

논문 2013-50-7-31

지연된 출력을 갖는 비선형 시스템의 강인 관측기

(Robust Observer for Nonlinear Systems with Delayed Output)

이 성 렬*

(Sungryul Lee[©])

요 약

본 논문은 지연된 출력과 미지의 외란을 갖는 비선형 시스템에 대한 강인 관측기 설계방법을 제안한다. 지연된 출력의 존재에도 불구하고 관측기의 추정오차에 대한 외란의 효과를 원하는 수준까지 줄일 수 있음을 보인다. 강인 관측기의 존재조건은 시간 지연 값에 의존적인 선형행렬 부등식을 이용하여 제시한다. 마지막으로 제안한 결과의 유효성을 증명하기 위하여 수치예제를 제공한다.

Abstract

This paper proposes the robust observer design for nonlinear systems with delayed output and external disturbance. It is shown that by considering a nonlinear term of error dynamics as an additional state variable, the nonlinear error dynamics with time delay can be transformed into the linear one with time delay. Sufficient conditions for existence of a robust observer are characterized by linear matrix inequalities. Finally, an illustrative example is given in order to show the effectiveness of our design method.

Keywords : robust observer, nonlinear systems, linear matrix inequalities

I. 서 론

시간 지연 시스템에 대한 연구는 최근에 가장 많이 연구되고 있는 분야이다. 네트워크 기반의 제어시스템이 보편화됨에 따라 가장 중요한 연구 주제 중의 하나가 되었다.

시간 지연 시스템의 안정화에 관한 대부분의 연구는 Lyapunov-Krasovskii 정리와 Razumikhin 정리에 기반한다.^[1] 최근에는 기존의 상태피드백 제어기 설계문제를 불확실성이 존재하는 시간지연 시스템의 강인제어기 설계 또는 출력 피드백 제어기 설계문제로 확장하는 연구가 활발히 진행되고 있다.^[2~6]

한편, 안정화 문제에 대한 연구와 더불어 시간지연

시스템에 대한 상태 관측기 설계문제가 활발히 연구되고 있다. 특히, 최근에는 출력지연이 존재하는 비선형 시스템에 대한 관측기설계 문제가 많은 관심을 받고 있다. [7]에서는 지연된 출력을 갖는 비선형 시스템에 대하여 예측기반의 체인형 관측기를 제안하였고 Gronwall 정리를 이용하여 지수함수적인 수렴성을 증명하였다. [8]에서는 센서지연이 존재하는 선형시스템을 지연에 무관한 편미분방정식으로 변환하고 이에 기반하여 관측기를 설계하고 백스테핑 방법을 이용하여 안정도를 증명하였다. [9]에서는 출력이 시변지연을 갖는 비선형시스템에 대하여 상태변수에 시간지연을 포함하는 관측기형태를 제안하고 Lyapunov-Razumikhin 함수를 이용하여 안정도를 증명하였다. [10]에서는 출력지연을 갖는 비선형 시스템에 대하여 시간지연을 갖는 체인형 고이득 관측기를 제안하였고 Lyapunov-Krasovskii functional을 이용하여 안정도를 증명하였다. [11]에서는 외란과 시간지연이 동시에 존재하는 비선형 시스템에 대하여 강인관측기 설계방법을 제안하였다. 기존 연구

* 정회원, 군산대학교 제어로봇공학과
(Dept. of Control & Robotics Eng., Kunsan National University)

© Corresponding Author (E-mail: 2sungryul@kunsan.ac.kr)
접수일자: 2013년2월4일, 수정완료일: 2013년6월25일

의 문제점을 살펴보면 [7],[9]에서는 상대차수조건, [10]에서는 삼각구조조건과 같은 시스템의 비선형항에 대한 구조적인 제약을 필요로 한다. [11]에서도 안정도 증명을 위하여 Lipschitz 조건 외에 추가적인 비선형항에 대한 가정이 필요하다. [11]의 결과는 [7-10]과 달리 다출력 시스템에 적용가능하고 시스템의 외란에 강인하다는 장점을 가지는 반면 시간지연을 포함하지 않는 관측기 구조를 사용함으로써 관측기의 존재조건의 제약이 매우 강하여 적용범위가 매우 좁다는 단점을 가진다.

본 논문에서는 출력이 시간 지연과 미지의 외란이 동시에 존재하는 비선형시스템에 대한 강인 관측기를 제안한다. [11]에서 제안한 관측기 설계의 단점을 해결하기 위하여 상태변수에 시간지연이 존재하는 관측기 구조를 사용한다. 결과적으로 [11]과는 달리 관측기의 안정도가 플랜트의 안정도의 영향을 받지 않게 되어 [11]에서 제안한 설계방법보다 훨씬 넓은 범위의 시스템에 적용가능하다는 장점을 가진다. 또한, [7-10]의 연구와 비교하여 다출력 비선형 시스템에 적용이 가능하고 상대차수조건, 삼각구조조건 같은 구조적 제약조건이 필요하지 않는 장점을 가진다.

II. 문제 정의

본 논문에서는 다음과 같은 지연된 출력과 외란을 갖는 비선형 시스템을 고려한다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + \Phi(x(t), u(t)) + Bw(t) \\ y(t) &= Cx(t-d) \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 $x(t) \in R^n, u(t) \in R^m, y(t) \in R^p, w(t) \in R^q$ 는 각각 시스템의 상태변수, 시스템의 제어입력, 시스템의 출력, 외란을 나타낸다. A, B, C 는 각각 적당한 크기를 갖는 상수 행렬이다. $\Phi: R^n \times R^m \rightarrow R^n$ 은 비선형함수이고 $d > 0$ 는 알려진 출력 지연 값이다.

가정1: 모든 $x_1, x_2 \in R^n, u \in R^m$ 에 대하여 다음 식을 만족시키는 상수 $\alpha > 0$ 가 항상 존재한다.

$$\|\Phi(x_1, u) - \Phi(x_2, u)\| \leq \alpha \|x_1 - x_2\| \tag{2}$$

식 (2)를 Lipschitz 조건이라 부르고 α 를 Lipschitz 상수라고 부른다. 다음에서 강인관측기의 정의를 제시한다. 먼저, 다음과 같은 시스템을 고려해보자.

$$\dot{\hat{x}}(t) = f_o(\hat{x}(t), u(t), y(t)), \hat{x}(t) \in R^n \tag{3}$$

정의1[11]: $w(t) = 0$ 인 경우 시스템 (3)의 추정오차 $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ 가 점근적으로 안정하고 $w(t) \neq 0$ 인 경우 모든 $t \geq 0$ 에서 식 (4)를 만족시키는 상수 $0 < \gamma < 1, \delta > 0$ 가 존재하는 경우 시스템 (3)을 시스템의 (1)의 강인 관측기라고 정의한다.

$$\int_0^t e^T(s)e(s)ds \leq \gamma^2 \int_0^t \omega^T(s)\omega(s)ds + \delta \tag{4}$$

본 논문의 목표는 시스템 (1)의 강인 관측기 설계방법을 제안하는 것이다.

III. 주요 결과

본 장에서는 식 (1)에 대한 다음과 같은 강인관측기를 제안한다.

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + \Phi(\hat{x}(t), u(t)) + K(y(t) - C\hat{x}(t-d)) \tag{5}$$

위 식에서 K 는 관측기의 이득행렬을 나타낸다. 다음 정리에서 관측기의 존재조건과 설계방법을 제시한다.

정리1: 시스템 (1)이 가정1을 만족시킨다고 가정하자. 만약, 주어진 상수 $\alpha > 0, \beta > 0, d > 0$ 에 대하여 식 (6)을 만족시키는 행렬 $K, P = P^T > 0, S = S^T > 0, Z = Z^T > 0, U_i, i = 1, \dots, 4$ 와 상수 $0 < \gamma < 1$ 가 존재한다면 식 (5)는 식 (1)의 강인 관측기이다.

$$\Sigma + d\Gamma_1^T Z \Gamma_1 + \Gamma + dUZ^{-1}U^T < 0 \tag{6}$$

위 식에서 각 행렬은 다음처럼 정의한다.

$$\begin{aligned} \Sigma &= \begin{pmatrix} \Sigma_{11} - PKC & P & PB \\ * & -S & 0 & 0 \\ * & * & -\beta I_n & 0 \\ * & * & * & -\gamma^2 I_q \end{pmatrix} \\ \Sigma_{11} &= A^T P + PA + S + (\beta\alpha^2 + 1)I_n \\ \Gamma &= \Gamma_2 + \Gamma_2^T \\ \Gamma_1 &= (A - KC \quad I_n \quad B), \Gamma_2 = (U - U \quad 0 \quad 0) \\ U &= \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{7}$$

증명: 식 (1), (5)을 고려하면 오차동역학 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{e}(t) &= Ae(t) + \Phi(x(t), u(t)) - \Phi(\hat{x}(t), u(t)) + Bw(t) \\ &\quad - K(y(t) - C\hat{x}(t-d)) \\ &= Ae(t) - KCe(t-d) + \Delta\Phi + Bw(t) \end{aligned} \tag{8}$$

위 식에서 $\Delta\Phi = \Phi(x(t), u(t)) - \Phi(\hat{x}(t), u(t))$ 이다.

식 (8)의 안정도 해석을 위하여 다음과 같은 Lyapunov-Krasovskii functional을 고려하자.

$$\begin{aligned} V(t) &= V_1(t) + V_2(t) + V_3(t) \\ V_1(t) &= e^T(t)Pe(t) \\ V_2(t) &= \int_{t-d}^t e^T(\alpha)Se(\alpha)d\alpha \\ V_3(t) &= \int_{-d}^0 \int_{t+\beta}^t \dot{e}^T(\alpha)\dot{Z}e(\alpha)d\alpha d\beta \end{aligned} \quad (9)$$

위 식에서 P, S, Z 는 양한정 대칭행렬이다. 식 (9)의 시간 도함수를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= e^T(t)[A^T P + PA]e(t) \\ &\quad - 2e^T(t)PKCe(t-d) \\ &\quad + 2e^T(t)P\Delta\Phi \\ &\quad + 2e^T(t)PB\omega(t) \\ &\quad + e^T(t)Se(t) - e^T(t-d)Se(t-d) \\ &\quad + d\dot{e}^T(t)\dot{Z}e(t) - \int_{t-d}^t \dot{e}^T(\alpha)\dot{Z}e(\alpha)d\alpha \end{aligned} \quad (10)$$

식 (2)의 양변을 제곱하면 모든 $\beta > 0$ 에 대하여 다음식이 성립한다.

$$\beta\alpha^2 e^T(t)e(t) - \beta\Delta\Phi^T\Delta\Phi \geq 0 \quad (11)$$

가정 1의 조건을 식 (10)에 포함시키기 위하여 식 (11)를 식 (10)의 우변에 더하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &\leq e^T(t)[A^T P + PA]e(t) \\ &\quad - 2e^T(t)PKCe(t-d) \\ &\quad + 2e^T(t)P\Delta\Phi \\ &\quad + 2e^T(t)PB\omega(t) \\ &\quad + e^T(t)e(t) - e^T(t)e(t) \\ &\quad + \gamma^2\omega^T(t)\omega(t) - \gamma^2\omega^T(t)\omega(t) \\ &\quad + e^T(t)Se(t) - e^T(t-d)Se(t-d) \\ &\quad + \beta\alpha^2 e^T(t)e(t) - \beta\Delta\Phi^T\Delta\Phi \\ &\quad + d\dot{e}^T(t)\dot{Z}e(t) - \int_{t-d}^t \dot{e}^T(\alpha)\dot{Z}e(\alpha)d\alpha \\ &= \phi^T(t)\Sigma\phi(t) + \gamma^2\omega^T(t)\omega(t) - e^T(t)e(t) \\ &\quad + d\dot{e}^T(t)\dot{Z}e(t) - \int_{t-d}^t \dot{e}^T(\alpha)\dot{Z}e(\alpha)d\alpha \end{aligned} \quad (12)$$

위 식에서 행렬 $\phi(t)$ 은 다음과 같다.

$$\phi(t) = (e^T(t) \quad e^T(t-d) \quad \Delta\Phi^T \quad \omega^T(t))^T \quad (13)$$

여기서 다음과 같은 함수 Ψ 를 정의하자.

$$\Psi = 2\phi^T(t)U[e(t) - e(t-d) - \int_{t-d}^t \dot{e}(s)ds] \quad (14)$$

위 식에서 행렬 U 는 설계변수로서 식 (7)와 같다.

식 (14)로부터 $\Psi=0$ 임을 쉽게 알 수 있으므로 식 (12)

의 우변에 Ψ 를 더해도 식은 변화 없다.

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &\leq \phi^T(t)\Sigma\phi(t) + \gamma^2\omega^T(t)\omega(t) - e^T(t)e(t) \\ &\quad + d\dot{e}^T(t)\dot{Z}e(t) - \int_{t-d}^t \dot{e}^T(\alpha)\dot{Z}e(\alpha)d\alpha \\ &\quad + 2\phi^T(t)U[e(t) - e(t-d) - \int_{t-d}^t \dot{e}(\alpha)d\alpha] \end{aligned} \quad (15)$$

또한, 다음이 성립한다.

$$\begin{aligned} & - \int_{t-d}^t \dot{e}^T(\alpha)\dot{Z}e(\alpha)d\alpha - \int_{t-d}^t 2\phi^T(t)U\dot{e}(\alpha)d\alpha \\ &= - \int_{t-d}^t [\phi^T(t)U + \dot{e}^T(\alpha)Z]Z^{-1}[\phi^T(t)U + \dot{e}^T(\alpha)Z]^T d\alpha \\ &\quad + \int_{t-d}^t [\phi^T(t)U]Z^{-1}[\phi^T(t)U]^T d\alpha \\ &= - \int_{t-d}^t [\phi^T(t)U + \dot{e}^T(\alpha)Z]Z^{-1}[\phi^T(t)U + \dot{e}^T(\alpha)Z]^T d\alpha \\ &\quad + d[\phi^T(t)U]Z^{-1}[\phi^T(t)U]^T \end{aligned} \quad (16)$$

$Z > 0$ 이므로 다음이 성립한다.

$$- \int_{t-d}^t [\phi^T(t)U + \dot{e}^T(\alpha)Z]Z^{-1}[\phi^T(t)U + \dot{e}^T(\alpha)Z]^T d\alpha < 0 \quad (17)$$

식 (16),(17)을 고려하면 식 (15)는 다음처럼 정리된다.

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &< \phi^T(t)\Sigma\phi(t) + \gamma^2\omega^T(t)\omega(t) - e^T(t)e(t) \\ &\quad + d\phi^T(t)\Gamma_1^T Z\Gamma_1\phi(t) \\ &\quad + 2\phi^T(t)\Gamma_2\phi(t) \\ &\quad + d[\phi^T(t)U]Z^{-1}[\phi^T(t)U]^T \\ &= \phi^T(t)\Theta\phi(t) + \gamma^2\omega^T(t)\omega(t) - e^T(t)e(t) \end{aligned} \quad (18)$$

위 식에서 행렬 Θ 는 다음처럼 정의한다.

$$\Theta = \Sigma + d\Gamma_1^T Z\Gamma_1 + \Gamma + dUZ^{-1}U^T \quad (19)$$

식 (6)은 $\Theta < 0$ 을 의미하므로 다음을 얻는다.

$$\dot{V}(t) < \gamma^2\omega^T(t)\omega(t) - e^T(t)e(t) \quad (20)$$

$\omega(t)=0$ 일 때 식 (20)으로부터 오차동역학 (8)의 점근적 안정도를 증명할 수 있다. $\omega(t) \neq 0$ 일 때 식 (20)의 양변을 적분하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \int_0^t \dot{V}(s)ds &= V(t) - V(0) \\ &< \int_0^t [-e^T(s)e(s) + \gamma^2\omega^T(s)\omega(s)]ds \end{aligned} \quad (21)$$

$V(t)$ 는 양한정함수이므로 다음 식이 성립한다.

$$\int_0^t e^T(s)e(s)ds < \gamma^2 \int_0^t \omega^T(s)\omega(s)ds + V(0) \quad (22)$$

식 (22)으로부터 식 (5)는 강인 관측기이다. ■

식 (6)은 비선형 행렬부등식이므로 해를 구하기가 힘들다. 따라서 다음정리에서 식 (6)을 선형행렬부등식으로 변환하는 방법을 제시한다.

정리2: 시스템 (1)이 가정1을 만족시킨다고 가정하자. 만약, 주어진 상수 $\alpha > 0, \beta > 0, d > 0$ 에 대하여 식 (23)을 만족시키는 행렬 $\hat{K}, P = P^T > 0, S = S^T > 0, U_i, i = 1, \dots, 4$ 와 상수 $0 < \gamma < 1$ 가 존재한다면 식 (5)는 식 (1)의 강인 관측기이다. 더욱이 $K = P^{-1}\hat{K}$ 이다.

$$\begin{pmatrix} \Omega & \Pi & U \\ * & -d^{-1}P & 0 \\ * & * & -d^{-1}P \end{pmatrix} < 0 \quad (23)$$

위 식에서 각 행렬은 다음처럼 정의한다.

$$\begin{aligned} \Omega &= \begin{pmatrix} \Omega_{11} - \hat{K}C - U_1 + U_2^T P + U_3^T PB + U_4^T \\ * & -S - U_2 - U_2^T & -U_3^T & -U_4^T \\ * & * & -\beta I_n & 0 \\ * & * & * & -\gamma^2 I_q \end{pmatrix} \\ \Omega_{11} &= A^T P + PA + S + (\beta\alpha^2 + 1)I_n + U_1 + U_1^T \\ \Pi &= \begin{pmatrix} A^T P \\ -C^T \hat{K}^T \\ P \\ B^T P \end{pmatrix}, U = \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (24)$$

증명: Schur Complement를 이용하면 식 (6)은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \Sigma + \Gamma & \Gamma_1^T Z & U \\ * & -d^{-1}Z & 0 \\ * & * & -d^{-1}Z \end{pmatrix} < 0 \quad (25)$$

식 (25)에서 $P = Z, PK = \hat{K}$ 으로 정의하면 식 (25)는 식 (23)이 된다. ■

IV. 수치 예제

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 설계 방법의 유효성을 증명하기 위하여 모의 실험 결과를 제시한다. 모의 실험을 위하여 다음과 같은 행렬과 시간지연을 갖는 시스템 (1)을 고려해보자

$$\begin{aligned} A &= \begin{pmatrix} 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & -2 & 1 \\ 1 & -2 & -30 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \Phi(x(t)) &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5\sin(x_3(t)) \\ u(t) \end{pmatrix}, d = 0.02 \\ x(t) &= (x_1(t) \ x_2(t) \ x_3(t))^T \in R^3 \end{aligned} \quad (26)$$

시스템 (26)은 [7,9,10]에서 필요로 하는 상대차수 및 삼각구조조건을 만족시키지 못한다. 또한, [11]의 가정 1도 만족시키지 못한다. 따라서 기존의 [7-11]에서 제안한 방법은 적용이 불가능하다. 또한 시스템 (26)이 불안정한 개루프 극점을 가짐을 주목하자. 시스템 (26)은 가정1을 만족시키고 $\alpha = 0.5$ 이다. $\beta = 0.01$ 으로 놓고 선형행렬부등식 (23)을 풀면 해와 이득행렬 K 는 다음과 같다. γ_{\min} 은 식 (23)을 만족시키는 γ 의 최소값을 의미한다.

$$\begin{aligned} P &= \begin{pmatrix} 0.166 & -0.001 & -0.01 \\ -0.001 & 0.157 & -0.01 \\ -0.01 & -0.01 & 0.032 \end{pmatrix} \\ S &= \begin{pmatrix} 1.61 & -1.23 & -0.03 \\ -1.25 & 3.23 & 0.055 \\ -0.03 & 0.055 & 0.001 \end{pmatrix} \\ \hat{K} &= \begin{pmatrix} 5.06 & -0.31 \\ -0.43 & 5.35 \\ 0.03 & -0.06 \end{pmatrix} \\ K &= \begin{pmatrix} 31.06 & -1.14 \\ -1.88 & 34.55 \\ 9.76 & 8.51 \end{pmatrix} \\ \gamma_{\min} &= 0.035 \end{aligned} \quad (27)$$

시스템의 입력과 초기값을 다음처럼 설정하고 시스템 (26)과 관측기 (5)에 대하여 모의 실험을 수행하였다.

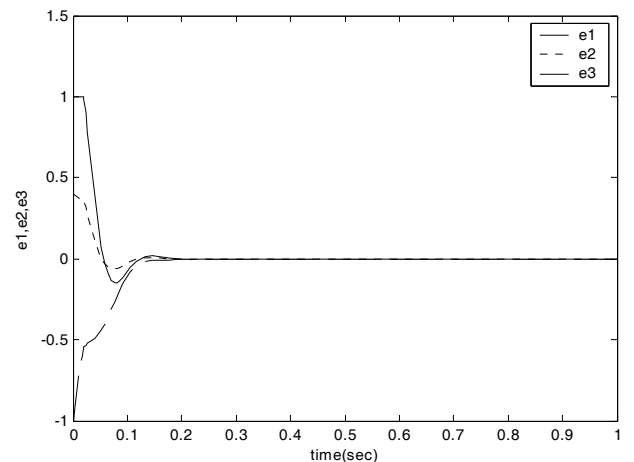


그림 1. $\omega(t) = 0$ 인 경우 관측기 추정오차 $e(t)$ 의 그래프
 Fig. 1. The graph of estimation error $e(t)$ in case of $\omega(t) = 0$.

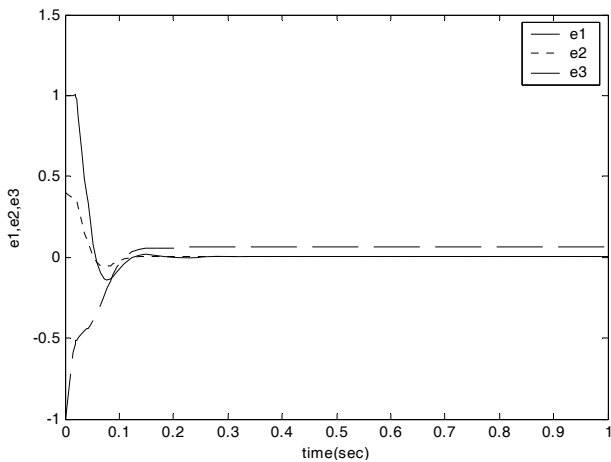


그림 2. $\omega(t) = 2$ 인 경우 관측기 추정오차 $e(t)$ 의 그래프
Fig. 2. The graph of estimation error $e(t)$ in case of $\omega(t) = 2$.

$$\begin{aligned} u(t) &= 0.5\sin(t) \\ x(t) &= (0.5 \ 0.2 \ -0.5)^T, -d \leq t \leq 0 \\ \hat{x}(t) &= (-0.5 \ -0.2 \ 0.5)^T, -d \leq t \leq 0 \end{aligned} \quad (28)$$

그림 1,2는 각각 $\omega(t) = 0, \omega(t) = 2$ 인 경우 추정오차의 그래프를 나타낸다. 그림1은 모두 점근적으로 안정함을 볼 수 있고 그림 2에서는 추정오차가 외란의 존재에도 불구하고 유계됨을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 출력지연과 외란이 동시에 존재하는 비선형시스템의 관측기 설계방법을 제안하였다. 기존의 연구와는 다르게 선형행렬부등식을 이용하여 관측기가 존재할 충분조건을 제시하였고 관측기의 추정오차가 외란에 강인함을 증명하였다. 또한, 모의 실험을 통하여 제안한 설계방법의 유효성을 입증하였다.

REFERENCES

[1] K. Gu, V. Kharitonov, and J. Chen, "Stability of Time-Delay Systems", Birkhauser, Boston, 2003.
[2] Y. He, M. Wu, J. She and G. Liu, "Parameter - Dependent Lyapunov Functional for Stability of Time-Delay Systems With Polytopic-type Uncertainties," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 49, no. 5, pp. 828-832, May, 2004.
[3] Y. He, Q.Wang, L.Xie, and C.Lin, "Futher Improvement of Free-Weighting Matrices Technique for Systems With Time-Varying

Delay," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 52, no. 2, pp. 293-299, Feb., 2007.
[4] H.Gao and T.Chen, "New Results on Stability of Discrete-Time Systems With Time-Varying State Delay," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 52, no. 2, pp. 328-334, Feb., 2007.
[5] H.Gao, J.Lam, C.Wang, and Y. Wang, "Delay-dependent output-feedback stabilization of discrete-time systems with time-varying state delay," IEE Proc. Control Theory Appl., vol. 151, no. 6, pp. 691-698, Nov., 2004.
[6] Y.He, M.Wu, G.Liu, and J. She, "Output Feedback Stabilization for a Discrete-Time Systems With Time-Varying Delay," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 53, no. 10, pp. 2372-2377, Nov., 2008.
[7] A. Germani, C. Manes, and P. Pepe, "A new approach to state observation of nonlinear systems with delayed output," IEEE Trans. Autom. Control, vol. 47, no. 1, pp. 96 - 101, Jan. 2002.
[8] M. Krstic, and A. Smyshlyaev, "Backstepping boundary control for first-order hyperbolic PDEs and application to systems with actuator and sensor delays", Systems & Control Letters, vol. 57, 2008.
[9] F. Cacace, A. Germani, and C. Manes, "An observer for a class of nonlinear systems with time varying observation delay", Systems & Control Letters, vol. 59, 2010.
[10] T. Ahmed-Ali, E. Cherrier, and F. Lamnabhi-Lagarrigue, "Cascade High Gain Predictors for a Class of Nonlinear Systems", IEEE Trans. on Autom. Control, vol. 57, no. 1, Jan. 2012.
[11] 이성렬, "시간 지연을 갖는 Lipschitz 비선형 시스템의 강인 상태 관측기", 제어로봇시스템학회 논문지 제 14권 제 11호, 2008.

저 자 소 개



이 성 렬(정회원)
2003년 연세대학교 전기전자
공학과 박사졸업
2003년~2006년 삼성전자
책임연구원
2007년~현재 군산대학교
제어로봇공학과 부교수
<주관심분야 : 비선형제어이론 및 응용>