Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T. 18, S. 2 (2002), 163–166

NHẬN DẠNG THAM SỐ HỆ ĐỘNG KẾT HỢP CHỈNH HÓA

NGUYỄN BÊ, NGUYỄN KỲ TÀI,
VÕ THỊ THU SƯƠNG, TRẦN NHƯ HỒNG

Abstract. The combination of regularization and identification model in recursive parameter estimation is studied. It is shown that regularization of the information matrix corresponds to a normalization of the covariance matrix.

Tóm tắt. Nghiên cứu sự kết hợp giữa chỉnh hóa và nhận dạng mô hình trong bài toán ước lượng tham số. Từ đó chỉ ra việc chỉnh hóa ma trận thông tin phù hợp với quá trình đảm bảo tồn tại nghịch đảo ma trận hiệp phương sai.

1. MỞ ĐẦU

Nhận dạng mô hình là một bài toán không chỉnh điển hình [4], vì vậy trong các thuật toán nhận dạng cần phải sử dụng quá trình chỉnh hóa phù hợp. Nhiều thuật toán nhận dạng tham số hiện nay [3] chưa coi trọng vấn đề này. Nội dung bài báo là sự bổ sung cho thiếu sót trên trong vấn đề nhận dạng tham số mô hình hiện nay.

2. ĐẶT BÀI TOÁN

Mọi hệ thống học tuyến tính có thể chuyển về hệ dạng hồi qui điển hình sau:

$$y(k) = H^T(k)\theta(k-1) + \nu(k), \tag{1}$$

trong đó:
$y(k)$ - tín hiệu ra đo được tại thời điểm k,
$\nu(k)$ - nhiễu tác động tại thời điểm k,
$H(k)$ - vectơ hồi qui chứa tín hiệu vào u và tín hiệu ra y với các trễ theo thời gian có dạng:

$$H(k) = [y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n); u(k), u(k-1), \dots, u(k-m)]^T,$$

$\theta(k)$ - vectơ tham số hệ động học có dạng:

$$\theta(k) = [a_1(k), a_2(k), \dots, a_n(k); b_0(k), b_1(k), \dots, b_m(k)]^T.$$

Phương trình (1) tương đương với hệ động học sau đây

$$y(k) = \sum_{i=1}^{n} a_i(k)y(k-i) + \sum_{j=0}^{m} b_j(k)u(k-j) + v(k). \tag{1.a}$$

Cần nhận dạng tham số mô hình (1) hoặc (1a) dựa trên số lượng hữu hạn cặp vào-ra $(u(k), y(k))$, $k = 1, 2, \dots, N$.

3. GIẢI BÀI TOÁN

Để nhận dạng vectơ tham số $\theta(k)$, xét các thuật toán bình phương nhỏ nhất hồi qui (recursive least squares indentification) đối với mô hình (1) phổ biến hiện nay có dạng như ở [3]

$$\theta(k) = \theta(k-1) + P(k/k)H(k)(y(k) - H^T(k)\theta(k-1)). \tag{2}$$

Ở đây $P(k/k)$ là ma trận đối xứng thể hiện tính bất định hệ thống động học. Ta hãy xét một số thuật toán xung quanh (2). Từ lý thuyết ước lượng [1] phải xét quá trình cập nhật thông tin đồng thời với sự lạc hậu thông tin theo thời gian. Như vậy việc cập nhật quan sát để có thông tin nếu xác định một cách đơn giản nhất sẽ là sự đảo ngược của bất định và vì thế ma trận thông tin có dạng sau

$$R(k/k) = P^{-1}(k/k). \tag{3}$$

Theo [1] việc cập nhật thông tin được thiết kế theo kiểu:

$$R(k/k) = R(k/k-1) + H(k)H^T(k). \tag{4}$$

Từ đây nếu áp dụng định lý đảo ma trận cho (3) trên cơ sở (4) sẽ cho kết quả tương tự như ở [3]:

$$P(k/k) = P(k/k-1) - \frac{P(k/k-1)H(k)H^T(k)P(k/k-1)}{1 + H^T(k)P(k/k-1)H(k)}. \tag{5}$$

Bài toán nhận dạng tham số là bài toán cực tiểu tiêu chuẩn bình phương có trọng số. Còn sự cập nhật tính lạc hậu của thông tin theo thời gian có thể biểu diễn qua một tác tử xác định tính chất lạc hậu này.

Ví dụ tác tử lãng quên (forgetting factor) như trong [4] hoặc quan hệ ở [1]:

$$\overline{P}(k+1/k) = \frac{1}{\lambda(k)}P(k/k), \tag{6}$$

trong đó $0 < \lambda \leq 1$ là tác tử xác định tính chất lạc hậu của thông tin chứa trong quan sát theo thời gian. Dạng $\lambda(k)$ tùy chọn theo kinh nghiệm.

Như vậy suy ra:

$$\overline{R}(k+1/k) = \overline{P}^{-1}(k+1/k) = \lambda(k)R(k/k). \tag{7}$$

Trong trường hợp vectơ tham số hệ động học thay đổi ngẫu nhiên, bài toán ước lượng tham số được xem như bài toán ước lượng trạng thái và có thể sử dụng bộ lọc Kalman. Sự cập nhật tính lạc hậu của thông tin theo thời gian được xác định theo sự tăng lên của tính bất định:

$$\overline{P}(k+1/k) = P(k/k) + \Delta(k). \tag{8}$$

Ở đây $\Delta(k)$ là ma trận đối xứng được xác định theo bộ lọc Kalman hoặc được chọn trước. Như thế, phương trình (6) hoặc (8) cùng với sự cập nhật quan sát (4) cho phép khởi động thuật toán nhận dạng bình phương nhỏ nhất hồi qui khi cho trước các giá trị vectơ tham số ban đầu $\theta(0)$ và ma trận thông tin $R(1/0)$.

Đến đây có thể kết hợp sử dụng định lý đảo ma trận và biểu diễn phương trình (8) dưới dạng:

$$\overline{R}(k+1/k) = R(k/k) - R(k/k)[R(k/k) + \Delta^{-1}(k)]^{-1}R(k/k). \tag{9}$$

Những thuật toán nêu trên sẽ gặp khó khăn khi tính toán trực tiếp trên máy tính. Sai số nhỏ trong điều kiện ban đầu sẽ dẫn đến sai số lớn trong kết quả cuối cùng. Đó là tính không chỉnh của bài toán nhận dạng tham số. Phần dưới đây trình bày khả năng khắc phục hạn chế trên bằng cách kết hợp chỉnh hóa trong các thuật toán nhận dạng.

4. KẾT HỢP CHỈNH HÓA TRONG NHẬN DẠNG THAM SỐ MÔ HÌNH

Phương pháp quan trọng để phòng ngừa ma trận thông tin trở nên suy biến là bổ sung một ma trận xác định vào ma trận thông tin để đảm bảo rằng luôn luôn tồn tại ma trận thông tin đảo. Có nghĩa là:

$$R(k+1/k) = \overline{R}(k+1/k) + \alpha I, \tag{10}$$

trong đó $\alpha > 0$ là đại lượng vô hướng tùy chọn. Kết hợp (9), (10, và (4) cho kết quả:

$$R(k+1/k+1) = R(k/k) - R(k/k)[R(k/k) + \Delta^{-1}(k)]^{-1}R(k/k) + H(k+1)H^T(k+1) + \alpha I. \tag{11}$$

Trong trường hợp bộ lọc Kalman với tác tử $\lambda(k)$ dạng exponent, kết quả như sau:

$$R(k+1/k+1) = \lambda(k)R(k/k) + H(k+1)H^T(k+1) + \alpha I. \tag{12}$$

Sử dụng định lý đảo ma trận đối với (10), thu được:

$$P(k+1/k) = \overline{P}(k+1/k)[I + \alpha\overline{P}(k+1/k)]^{-1}. \tag{13}$$

Như vậy là việc chỉnh hóa ma trận thông tin R phù hợp với việc đảm bảo tồn tại nghịch đảo ma trận hiệp phương sai P. Trong trường hợp bộ lọc Kalman, kết quả là:

$$P(k+1/k) = P(k/k-1) - \frac{P(k/k-1)H(k)H^T(k)P(k/k-1)}{1 + H^T(k)P(k/k-1)H(k)} + \Delta(k). \tag{14}$$

Nếu sử dụng tác tử $\lambda(k)$ dạng exponent thì cùng với (13), ma trận hiệp phương sai có dạng:

$$P(k+1/k) = \frac{1}{\lambda(k)}\left[P(k/k-1) - \frac{P(k/k-1)H(k)H^T(k)P(k/k-1)}{1 + H^T(k)P(k/k-1)H(k)}\right]. \tag{15}$$

5. MỘT SỐ THUẬT TOÁN CHỈNH HÓA CẢI BIÊN BỔ SUNG

Ý tưởng chỉnh hóa trong bài toán nhận dạng mô hình hệ động học cho phép tiếp tục phát triển theo hướng khử tính không chỉnh trong phương trình (13). Có thể chọn $\overline{P}(k+1/k)$ trong nhân tử thứ 2 của (13) bằng ma trận đơn vị, khi đó phương trình (13) trở thành:

$$P(k+1/k) = \frac{1}{1+\alpha}\overline{P}(k+1/k). \tag{16}$$

Có nghĩa là ma trận hiệp phương sai được co giãn bằng đại lượng dương vô hướng nhỏ hơn 1. Trong trường hợp sử dụng bộ lọc Kalman, nếu kết hợp phương trình (16) với (8), nhận được:

$$P(k+1/k) = \frac{1}{1+\alpha}P(k/k) + \frac{1}{1+\alpha}\Delta(k). \tag{17}$$

Phương trình (17) cùng phương trình cập nhật (4) và chọn $\Delta(k) = I$, thu được thuật toán tính toán đơn giản như ở [2].
Ngoài ra cũng có thể thay:

$$[I + \alpha\overline{P}(k+1/k)]^{-1} \approx \frac{\text{const}}{\text{trace}\overline{P}(k+1/k)}. \tag{18}$$

Như vậy (13) trở thành:

$$P(k+1/k) = \frac{\text{const}}{\text{trace}\overline{P}(k+1/k)}\overline{P}(k+1/k). \tag{19}$$

Hoặc khi α đủ nhỏ, có thể sử dụng

$$[I + \alpha\overline{P}(k+1/k)]^{-1} \approx I - \alpha\overline{P}(k+1/k) \tag{20}$$

và (13) có dạng:

$$P(k+1/k) = \overline{P}(k+1/k) - \alpha\overline{P}^2(k+1/k). \tag{21}$$

6. KẾT LUẬN

Vấn đề chỉnh hóa là một vấn đề có phổ ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật tính toán, đặc biệt cho các bài toán ngược nói chung và bài toán nhận dạng tham số mô hình nói riêng. Bài báo là sự phát triển của [5, 6] với ý tưởng sử dụng phương pháp chỉnh hóa trong các thuật toán nhận dạng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] B. D. O. Anderson and J. B. Moore, *Optimal Filtering*, Printice Hall, 1979.

[2] G. Kreisselmeier, Stabilized least-squares type adaptive identifiers, *Tr. Al.* **35** (1990) 306–410.

[3] K. B. Hani, J. Ghaboussi, and S. P. Schneider, Experiment study of idendtification and control of structures using neural networks, Part 1: Identification earthquake, *Engineering and Structural Dynamics* **28** (1999) 995–1018.

[4] L. Ljung and T. Soderstrom, *Theory and Practice of Resursive Identification*, MIT Press, 1983.

[5] Nguyễn Bê, Trần Như Hồng, Nguyễn Kỳ Tài, Áp dụng mạng nơron nhận dạng các hệ thống động tuyến tính động và song tuyến, Báo cáo tại Hội nghị khoa học Trường Đại hòc Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 4/2001.

[6] Nguyễn Kỳ Tài, Võ Thị Thu Sương, Nhận dạng hệ thống động, Báo cáo tại Hội nghị khoa học Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 4/2001.

Nhận bài ngày 12 - 6 - 2001
Nhận lại sau khi sửa ngày 31 - 1 - 2002

Nguyễn Bê - Đại học Đà Nẵng.

Nguyễn Kỳ Tài, Võ Thị Thu Sương, Trần Như Hồng - Đại học Quốc gia
Thành phố Hồ Chí Minh.