

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT QUÉT TRẢI SÓNG MANG GIẢM THIỂU HIỆU ỨNG NHIỀU ĐA ĐƯỜNG TRONG HỆ THỐNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN DƯỚI NƯỚC

APPLICATION OF SWEEP-SPREAD CARRIER (S2C) TECHNIQUE TO REDUCE MULTIPATH PROPAGATION EFFECTS IN UNDERWATER COMMUNICATION SYSTEM

TS. LÊ QUỐC VƯỢNG; KS. NGUYỄN THANH VÂN
 Khoa Điện – ĐTTB, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Kỹ thuật quét trải sóng mang ra đời để khắc phục hiệu ứng nhiễu đa đường, là vấn đề ảnh hưởng nghiêm trọng tới hệ thống thông tin vô tuyến dưới nước. Bài viết này trình bày tổng quan về cơ sở lý thuyết ứng dụng kỹ thuật quét trải sóng mang để giảm thiểu tối nhất nhiễu đa đường này.

Abstract:

Sweep-Spread carrier (S2C) technique is introduced to overcome multipath propagation effects which causes severe impact on the underwater communication system. This article presents an overview of the theoretical basis of application of this technique to reduce these effects.

1. Đặt vấn đề

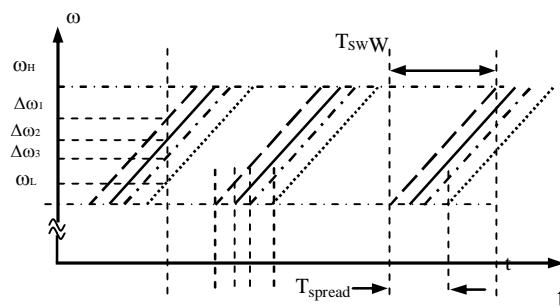
Nguyên nhân chính ảnh hưởng đến độ tin cậy và tốc độ truyền dẫn cao trong truyền thông dưới nước (UWA) là do hiện tượng nhiễu xuyên ký tự (ISI) mạnh mẽ, nhất là tại bề mặt phản xạ, giữa các đối tượng chuyển động. Việc sử dụng các tần số sóng mang thông thường cho các đầu vào đa đường khác nhau gây ra sự khó khăn rất lớn cho các bộ cân bằng để bù trừ sự ảnh hưởng này. Sự phản xạ tại mặt phân cách và các đối tượng khác nhau sẽ chi phối đến cấu trúc đa đường. Để có thể xác định chính xác các đầu vào đa đường mà không cần sử dụng các cấu trúc xử lý phức tạp như các bộ cân bằng thích nghi, thay vào đó, một đơn vị xử lý đơn giản sẽ được bổ sung vào đầu thu thực hiện chuyển đổi các đầu vào đa đường với thời gian thay đổi phức tạp thành sự kết hợp các đầu vào đa đường có khoảng cách tần số bằng việc sử dụng một loại tín hiệu sóng mang mới được áp dụng - sóng mang S2C.

2. Phương pháp quét - trải sóng mang

2.1. Sóng mang S2C

Thông thường, khi truyền một tín hiệu có tần số không đổi qua một kênh có sự thay đổi về thời gian và phản xạ, sẽ xảy ra hiện tượng giao thoa giữa các tín hiệu đầu vào (có độ bất ổn định cao) với các thành phần khác dẫn tới pha cũng như biên độ của tín hiệu thu được sẽ bị thay đổi thường xuyên. Dưới các điều kiện đó, sẽ rất phức tạp trong giải mã các tín hiệu có pha hoặc biên độ như vậy. Tuy nhiên, bằng việc sử dụng các tín hiệu với sóng mang có tần số biến đổi đều (sóng mang quét) thì có thể giải quyết được vấn đề này. Nếu sự biến đổi của tần số khá lớn và mỗi tín hiệu đa đường đến nơi thu với thời gian trễ riêng, sẽ có tần số riêng của nó mà sự sai khác đáng kể so với các tần số khác của tất cả các đầu thu khác. Vì vậy, ví dụ, về cơ bản, một tần số của tín hiệu quét bị có thể bị giảm trong tần số của tín hiệu quét trực tiếp và bằng cách này, ảnh hưởng của hiệu ứng đa đường có thể được tránh một cách hiệu quả. Tốc độ quét càng lớn thì vấn đề giải quyết đa đường càng có thể đạt được.

Sóng mang S2C gồm một chuỗi các sóng quét có tần số từ ω_L đến ω_H trong khoảng thời gian T_{SW} , và tất cả các sóng mang quét sẽ được xử lý đồng bộ bởi bộ tuyến tính với sự thay đổi



Hình 1. Nguyên lý sóng mang S2C.

tần số nhanh mà không có khoảng trống giữa chúng. Theo đó, một sóng mang như vậy có thể được tính bằng công thức sau:

$$c(t) = A_c \exp \left[j \left(\omega_L \left(t - \left\lfloor \frac{t}{T_{SW}} \right\rfloor T_{SW} \right) + m \left(t - \left\lfloor \frac{t}{T_{SW}} \right\rfloor T_{SW} \right)^2 \right) \right] \quad (1)$$

Trong đó A_c là biên độ, $m = (\omega_H - \omega_L) / 2T_{SW}$ là hệ số biểu thị tốc độ biến thiên của tần số, ω_L, ω_H lần lượt là tần số góc nhỏ nhất và lớn nhất, T_{SW} là khoảng thời gian quét, và $\left\lfloor \frac{t}{T_{SW}} \right\rfloor$ là toán hạng biểu thị phép lấy phần nguyên.

$$\text{Đặt: } \left(t - \left\lfloor \frac{t}{T_{SW}} \right\rfloor T_{SW} \right) = \left\{ \frac{t}{T_{SW}} \right\} T_{SW}(t) \quad (2)$$

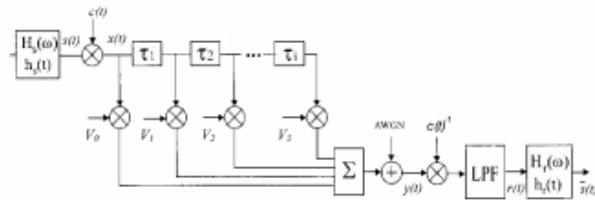
Và có thể coi đây là chu kỳ thực tế của T_{SW} .

Nét riêng biệt của sóng mang được nhân mạnh trong công thức (1) chính là sự xuất hiện thành phần bậc 2 trong dấu ngoặc đơn (Lưu ý, các sóng mang quét được điều chế với hệ số m).

2.2. Truyền dẫn tín hiệu trên kênh sử dụng S2C

Giả sử các symbol được điều chế với sóng mang S2C, có nghĩa là $x(t) = s(t).c(t)$, kết quả thu được tín hiệu quét – trải (tín hiệu S2). Sau đó, tín hiệu được truyền dẫn qua kênh UWA với mô hình của kênh như sau:

Trong đó, các khâu trễ τ_i đặc trưng cho môi trường truyền dưới nước, là khoảng thời gian giữa hai đầu vào đa đường và các hệ số V_i thể hiện các suy hao do nhiễu giao thoa có thể có.



Hình 2. Mô hình 1 kênh UWA.

Thành phần $h_s(t)$ thể hiện đáp ứng xung của bộ lọc phát và $h_r(t)$ là của bộ lọc thu đối với các tần số trung tần.

Nếu mỗi hệ số V_i và phân tử τ_i đều không thay đổi qua các đường truyền thì tín hiệu được truyền đến đầu thu có dạng:

$$y(t) = V_0 x(t) + \sum_i V_i x(t - \tau_i) + n(t) \quad (3)$$

Trong đó: $x(t)$ đã được định nghĩa ở trên, $x(t - \tau_i)$ được cho bởi:

$$x(t - \tau_i) = s(t - \tau_i) \exp \left[j \left(\omega_L \left\{ \frac{t - \tau_i}{T_{SW}} \right\} T_{SW} + m \left(\left\{ \frac{t - \tau_i}{T_{SW}} \right\} T_{SW} \right)^2 \right) \right] \quad (4)$$

Và $n(t)$ là nhiễu trắng. Hiển nhiên là:

$$\left\{ \frac{t - \tau_i}{T_{SW}} \right\} T_{SW} = \begin{cases} t_c - \tau_{ci}, & t_c \geq \tau_{ci} \\ T_{SW} + t_c - \tau_{ci}, & t_c < \tau_{ci} \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó $t_c = \left\{ \frac{t}{T_{SW}} \right\} T_{SW}$ là chu kỳ thực tế được định nghĩa ở (2) và $t_{ci} = \left\{ \frac{t_i}{T_{SW}} \right\} T_{SW}$ là khoảng thời

gian trễ liên quan đến chu kỳ quét T_{SW} . Vì vậy, mỗi tín hiệu vào trễ được thể hiện trong công thức (3) có thể được viết lại:

$$x(t - \tau_i) = \begin{cases} s(t - \tau_i) \exp [j(\omega_L(t_c - \tau_i) + m(t_c - \tau_i)^2)], & t_c \geq \tau_i \\ s(t - \tau_i) \exp [j(\omega_L(T_{SW} + t_c - \tau_i) + m(T_{SW} + t_c - \tau_i)^2)], & t_c < \tau_i \end{cases} \quad (6)$$

Từ (6) có thể viết lại:

$$x(t - t_i) = s(t - t_i) \exp[j(\omega_L t_c + m t_c^2)] \exp[j(-\Delta\omega_i t_c + \varphi_i)] \quad (7)$$

Trong đó:

$$\Delta\omega_i = \begin{cases} 2m\tau_{ci}, & t_c \geq t_{ci} \\ -2m(T_{SW} - \tau_{ci}), & t_c < t_{ci} \end{cases}$$

Nếu tính tới độ lệch tần số của mỗi đầu vào đa đường ith được đưa tới bởi bộ trễ τ_i và pha của đầu vào đa đường ith là φ_i với:

$$\varphi_i = \begin{cases} (m\tau_i - \omega_L)\tau_{ci}, & t_c \geq t_{ci} \\ (\omega_L + \omega_L - 2m\tau_{ci})\frac{T_{SW} - \tau_{ci}}{2}, & t_c < t_{ci} \end{cases}$$

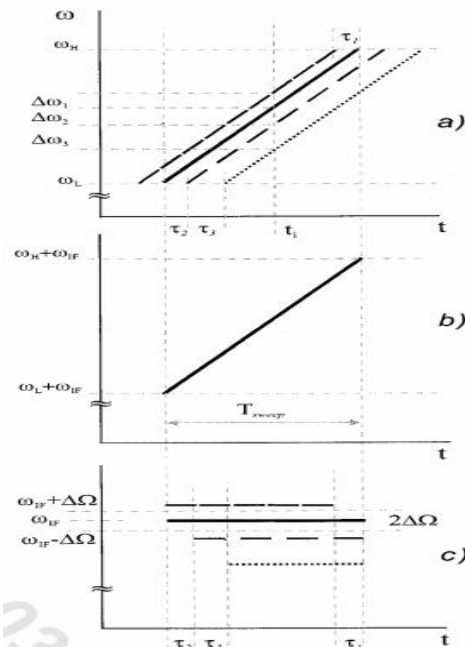
Với $i = 0$ trong công thức số (3) thể hiện sự suy giảm của tín hiệu gốc và các thành phần khác biểu thị tín hiệu đa đường là do tín hiệu bị trễ trễ, suy hao, dịch tần. Điều quan trọng trong công thức (7) là ứng với mỗi đầu vào đa đường thì có độ lệch tần số khác nhau $\Delta\omega_i$. Hiệu quả này được chỉ ra trong hình 1 (Quan sát trực tần số tại các điểm t_i).

Tương tự với các kênh có thời gian thay đổi. Thêm vào trong công thức (3) và (4) thành phần ω_d , thể hiện ảnh hưởng của hiệu ứng Doppler đối với tín hiệu thu. Do đó, thành phần đầu tiên trong công thức (3) được viết lại là $x(t) = \exp(j\omega_d t)$ và công thức (4) phải được thực hiện với thành phần tần số Doppler đó là:

$$x(t - \tau_i) = s(t - \tau_i) \exp \left[j \left(\omega_L \left\{ \frac{t - \tau_i}{T_{SW}} \right\} T_{SW} + m \left(\left\{ \frac{t - \tau_i}{T_{SW}} \right\} T_{SW} \right)^2 \right) \right] \exp(j\omega_d^i (t - \tau_i)) \quad (8)$$

Trong đó ω_d^i là tần số Doppler ứng với đường truyền i th. Thành phần cuối trong công thức số (8) phản ánh sự dịch pha/tần số theo thời gian được đưa ra bởi tín hiệu trong kênh. Trong trường hợp này, ω_d^i thể hiện sự phụ thuộc thời gian của đường truyền i th, ví dụ, do chính sóng gây ra, sự phản xạ từ bề mặt chuyển động, sự chuyển động v.v... Công thức (8) cho thấy tuy rằng các đường dẫn đa đường sẽ gây ra hiệu ứng Doppler nhưng chúng không xuất hiện đồng thời (sẽ không tương tác với nhau), trong khi đó ω_d^i - sự mở rộng băng tần của tín hiệu đa đường ith- là có giới hạn nên nếu gọi giá trị lớn nhất là $\omega_{d \max}^i$ thì giá trị này không thể vượt quá $\frac{1}{2}$ khoảng chênh lệch tần số giữa hai đầu vào đa đường liên tiếp ($\omega_{d \max}^i < \Delta\omega_i / 2$). Trong trường hợp này, mỗi đầu vào, sẽ bị méo dạng mạnh mẽ với mỗi khoảng Doppler tương ứng, trong dải tần số đã định và không ảnh hưởng đến giải tần số khác nên không xảy ra hiện tượng nhiễu xuyên điều chế do Doppler.

Vì vậy, giá trị ω_d^i đáng chú ý nhất của nó là giá trị $\omega_{d \max}^i$, đưa đến giới hạn đầu vào của bộ quyết định ở đầu thu. Thông thường, để bộ quyết định làm việc tốt thì bất đẳng thức sau phải thỏa mãn $\Delta\omega_i \gg \omega_{d \max}^i$. Sự thực hiện mỗi bất đẳng



Hình 3. (a) Một tín hiệu sóng mang quét tạo ra 4 đầu vào đa đường; (b) Tín hiệu sóng mang quét của bộ dao động nội; (c) Phổ của các tần số trung tần.

thức này trở nên dễ dàng trong các kênh UWA, lợi dụng mối tương quan giữa tốc độ truyền âm dưới nước thấp và sự thiết lập các tín hiệu quét lần lượt.

3. Xử lý tín hiệu ở đầu thu

Để đơn giản hóa quá trình xử lý tín hiệu, giả sử rằng chỉ có một vài symbol được truyền qua kênh để tổng thời gian tương ứng chỉ có một tín hiệu quét.

Hình 3a thể hiện hình ảnh của tín hiệu đến đầu thu qua bốn đường truyền dẫn khác nhau. Mặc dù chỉ có một tín hiệu sóng mang quét đơn được truyền đi nhưng do tín hiệu đến bằng các đường khác nhau (đa đường) nên sẽ tạo ra bốn chu kỳ sóng mang S2C bị dịch với khoảng thời gian trễ τ_i ở đầu thu. Cùng xem xét một đường liên. Như đã chỉ ra, nó thể hiện tỷ số SNR tốt nhất, đầu ra này có thể phân biệt từ với các đầu ra khác chính xác đối với sự xử lý xa hơn. Tuy nhiên, đòi hỏi phải có kỹ thuật cao khá cao để thiết kế một bộ lọc tạo dạng nhằm phân tách các tần số sóng mang khác nhau.

Vì vậy, một phép biến đổi hợp lý (giải trải phổ) phải được thực hiện đầu tiên, đó là, sự biến thiên tần số phải bị loại bỏ. Phép biến đổi này đưa đến một phép nhân tín hiệu thu được với tín hiệu dao động nội có cùng chu kỳ quét và cùng độ biến thiên (độ dốc) tần số.

Phép biến đổi bắt đầu với việc trộn lẫn các tín hiệu thu (hình 3a) với tín hiệu sóng mang quét của bộ dao động nội (hình 3b). Với sự định thời chính xác, sự phát hiện tín hiệu mong muốn bắt đầu một cách chính xác ngay tức thì khi tín hiệu đa đường chính đến. Giống như việc trộn hai thành phần phổ, thành phần thấp hơn mô tả các tần số trung tần rất thích hợp cho sự xử lý xa hơn. Hình 3c thể hiện phổ của các tần số trung tần (IF) trong dải thông thấp. Mỗi đường phổ trong phạm vi tương ứng với một đầu ra của tín hiệu S2C được đưa tới từ đường dẫn đa đường. Mỗi phần có khoảng thời gian trễ, mỗi đầu ra đa đường cũng có một giá trị tần số riêng (là kết quả mong muốn). Đây là cơ sở tách tín hiệu đa đường trong miền tần số qua các bộ lọc thông dải thông thường. Sau khi đã phân biệt (về tần số), mỗi đầu ra đa đường có thể dễ dàng được xử lý một cách độc lập trong bất cứ cách thức nào để đánh giá các thông số thông tin của nó.

4. Kết luận

Những nghiên cứu kỹ thuật quét – trải sóng mang S2C kể trên đã cho thấy hiệu quả của phương pháp trong việc làm giảm ảnh hưởng của truyền dẫn đa đường trong các đường truyền âm dưới nước. Đặc biệt, đối với các kênh truyền gần mặt nước, sự truyền thông có thể được nâng lên căn bản bằng việc thực hiện phương pháp sóng mang S2C.

Đặc điểm quan trọng cốt lõi của phương pháp là việc lọc tín hiệu không chỉ trong miền thời gian mà đồng thời cả miền tần số. Với việc ứng dụng thuộc tính của các tín hiệu sóng âm để truyền thông dưới nước với tốc độ thấp, phương pháp cho phép chúng ta mở rộng phạm vi truyền các tín hiệu đa đường theo thời gian – tần số bằng việc đảo thời gian trễ của chúng sang phân bố tần số, với việc áp dụng đầy đủ các sóng quét. Đây chính là ưu điểm đáng kể của phương pháp.

Sự phân biệt các đầu vào đa đường càng cao thì độ dốc của các sóng mang quét càng phải lớn. Mặt khác, các sóng quét càng dốc thì chu kỳ của sóng mang S2C càng phải ngắn. Nếu chu kỳ sóng mang trở lên quá ngắn thì sẽ dẫn tới sự chồng lấn giữa chu kỳ của một đầu vào sẽ chồng lên chu kỳ của đầu vào trước. Bởi vậy, chu kỳ của sóng mang S2C T_{SW} phải lớn hơn thời gian trải trễ của kênh để không xảy ra sự chồng lấn giữa các sóng quét.

Phương pháp tiếp cận này cho thấy khả năng nâng cao độ tin cậy (tăng SNR) bằng việc truyền đi các sóng mang quét trải S2C - làm giảm ảnh hưởng của nhiễu băng hẹp. Vì vậy, phương pháp này sẽ mở ra khả năng tăng khoảng cách truyền thậm chí tại các tần số cao hơn (từ 80 đến 90kHz) được sử dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Konstantin G. Kebkal, Rudolf Bannasch, *Sweep-spread carrier for underwater communication over acoustic channels with strong multipath propagation*, Journal Acoustical Society of America, Vol. 112(4), pp. 2043-2052, October 2002.
- [2] T. S. Yang, Al-Kurd M, *Environmental impact on phase coherent underwater acoustic communications*, in Proceeding 16th International Congress on Acoustic, Vol.1, pp. 301-302, Seattle, WA, June 1998.
- [3] M. Stojanovic, J. A. Catipoivich, J. G. Proaskis, *Adaptive multichannel combining and equalization for underwater acoustic communications*, Journal Acoustical Society of America, Vol.94, pp. 1621-1631,1993.

Người phản biện: TS. Phạm Văn Phước