
SỬ DỤNG TÍN HIỆU NHIỀU CHIỀU TRONG TRUYỀN DẪN SỐ BẰNG GỐC

USING MULTIDIMENSIONAL SIGNALS IN BASEBAND DIGITAL TRANSMISSION

TS. LÊ QUỐC VƯỢNG
Khoa Điện - ĐTTB, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Đối với việc truyền dẫn số bằng gốc, có hai phương pháp cơ bản là: Truyền dẫn một bit hoặc nhiều bit trên mỗi sóng mang. Theo cách thứ nhất, mỗi một dạng sóng sẽ mang một bit thông tin. Theo cách còn lại, chúng ta phải sử dụng nhiều dạng sóng mà chúng được đặt theo các mức biên độ hay theo các chiều không gian. Trong bài viết này, chúng ta sẽ xem xét các khả năng của việc sử dụng tín hiệu nhiều chiều trong truyền dẫn số bằng gốc.

Abstract:

For the baseband digital transmission, there are two fundamental methods: Transmit one bit or multiple bits per signal waveform. Under the first method, each signal waveform conveys one bit of information. Under the remaining method, we must use signal waveforms that take on multiple amplitude levels or on multiple spacial dimensions. In this article, we consider the advantages of the using multidimensional signals in baseband digital transmission.

1. Đặt vấn đề

Việc truyền dẫn nhiều bit trên một tín hiệu sóng mang được thực hiện bằng cách tổ hợp (hay nhóm) một số k bit liên tiếp thông tin nhị phân thành 1 symbol và tiến hành mã hóa (điều chế số) mỗi symbol tương ứng với 1 dạng tín hiệu sóng mang. Khi tổ hợp k bit thành 1 symbol sẽ tạo ra một tập các symbol có lực lượng là $M = 2^k$ và cũng sẽ cần tới M dạng tín hiệu sóng để tải thông tin. Yêu cầu cơ bản nhất đối với một hệ thống truyền dẫn số là có xác suất lỗi bit thấp nhất, từ đó các dạng tín hiệu sóng tải tin khác nhau tương ứng với các symbol khác nhau phải có độ phân biệt giữa chúng lớn nhất có thể được. Để tạo ra các dạng tín hiệu sóng mang khác nhau với độ phân biệt lớn, về lý thuyết chia thành 2 hướng chính là các dạng tín hiệu sóng mang nhiều mức biên độ và tín hiệu nhiều chiều trực giao. Trong thực tế, giải pháp kỹ thuật nào được ứng dụng với ưu nhược điểm cụ thể ra sao sẽ được phân tích trong các phần sau.

Lợi thế của việc truyền dẫn nhiều bit trên một tín hiệu sóng mang thể hiện ở tốc độ truyền. Gọi tốc độ truyền 1 bit trên một tín hiệu sóng mang là R_b , với $R_b = 1/T_b$, trong đó T_b là thời gian kéo dài của 1 tín hiệu sóng mang và R_b có đơn vị là $[bit/s]$. Khi đó, tốc độ truyền 1 symbol (k bit) trên một tín hiệu sóng mang là R_s , với $R_s = 1/T_s$, trong đó T_s cũng là thời gian kéo dài của 1 tín hiệu sóng mang và R_s có đơn vị là $[baud/s]$. Nếu ký hiệu R_{sb} là tốc độ truyền symbol nhưng theo đơn vị là $[bit/s]$, thì rõ ràng $R_{sb} = k.R_s$ và ta luôn có $R_{sb} \geq R_b$, nghĩa là tốc độ truyền theo symbol (tính theo $[bit/s]$) thường lớn hơn so với tốc độ truyền theo từng bit. Dấu "=" chỉ có thể xảy ra khi $T_s = k.T_b$, nghĩa là thời gian kéo dài của 1 tín hiệu sóng mang symbol lớn gấp k lần thời gian kéo dài của 1 tín hiệu sóng mang bit. Trên thực tế, việc xác định các thông số T_b và T_s là độc lập với nhau và có thể có giá trị xấp xỉ như nhau. Khi $T_s = T_b$ thì $R_{sb} = k.R_s = k.R_b$. Vậy nếu k càng lớn thì tốc độ truyền theo symbol càng lớn và rõ ràng ta có lợi hơn về tốc độ truyền.

Giới hạn trên của k phụ thuộc vào các yếu tố và dạng tín hiệu sóng mang như thế nào sẽ được thảo luận chi tiết trong các phần sau.

2. Tín hiệu nhiều mức biên độ (multiple amplitude levels signals – mals)

Mỗi dạng tín hiệu sóng mang thứ m (với $m = 0 \div (M - 1)$) với nhiều mức biên độ (Có thể xem như dạng điều chế biên độ xung PAM – Hình 2.1) là:

$$s_m(t) = A_m \cdot g(t) \quad (2.1)$$

Trong đó:

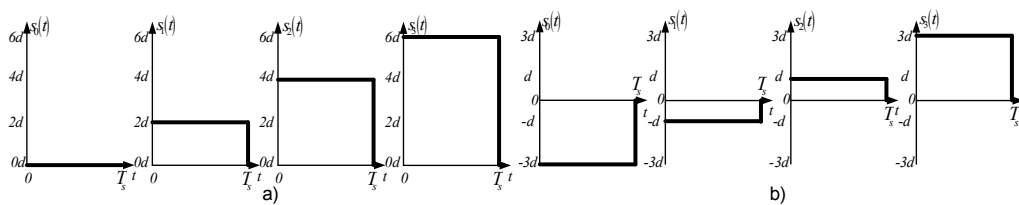
- $g(t)$ là hàm dạng xung sóng mang, có dạng chữ nhật được xác định theo:

$$g(t) = \begin{cases} \sqrt{1/T} & \text{khi } 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{khi } t \text{ còn lại} \end{cases} \quad (2.2)$$

- A_m là biên độ của dạng sóng mang thứ m , xác định theo 2 cách:

1) Dạng đóng ngắt (Hình 2.1a): $A_m = 2md$;

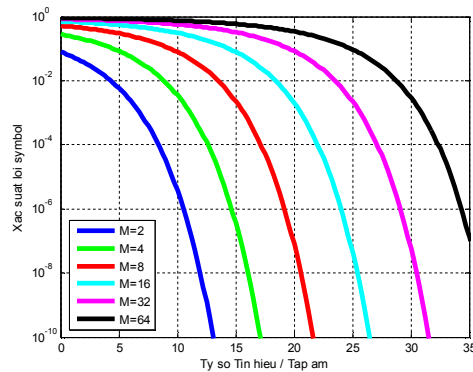
2) Dạng đối cực (Hình 2.1b): $A_m = (2m - M + 1)d$.



Hình 2.1. Minh họa các dạng sóng tín hiệu 4 mức biên độ dạng đóng ngắt (a) và đối cực (b)

Thông số $2d$ là khoảng cách Euclide giữa 2 mức tín hiệu liên tiếp. Nếu chọn d càng lớn thì độ phân biệt giữa các tín hiệu sóng mang càng lớn, xác suất lỗi giảm, nhưng công suất phát xạ thay đổi nhiều, giảm hiệu quả kỹ thuật đối với hệ thống thông tin. Đối với dạng đóng ngắt số lần thay đổi công suất là M lần, còn dạng đối cực là $M/2$.

Nhược điểm cơ bản của dạng tín hiệu sóng mang nhiều mức biên độ là khi tích hợp càng nhiều bit trong 1 symbol thì xác suất lỗi truyền tin càng cao. Về mặt lý thuyết có thể giải thích là nếu giữ nguyên khoảng biến thiên công suất, khi k tăng kéo theo M tăng và do đó d giảm. Như trên đã trình bày là khi d giảm thì xác suất lỗi lại tăng lên. Điều này cũng có thể khẳng định qua mô phỏng thu được các đặc tuyến xác suất lỗi bit biến thiên theo tỷ số tín hiệu trên tạp âm, trong đó k là thông số (Hình 2.2). Rõ ràng với cùng một tỷ số tín hiệu trên tạp âm, xác suất lỗi bit giảm khi k tăng. Chính vì nhược điểm này dạng tín hiệu sóng mang nhiều mức biên độ thường không được sử dụng trong truyền tin số.

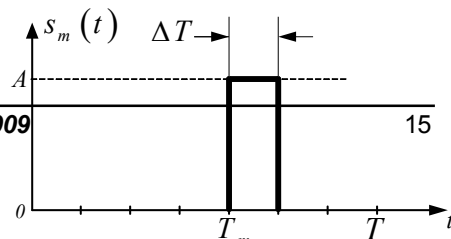


Hình 2.2. Đồ thị xác suất lỗi theo SNR - MALS

3. Tín hiệu nhiều chiều trực giao (multidimensional orthogonal signals)

Dạng tín hiệu sóng mang nhiều mức biên độ có thể biểu diễn hình học (biểu đồ sao) như M điểm trên 1 trục số nên thường được gọi là tín hiệu một chiều (*one-dimensional*). Trong phần này sẽ nghiên cứu dạng tín hiệu sóng mang có biểu đồ sao gồm M điểm trong không gian N chiều, gọi là tín hiệu nhiều chiều (*multi-dimensional*).

3.1. Tín hiệu trực giao đồng năng lượng (Equal-Energy Orthogonal Signals – EEOS)



Hình 3.1. Một dạng sóng tín hiệu trực giao đồng năng lượng – EEOS

Hình 3.1 là hình vẽ mô tả 1 tín hiệu sóng mang trực giao đồng năng lượng $s_m(t)$ (Có thể xem như dạng điều chế pha xung PPM). Các thông số trên hình được xác định như sau.

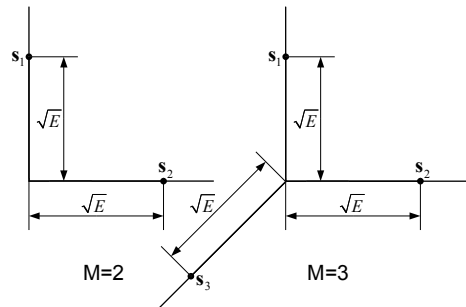
- ΔT thời gian kéo dài của 1 xung sóng mang, được tính bằng $\Delta T = T_s / M$;
- T_m pha của xung sóng mang thứ m , được tính bằng $T_m = m.\Delta T$.

Hình 3.2 là các biểu đồ sao tương ứng với các dạng tín hiệu trực giao đồng năng lượng với $M = 2$ và $M = 3$. Tổng quát hóa, dạng tín hiệu trực giao đồng năng lượng $M = 2^k$ sóng mang được biểu diễn như một tập M vecto trực giao trong không gian M chiều:

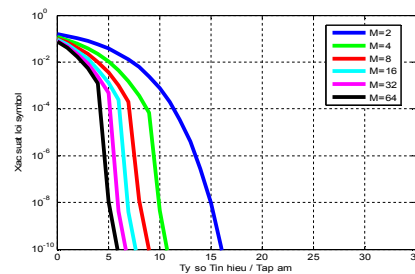
$$\begin{aligned} s_0 &= (\sqrt{E}, 0, 0, \dots, 0) \\ s_1 &= (0, \sqrt{E}, 0, \dots, 0) \\ &\dots \\ s_{M-1} &= (0, 0, 0, \dots, \sqrt{E}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Kết quả mô phỏng truyền dẫn số bằng tín hiệu sóng mang trực giao đồng năng lượng thu được đồ thị của xác suất lỗi bit như một hàm của tỷ số tín hiệu trên tạp âm với thông số M được trình bày trên hình 3.3. Hình vẽ này cho thấy, khi số bit k tích hợp trên 1 symbol tăng, M tăng thì xác suất lỗi bit lại giảm. Như vậy việc ứng dụng dạng tín hiệu sóng mang trực giao đồng năng lượng để truyền dẫn thông tin số là rất khả thi. Song phương án này có 2 hạn chế cơ bản là:

- 1) Không gian biểu diễn tín hiệu (số trục của biểu đồ sao) là quá lớn;
- 2) Yêu cầu đồng bộ về pha (khôi phục định thời/đồng hồ) là rất nghiêm ngặt.



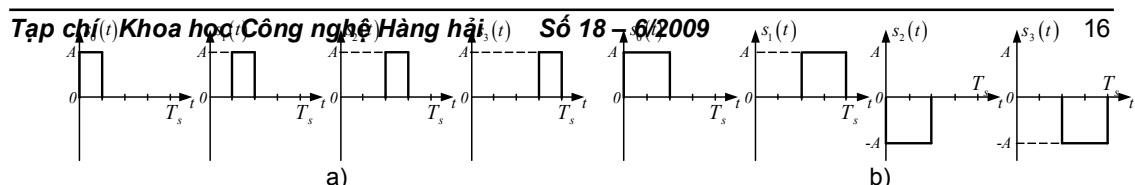
Hình 3.2. Biểu đồ sao tín hiệu EEOS



Hình 3.3. Đồ thị xác suất lỗi theo SNR – tín hiệu EEOS

3.2. Tín hiệu trực giao đôi (Biorthogonal Signals)

Phương án trung hòa nhằm giảm không gian biểu diễn tín hiệu là dạng tín hiệu sóng mang trực giao đôi. Nguyên tắc xây dựng các tín hiệu sóng mang là trong không gian $M/2$ chiều, một nửa số dạng sóng đầu tiên $s_0(t), s_1(t), \dots, s_{(M/2)-1}(t)$ là trực giao cùng năng lượng; Một nửa số dạng sóng còn lại chính là các dạng sóng ban đầu với dấu ngược lại (đối cực), nghĩa là: $s_{i+(M/2)}(t) = -s_i(t)$ với $i = 0, 1, 2, \dots, (M/2) - 1$. Như vậy $M = 2^k$ tín hiệu sóng mang trực giao



Hình 3.4. Các dạng sóng tín hiệu EEOS trực giao (a) và trực giao đôi (b) với $M=4$

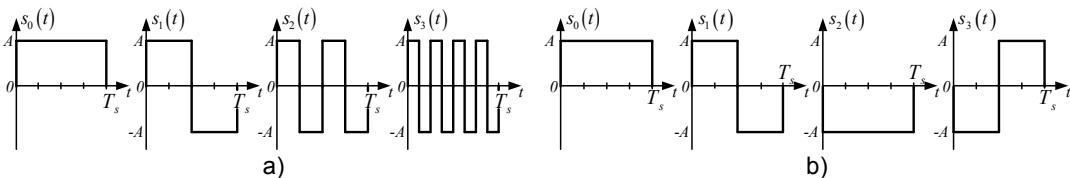
đôi được biểu diễn như một tập M vecto trực giao trong không gian $M/2$ chiều là:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{s}_0 &= (\sqrt{E}, 0, 0, \dots, 0) \\
 \mathbf{s}_1 &= (0, \sqrt{E}, 0, \dots, 0) \\
 &\dots \\
 \mathbf{s}_{(M/2)-1} &= (0, 0, 0, \dots, \sqrt{E}) \\
 \mathbf{s}_{M/2} &= (-\sqrt{E}, 0, 0, \dots, 0) \\
 &\dots \\
 \mathbf{s}_{M-1} &= (0, 0, 0, \dots, -\sqrt{E})
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Về mặt vật lý các thông số của một nửa tín hiệu sóng mang trực giao đôi đầu tiên $s_m(t)$ ($m = 0, 1, 2, \dots, (M/2) - 1$) được xác định như sau: Thời gian kéo dài của 1 xung sóng mang là $\Delta T = 2T_s/M$ và pha của xung sóng mang thứ m vẫn được tính bằng $T_m = m \cdot \Delta T$. Hình 3.3. mô tả 4 tín hiệu sóng mang dạng trực giao đồng năng lượng và trực giao đôi với $M = 4$.

Dạng tín hiệu sóng mang trực giao đôi mặc dù vẫn yêu cầu đồng bộ về pha rất nghiêm ngặt, song hiện vẫn đang được ứng dụng nhiều do đặc điểm có xác suất lỗi thấp với tỷ số tín hiệu trên tạp âm (SNR) không cần lớn.

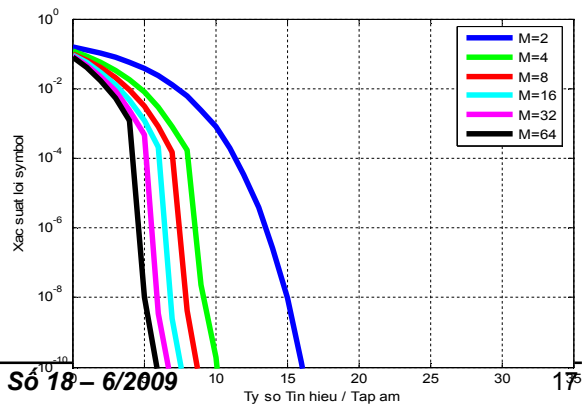
3.4. Tín hiệu trực giao co giãn (Shrink-Stretch Orthogonal Signal)



Hình 3.5. Các dạng sóng tín hiệu SSOS trực giao (a) và trực giao đôi (b) với $M=4$

Tín hiệu trực giao co giãn (Có thể xem như dạng điều chế tần số xung PFM) còn được gọi là tín hiệu sóng con Haar trực giao (Haar's Wavellet Orthogonal Signals) vì có dạng các sóng con của Haar. Hình 3.5 là hình vẽ mô tả tín hiệu sóng mang trực giao co giãn với $M = 4$. Hình 3.5a là các tín hiệu sóng mang trực giao co giãn cơ bản, hình 3.5b là các tín hiệu sóng mang trực giao co giãn đối cực (giảm không gian biểu diễn tín hiệu) cũng còn được gọi là trực giao co giãn đôi.

Sử dụng các tín hiệu trực giao co giãn là phương án truyền tin số có tính khả thi cao nhất vì khắc phục được các hạn chế cơ bản của các tín hiệu trực giao đồng năng lượng và trực giao đôi, nhưng hiện nay nó vẫn chưa được ứng dụng mạnh trong thực tế do các nghiên cứu lý thuyết vẫn chưa hoàn chỉnh và còn nhiều vấn đề đang bàn cãi. Để có điều kiện tiếp cận và tham gia nghiên cứu về vấn đề này, tác giả bước đầu đã đề xuất một chương trình mô phỏng đánh giá xác suất lỗi dựa trên mô hình Monte Carlo và kết quả thu được đồ thị của xác suất lỗi bit như một hàm của tỷ số tín hiệu trên tạp âm với thông số M được trình bày trên hình 3.6 (tương tự như đồ thị trên hình 3.3). Từ đồ thị này suy ra các tính chất truyền dẫn đối với tín hiệu trực giao co giãn cũng tương tự như tín hiệu trực giao đồng năng lượng và trực giao đôi là khi M tăng thì xác suất lỗi bit giảm. Nếu so sánh



Hình 3.6. Đồ thị xác suất lỗi theo SNR – tín hiệu SSOS

với phương pháp truyền dẫn sử dụng tín hiệu trực giao đồng năng lượng có cùng độ dài symbol (cùng M) thì xác suất lỗi của phương pháp này thấp hơn nhiều. Ưu điểm hơn nữa của tín hiệu trực giao co giãn là yêu cầu đồng bộ không nghiêm ngặt như đối với tín hiệu trực giao đồng năng lượng.

4. Kết luận

Việc sử dụng tín hiệu trực giao co giãn trong truyền dẫn số có thể cho là một giải pháp có nhiều triển vọng đáng quan tâm. Chính vì thế ngoài các nghiên cứu lý thuyết, để có thể đưa vào ứng dụng phổ biến, chúng ta rất cần tiếp cận với nó về mặt thực tế một cách gần hơn nữa như tiến hành thử nghiệm, đo đạc đánh giá trong các điều kiện thật, mà một trong những giải pháp hữu dụng, mềm dẻo, kinh tế và hiệu quả cao là mô phỏng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. G. Proakis, M. Salehi, *Contemporary Communication System using MATLAB*, Brooks/Cole Publishing Company, Northeastern University, Canada, 2000.
- [2]. P. V. Rooyen, M. Lotter, D. V. Wyk, *Space-Time Processing for CDMA Mobile Communications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 2001.
- [3]. J. G. Proakis, M. Salehi, *Communication Systems Engineering*, Upper Saddle River, Prentice Hall, Inc., USA, 1994.
- [4]. J. G. Proakis, *Digital Communication (3rd ed)*, MCGraw-Hill, New York, USA, 1995.

Người phản biện: TS. Phạm Văn Phước

.....