Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T. 18, S. 4 (2002), 370–374

NHẬN DẠNG THAM SỐ HỆ ĐỘNG PHI TUYẾN KẾT HỢP CHỈNH HÓA

NGUYỄN KỲ TÀI

Abstract. In the field of digital signal processing, system identification is always an important problem. In this paper, it is argued that applications the Volterra - Series, one application of Volterra - Series is the Volterra filters for equalization in communication, radar, sonar, control, and so on. The Tikhonov regularization with stochastic approximation method is used to solve the regularization of non-linear system indentification problems.

Tóm tắt. Trong lĩnh vực xử lý tín hiệu số, nhận dạng hệ thống luôn là vấn đề quan trọng. Trong bài này, vấn đề được đề cập là ứng dụng chuỗi Volterera, một ứng dụng của nó là bộ lọc Volterera dùng trong thông tin, điều khiển, rađa,... Đồng thời, chỉnh hóa Tikhonov với phương pháp xấp xỉ ngẫu nhiên cũng được sử dụng để chỉnh hóa trong khi nhận dạng hệ thống vi tuyến.

1. GIỚI THIỆU

Nhận dạng tham số hệ động phi tuyến là bài toán không chỉnh ([3,4,7,14]). Nội dung bài báo là đưa ra phương pháp nhận dạng tham số của hệ động phi tuyến. Nhiều hệ thống động phi tuyến có thể chuyển về dạng chuỗi Volters ([1, 5, 8, 9]).

2. QUY TRÌNH ĐÁNH GIÁ CÁC THÔNG SỐ

Ta xét hệ thống phi tuyến được mô tả bởi phương trình:

$$\begin{aligned} y(n) =& \theta_0 + \sum_{i_1=1}^{N} \theta_{i_1} x(n-i_1+1) + \sum_{i_1=1}^{N}\sum_{i_2=1}^{N} \theta_{i_1}\theta_{i_2} x(n-i_1+1)x(n-i_2+1) + \\ &+ \ldots + \sum_{i_1=1}^{N} \ldots \sum_{i_L=1}^{N} \theta_{i_1 i_2 \ldots i_L} x(n-i_1+1)x(n-i_2+1)\ldots x(n-i_L+1) + \nu(n) \end{aligned} \tag{1}$$

Hoặc ta có thể viết:

$$y(n) = \theta\psi + \nu(n) \tag{2}$$

Với véc tơ thông số θ:

$$\theta = \left[\theta_0 \vdots \theta_1, \ldots, \theta_N \vdots \theta_{11}, \ldots, \theta_{NN} \vdots \ldots \vdots \theta_{\underbrace{11\ldots1}_{L}}, \ldots, \theta_{\underbrace{NN\ldots N}_{L}} \right]$$

$$\theta = [\theta_0\theta_1 \ldots \theta_m]; \qquad m = N + N*N + \ldots + \underbrace{N*N*\ldots N}_{L}$$

Và véc tơ quan sát ψ

$$\psi = [\psi_0\psi_1 \ldots \psi_m]^T$$

$$\psi = \Big[1\vdots x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1)\vdots x(n)x(n), \dots, x(n-N+1)X(n-N+1)\vdots$$

$$\underbrace{x(n)x(n)\dots x(n)}_{L}\vdots\dots\vdots\underbrace{x(n-N+1)x(n-N+1)\dots x(n-N+1)}_{L}\Big]^T$$

$L \leq N$
$\nu(n)$: nhiễu của hệ thống

Ở đây:
$y(n)$ và $x(n)$ là đầu ra và đầu vào của hệ thống
$\nu(n)$ là nhiễu gausse (có phân bố chuẩn)

Ứng với phương trình (1), để tìm các hệ số θ chưa biết, ta sử dụng mô hình:

$$\hat{Y}(n,\theta) = \overset{\wedge}{\theta}\psi \tag{3}$$

$$\begin{aligned}\hat{y}(n,\theta) =&\overset{\wedge}{\theta}_0 + \sum_{i_1=1}^{N}\overset{\wedge}{\theta}_{i_1}x(n-i_1+1) + \sum_{i_1=1}^{N}\sum_{i_2=1}^{N}\overset{\wedge}{\theta}_{i_1i_2}x(n-i_1+1)x(n-i_2+1) + ...+\\ &+\sum_{i_1=1}^{N}\dots\sum_{i_L=1}^{N}\overset{\wedge}{\theta}_{i_1i_2...i_L}x(n-i_1+1)x(n-i_2+1)...x(n-i_L+1)\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}\overset{\wedge}{\theta} &= \Big[\overset{\wedge}{\theta}_0\vdots\overset{\wedge}{\theta}_1, ..., \overset{\wedge}{\theta}_N\vdots\overset{\wedge}{\theta}_{11}, ..., \overset{\wedge}{\theta}_{NN}\vdots\dots\vdots\overset{\wedge}{\theta}_{\underbrace{11...1}_{L}}, ..., \overset{\wedge}{\theta}_{\underbrace{NN...N}_{L}}\Big]\\ &= [\overset{\wedge}{\theta}_0\overset{\wedge}{\theta}_1\dots\overset{\wedge}{\theta}_m]\end{aligned}$$

3. GIẢI BÀI TOÁN

Ta xét sai số giữa hệ thống thực và mô hình ở dạng sau:

$$e(n,\theta) = y(n) - \hat{y}(n,\theta) = y(n) - \overset{\wedge}{\theta}\psi(n) \tag{5}$$

Xét tiêu chuẩn bình phương tối thiểu cho sai số $e(n)$ ([2, 6, 10, 13, 14, 16]), ta có:

$$V(\theta) = \frac{1}{2}E\left\{[e(n,\theta)]^2\right\} = \frac{1}{2}E\left\{\left[y(n) - \hat{y}(n,\theta)\right]^2\right\} = \frac{1}{2}E\left\{\left[y(n) - \overset{\wedge}{\theta}\psi(n)\right]^2\right\} \tag{6}$$

$E[.]$ là kỳ vọng toán học

$$V(\theta) \longrightarrow \min_{\overset{\wedge}{\theta}}$$

Điều kiện để tối thiểu hóa (6) là gradient theo θ của $V(\theta)$ bằng không

$$V(\theta) = \frac{1}{2}E\left\{y^2(n)\right\} - E\left\{y(n)\psi^T(n)\right\}\theta(n) + \frac{1}{2}\theta^T(n)E\left\{\psi(n)\psi^T(n)\right\}\theta(n) \tag{7}$$

$$\nabla_\theta V(\theta) = \frac{\partial V(\theta)}{\partial\theta} = -E\left\{y(n)\psi(n)\right\} + E\left\{\psi(n)\psi^T(n)\right\}\theta(n) = 0 \tag{8}$$

Hoặc là ta có thể viết:

$$\overset{\wedge}{\theta} = \arg\min\left\{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}[e(n,\theta)]^2\right\} \tag{9}$$

Chú ý rằng:

$$\min\left\{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}[e(n,\theta)]^2\right\}$$

tùy thuộc giá trị cực đại ε có thể chấp nhận được của sai số

$$\max_{1\leq n\leq N}|e(n,\theta)| = \max_{1\leq n\leq N}|y(n) - \hat{y}(n,\theta)| \leq \varepsilon \tag{10}$$

ε không thể chọn nhỏ quá, nếu không bài toán sẽ không giải được. Điều kiện đủ của ε là:

$$\varepsilon \geq \max_{1\leq n\leq\mu,\ \mu\geq m+1}|\nu(n)| \tag{11}$$

Khi đó, ta có:

$$\varepsilon^2 - [e(n,\theta)]^2 = \varepsilon^2 - [y(n) - \hat{y}(n,\theta)]^2 \geq 0 \tag{12}$$

Như vậy:

$$[e(n,\theta)]^2 \to \min \Longleftrightarrow \varepsilon^2 - [e(n,\theta)]^2 \to \max;\ \ |e_i| \leq \varepsilon \tag{13}$$

Hay là:

$$\overset{\wedge}{\theta} = \underset{\overset{\wedge}{\theta},|e(n,\overset{\wedge}{\theta})|\leq\varepsilon}{\arg\min}\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}[y(n) - \hat{y}(n,\theta)]^2 = \underset{\overset{\wedge}{\theta},|e(n,\overset{\wedge}{\theta})|\leq\varepsilon}{\arg\max}\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left\{[\varepsilon^2 - [y(n) - \hat{y}(n,\theta)]^2\right\} \tag{14}$$

Ta có thể ước lượng tham số $\overset{\wedge}{\theta}_{n+1}, \overset{\wedge}{\theta}_i(n+1);\ i = 1, 2, ..., m$ tại thời điểm $(n+1)$ dựa trên tham số $\overset{\wedge}{\theta}_n$ tại thời điểm n như sau:

$$\overset{\wedge}{\theta}_{n+1} = \overset{\wedge}{\theta}_n + \frac{\overline{\mu}(n)}{\|\psi(n)\|^2 + \alpha I}e(n,\overset{\wedge}{\theta}_n)\psi(n); \tag{15}$$

$$\overset{\wedge}{\theta}_{n+1} = \overset{\wedge}{\theta}_n + \frac{\overline{\mu}(n)}{\|\psi(n)\|_2^2 + \alpha I}e(n,\overset{\wedge}{\theta}_n)\psi(n);$$

$$\overset{\wedge}{\theta}_i(n+1) = \overset{\wedge}{\theta}_i(n) + \frac{\overline{\mu}(n)}{\|\psi_i(n)\|_2^2 + \alpha I}e(n,\overset{\wedge}{\theta}_i)\psi_i(n);\quad i = 1, 2, ..., m$$

I là ma trận đơn vị

α là thông số bé Trikhonop, $\alpha > 0$

$\overline{\mu}(n)$ là hệ số học, được chọn dựa theo phương pháp xấp xỉ ngẫu nhiên ([11,12,15]).

$$\overline{\mu}(n) = \frac{C_0}{C+n} > 0;\quad C_0 \leq C$$

$$\lim_{n\to\infty}\overline{\mu}(n) = 0;\quad \sum_{n=1}^{\infty}\overline{\mu}(n) = \infty;\quad \sum_{n=1}^{\infty}[\overline{\mu}(n)]^k \prec \infty;\quad k \geq 2;\quad 0 \leq \overline{\mu}(n) \leq 1 \tag{16}$$

Trong biểu thức (10), ta khẳng định tồn tại $\varepsilon > 0$ là số dương cố định và ta giả thiết các hệ số học được chọn theo phương pháp xấp xỉ ngẫu nhiên trong biểu thức (16) có giá trị cực đại và cực tiểu.

$$0 < \underset{\min}{\overline{\mu}(n)} \le \overline{\mu}_j(n) \le \underset{\max}{\overline{\mu}(n)} \le 1 \tag{17}$$

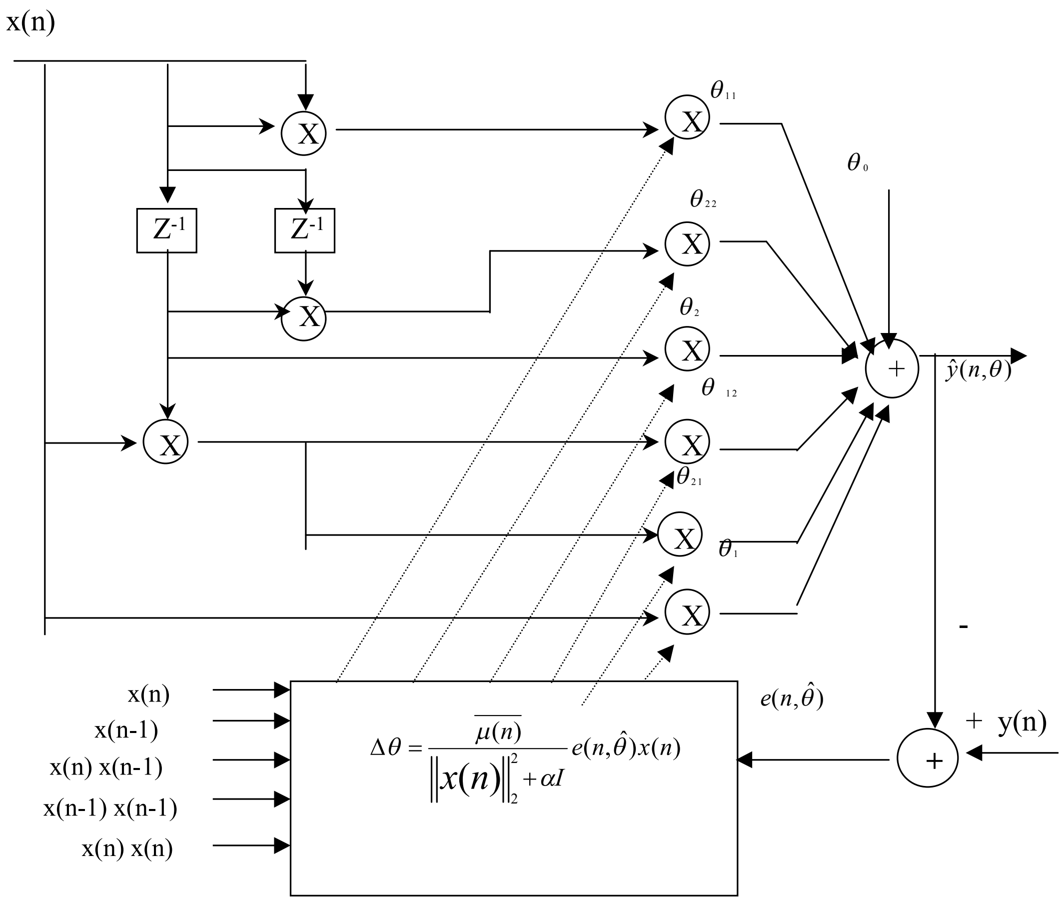
Từ (15) và (17), ta có thể viết:

$$\hat{\theta}_{n+1} = \hat{\theta}_n + \frac{\overline{\mu}_j(n)}{\|\psi(n)\|_2^2 + \alpha I} e(n, \hat{\theta}_n)\psi(n) \tag{18}$$

$$\hat{\theta}_i(n+1) = \hat{\theta}_i(n) + \frac{\overline{\mu}_j(n)}{\|\psi_i(n)\|_2^2 + \alpha I} e(n, \hat{\theta}_i)\psi_i(n); \quad i = 1, 2, ..., m \tag{19}$$

Ở đây:

$$\overline{\mu}_j(n) = \begin{cases} \underset{\max}{\overline{\mu}(n)} & \text{nếu} \quad |e(n, \hat{\theta})| > \varepsilon \\ \underset{\min}{\overline{\mu}(n)} & \text{nếu} \quad |e(n, \hat{\theta})| \le \varepsilon \end{cases} \tag{20}$$



Hình 1

Xét hệ trên Hình 1

$$y(n) = \theta_0 + \sum_{i_1=1}^{2} \theta_{i_1} x(n - i_1 + 1) + \sum_{i_1=1}^{2} \sum_{i_2=1}^{2} \theta_{i_1 i_2} x(n - i_1 + 1) x(n - i_2 + 1)$$

4. KẾT LUẬN

Bài toán nhận dạng tham số hệ động phi tuyến với ý tưởng sử dụng phương pháp chỉnh hóa Trikhônôp là bài toán cần được coi trọng đặc biệt vì có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật điện tử viễn thông ([4, 6]). Nội dung bài báo là phát triển tiếp công trình [2, 7] theo hướng kết hợp chỉnh hóa Trikhônôp và ứng dụng chuỗi Volters [1, 8, 9].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Allan Kardec Barros,Tomasz Rutkowski, Fumitada Itakura, and Noboru Ohnishi, Estimation of speech embedded in a reverberant and noisy environment by independent component analysis and wavelets, *IEEE Transactions on neural networks*, **13** (4) (2002).
[2] B.D.O. Anderson and J.B. Moore, *Optimal Filtering*, Printice Hall, 1979.
[3] Er-Wei Bai, Yih - Fang Huang, Variable gain parameter estimation algorithms for fast tracking and smooth steady state, *Automatica* **36** (2000) (1001–1008).
[4] Fredric M. Ham, Ph.D and Ivica Kostanic, *Principles of Neurocomputing for Sience and Engineering*, Mc Graw Hill.
[5] G. Kreisselmeier, Stabilized least-squares type adaptive identifiers, *Tr. AL.* **35** (1990) (306–410).
[6] K.B.Hani, J. Ghaboussi, and S. P. Schneider, Experiment study of idendtification and control of structures using neural networks, Part 1: Identification eartquake, *Engineering and Structural Dynamics* **28** (1999) (995–1018).
[7] Nguyễn Bê, Nguyễn Kỳ Tài, Võ Thị Thu Sương, Trần Như Hồng, Nhận dạng tham số hệ động kết hợp chỉnh hóa, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học*, **18** (2) (2002).
[8] Robert D. Nowak and Barry D. Van Veen, Volterra Filter Equalization: A Fixed Point Approach, *IEEE Transactions on signal processing*, **45** (2) (1997).
[9] Robert D. Nowak, Penalized least squares estimation of Volterra filters and higher order statistics, *IEEE Transactions on signal processing*, **46** (2) (1998).
[10] Robert Fullér, *Neural Fuzzy Systems*, Abo Akademi University, 1995.
[11] S. Katagiri, B.-H. Juang, and C.-H. Lee, Pattern recognition using a family of design algorithms based upon the generalized probabilistic descent method, *Proc. IEEE*, **86** (11) 1998 (2345–2373).
[12] Satoshi Nakamura, Statistical multimodal integration for audio-visual speech processing, *IEEE Transactions on neural networks,* **13** (4) (2002).
[13] Simon HayKin, *Neural Networks*, Prentice Hall, 1994.
[14] Vũ Như Lân, *Một số vấn đề nhận dạng mô hình và điều khiển sử dụng mạng Nơron, Hệ mờ - mạng Nơron và ứng dụng*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2001.
[15] Wu and Yu, New Nonlinear algorithms for estimating and suppressing narrowband interference, *IEEE Transations on communications,* **44** (4) (1996).
[16] Zeng-Jun Xiang and Guang-Guo Bi, A new lattice polynomial perceptron and its applications to frequency-selective fading channel equalization and ACI suppression, *IEEE Transactions on signal processing,* **44** (7) (1996).

Nhận bài ngày 10 - 1 - 2002

Bộ môn Điện Tử - Khoa Điện ĐH Bách Khoa Tp Hồ Chí Minh