗi bit là nhỏ nhất có thể. Với mục tiêu đó và cũng theo xu hướng sử dụng các sóng mang nhiều chiều trực giao, tác giả đã đề xuất phương án sử dụng các ***sóng con gói*** (Wavelets Packet), hay còn gọi là ***sóng con Walsh-Haar kết hợp*** làm sóng mang truyền dẫn tín hiệu số băng gốc trong các phần sau.



Hình 1.1. Các dạng sóng mang nhiều mức biên độ dạng đóng ngắt (a) và đối cực (b) với M=4.

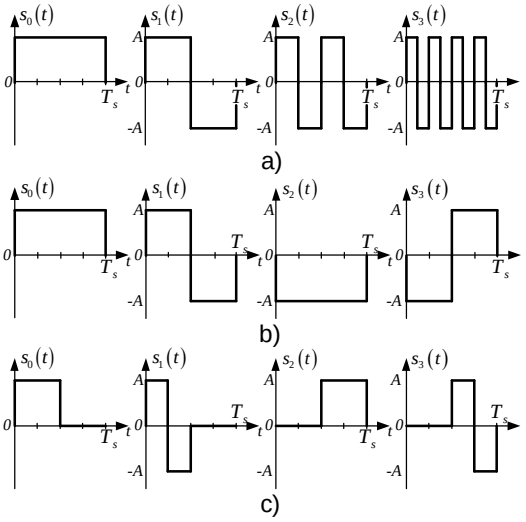


Hình 1.2. Các dạng sóng tín hiệu EEOS trực giao (a) và trực giao đôi (b) với M=4.

2. Ứng dụng sóng con gói làm tín hiệu sóng mang

2.1. Nhận xét chung

Khi sử dụng các sóng con làm sóng mang, chúng ta có thể hiểu điều này như là điều chế tần số xung (Pulse Frequency Modulation – PFM) cho mỗi symbol thông tin. Vì thế giải pháp này có ưu điểm nổi bật là: Nó không yêu cầu phải ước lượng chính xác sự dịch pha của kênh như trường hợp sử dụng các dạng sóng tín hiệu trực giao nhiều chiều khác trước đây. Theo lý thuyết, người ta có thể đưa ra một số các sóng con là trực giao hoặc trực giao đôi cũng thuộc loại dạng sóng tín hiệu trực giao nhiều chiều như trình bày trên hình 1.3 làm các sóng mang. Nhưng trên thực tế, mỗi loại trong số đó đều có những nhược điểm khiến chúng không thể đưa vào ứng dụng được. Các song con trong trường hợp 1.3a có số chiều quá lớn (8 chiều với *M*=4). Chú ý rằng khi số chiều lớn, tần số nhịp lớn, kéo theo số bit biểu diễn của symbol nhiều và tốc độ truyền tin giảm. Trường hợp 1.3b là dạng sóng trực giao đôi. Nhược điểm của các tín hiệu trực giao đôi là: Do chúng không hoàn toàn trực giao với nhau nên xác suất lỗi bit của nó lớn hơn so với trường hợp tín hiệu trực giao đồng năng lượng với cùng một mức SNR. Trường hợp 1.3c theo [2] có 2 nhược điểm cơ bản là: 1) Có nhiều mức biên độ (1, 0 và -1); Và 2) Chứa nhiều bit 0 liên tiếp nên phía thu thường yêu cầu phải ước lượng được chính xác độ dịch pha của kênh như các dạng sóng tín hiệu trực giao nhiều chiều EEOS.



Hình 1.3. Các sóng con tr. giao Haar (a), tr. giao đôi (b) và tr. giao 3 mức là sóng mang với M=4.

2.2. Nguyên tắc tạo tín hiệu dạng sóng con

Xuất phát từ xung vuông của sóng mang gốc được cho như một hàm tỷ lệ và áp dụng theo phương trình dãn, chúng ta có:

$$s_0(t) = \phi(t) = A.g(t) = A.\left[g(2t) + g\left(2t - \frac{T}{2}\right)\right] \quad (2.1)$$

Mặt khác, nếu áp dụng theo phương trình sóng con, chúng ta sẽ thu được sóng con mẹ (sóng con cơ bản) là:

$$s_1(t) = w(t) = A.\left[g(2t) - g\left(2t - \frac{T}{2}\right)\right] \quad (2.2)$$

Từ đó, các sóng con hài bậc cao của Haar có dạng:

$$s_m(t) = s_{m-1}(2t) + s_{m-1}\left(2t - \frac{T}{2}\right), \text{ với } \; m = 2,3,...,M \quad (2.3)$$

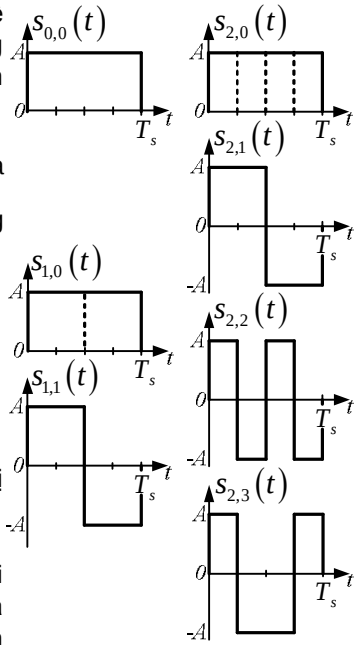
Tương tự, các sóng con hài bậc cao của Walsh có dạng:

$$s_m(t) = s_{m-1}(2t) - s_{m-1}\left(2t - \frac{T}{2}\right), \text{ với } \; m = 2,3,...,M \quad (2.4)$$

Các sóng con của Haar theo (2.3) có dạng đã được đưa ra trên hình 1.3a. Việc sử dụng các sóng con riêng biệt hoặc của Haar hoặc của Walsh là không khả thi vì tính tăng nhanh của số chiều khi *M* tăng như đã nói trong phần trên.

2.3. Giải pháp ứng dụng: Sóng con gói

Trong phần này chúng ta sẽ đưa ra các sóng con có thể ứng dụng như các dạng sóng mang thực tế. Giải pháp của chúng ta là dùng các ***sóng con của Walsh và Haar kết hợp***, hay còn được gọi là các ***sóng con gói***.



Hình 2.1. Các sóng con gói.

Ký hiệu sóng mang gốc như (2.1) là $s_{0,0}(t)$, nghĩa là $s_{0,0}(t) = Ag(t)$. Như vậy ta có các sóng con cơ bản (mẹ) xây dựng theo các phương trình dãn và sóng con là:

$$s_{1,0}(t) = s_{0,0}(2t) + s_{0,0}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.5)$$

$$s_{1,1}(t) = s_{0,0}(2t) - s_{0,0}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.6)$$

Đây có thể cho như các dạng sóng mang cho tín hiệu nhị phân ($M = 2^1 = 2$).

Khi đó, với trường hợp $M = 2^2 = 4$, chúng ta cần phải xác định được 4 dạng sóng làm các sóng mang. Bằng cách dựa theo các phương trình dãn của Walsh và phương trình sóng con của Haar chúng ta tìm được biểu thức tương ứng của các sóng con đó là:

$$s_{2,0}(t) = s_{1,0}(2t) + s_{1,0}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.7)$$

$$s_{2,1}(t) = s_{1,0}(2t) - s_{1,0}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.8)$$

$$s_{2,2}(t) = s_{1,1}(2t) + s_{1,1}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.9)$$

$$s_{2,3}(t) = s_{1,1}(2t) - s_{1,1}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.10)$$

Đồ thị của các sóng con $s_{0,0}(t)$ theo (2.1), $s_{1,0}(t)$, $s_{1,1}(t)$, $s_{2,0}(t)$, $s_{2,1}(t)$, $s_{2,2}(t)$ và $s_{2,3}(t)$ theo từ (2.5) đến (2.10) được trình bày trên hình 2.1.

Trong trường hợp chung nhất $M = 2^k > 4$, bằng cách quy nạp tương ứng, các sóng con được xác định theo các phương trình của Walsh và của Haar dưới 2 biểu thức tổng quát (với $i = 0 \div \left(\frac{M}{2} - 1\right)$):

$$s_{k,2i}(t) = s_{(k-1),i}(2t) + s_{(k-1),i}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.11)$$

$$s_{k,(2i+1)}(t) = s_{(k-1),i}(2t) - s_{(k-1),i}\left(2t - \frac{T}{2}\right) \qquad (2.12)$$

Từ (2.11) và (2.12) có thể đi đến nhận xét là, tất cả các sóng con này đều có cùng mức năng lượng bằng nhau, đó là:

$$E = \int_0^T s_{k,h}^2(t)\,dt = A^2T \text{ , với } \quad h = 0,1,...,(M-1) \tag{2.13}$$

Bằng cách tương tự như [1] ta có thể chứng minh xác suất lỗi symbol đối với dạng sóng con gói là:

$$P_s = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left\{1-\left[1-Q(y)\right]^{M-1}\right\} e^{-\frac{\left(y-\sqrt{2E/N_0}\right)^2}{2}}\,dy \tag{2.14}$$

Tương ứng với xác suất lỗi bit là:

$$P_b = \frac{2^{k-1}}{2^k-1}P_s \tag{2.15}$$

Như vậy, theo cách phân tích giải tích chúng ta thấy rằng với cùng một giá trị SNR, thì xác suất lỗi bit đối với dạng sóng con gói là thấp nhất.

3. Đánh giá hiệu quả sử dụng sóng con gói thông qua mô phỏng hệ thống truyền dẫn tín hiệu số băng gốc

Để đánh giá hiệu quả của giải pháp sử dụng các sóng con theo (2.11) và (2.12) trong một hệ thống truyền dẫn số băng gốc chúng ta áp dụng mô hinh mô phỏng Monte-Carlo để xác định xác suất lỗi bit. Trong mô hình này, trước hết chúng ta phải tiến hành mô phỏng được các vecto dạng sóng tín hiệu. Chúng ta nghiên cứu trường hợp ví dụ với $M = 4$, trong đó các vecto sóng con (2.7) đến (2.10) được mô phỏng tương ứng với các symbol là:

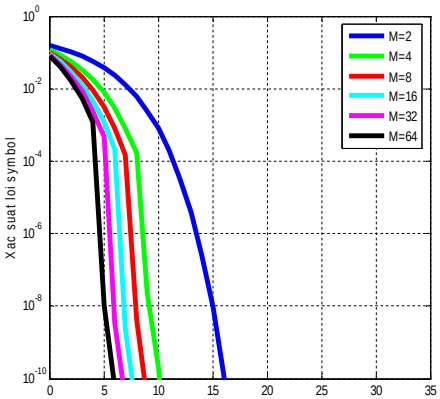
$$\mathbf{s}_{2,0} = [1,\ 1,\ 1,\ 1] \rightarrow 00 \tag{3.1}$$

$$\mathbf{s}_{2,1} = [1,\ 1,\ -1,\ -1] \rightarrow 01 \tag{3.2}$$

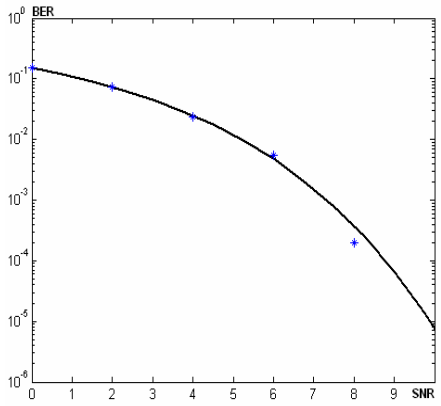
$$\mathbf{s}_{2,2} = [1,\ -1,\ 1,\ -1] \rightarrow 10 \tag{3.3}$$

$$\mathbf{s}_{2,3} = [1,\ -1,\ -1,\ 1] \rightarrow 11 \tag{3.4}$$

Các chương trình *xsloisc.m*, *songcon4.m* cùng với thủ tục *fsc4.m* viết trên MATLAB cho kết quả lý thuyết và mô phỏng được trình bày trên hình 3.1 và 3.2.



Hình 3.1. Đồ thị xác suất lỗi theo lý thuyết áp dụng sóng con gói với M khác nhau.



Hình 3.2. Đồ thị xác suất lỗi sóng con gói lý thuyết và mô phỏng với M=4.

4. Kết luận

Hiện tại, trong hệ thống truyền tin số băng gốc, các phương án đang sử dụng các dạng sóng tín hiệu được trình bày trong phần 1 còn có rất nhiều các hạn chế như: Vấn đề thay đổi công

suất phát; Xác suất lỗi tỷ lệ nghịch với sự tăng lên của số bit trên 1 symbol *k* (tương ứng là *M*); Số chiều không gian lớn (hoặc tốc độ truyền tin thấp); Yêu cầu phải ước lượng được độ dịch pha của kênh;… Do đó, chúng ta có thể khẳng định là phương án sử dụng các sóng con trực giao Walsh – Haar kết hợp có tính khả thi cao nhất vì nó khắc phục được các hạn chế cơ bản nói trên. Nói cách khác, việc đề xuất sử dụng các sóng con trực giao là một ý tưởng, một giải pháp rất thích hợp, tối ưu nhiều mặt và có nhiều triển vọng rất đáng quan tâm.

Mặt khác, ngoài các nghiên cứu lý thuyết, để có điều kiện đi sâu nghiên cứu và tiếp tục phát triển hoàn thiện hơn nữa về vấn đề này, tác giả đã đề xuất các chương trình mô phỏng. Đây là một cách tiếp cận với thực tế một cách hữu dụng, mềm dẻo, kinh tế và có hiệu quả cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J. G. Proakis, M. Salehi, ***Contemporary Communication System using MATLAB***, Brooks/Cole Publisshing Company, Northeastern University, Canada, 2000.

[2] Gilbert Strang, Truong Nguyen, ***Wavelets and Filter Banks***, Wellesley–Cambridge Press, Wellesley MA, USA, 1996.

[3] Martin Vetterli, Jelena Kovacevic, Wavelets and Subband Coding, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.

[4] J. G. Proakis, M. Salehi, ***Communication Systems Engineering***, Upper Saddle River, Prentice Hall, Inc., USA, 1994.

[5] J. G. Proakis, ***Digital Communication (3rd ed)***, MCGraw-Hill, New York, USA, 1995.

Người phản biện: TS. Phạm Văn Phước