
ÁP DỤNG THUẬT TOÁN THÍCH NGHI ĐỂ XÁC ĐỊNH HỆ SỐ TẮNG ÍCH CỦA CÁC KHẤU TRONG BỘ SAN BẰNG

APPLICATION OF ADAPTIVE ALGORITHM TO DEFINITE THE TAP GAIN IN EQUALIZER

TS. LÊ QUỐC VƯỢNG

Khoa Điện - Điện tử tàu biển, Trường ĐHHH

KS. LÊ VIỆT THẮNG

Trung tâm khai thác Ga Nội Bài, Cụm cảng Hàng không Miền Bắc

Tóm tắt:

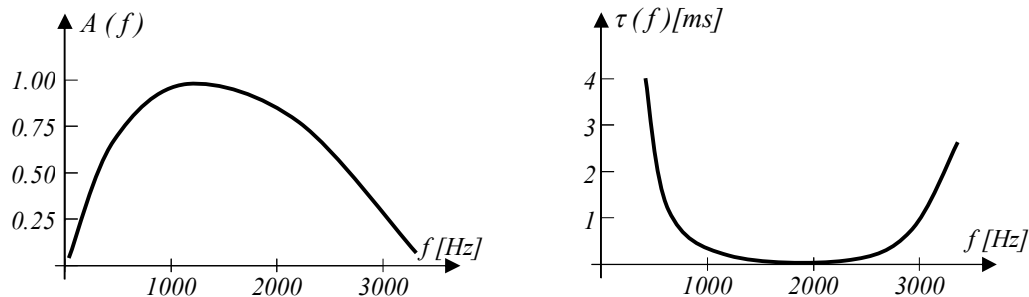
Các bộ san bằng kênh được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống thông tin số nhằm hạn chế ảnh hưởng của ISI gây ra bởi méo kênh. Các bộ san bằng tuyến tính thường được sử dụng trong các modem tốc độ cao truyền dữ liệu qua kênh điện thoại. Đối với truyền dẫn vô tuyến, như trong thông tin di động tế bào, việc truyền lan sóng đa đường của tín hiệu phát gây ra ISI rất nghiêm trọng. Các kênh như thế đòi hỏi phải sử dụng các bộ san bằng rất mạnh mới hạn chế được các ISI nghiêm trọng đó. Chỉ các bộ san bằng thích nghi tuyến tính và phi tuyến là thích hợp cho các kênh vô tuyến có ISI mạnh như thế.

Abstract:

The channel equalizers are widely used in digital communication systems to mitigate the effects of the ISI caused by channel distortion. Linear equalizers are generally used for high-speed modems that transmit data over telephone channels. For radio transmission, such as mobile cellular communications, the multipath propagation of the transmitted signal results in severe ISI. Such channels require more powerful equalizers to combat the severe ISI. The linear and nonlinear adaptive equalizers are suitable for this radio channels with severe ISI.

I. Đặt vấn đề

Từ những năm cuối của thập kỷ 1930, Nyquist đã đưa ra các phát biểu về ảnh hưởng của kênh có độ rộng băng thông hữu hạn. Nhưng những ý kiến của ông chưa thực sự được chú ý vì tại thời điểm đó việc truyền dẫn số chưa được coi trọng như hiện nay và các hệ thống thông tin số còn chưa phát triển mà chủ yếu là các quá trình xử lý tín hiệu tương tự.



Hình 1.1. Đặc tuyến biên độ và trễ trung bình của một kênh điện thoại

Như một ví dụ, hình 1.1 biểu diễn đặc tuyến biên độ và đặc tuyến trễ đường bao đo được theo tần số đối với một kênh thoại của mạng viễn thông có chuyển mạch. Chúng ta thấy rằng băng thông khả dụng của kênh mở ra từ khoảng 300Hz tới khoảng 3200Hz. Với sự không bằng phẳng lý tưởng của băng thông này đáp ứng xung của kênh kéo dài khoảng 10ms. Nếu tiến hành truyền dẫn tín hiệu với tốc độ 2500 dấu (symbol) trên 1 giây thì sẽ có các nhóm hơn 30 dấu chồng lấn lên nhau và bị nhòe đến nỗi tại phía thu không thể phân biệt được. Đó chính là *nhieều xuyên giữa các dấu*, ký hiệu ISI (*Inter Symbol Interference*). Đây là một hậu quả rất trầm trọng khi truyền dẫn tín hiệu trên kênh có độ rộng băng thông hữu hạn (có méo kênh: *méo biên độ* và *méo trễ*). Người ta có thể đánh giá ISI đối với 1 kênh bằng cách phát tín hiệu PAM có dạng:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n g(t - nT) \quad (1.1)$$

trong đó: $g(t)$ là dạng xung cơ sở;

$\{a_n\}$ là dãy các dấu thông tin được truyền đi chọn trong biểu đồ sao tín hiệu gồm có M điểm;

T là thời gian kéo dài của 1 dấu (tương ứng với tốc độ phát dấu của tín hiệu là $1/T$).

Khi đó, ta có:

$$ISI_k = \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq k}}^{\infty} a_n x_{k-n} + v_k \quad (1.2)$$

trong đó: k là thời điểm lấy mẫu;

$x(t)$ là đáp ứng xung của bộ lọc thu, tương ứng mẫu ở thời điểm k là x_k ;

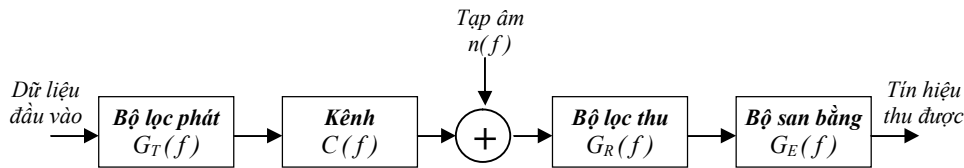
$v(t)$ là tạp âm cộng, tương ứng mẫu ở thời điểm k là v_k .

Để giảm ISI do méo kênh, trong thực tế người ta đã áp dụng một giải pháp rất hiệu quả là sử dụng Bộ san bằng (*Equalizer*).

II. Tổng quan về bộ san bằng

A. Nguyên lý chung bộ san bằng

Sơ đồ khối của một hệ thống thông tin sử dụng bộ san bằng hình 2.1.



Hình 2.1. Sơ đồ khối của một hệ thống thông tin có sử dụng bộ san bằng

Theo nguyên lý thu phát phối hợp, đáp ứng của bộ lọc thu phải phối hợp với đáp ứng của bộ lọc phát, nghĩa là:

$$G_R(f) = G_T^*(f) \quad (2.1)$$

Và:

$$G_R(f) \cdot G_T(f) = X_{rc}(f) \quad (2.2)$$

trong đó: $X_{rc}(f)$ là đặc tính phổ dạng cosin nâng.

Đối với hệ thống được thể hiện trên hình 2.1, trong đó lưu ý là đáp ứng tần số của kênh có băng tần hữu hạn không lý tưởng (có méo kênh), điều kiện mong muốn để triệt tiêu ISI là:

$$G_T(f) \cdot C(f) \cdot G_R(f) \cdot G_E(f) = X_{rc}(f) \quad (2.3)$$

Kết hợp (2.2) và (2.3), đáp ứng tần số của bộ san bằng là:

$$G_E(f) = \frac{1}{C(f)} = \frac{1}{|C(f)|} e^{-j\theta_c(f)} \quad (2.4)$$

Như vậy, đáp ứng biên độ của bộ san bằng là:

$$|G_E(f)| = \frac{1}{|C(f)|} \quad (2.5)$$

Vì bộ san bằng còn được gọi là *bộ lọc kênh nghịch đảo (Inverse Channel Filter)*;

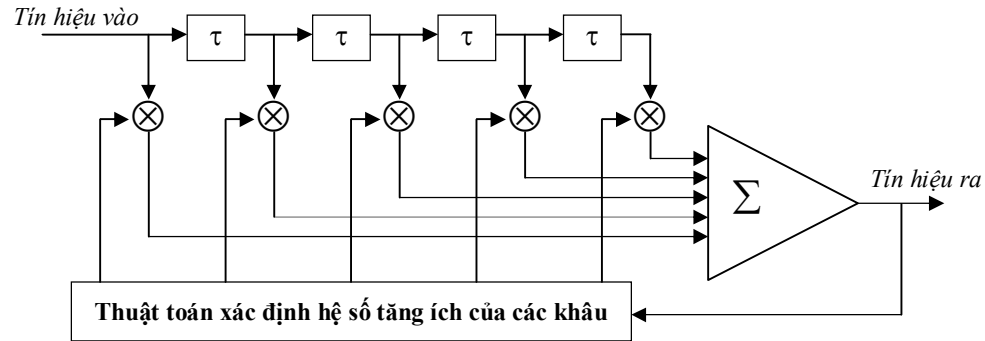
Và đáp ứng pha của bộ san bằng là:

$$\theta_E(f) = -\theta_C(f) \quad (2.6)$$

B. Cấu trúc chung của bộ san bằng

Trên thực tế, bộ san bằng thực hiện theo (2.4) có cấu trúc như một bộ lọc số có đáp ứng xung hữu hạn FIR (Finite Impulse Response) hay còn gọi là bộ lọc dàn (Transversal Filter) được minh họa trên hình 2.2.

Trong sơ đồ cấu trúc hình 2.2, các khâu trễ τ có thể được lựa chọn bằng $T/2$, với T là khoảng thời gian kéo dài của 1 dấu thỏa mãn điều kiện: $1/T < 2W$ trong đó W là độ rộng băng thông. Trong trường hợp này, tốc độ lấy mẫu tại đầu vào bộ san bằng $G_E(f)$ là $2/T$.



Hình 2.2. Cấu trúc tổng quát của một bộ san bằng

Điểm mấu chốt nhất của sơ đồ cấu trúc hình 2.2 là việc xác định hệ số tăng ích của các khâu. Trên thực tế, đặc tính tần số của kênh $C(f)$ là không thể biết được. Chúng ta chỉ có thể đo đạc, xác định các thông số đáp ứng xung của kênh và từ các số liệu đó áp dụng các thuật toán xác định hệ số tăng ích của các khâu. Có 2 khả năng có thể xảy ra:

- 1) Các thông số của kênh sẽ giữ nguyên cố định trong suốt thời gian truyền đưa số liệu;
- 2) Các thông số của kênh không giữ nguyên, mà biến đổi (chậm) trong thời gian truyền đưa số liệu.

Trong trường hợp thứ 1, người ta chỉ cần đo đạc, xác định các thông số của kênh 1 lần. Trên cơ sở các thông số thu thập được, tiến hành tính toán, xác định hệ số tăng ích của các khâu 1 lần và sử dụng chúng trong suốt thời gian truyền dẫn thông tin. Các bộ san bằng như thế được gọi là Bộ san bằng thiết lập trước (Preset Equalizer).

Trong trường hợp thứ 2, người ta cần phải đo đạc, xác định các thông số của kênh nhiều lần theo những chu kỳ nhất định. Với các thông số thu thập được mỗi lần, việc tiến hành tính toán, xác định hệ số tăng ích của các khâu phải lặp đi lặp lại nhiều lần trong suốt thời gian truyền dẫn thông tin. Các bộ san bằng như thế được gọi là Bộ san bằng truy bám (Tracking Equalizer).

Khả năng thứ 2 thường xảy ra nhiều hơn trong thực tế. Mặt khác, việc thường xuyên điều chỉnh hệ số tăng ích của các khâu để đảm bảo sự phối hợp với kênh chặt chẽ hơn sẽ làm tăng cao chất lượng truyền dẫn. Vì vậy các bộ san bằng truy bám thường hay được sử dụng.

III. Các thuật toán cơ bản được áp dụng trong bộ san bằng

Một vấn đề quan trọng đặt ra từ nguyên lý và cấu trúc của các bộ san bằng nêu trên là phải có phương pháp tính toán (thuật toán), xác định hệ số tăng ích của các khâu sao cho có độ chính xác cao, trong thời gian ngắn nhất có thể. Thuật toán xác định hệ số tăng ích của các khâu có ý nghĩa quyết định trong hoạt động của bộ san bằng nên trong nhiều trường hợp, người ta thường gọi tên bộ san bằng theo tên của các thuật toán mà nó áp dụng như bộ san bằng cưỡng ép không, bộ san bằng thích nghi...

A. Thuật toán tính trực tiếp

1) Thuật toán cưỡng ép không:

$$\text{Đặt: } G_T(f) \cdot C(f) \cdot G_R(f) = X(f) \quad (3.1)$$

Gọi $x(t)$ là đáp ứng xung tương ứng với đặc tính tần số $X(f)$ được đưa vào đầu vào bộ san bằng hình 2.2. Khi đó đáp ứng xung đầu ra bộ san bằng đã được sửa (san bằng méo) là:

$$q(t) = \sum_{n=-K}^K w_n x(t - n\tau) \quad (3.2)$$

Xác định các mẫu của $q(t)$ lấy tại các thời điểm $t = mT$. Các mẫu này có dạng:

$$q(mT) = \sum_{n=-K}^K w_n x(mT - n\tau), \text{ với: } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm K \quad (3.3)$$

Áp dụng điều kiện cưỡng ép không cho các mẫu này ta nhận được một hệ phương trình bao gồm $2K + 1$ phương trình:

$$q(mT) = \sum_{n=-K}^K w_n x(mT - n\tau) = \begin{cases} 1, & m = 0 \\ 0, & m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm K \end{cases} \quad (3.4)$$

Hay thường viết gọn (3.4) dưới dạng ma trận $\mathbf{X} \cdot \mathbf{w} = \mathbf{q}$.

Giải $2K + 1$ phương trình này, ta tìm được $2K + 1$ hệ số tăng ích của $2K + 1$ khâu trong sơ đồ hình 3.1.

2) Thuật toán cực tiểu hóa sai số bình phương trung bình

Hạn chế cơ bản của thuật toán cưỡng ép không là ở chỗ nó bỏ qua không tính đến sự có mặt của tạp âm cộng. Trên một dải tần số nhất định mà $C(f)$ nhỏ, bộ san bằng cưỡng ép không ở trên sẽ tăng ích lớn để bù lại, kết quả là tạp âm trên khoảng tần số này được tăng lên rất mạnh.

Nguyên tắc của thuật toán cực tiểu hóa sai số bình phương trung bình là giảm nhẹ điều kiện triệt tiêu hoàn toàn ISI (bằng 0) và xác định hệ số tăng ích của các khâu sao cho công suất hỗn hợp của ISI và tạp âm cộng lại trên lối ra của bộ san bằng (hay chính là *sai số bình phương trung bình MSE – Mean Square Error*) là nhỏ nhất có thể.

Giả sử đầu ra bộ lọc thu và đầu vào bộ san bằng có tín hiệu $y(t)$, trong đó đã bao gồm cả tạp âm cộng, thì đầu ra bộ san bằng có tín hiệu (tương tự (3.2)):

$$z(t) = \sum_{n=-K}^K w_n y(t - n\tau) \quad (3.5)$$

Tương tự các mẫu của $z(t)$ lấy tại các thời điểm $t = mT$ là:

$$z(mT) = \sum_{n=-K}^K w_n y(mT - n\tau) \quad (3.6)$$

Khi phát đi tín hiệu PAM dạng (1.1), tại các thời điểm $t = mT$, chính xác ta phải nhận được các dấu a_m . Suy ra MSE là:

$$MSE = E \left\{ \left| z(mT) - a_m \right|^2 \right\} \quad (3.7)$$

Thay (3.6) vào (3.7) và cực tiểu hóa MSE bằng cách lấy vi phân nó theo các hệ số bộ san bằng $\{w_n\}$, ta sẽ nhận được điều kiện cần để MSE nhỏ nhất là:

$$\sum_{n=-K}^K w_n R_y(n-k) = R_{ay}(k), \text{ với: } k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm K \quad (3.8)$$

Trong đó, $R_y(n-k)$ là hàm tự tương quan của $y(n)$ và $R_{ay}(k)$ là hàm tương quan chéo của a_n và $y(n)$.

Biểu thức (3.8) cũng thường được viết gọn dưới dạng ma trận là: $\mathbf{R}_y \cdot \mathbf{w} = \mathbf{R}_{ay}$.

Giải hệ $2K + 1$ phương trình (3.8) tìm được $2K + 1$ hệ số tăng ích của các khâu w_n .

Trong cả 2 thuật toán trên, việc tính hệ số tăng ích của các khâu đều đưa về việc giải 1 hệ phương trình dạng $\mathbf{B} \cdot \mathbf{w} = \mathbf{d}$. Kết quả là vector hệ số tăng ích $\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{B}^{-1} \cdot \mathbf{d}$, vì thế được gọi là các *thuật toán trực tiếp* tính hệ số tăng ích của các khâu.

B. Thuật toán thích nghi

Thuật toán thích nghi là một thủ tục lặp, mà nó tránh việc tính nghịch đảo \mathbf{B}^{-1} . Một thuật toán thích nghi đơn giản nhất được biết với tên gọi *Thuật toán bình phương trung bình tối thiểu LMS (Least Mean Square)* có nội dung như sau.

Xuất phát từ một vector hệ số tăng ích \mathbf{w}_0 . Vector hệ số tăng ích tiếp theo được tính:

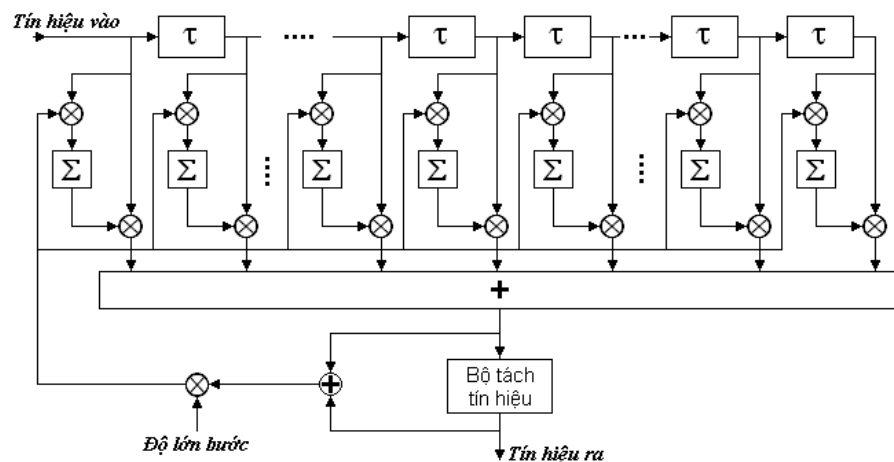
$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k + \Delta \cdot \mathbf{e}_k \cdot \mathbf{y}_k^* \quad (3.9)$$

trong đó: Δ là tham số cỡ bước;

\mathbf{e}_k là vector sai số, được xác định $\mathbf{e}_k = \mathbf{a}_k - \mathbf{z}_k$ với \mathbf{z}_k là vector tín hiệu đầu ra nhíp lấy mẫu k ;

\mathbf{y}_k là vector tín hiệu đầu vào nhíp lấy mẫu k .

Bằng cách xác định giá trị tham số cỡ bước Δ thích hợp, \mathbf{w}_k tiến đến \mathbf{w}_{opt} sau một số bước lặp nhất định.



Hình 3.1. Cấu trúc bộ san bằng áp dụng thuật toán thích nghi

Như vậy, đối với các bộ san bằng thực hiện theo thuật toán thích nghi cần phải có một cấu trúc thực hiện khác với cấu trúc chung 2.2 và cụ thể được trình bày trên hình 3.1.

IV. Kết luận

Ưu điểm của các thuật toán trực tiếp tính hệ số tăng ích là đạt được độ chính xác cao. Nhưng nhược điểm là phải giải một hệ phương trình (tính ma trận nghịch đảo) nên cần số lượng phép tính khá lớn.

Ngược lại, mặc dù phải có một số bước lặp kéo dài trong một khoảng thời gian nhất định, nhưng thuật toán thích nghi vẫn rất nhanh hơn các thuật toán tính trực tiếp nhiều lần. Mặt khác, khả năng truy bám khi đặc tính của kênh thay đổi theo thời gian là rất tốt. Vì vậy, mặc dù hạn chế của các thuật toán thích nghi là đạt độ chính xác của hệ số tăng ích thấp, nhưng nó vẫn được áp dụng một cách rất rộng rãi. Đặc biệt đối với các kênh thông tin truyền dữ liệu tốc độ cao, có hiệu ứng đa đường và ISI rất mạnh thì việc áp dụng thuật toán thích nghi trong các bộ san bằng là điều gần như tất yếu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] J. G. Proakis, M. Salehi, *Contemporary Communication System using MATLAB*, Brooks/Cole Publishing Company, Northeastern University, Canada, 2000.
- [2] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Signal Processing*, Englewood Cliffs of Prentice Hall, California, 2000.
- [3] D. G. Manolakis, V. K. Ingle, S. M. Kogon, *Statistical and Adaptive Signal Processing*, McGraw-Hill Companies, Inc., USA, 2000.
- [4] *Tài liệu hướng dẫn thí nghiệm modul MCM32*, Venica, Italia, 2005.

Người phân biện: TS. Trần Đức Inh