Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T.17, S.3 (2001), 70–76

THUẬT TOÁN BỘ GẠT HỒI ÂM TRONG ĐIỀU KIỆN TÍN HIỆU VÀO YẾU

LÊ THANH THU HÀ, NGUYỄN THỊ LAN HƯƠNG

Abstract. In the telecommunication systems of the integrated servises digital communications network, in order to guarante the transmission quality, they usually used echo canceller. However, because the dynamic band of the input signal is rather large and often nonstationary so that if you want to use LMS, RLS there is constant control step-size that the echo canceller works unstable. This paper will introduce an algorithm using for the echo canceller satisfying an input signal to be wide dynamic band.

Tóm tắt. Trong các hệ thống viễn thông của mạng số đa dịch vụ, để đảm bảo chất lượng truyền dẫn, người ta thường sử dụng bộ gạt hồi âm. Tuy vậy, vì giải động của tín hiệu vào tương đối lớn và thường là không dừng, vì vậy nếu sử dụng các thuật toán LMS, RLS có cỡ bước điều khiển không thay đổi thì bộ gạt hồi âm làm việc không ổn định. Bài báo này giới thiệu một thuật toán sử dụng cho bộ gạt hồi âm thỏa mãn tín hiệu vào có giải đôọng rộng.

1. GIỚI THIỆU

Từ những năm thập kỷ 80, khi các hệ thống thông tin đường dài ra đời, đặc biệt là các tuyến thông tin vệ tinh thời kỳ đó, hàng loạt công trình về gạt hồi âm được đề xuất [1-6]. Tuy vậy, vì đối tượng lúc đó là các hệ thống thông tin analog, tốc độ chậm, nên các thuật toán điều khiển cho bộ gạt hồi âm thường dừng ở LMS thông thường. Bước sang thời kỳ công nghệ viễn thông số, ban đầu người ta ít quan tâm đến hồi âm vì lượng dịch vụ trên mạng viễn thông lúc đó còn ít, chất lượng mạng đã có nhảy vọt đột biến so với thời kỳ mạng analog. Nhưng khi bước sang giai đoạn ISDN, số chủng loại dịch vụ trên mạng tăng lên rõ rệt, bên cạnh dịch vụ thoại truyền thống còn có các dịch vụ Fax tốc độ nhanh, hội nghị từ xa, dạy học từ xa, y tế từ xa... lúc đó, vấn đề hồi âm hoặc còn gọi là tiếng vọng tác động lên các dịch vụ đó một cách rõ rệt. Đến tháng 7 năm 1999 Tổ chức viễn thông Quốc tế ITU-T đã công bố một số vấn đề về hồi âm trong mạng thông tin số. Tháng 3 năm 2001, Donald L. Duttweiler [6] đã phân tích đặc tính hội tụ của thuật toán tại rìa băng tần. Tuy đã có những khía cạnh phân tích khác nhau, nhưng do tính hẹp của vấn đề này trong mạng viễn thông số đa dịch vụ nên số lượng các công trình về nó vẫn chưa thật nhiều. Các tác giả của tài liệu [1,2] tập trung vào các thuật toán LMS, với cỡ bước điều khiển hằng số có lợi thế là đơn giản tính toán. Tuy nhiên khi biên độ tín hiệu vào bé thì thuật toán đó không đảm bảo hội tụ nữa. Bài báo này sẽ giới thiệu thuật toán đảm bảo cả hội tụ lẫn đơn giản tính toán và ổn định. Để giải quyết vấn đề đó, bài này có cấu trúc sau:

+ Mục 1. Giới thiệu bài toán.
+ Mục 2. Thuật toán điều khiển bộ gạt hồi âm. Đây là thuật toán LMS thông dụng và có cỡ bước điều khiển μ hằng số.
+ Mục 3. Thuật toán gạt hồi âm trong điều kiện tín hiệu vào yếu.
+ Mục 4. Kết luận.

2. THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN BỘ GẠT HỒI ÂM

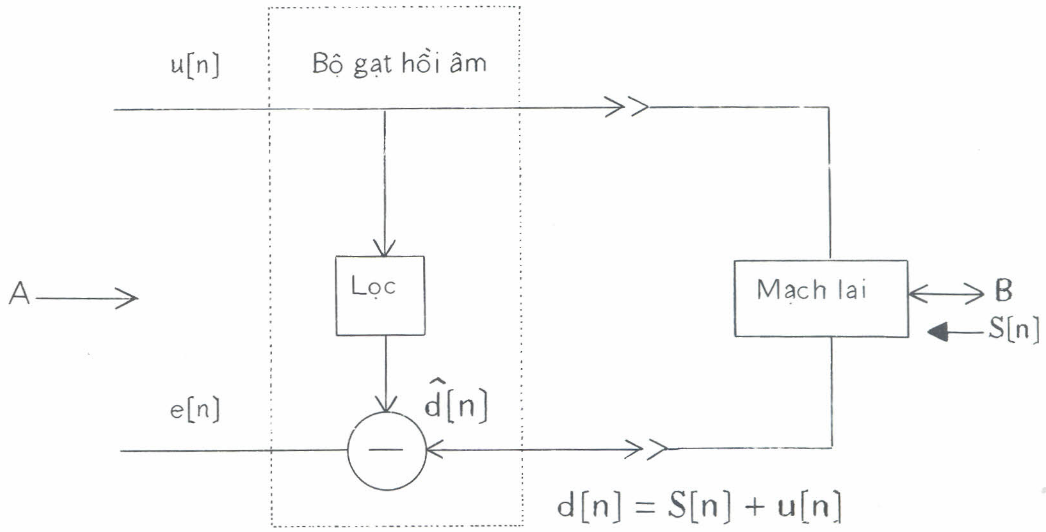
Hình 1 biểu diễn sơ đồ khối bộ gạt hồi âm trong mạng viễn thông. Phần cơ bản trong bộ gạt hồi âm này là bộ lọc thích nghi với thhuật toán được biểu thị trong tài liệu [5]:

$$\hat{\mathbf{W}}[n+1] = \hat{\mathbf{W}}[n] + \mu\mathbf{u}[n]\big[d^*[n] - \mathbf{u}^H[n]\,\hat{\mathbf{W}}[n]\big], \tag{1}$$

trong đó:

$\hat{\mathbf{W}}[n]$ - trọng số của bộ lọc gạt hồi âm tại thời điểm lặp thứ n,
$d^*[n]$ - liên hiệp phức tín hiệu mong muốn ở đầu ra của bộ lọc gạt hồi âm,
$\mathbf{u}[n]$ - vectơ tín hiệu vào của bộ lọc,
μ - cỡ bước điều khiển số bộ lọc.

Vấn đề đặt ra ở đây là phải chọn μ sao cho đảm bảo $W[.]$ hội tụ tốc độ nhanh và ổn định.



Hình 1. Sơ đồ khối bộ gạt hồi âm
$u[n]$: vectơ tín hiệu vào của bộ gạt hồi âm
$S[n]$: vectơ tín hiệu phát phía B
$d[n]$: tín hiệu ra của bộ lọc
$e[n]$: sai số đầu ra

Thông thường, người ta chọn hệ số điều chỉnh μ thỏa mãn [4]:

$$0 < \mu < \frac{2}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}. \tag{2}$$

Điều kiện nêu ra ở trên đảm bảo thuật toán hội tụ trong hoàn cảnh thông thường. Một câu hỏi đặt ra là: năng lượng tín hiệu vào có ảnh hưởng gì đến quá trình điều khiển bộ gạt hồi âm hay không? Ảnh hưởng như thế nào và có biện pháp gì để hạn chế nó. Dưới đây, bài báo sẽ trả lời các câu hỏi đó.

3. THUẬT TOÁN BỘ GẠT HỒI ÂM TRONG ĐIỀU KIỆN TÍN HIỆU VÀO YẾU

Phần trước chúng ta đã biết rằng vectơ trọng số của các đốt lọc tại bước điều khiển thứ $n+1$ là $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ ở bước n là $\hat{\mathbf{W}}[n]$. Trong điều kiện tín hiệu vào phức, ta tìm thuật toán điều khiển tối ưu cho bộ gạt hồi âm và điều kiện đảm bảo làm việc ổn định.

Bộ gạt hồi âm sẽ làm việc ổn định nếu sự khác nhau về giá trị của $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ và $\hat{\mathbf{W}}[n]$ là ít. Ta phải tìm điều kiện để cho bộ gạt hồi âm ổn định trong quá trình làm việc, nghĩa là tìm $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ để thỏa mãn:

$$\{\hat{\mathbf{W}}[n+1] - \hat{\mathbf{W}}[n]\} \to 0, \text{ khi } n \to \infty,$$

Giả sử đã biết vectơ tín hiệu đầu vào của đốt là $\mathbf{u}[n]$, đáp ứng mong muốn là $d[n]$, xác định $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ sao cho sự biến đổi của nó là bé nhất.

Ký hiệu lượng biến đổi là:

$$\delta\, \hat{\mathbf{W}}[n+1] = \hat{\mathbf{W}}[n+1] - \hat{\mathbf{W}}[n]. \tag{3}$$

Sự thay đổi của $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ có thể được biểu thị bằng:

$$\begin{aligned}\left\|\delta\, \hat{\mathbf{W}}[n+1]\right\|^2 &= \delta\, \hat{\mathbf{W}}^H[n+1]\, \delta\, \hat{\mathbf{W}}[n+1] \\ &= \left[\hat{\mathbf{W}}[n+1] - \hat{\mathbf{W}}[n]\right]^H \left[\hat{\mathbf{W}}[n+1] - \hat{\mathbf{W}}[n]\right] \\ &= \sum_{k=0}^{M-1} \left|\hat{\mathbf{W}}_k[n+1] - \hat{\mathbf{W}}_k[n]\right|^2. \end{aligned} \tag{4}$$

Có thể viết $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ dưới dạng phức:

$$\hat{\mathbf{W}}_k[n] = a_k[n] + jb[n] \text{ với } k = 0, 1, \ldots, M-1. \tag{5}$$

Thay (5) vào (4), chúng ta có:

$$\left\|\delta\, \hat{\mathbf{W}}[n+1]\right\|^2 = \sum_{k=0}^{M-1} \left\{ \left(a_k[n+1] - a_k[n]\right)^2 + \left(b_k[n+1] - b_k[n]\right)^2 \right\}. \tag{6}$$

Đồng thời chúng ta phân tín hiệu và đáp ứng mong muốn thành các phần thực và ảo tương ứng:

$$u[n-k] = u_1[n-k] + ju_2[n-k], \tag{7}$$

$$d[n] = d_1[n] + jd_2[n].$$

Sau khi sắp xếp lại phần thực và ảo chúng ta nhận được các công thức sau:

$$\sum_{k=0}^{M-1} \left\{a_k[n+1]u_1[n-k] + b_k[n+1]u_2[n-k]\right\} = d_1[n], \tag{8}$$

$$\sum_{k=0}^{M-1} \left\{a_k[n+1]u_2[n-k] - b_k[n+1]u_1[n-k]\right\} = d_2[n]. \tag{9}$$

Kết hợp (6), (8) và (9) sẽ có mối quan hệ đơn giản thể hiện sai số đầu ra của bộ gạt hồi âm:

$$\begin{aligned} J[n] = &\sum_{k=0}^{M-1} \left\{ \left[a_k[n+1] - a_k[n]\right]^2 + \left[b_k[n+1] - b_k[n]\right]^2 \right\} \\ &+ \lambda_1 \left[d_1[n] - \sum_{k=0}^{M-1} \left(a_k[n+1]u_1[n-k] + b_k[n+1]u_2[n-k]\right)\right] \\ &+ \lambda_2 \left[d_2[n] - \sum_{k=0}^{M-1} \left(a_k[n+1]u_2[n-k] - b_k[n+1]u_1[n-k]\right)\right]. \end{aligned} \tag{10}$$

Ở đây λ_1 và λ_2 là các hệ số Lagrange. Để tìm giá trị nhỏ nhất của $J[n]$ theo $a_k[n+1]$ và $b_k[n+1]$, trước hết chúng ta phải đạo hàm của hàm mục tiêu theo hai tham số đó và cho đạo hàm đó bằng 0. Nghĩa là từ (10), đạo hàm riêng $J[n]$ theo $a_k[n+1]$, ta có:

$$\frac{\partial J[n]}{\partial a_k[n+1]} = 0$$

hay

$$2\left[a_k[n+1] - a_k[n]\right] - \lambda_1 u_1[n-k] - \lambda_2 u_2[n-k] = 0. \tag{11}$$

Tương tự

$$\frac{\partial J[n]}{\partial b_k[n+1]} = 0$$

sẽ cho:

$$2\big[b_k[n+1] - b_k[n]\big] - \lambda_1 u_2[n-k] - \lambda_2 u_1[n-k] = 0. \tag{12}$$

Sử dụng (5), (7) kết hợp với (11) và (12) có thể thu được công thức dạng phức sau:

$$2\big[\tilde{\mathbf{W}}_k[n+1] - \hat{\mathbf{W}}_k[n]\big] = \lambda^* \mathbf{u}[n-k], \quad k = 0, 1, \dots, M-1. \tag{13}$$

Từ đó suy ra λ^* theo công thức sau:

$$\begin{aligned}\lambda^* &= \frac{2}{\sum\limits_{k=0}^{M-1} |u[n-k]|^2}\Big[\sum_{k=0}^{M-1} \hat{\mathbf{W}}_k[n+1]\mathbf{u}^*[n-k] - \sum_{k=0}^{M-1} \hat{\mathbf{W}}_k[n]\mathbf{u}^*[n-k]\Big]\\ &= \frac{2}{\|u[n]\|^2}\Big[\hat{\mathbf{W}}^H[n+1]\mathbf{u}^*[n] - \hat{\mathbf{W}}^H[n]\mathbf{u}^*[n+1]\Big].\end{aligned} \tag{14}$$

Ở đây $\|u[n]\|^2$ là chuẩn Euclide của vectơ vào của các đốt lọc. Từ đó chúng ta có:

$$\lambda^* = \frac{2}{\|u[n]\|^2}\Big[d^*[n] - \hat{\mathbf{W}}^H[n]\mathbf{u}^*[n]\Big]. \tag{15}$$

Ký hiệu $e[n] = d[n] - \hat{\mathbf{W}}^H[n]\mathbf{u}[n]$. Vậy có thể viết λ^* dưới dạng đơn giản:

$$\lambda^* = \frac{2}{\|u[n]\|^2} e^*[n]. \tag{16}$$

Từ (13) chúng ta có thể viết:

$$\hat{\mathbf{W}}_k[n+1] - \hat{\mathbf{W}}_k[n] = \frac{1}{2}\lambda^* \mathbf{u}[n-k].$$

Từ đây kết hợp với (16), ta rút ra thuật toán điều khiển tối ưu trọng số đốt trong điều kiện tín hiệu vào phức:

$$\hat{\mathbf{W}}_k[n+1] - \hat{\mathbf{W}}_k[n] = \frac{1}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n-k]e^*[n] \text{ với } k = 0, 1, \dots, M. \tag{17}$$

Kết hợp (3) vào (17), ta có:

$$\delta\,\hat{\mathbf{W}}[n+1] = \frac{1}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e^*[n]. \tag{18}$$

Để thực hiện việc chỉnh từng bước vectơ trọng số của bộ gạt hồi âm mà không làm thay đổi hướng của nó, chúng ta đưa một hệ số vô hướng thực, dương $\tilde{\mu}$ vào (18), ta có:

$$\begin{aligned}\delta\,\hat{\mathbf{W}}[n+1] &= \hat{\mathbf{W}}[n+1] - \hat{\mathbf{W}}[n]\\ &= \frac{\tilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e^*[n].\end{aligned} \tag{19}$$

Trong quá trình điều chỉnh hệ số trọng số của bộ gạt hồi âm, nếu nó hội tụ thì ở hai bước lặp kế tiếp nhau, giá trị $\hat{\mathbf{W}}[n+1] \approx \hat{\mathbf{W}}[n]$, nghĩa là $\delta\,\hat{\mathbf{W}}[n+1] \approx 0$. Nhưng thực tế của phép lặp, giữa $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ và $\hat{\mathbf{W}}[n]$ khác nhau một lượng $\frac{\tilde{\mu}}{\|u[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e^*[n]$. Từ đó ta rút ra thuật toán điều chỉnh $\hat{\mathbf{W}}[\,.\,]$:

$$\hat{\mathbf{W}}[n+1] = \hat{\mathbf{W}}[n] + \frac{\widetilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e^*[n]. \tag{20}$$

Thuật toán này có các đặc điểm sau:
- Chọn μ thích hợp sẽ đảm bảo thuật toán chỉnh (20) luôn luôn hội tụ.
- Thuật toán này có dạng LMS, vì vậy tính toán đơn giản.

Việc chọn $\widetilde{\mu}$ đã được tài liệu [4] giải quyết, các tác giả đề nghị chọn $\widetilde{\mu}$ thỏa mãn:

$$0 < \widetilde{\mu} < 2. \tag{21}$$

Trong điều kiện bình thường, nếu $\widetilde{\mu}$ thỏa mãn (21) thì đảm bảo các lợi thế trên của bộ gạt hồi âm này: đơn giản, luôn luôn hội tụ. Tuy vậy một vấn đề đặt ra là nếu tín hiệu đầu vào $u[n]$ có biên độ bé thì lúc đó không những tín hiệu dễ bị lẫn trong nền nhiễu mà có thể xảy ra bất đẳng thức sau:

$$\frac{\widetilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2} > 1. \tag{22}$$

Khi đó dãy $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ trong (20) sẽ phân kỳ, bộ gạt hồi âm không còn ổn định nữa, vì lúc đó $\hat{\mathbf{W}}[n+1] \neq \hat{\mathbf{W}}[n]$ khá nhiều.

Để khắc phục điều đó, nghĩa là tránh xảy ra (22), ở bộ gạt hồi âm này chọn thuật toán cải tiến bằng cách bổ sung một hằng số a vào mẫu số:

$$\boxed{\hat{\mathbf{W}}[n+1] = \hat{\mathbf{W}}[n] + \frac{\widetilde{\mu}}{a + \|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e^*[n]} \tag{23}$$

với $a > 0$.

Trường hợp $a = 0$ thì (23) trở về (20).

Trong điều kiện $\mathbf{u}[n]$ biến đổi với giải động rộng thì việc chọn hằng số a cũng sẽ không đảm bảo (23) hội tụ, hơn nữa lại không kinh tế nếu chọn a đủ lớn. Vì vậy ở đây đề xuất nên chọn a là một hàm của công suất tín hiệu vào $u[n]$. Lúc này thuật toán có dạng:

$$\hat{\mathbf{W}}[n+1] = \hat{\mathbf{W}}[n] + \frac{\widetilde{\mu}}{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) + \|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e^*[n], \tag{24}$$

để đảm bảo (24) luôn hội tụ, nên chọn a như thế nào?

Trong thuật toán (20), đặt $\mu[n] = \dfrac{\widetilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}$ và để (20) hội tụ thì phải chọn thuật toán (20) và chọn $\mu[n]$ thỏa mãn [4]:

$$0 < \mu[n] < \frac{2}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}. \tag{25}$$

Trong thuật toán (24), đặt:

$$\mu[n] = \frac{\widetilde{\mu}}{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) + \|\mathbf{u}[n]\|^2}. \tag{26}$$

Theo (25), ta có:

$$0 < \frac{\widetilde{\mu}}{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) + \|\mathbf{u}[n]\|^2} < \frac{2}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}. \tag{27}$$

Phần giữa của (27) có thể viết:

$$\frac{\widetilde{\mu}}{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) + \|\mathbf{u}[n]\|^2} = \frac{\widetilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\left[\frac{1}{1 + \frac{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}}\right].$$

Khai triển biểu thức này thành chuỗi:

$$\frac{\widetilde{\mu}}{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) + \|\mathbf{u}[n]\|^2} = \frac{\widetilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\left(1 - \frac{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^2} + \frac{a^2(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^4} - \ldots\right).$$

Bỏ qua những thành phần bé bậc cao, ta có:

$$\frac{\widetilde{\mu}}{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) + \|\mathbf{u}[n]\|^2} \approx \frac{\widetilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\left(1 - \frac{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\right).$$

Thay vào (27):

$$0 < \frac{\widetilde{\mu}}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\left(1 - \frac{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\right) < \frac{2}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}.$$

Suy ra:

$$0 < \widetilde{\mu}\left(1 - \frac{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^2}\right) < 2.$$

Ta có

$$-\widetilde{\mu} < -\frac{\widetilde{\mu}\, a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^2} < 2 - \widetilde{\mu},$$

hoặc:

$$\widetilde{\mu} - 2 < \frac{\widetilde{\mu}\, a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)}{\|\mathbf{u}[n]\|^2} < \widetilde{\mu}.$$

Vì các đại lượng $\|u[n]\|^2$ và $\widetilde{\mu}$ là các đại lượng không âm nên:

$$\frac{\|\mathbf{u}[n]\|^2}{\widetilde{\mu}}(\widetilde{\mu} - 2) < a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) < \|\mathbf{u}[n]\|^2. \tag{28}$$

Như vậy, trong hoàn cảnh tín hiệu vào có giải rộng và công suất thấp, thay vì thuật toán (20), ở đây giới thiệu sử dụng (23). Nếu tín hiệu vào có công suất biến động trong một giải động rộng thì tốt nhất là sử dụng (24) và nếu có công suất thấp thì nên chọn $a(\,.\,)$ là một hàm của $\|u[n]\|$ thỏa mãn (28) sẽ đảm bảo thuật toán (24) hội tụ.

Có thể tóm tắt thuật toán LMS chuẩn này:

Các tham số:

+ M số đốt của bộ gạt hồi âm,
+ $\widetilde{\mu}$ hằng số chính: $0 < \widetilde{\mu} < 2$,
+ a số dương.

Khởi đầu:

- Nếu chọn trước vectơ trọng số $\hat{W}[0]$, thì tìm được $\hat{W}[n]$. Có thể chọn $\hat{W}[0] = 0$.
- Số liệu:
  a. Cho trước $u[n]$: tại từng thời điểm n,
  $d[n]$: đáp ứng mong muốn tại thời điểm n.
  b. Tính:
  $\hat{\mathbf{W}}[n+1]$ = giá trị vectơ trọng số của đốt tại thời điểm $n+1$,
  với $n = 0, 1, 2\ldots$
  $e[n] = d[n] - W^H[n]\mathbf{u}[n]$.

Thuật toán:

$$\hat{\mathbf{W}}[n+1] = \hat{\mathbf{W}}[n] + \frac{\widetilde{\mu}}{a(\|\mathbf{u}[n]\|^2) + \|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e^*[n]$$

với $a(\|\mathbf{u}[n]\|^2)$ thỏa mãn (28).

4. KẾT LUẬN

Bộ gạt hồi âm LMS được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống truyền tin đường dài nhưng trong điều kiện tín hiệu vào yếu, thuật toán thông thường không đảm bảo sự hội tụ. Vì vậy, bài báo này đã giới thiệu một thuật toán dạng LMS có đưa ra cỡ bước điều khiển biến đổi thỏa mãn điều kiện hội tụ và hệ số bổ sung trong cỡ bước điều khiển phải thỏa mãn (28).

Bài báo này đã chỉ ra điều kiện và chọn thuật toán cho bộ gạt hồi âm trong khi tín hiệu vào yếu để đảm bảo cho bộ gạt luôn luôn làm việc ổn định. Đây là một trong những vấn đề có ý nghĩa thực tiễn trong bài toán mạng viễn thông đa dịch vụ có mức biến động cường độ tín hiệu cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Acker C. H. and Vary P., Combined implementation of predictive speed coding and acoustic echo cancellation, Proc. EUSIPCO-92, Brussels, Belgium, 1992.

[2] Armbruster W., Wideband acoustic echo canceller with two filter structure, Proc EUSIP-92, Brussel, Belrium, 1992.

[3] Cla P. L., Weaver SSB subband acoustic echo canceller, 1993 ASSP Workshop on Applications of Digital Signal Processing to Audio and Acoustics, New Pultz, New York, 1993.

[4] Shynk J. J., Adaptive IIR Filtering, *IEEE ASSP Mag.* **6** (1989) 4–21.

[5] Simon Hagkin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall International, Inc, 1996.

[6] Donald L. Duttweiler, Avoiding show Band-Edge convergence in subband echo canceller, *IEEE Transaction on Signal Processing* **49** (3) (2001) 593–602.

Nhận bài ngày 6 tháng 12 năm 2000

Lê Thanh Thu Hà - Bưu điện Thành phố Đà Nẵng.
Nguyễn Thị Lan Hương - Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.