Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T.20, S.4 (2004), 351–354

ƯỚC LƯỢNG MỜ TRẠNG THÁI HỆ PHI TUYẾN

VŨ NHƯ LÂN, VŨ CHẤN HƯNG, VÀ ĐẶNG THÀNH PHU

Viện Công nghệ thông tin

Abstract. The authors have proposed a fuzzy filtering scheme with the asumption that the membership functions are triangular. The nature of the proposed method in this article is using fuzzy logic to find the nonlinear function in the problems of estimating system state. This method is much more simple than the other ones such as [1, 2, 3].

Tóm tắt. Một lược đồ lọc mờ được đề xuất với giả thiết rằng hàm thuộc có dạng tam giác. Bản chất của phương pháp đề xuất là sử dụng logic mờ tìm hàm phi tuyến trong bài toán ước lượng trạng thái hệ thống. Phương pháp này đơn giản hơn so với nhiều phương pháp khác như [1, 2, 3].

1. MỞ ĐẦU

Có thể trình bày tóm tắt bài toán ước lượng trạng thái kinh điển như sau.

Xét hệ phi tuyến:

$$x_{n+1} = f(x_n) + w_n, \tag{1a}$$

$$z_n = h(x_n) + v_n, \tag{1b}$$

trong đó vectơ x_n - trạng thái hệ thống ở thời điểm n, w_n - nhiễu trắng chuẩn, z_n - vectơ quan sát, v_n - nhiễu quan sát, $f(.)$ và $h(.)$ là các vectơ hàm phi tuyến của trạng thái.

Giả thiết rằng các kì vọng:

$$E(x_0) = \bar{x}_0, \tag{2}$$

$$E[(x_0 - \bar{x}_0)]^T = P_0, \tag{3}$$

$$E[w_n] = E[(v_n)] = 0, \ \forall n, \tag{4}$$

$$E[w_n\, v_l^T] = Q\sigma_{nl}, \tag{5}$$

$$[v_n\, v_l^T] = R\sigma_{nl}. \tag{6}$$

Bộ lọc Kalman mở rộng cho phép tìm được ước lượng $\widehat{x}_{n+1}$ của trạng thái x_{n+1} trên cơ sở các quan sát z_n $(n = 0, 1, 2, ...)$.

Nếu tính phi tuyến ở hệ (1) đủ trơn thì có thể khai triển (1) xung quanh trạng thái như sau:

$$f(x_n) \approx f(\widehat{x}_n) + \frac{\partial f(x)}{\partial x}\Big|_{x=\widehat{x}_n}(x_n - \widehat{x}_n), \tag{7a}$$

$$h(x_n) \approx h(\widehat{x}_n) + \frac{\partial h^T(x)}{\partial x}\Big|_{x=\widehat{x}_n}(x_n - \widehat{x}_n). \tag{7b}$$

Từ đó có thể viết (1) dưới dạng:

$$x_n = f(\widehat{x}_{n-1} + K_n[z_n - h(-\widehat{x}_{n+1})], \tag{8a}$$

$$K_n = P_n H_n (R_n + H_n^T P_n H_n)^{-1}, \tag{8b}$$

$$P_n = F_n (P_{n-1} - K_n H_n^T P_{n-1}) F_n^T + Q_n, \tag{8c}$$

với $F_n = f(\widehat{x}_n)$ và $H_n = h(\widehat{x}_n)$.

Như vậy ước lượng thu được chỉ là gần đúng. Điều này gợi mở cho việc sử dụng logic mờ. Nhiều tác giả đã sử dụng khả năng này [1, 2, 3], tuy nhiên dưới đây sẽ trình bày một phương pháp hoàn toàn khác, đơn giản hơn và dễ sử dụng hơn.

2. ĐẶT BÀI TOÁN ƯỚC LƯỢNG MỜ

Cho hệ (1), ước lượng tìm được có thể viết dưới dạng tổng quát:

$$\widehat{x}_k = \widehat{f}(\widehat{x}_{k-1}) + g(z_k, \widehat{x}_{k-1}). \tag{9}$$

Ở đây $g(.)$ chính là hàm mô tả sự sai lệch giữa ước lượng tìm được và trạng thái chính xác của hệ (1). Có thể nói rằng không có một phương pháp nào từ trước đến nay cho phép xác định chính xác hàm này. Như vậy có thể coi $g(.)$ là hàm mờ. Từ đây, giải pháp cho vấn đề nêu trên là *sử dụng logic mờ tìm hàm* $g(.)$ theo quan điểm [4].

3. GIẢI QUYẾT BÀI TOÁN ƯỚC LƯỢNG MỜ

Cấu trúc bộ ước lượng mờ được thể hiện như sau.

Ước lượng lọc:

$$\widehat{x}_{k/k} = \widehat{x}_{k/k-1} + g_1(z_k, \widehat{x}_{k/k-1}). \tag{10a}$$

Ước lượng dự báo:

$$\widehat{x}_{k/k-1} = \widehat{x}_{k-1/k-1} + g_2(z_{k-1}, \widehat{x}_{k-1/k-1}), \quad k = 1, 2, \dots \tag{10b}$$

$$g_i = [g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{in}]^T,$$

$$g_{ir} \subset [\min ir, \max ir] \subset R, \quad r = 1, 2, \dots, n, \ i = 1, 2,$$

với điều kiện ban đầu:

$$\widehat{x}_{0/0} = \bar{x}_0.$$

Các vectơ hàm $g_1(.)$, $g_2(.)$ có 2 vectơ đầu vào e_1, Δe_1 và e_2, Δe_2 tương ứng và tại thời điểm k có:

$$e_{1k} = z_k - \widehat{h}(x_{k/k-1}), \tag{11a}$$

$$\Delta e_{1k} = e_{1k} - e_{1(k-1)}, \tag{11b}$$

$$e_{2(k-2)} = z_{k-1} - h(\widehat{x}_{k-1/k-1}), \tag{12a}$$

$$\Delta e_{2(k-1)} = e_{2(k-1)} - e_{2(k-2)}, \tag{12b}$$

với:

$$e_{ik} = [e_{ik1}, e_{ik2}, \dots, e_{ikm}]^T,$$

$$\Delta e_{ik} = [\Delta e_{ik1}, \Delta e_{ik2}, \dots, \Delta e_{ikm}]^T,$$

$$e_{ikp} \subset [\min eikp, \max eikp] \subset R,$$

$$\Delta e_{ikp} \subset [\Delta \min eikp, \Delta \max eikp] \subset R, \ p = 1, 2, \dots, m.$$

Giả sử rằng cơ sở luật mờ mô tả quan hệ giữa các sai số e_{ikp}, Δe_{ikp} và $g_{1r}(.), g_{2r}(.)$ được cho tại bảng 1 và bảng 2 theo định hướng của tri thức chuyên gia dưới dạng ngôn ngữ tự nhiên: *quá nhỏ, nhỏ, hơi nhỏ, trung bình, hơi lớn, lớn, quá lớn.*

Đầu ra $g_{1r}(.)$ và $g_{2r}(.)$ là 5 tập mờ và 7 tập mờ tương ứng cũng dưới dạng ngôn ngữ tự nhiên như trên (xem bảng 1 và bảng 2).

Phân bố các tập mờ tại đầu vào và đầu ra giả thiết là đều nhau (chưa xét đến bài toán tối ưu tham số hàm thuộc).

Bảng 1. Cơ sở luật cho $g_{1r}(.)$ tại thời điểm k

		$\Delta e_{1p}(k)$				
		quá nhỏ	nhỏ	trung bình	lớn	quá lớn
$e_{1p}(k)$	quá nhỏ	quá nhỏ	quá nhỏ	nhỏ	nhỏ	trung bình
	nhỏ	quá nhỏ	nhỏ	nhỏ	trung bình	lớn
	trung bình	nhỏ	nhỏ	trung bình	lớn	lớn
	lớn	nhỏ	trung bình	lớn	lớn	quá lớn
	quá lớn	trung bình	lớn	lớn	quá lớn	quá lớn

Bảng 2. Cơ sở luật cho $g_{2r}(.)$ tại thời điểm $(k-1)$

		$\Delta e_{2p}(k-1)$						
		quá nhỏ	nhỏ	hơi nhỏ	trung bình	hơi lớn	lớn	quá lớn
$e_{2p}(k-1)$	quá nhỏ	quá nhỏ	quá nhỏ	nhỏ	nhỏ	hơi nhỏ	hơi nhỏ	trung bình
	nhỏ	quá nhỏ	nhỏ	nhỏ	hơi nhỏ	hơi nhỏ	trung bình	hơi lớn
	hơi nhỏ	nhỏ	nhỏ	hơi nhỏ	hơi nhỏ	trung bình	hơi lớn	hơi lớn
	trung bình	nhỏ	hơi nhỏ	hơi nhỏ	trung bình	hơi lớn	hơi lớn	lớn
	hơi lớn	hơi nhỏ	hơi nhỏ	trung bình	hơi lớn	hơi lớn	lớn	lớn
	lớn	hơi nhỏ	trung bình	hơi lớn	hơi lớn	lớn	lớn	quá lớn
	quá lớn	trung bình	hơi lớn	hơi lớn	lớn	lớn	quá lớn	quá lớn

Hàm thuộc đối với $g_{1r}(.)$ và $g2r(.)$ nên sử dụng tam giác để tính toán đơn giản. Như vậy có thể định nghĩa hàm thuộc với 3 tham số $(l_{ij}^1, C_{ij}^1, r_{ij}^1)$ của đầu vào j $(j = 1, 2)$, $(i = 1, 2, 3, 4, 5)$ đối với $g_{1r}(.)$ và $(l_{ij}^2, C_{ij}^2, r_{ij}^2)$ của đầu vào j $(j = 1, 2)$, $(i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$ đối với $g_{2r}(.)$.

Hàm thuộc có dạng:

$$\mu_{ijr}(x) = \begin{cases} 1 + (x - C_{ijr})/l_{ijr} & \text{nếu } -l_{ijr} \le (x - C_{ijr}) \le 0, \\ 1 - (x - C_{ijr})/r_{ijr} & \text{nếu } 0 \le (x - C_{ijr}) \le r_{ijr}, \\ 0 & \text{các trường hợp còn lại.} \end{cases} \tag{13}$$

Ở đây: $x \triangleq e_{ikr}$ hoặc Δe_{ikr}

Đầu ra $g_{1r}(.)$ sau phép giải mờ theo phương pháp trọng tâm có dạng:

$$g_{1r}(z_k\widehat{x}_{k/k-1}) = \frac{\sum_{i=1}^{5} \mu_{i1r}(y^0_{i1r})y^0_{i1r}}{\sum_{i=1}^{5} \mu_{i1r}(y^0_{i1r})}, \tag{14}$$

$$g_{2r}(z_{k-1}, \widehat{x}_{k-1/k-1}) = \frac{\sum_{i=1}^{7} \mu_{i2r}(y^0_{i2r})y^0_{i2r}}{\sum_{i=1}^{7} \mu_{i2r}(y^0_{i2r})}, \tag{15}$$

với

y^0_{i1r} - trọng tâm tập mờ đầu ra thứ i của $g_{1r}(.)$,
y^0_{i2r} - trọng tâm tập mờ đầu ra thứ i của $g_{2r}(.)$,

và

$$\mu_{i1r}(y^0_{i1r}) = \sup\{\mu_{e_{1r}}(e^0_{1kp}) \wedge \mu_{\Delta e_{1kpr}}(\Delta e^0_{1kp})\}, \tag{16}$$

$$\mu_{i2r}(y^0_{i2r}) = \sup\{\mu_{e_{2r}}(e^0_{2kp}) \wedge \mu_{\Delta e_{2kpr}}(\Delta e^0_{2kp})\}. \tag{17}$$

Với tập đầu vào rõ tính được trước:

$$e_{1kp} = e^0_{1kp}, \quad \Delta e_{1kp} = \Delta e^0_{1kp}; \tag{18}$$

$$e_{2kp} = e^0_{2kp}, \quad \Delta e_{2kp} = \Delta e^0_{2kp}. \tag{19}$$

Như vậy đã xác định được ước lượng trạng thái tại các thời điểm k theo (10), (14) và (15). Lưu ý rằng trong trường hợp e và Δe quá lớn có thể phát triển thêm phần tối ưu hóa tham số hàm thuộc. Phần này sẽ được tiếp tục xem xét thêm trong tương lai.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất cách giải quyết tương đối đơn giản bài toán ước lượng trạng thái hệ phi tuyến dựa trên cơ sở logic mờ. Giải pháp này khác hẳn với các giải pháp [1, 2, 3]. Phương pháp trên còn có thể sử dụng khi nhiễu $w(n)$ và $v(n)$ trong mô hình (1) không phải là trắng chuẩn. Trường hợp này các phương pháp ước lượng kinh điển không giải quyết được.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Fernandez S. A., Lopez C. A., and Alzola J. R., A fuzzy-controlled Kalman filter applied to stereo-visual tracking schemes, *Signal Processing* **83** (2003) 101–120.

[2] Kobayeshi K., Cheok K., and Watenable K., Estimation of the absolute vehicule speed using fuzzy logic rule-based Kalman filter, *American Control Conf.*, Seattle, 1985, 3086–3090.

[3] Simon D., Fuzzy estimation of DC motor winding currents, *North American Fuzzy Information Processing Society Conf.*, NewYork, 1999, 859–863.

[4] Vũ Như Lân, Vũ Chấn Hưng, và Đặng Thành Phu, Phương pháp mới mô hình mờ hệ động học chứa bất định, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **40** (số ĐB) (2002) 115–110.

Nhận bài ngày 10 - 12 - 2003