

## BỘ CÂN BẰNG - CÂN BẰNG MÙ TRONG HỆ PHI TUYẾN VÀ SONG TUYẾN

NGUYỄN KỲ TÀI

*Khoa Điện - Đại học Bách khoa Tp Hồ Chí Minh*

**Abstract.** There are three types of equalizers for mitigation of the ISI and MAI: nonblind, semiblind, and blind. The nonblind and semiblind equalizers are designed through both the received and training signal whereas the blind equalizer is designed with only the received signal. In this paper, the adaptive volterra filters and the Levenberg-Marquardt algorithm have broad application in the nonblind and blind equalizers for line and nonlinear systems.

**Tóm tắt.** Trong hệ thống điều chế đơn sóng mang, có ba loại cân bằng nhằm giảm nhiễu ISI và MAI, đó là: không mù, bán mù và cân bằng mù. Bộ cân bằng không mù và bán mù được thiết kế thông qua hai tín hiệu thu và tín hiệu lái trong khi các bộ cân bằng mù được thiết kế chỉ cần tín hiệu thu. Trong tài liệu này, bộ lọc thích nghi Volterra và thuật toán Levenberg-Marquardt được ứng dụng trong hệ tuyến tính và phi tuyến trong bộ cân bằng không mù và cân bằng mù.

### 1. BỘ CÂN BẰNG TUYẾN TÍNH

Xét hệ gồm hai anten phát và một anten thu trong [1, 2], được biểu diễn bởi hình vẽ như sau:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i)s(n-i) + z(n) \quad (1)$$

$s(n)$ : tín hiệu đầu vào nối tiếp.

$z(n)$ : nhiễu Gaussian cộng vào.

$y(n)$ : kênh ngõ ra tại thời điểm  $n$ .

$L$ : độ dài kênh.

$h(n)$ : hàm truyền.

Tín hiệu thu  $y(n)$  được biểu diễn trong phương trình sau:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h_1(i)s(n-i) + \sum_{i=0}^{L-1} h_2(i)[s(n-i-1)]^5 + z(n) \quad (2)$$

Trong đó:

$$h_1(n) = [h_1(0), h_1(1), \dots, h_1(L-1)]$$

và:

$$h_2(n) = [h_2(0), h_2(1), \dots, h_2(L-1)]$$

Tín hiệu nhận dạng  $\hat{y}(n)$  được biểu diễn như sau:

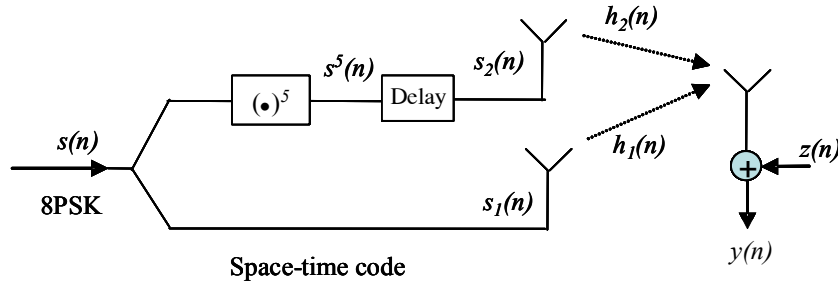
$$\hat{y}(n) = \sum_{i=0}^{L-1} \hat{h}_1(i) s(n-i) + \sum_{i=0}^{L-1} \hat{h}_2(i) [s(n-i-1)]^5, \quad (3)$$

với:

$$\hat{h}_1(n) = [\hat{h}_1(0), \hat{h}_1(1), \dots, \hat{h}_1(L-1)],$$

và:

$$\hat{h}_2(n) = [\hat{h}_2(0), \hat{h}_2(1), \dots, \hat{h}_2(L-1)].$$



Hình 1

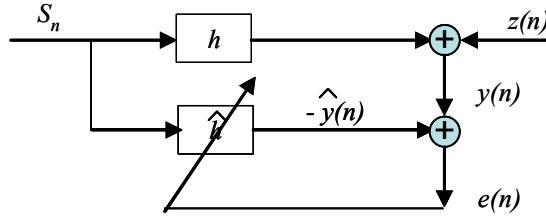
Ta có đánh giá sai số của hệ:

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n). \quad (4)$$

Gọi:

$$S_n = \{s(n-i), [s(n-i-1)]^5\}.$$

Ta có sơ đồ nhận dạng của hệ như sau:



Hình 2

Để xác định tham số  $\hat{h}$ , ta sử dụng phương pháp LMS:

$$\hat{h} = \arg \min \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [e(n)]^2 \right\}, \quad N \geq 2L. \quad (5)$$

Áp dụng thuật toán Levenberg-Marquardt ([3, 9]) ta có:

$$\hat{h}(n) = \hat{h}(n-1) + \bar{\mu}(n)e(n)S(n), \quad (6)$$

trong đó:

$$\bar{\mu}(n) = \frac{\mu_k}{S^T(n)S(n) + \alpha D^T D}. \quad (7)$$

$D$  là ma trận đường chéo đơn vị.

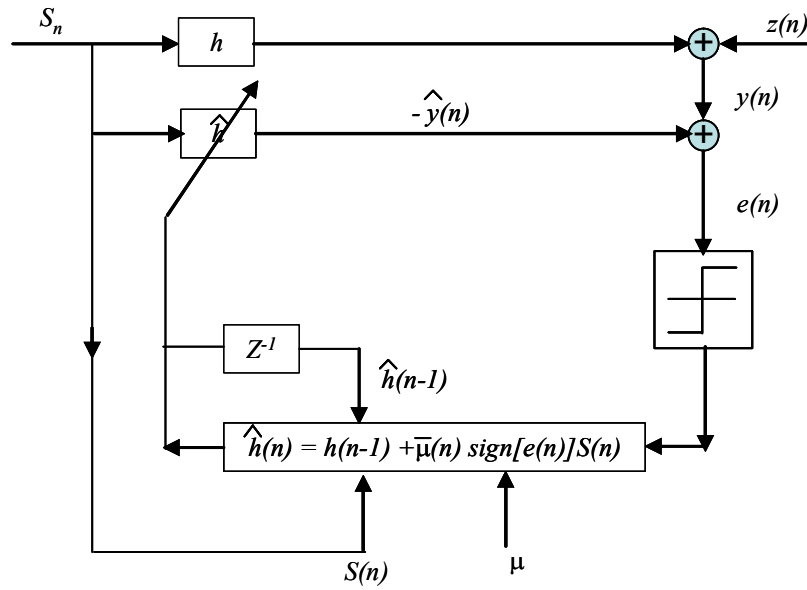
Cải biên thuật toán trên, ta sử dụng hàm:

$$\text{sign}[e(n)] = \begin{cases} +1 & \text{nếu } e(n) \geq 0 \\ -1 & \text{nếu } e(n) \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

Từ (6) và (8), ta có:

$$\hat{h}(n) = \hat{h}(n-1) + \bar{\mu}(n)\text{sign}[e(n)]S(n), \quad (9)$$

Từ đó, ta có hệ thống mới:



Hình 3

## 2. BỘ CÂN BẰNG PHI TUYẾN

Trong Mục 1, chúng ta đã xét hệ tuyến tính gồm các tham số  $h$ . Ta có thể khảo sát hệ phi tuyến ([1, 4, 5, 6, 10]) biểu diễn bằng chuỗi Volterra như sau:

$$y(n) = h_0 + \sum_{m_1=0}^{\infty} h_1(m_1)x(n-m_1) + \sum_{m_1=0}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} h_2(m_1, m_2)x(n-m_1)x(n-m_2) + \dots + \sum_{m_1=0}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} \dots \sum_{m_l=0}^{\infty} h_l(m_1, m_2, \dots, m_l)x(n-m_1)x(n-m_2)\dots x(n-m_l) + z(n). \quad (10)$$

Xét hệ đơn giản gồm 2 bậc và có chiều dài hữu hạn là  $N$ , ta có:

$$y(n) = h_0 + \sum_{m_1=0}^{N-1} h_1(m_1)x(n-m_1) + \sum_{m_1=0}^{N-1} \sum_{m_2=0}^{N-1} h_2(m_1, m_2)x(n-m_1)x(n-m_2) + z(n). \quad (11)$$

Ở đây, ta xem  $h_0 = 0$ . Có thể viết lại (11) dưới dạng bộ lọc thích nghi như sau:

$$y_{i,j}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i(n)x(n-i) + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} b_{i,j}(n)x(n-i)x(n-j) + z(n), \quad (12)$$

trong đó,  $a_i(n)$  và  $b_{i,j}(n)$  là các trọng số thay đổi.

Hàm đánh giá sai số của hệ là  $\hat{y}(n)$  và  $e(n)$ :

$$\hat{y}_{i,j}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} \hat{a}_i(n)x(n-i) + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \hat{b}_{i,j}(n)x(n-i)x(n-j) + z(n), \quad (13)$$

$$e(n) = y_{i,j}(n) - \hat{y}_{i,j}(n). \quad (14)$$

Ta đặt:

$$a_i^T = [a_1(n), a_2(n), \dots, a_{N-1}(n)],$$

$$b_{i,j}^T(n) = [b_{01}(n), b_{02}(n), \dots, b_{N-1, N-1}(n)],$$

$$w^T(n) = [a_i^T(n), b_{i,j}^T(n)].$$

Ta có:

$$y(n) = w^T(n)x(n), \quad (15)$$

và hàm nhận dạng:

$$\hat{y}(n) = \hat{w}^T(n)x(n), \quad (16)$$

với:

$$\hat{a}_i^T = [\hat{a}_1(n), \hat{a}_2(n), \dots, \hat{a}_{N-1}(n)],$$

$$\hat{b}_{i,j}^T(n) = [\hat{b}_{01}(n), \hat{b}_{02}(n), \dots, \hat{b}_{N-1, N-1}(n)],$$

$$\hat{w}^T(n) = [\hat{a}_i^T(n), \hat{b}_{i,j}^T(n)].$$

Sử dụng công thức (9), ta có:

$$\hat{w}(n) = \hat{w}(n-1) + \bar{\mu}_k(n) \text{sign}[e(n)]\varphi(n), \quad (17)$$

với:

$$\bar{\mu}_k(n) = \frac{\mu_k}{\phi^T(n)\phi(n) + \alpha D^T D} \quad (18)$$

và:

$$\varphi(n) = [x^T(n-i), x^T(n-j)]. \quad (19)$$

Triển khai công thức (17), ta có:

$$\hat{a}_i(n) = \hat{a}_i(n-1) + \bar{\mu}_k(n) \text{sign}[e(n)]x(n-i); \quad i = 0, 1, \dots, N, \quad (20)$$

$$\hat{b}_{i,j}(n) = \hat{b}_{i,j}(n-1) + \bar{\mu}_k(n) \text{sign}[e(n)]x(n-i)x(n-j); \quad i, j = 0, 1, \dots, N. \quad (21)$$

Lúc này, ta cần đánh giá lại hệ số  $\mu_k$ :

$$0 < \mu_k \leq \min \left\{ \frac{1}{k}; \frac{2 - \varepsilon_1}{\phi^T \phi + \varepsilon_2}; 0 < \varepsilon_1 < 2; 0 < \varepsilon_2 \right\}. \quad (22)$$

Để đánh giá các sai số trong quá khứ, ta dùng hàm  $d(z)$ :

$$d(z) = 1 + d_1 z^{-1} + \dots + d_N z^{-N}. \quad (23)$$

Lúc này, ta có:

$$e_d(n) = e(n)d(z). \quad (24)$$

### 3. BỘ CÂN BẰNG SONG TUYẾN

Từ công thức (12) và [8], ta xét hệ với cấu trúc hồi quy như sau:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i(n)x(n-i) + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} b_{i,j}(n)x(n-i)y(n-j) + \sum_{j=1}^{N-1} c_j(n)y(n-j) = G(n)H(n) \quad (25)$$

với:

$$\begin{aligned} H(n) &= [a_1(n), a_2(n), \dots, a_{N-1}(n); b_{01}(n), b_{02}(n), \dots, b_{N-1, N-1}(n); c_1(n), c_2(n), \dots, c_{N-1}(n)]^T, \\ G(n) &= [x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1); x(n)y(n-1), x(n)y(n-2), \dots, x(n-1)y(n-1), \\ &\quad x(n-1)y(n-2), \dots, x(n-N+1)y(n-N+1); y(n-1), \dots, y(n-1-N)]. \end{aligned} \quad (26)$$

Để đơn giản, ta xét hệ với  $N = 3$ , ta có phương trình biểu diễn sự liên quan giữa đầu vào, đầu ra, quá khứ và các hệ số thay đổi như sau:

$$\begin{aligned} y(n) &= a_0(n)x(n) + a_1(n)x(n-1) + a_2(n)x(n-2) + b_{01}(n)x(n)y(n-1) + b_{02}(n)x(n)y(n-2) \\ &\quad + b_{11}(n)x(n-1)y(n-1) + b_{12}(n)x(n-1)y(n-2) + b_{21}(n)x(n-2)y(n-1) \\ &\quad + b_{22}(n)x(n-2)y(n-2) + c_1(n)y(n-1) + c_2(n)y(n-2). \end{aligned} \quad (27)$$

Và tín hiệu nhận dạng có phương trình:

$$\begin{aligned} \hat{y}(n) &= \hat{a}_0(n)x(n) + \hat{a}_1(n)x(n-1) + \hat{a}_2(n)x(n-2) + \hat{b}_{01}(n)x(n)\hat{y}(n-1) + \hat{b}_{02}(n)x(n)\hat{y}(n-2) \\ &\quad + \hat{b}_{11}(n)x(n-1)\hat{y}(n-1) + \hat{b}_{12}(n)x(n-1)\hat{y}(n-2) + \hat{b}_{21}(n)x(n-2)\hat{y}(n-1) \\ &\quad + \hat{b}_{22}(n)x(n-2)\hat{y}(n-2) + \hat{c}_1(n)\hat{y}(n-1) + \hat{c}_2(n)\hat{y}(n-2). \end{aligned} \quad (28)$$

Sơ đồ mô tả hệ được biểu trong hình 4. Trong đó, ta có:

$$\hat{H}(n) = [\hat{a}_1(n), \hat{a}_2(n), \dots, \hat{a}_{N-1}(n); \hat{b}_{01}(n), \hat{b}_{02}(n), \dots, \hat{b}_{N-1, N-1}(n); \hat{c}_1(n), \hat{c}_1(n), \dots, \hat{c}_{N-1}(n)]^T,$$

$$\hat{a}_i(n) = \hat{a}_i(n-1) + \bar{\mu}_1(n) \text{sign}[e(n)]x(n-i), \quad (29)$$

$$\hat{b}_{ij}(n) = \hat{b}_{ij}(n-1) + \bar{\mu}_2(n) \text{sign}[e(n)]x(n-i)\hat{y}(n-j), \quad (30)$$

$$\hat{c}_j(n) = \hat{c}_j(n-1) + \bar{\mu}_3(n) \text{sign}[e(n)]\hat{y}(n-j), \quad (31)$$

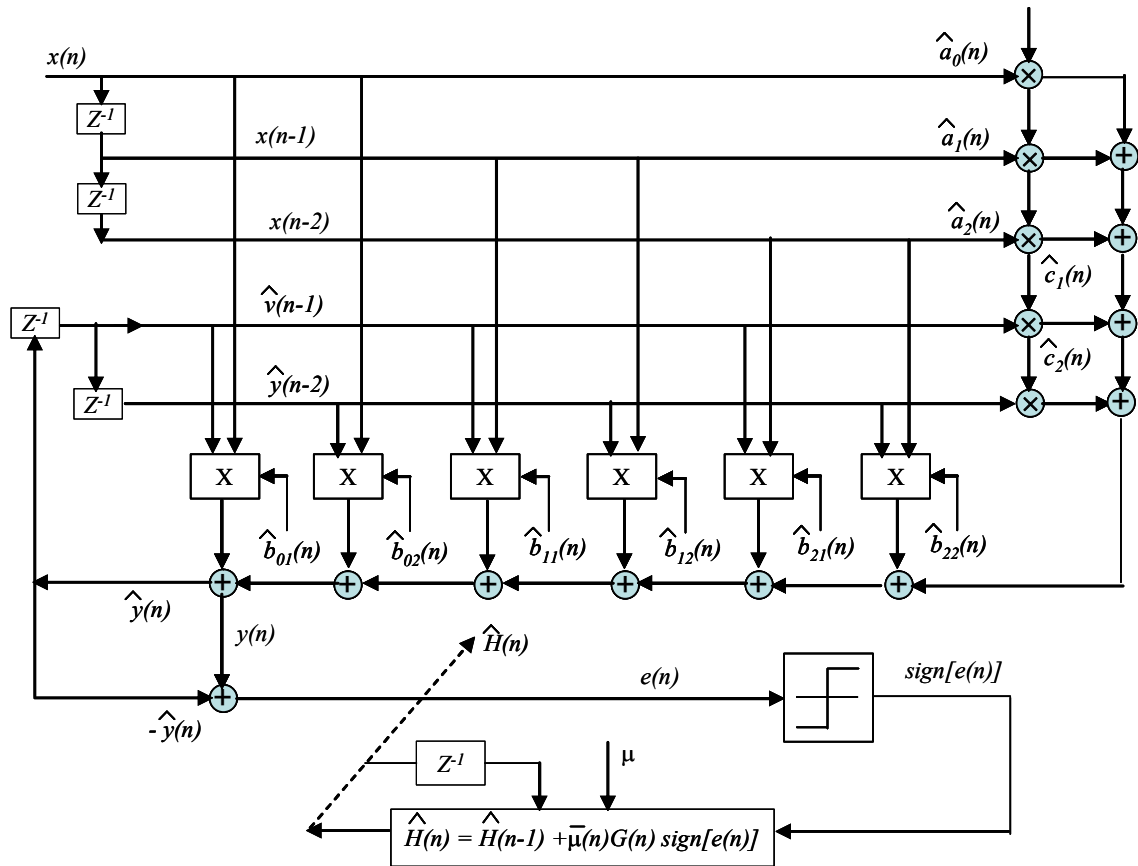
với  $i = 0, 1, \dots, N-1$ ,  $j = 1, 2, \dots, N-1$ . Từ công thức (7), ta có:

$$\bar{\mu}_1(n) = \frac{\mu_{k_1}}{x^T(n-i)x(n-i) + \alpha D^T D} \quad (32)$$

$$\bar{\mu}_2(n) = \frac{\mu_{k_2}}{[x(n-i)y(n-j)]^T [x(n-i)y(n-j)] + \alpha D^T D} \quad (33)$$

$$\bar{\mu}_3(n) = \frac{\mu_{k_3}}{y^T(n-i)y(n-i) + \alpha D^T D} \quad (34)$$

$D$  là ma trận đường chéo,  $\alpha$  là thông số bé Levenberg-Marquardt,  $\mu_{k_1}, \mu_{k_2}, \mu_{k_3}$  có thể xác định theo (22) hoặc phương pháp xấp xỉ ngẫu nhiên [13].

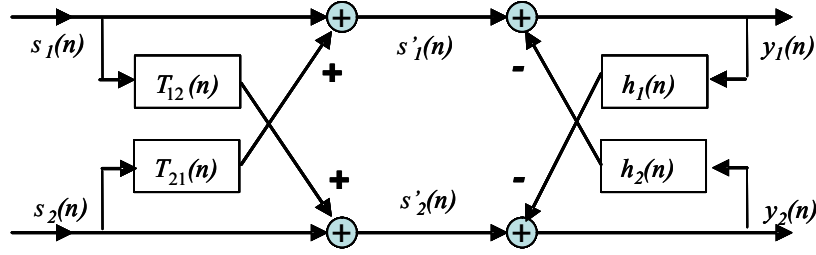


Hình 3

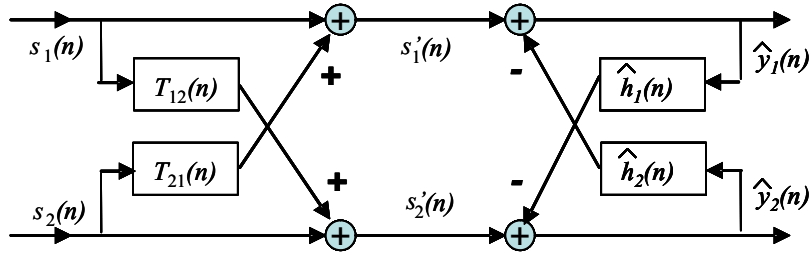
#### 4. CÂN BẰNG MÙ

Trong hệ thống điều chế đơn sóng mang có ba loại cân bằng để giảm ISI và MAI. Đó là cân bằng không mù, bán mù và cân bằng mù. Cân bằng không mù và bán mù được xây dựng dựa trên tín hiệu thu và tín hiệu lái. Trong khi đó, bộ cân bằng mù được thiết kế chỉ cần tín hiệu thu và các thuộc tính của nó.

Từ hình (1) và [7, 11, 12], ta có thể biểu diễn hệ thống cân bằng mù theo sơ đồ như sau:



Hình 5



Hình 6

$$s'_1(n) = s_1(n) + s_2(n)T_{21}(n) \quad (35)$$

$$s'_2(n) = s_2(n) + s_1(n)T_{12}(n) \quad (36)$$

Ở đây, bộ lọc xuyên âm  $T_{12}(n)$ ,  $T_{21}(n)$  và bộ lọc thích nghi (hệ số  $\hat{h}_1(n)$ ,  $\hat{h}_2(n)$ ) là các bộ lọc FIR. Ta có:

$$\hat{y}_1(n) = s'_1(n) - \hat{h}_2(n)\hat{y}_2(n) \quad (37)$$

$$\hat{y}_2(n) = s'_2(n) - \hat{h}_1(n)\hat{y}_1(n) \quad (38)$$

Nếu chúng ta cho rằng các trọng số của bộ lọc và các bộ lọc xuyên âm có quan hệ nhân quả thì ta được kết quả như sau:

$$\begin{cases} \hat{y}_1(n) = s_1(n) & \text{với } \hat{h}_1(n) = T_{12}(n) \\ \hat{y}_2(n) = s_2(n) & \text{với } \hat{h}_2(n) = T_{21}(n) \end{cases} \quad (39)$$

Hoặc:

$$\begin{cases} \hat{y}_1(n) = T_{21}(n)s_2(n) & \text{với } \hat{h}_1(n) = 1/T_{21}(n) \\ \hat{y}_2(n) = T_{12}(n)s_1(n) & \text{với } \hat{h}_2(n) = 1/T_{12}(n) \end{cases} \quad (40)$$

với

$$\hat{h}_1(n) = \hat{h}_1(n-1) + \bar{\mu}_1(n)\text{sign}[e_1(n)]\text{sign}[\hat{y}_1(n-1)], \quad (41)$$

$$\hat{h}_2(n) = \hat{h}_2(n-1) + \bar{\mu}_2(n)\text{sign}[e_2(n)]\text{sign}[\hat{y}_2(n-1)], \quad (42)$$

$$\bar{\mu}_1(n) = \frac{\mu_{k_1}}{\hat{y}_1^T(n-1)\hat{y}_1(n-1) + \alpha D^T D} \quad (43)$$

$$\bar{\mu}_2(n) = \frac{\mu_{k_2}}{\hat{y}_2^T(n-1)\hat{y}_2(n-1) + \alpha D^T D} \quad (43)$$

## 5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng ta đã xây dựng thuật toán tối ưu bền vững cho hệ cân bằng phi tuyến.

Mặt khác, nhằm nâng cao chất lượng cho bộ cân bằng của hệ phi tuyến, chúng ta đề xuất phương án song tuyến. Lợi thế của phương án song tuyến là xấp xỉ được các hệ phi tuyến với độ chính xác cao, nhờ sử dụng những đặc điểm của hệ tuyến tính, nhất là để giải quyết bài toán cho những hệ chịu tác động ngẫu nhiên.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alberto Gutierrez, William E. Ryan, Performance of volterra and MLSF receivers for nonlinear band-limited satellite systems, *IEEE Transactions on communications* **48** (7) (2000).
- [2] Christina Fragouli, Naofal Al-Dhahir, Suhas N. Diggavi and William Turin, Prefiltered space-time M-BCJR equalizer for frequency-selective channels, *IEEE transactions on communications* **50** (5) (2002).
- [3] Fredric M. Ham, Ivica Kostanic, *Principles of neurocomputing for science and engineering*, McGraw-Hill, Singapore, 2001.
- [4] Lian Bing, Wang Hongyu, Recursive structure and quasi-recursive structure of adaptive volterra filter and their algorithms and applications, *Journal of electronics* **15** (1) (1998).
- [5] Li Tan, Jean Jiang, An adaptive technique for modeling second-order volterra systems with sparse kernels, *IEEE Transactions on circuits and systems II - Analog and digital signal processing* **45** (12) (1998).
- [6] Li Tan, Jean Jiang, Adaptive volterra filters for active control of nonlinear noise processes, *IEEE Transactions on signal processing* **49** (8) (2001).
- [7] Lee M. Garth, A dynamic convergence analysis of blind equalization algorithms, *IEEE Transactions on communications* **49** (4) (2001).
- [8] Lu Ziyi, Yang Luxi and He Zhenya, A system identification method using vector space base function, *Journal of electronics* **16** (2) (1999).
- [9] Nguyễn Kỳ Tài, Thuật toán đánh giá độ bền vững Levenberg-Marquadt trong vấn đề khử tiếng vọng âm học, *Tạp chí tin học và Điều khiển học* **20** (1) (2003).
- [10] Robert D. Nowak, Barry D. Van Veen, Volterra filter equalization: a fixed point approach, *IEEE Transactions on signal processing* **45** (2) (1997).
- [11] Sudarshan Rao Nelatury, Sathyanarayan S. Rao, Increasing the speed of convergence of the constant modulus algorithm for blind channel equalization, *IEEE Transactions on communications* **50** (6) (2002).
- [12] Yu Xiao, Hu Guangrui, blind signal separation based on ME and statistical estimation, *Journal of electronics* **16** (2) (1999).
- [13] S. Sitharama Iyengar, E. C. Cho, Vir V. Phoha, *Foundations of wavelet networks and applications*, Chapman & Hall / CRC, 2002 (209–211).

Nhận bài ngày 01 - 7 - 2003