

# 시변 시간 지연을 포함하는 선형 뉴트럴 시스템의 관측기 설계

## Observer Design for Linear Neutral Systems with Time-Varying Delays

송민국\*, 주영훈\*\*, 박진배\*

Min Kook Song, Young Hoon Joo, and Jin Bae Park

\* 연세대학교 전기전자공학과

\*\* 군산대학교 전기정보공학부

### 요 약

본 논문은 시변 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템에 관한 관측기 설계 및 안정도 해석에 관해서 논의한다. 시변 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템의 안정도를 판별하기 위하여 Lyapunov-Krasovskii의 이론을 도입한다. 오차 상태 방정식의 안정도 조건으로 시간 변동 시간 지연에 종속적인 충분조건을 제시한다. 선형 행렬 부등식의 해를 이용하여 관측기의 이득값을 설계하며, 설계된 관측기를 이용하여 오차 상태 방정식의 안정도를 판별한다. 본 논문의 결과는 Luenberger가 제안했던 관측기의 일반적인 결과를 나타냄을 확인한다. 모의실험을 통해 제안된 이론을 입증한다.

### Abstract

This paper is concerned with the observer design problem for linear neutral systems with time-varying delays.. The problem addressed is that of designing a full-order observer that guarantees the exponential stability of the error system. An effective algebraic matrix equation approach is developed to solve this problem. In particular, both observer analysis and design problems are investigated. Sufficient conditions for a linear neutral system to be stable are first established. Furthermore, an illustrative example is used to demonstrate the validity of the proposed design procedure.

Key Words : Observer, Linear Matrix Inequality (LMI), linear neutral system, time-varying delay

### 1. 서 론

시간 지연 현상은 경제 시스템, 생물학, 화학 그리고 많은 공학 분야에서 흔히 발견된다. 이러한 시간 지연을 포함한 시스템은 시간지연에 의해 흔히 시스템이 불안해지고, 성능이 떨어지는 현상이 일어난다. 따라서 이러한 시간 지연을 포함한 시스템의 안정도 해석에 관한 연구가 주요 관심사가 되어 왔으며, 활발한 연구가 진행되어 왔다 [1-5].

많은 시스템에서 모든 상태 변수는 항상 측정 가능하지가 않다. 이러한 한계에서는 상태변수를 관측할 수 있는 관측기 설계가 필요하다. 관측기를 포함한 오차 상태 방정식을 안정화 시키는 관측기 이득 값을 설계하는 것이 관측기 설계의 핵심이다. 본 논문에서는 시변 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템에 관한 관측기 설계를 목표로 한다.

관측기 설계를 위한 다양한 방법과 접근법이 오랜 시간에 걸쳐 논의 되어왔다. [1]에서는 스펙트럼 부여 방법에 의해서 관측기를 설계하는 방법을 제시하였다. 또한 관측기 설계를 위해서 일반적인 좌표 변환 방법과 선형 행렬식에 의한 접근법이 제시되었다 [2]. [3]에서는 시간 변동 시간 지연을 가지는 선형 지연 시스템에 관한 연구가 진행되었다. 일반적으로

시간 지연 시스템의 안정도 분석을 위해서는 Lyapunov 안정도 이론과 선형 행렬 부등식이 이용되어 왔다 [4]. [5]에서는 알려진 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템에 대해서 Lyapunov 이론과 선형 행렬 부등식을 이용한 방법이 연구되었다.

제안된 설계 기법을 이용하여 시간 변동 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템의 관측기를 설계하고자 한다. 먼저 선형 시스템을 앞서 제안된 모델 변환을 이용하여 시스템을 변형한다 [6]. 관측기를 설계하기 위해 시간 변동 시간 지연에 관한 몇 가지 가정을 덧붙인다. 다음으로 정의한 오차 상태 방정식을 안정화 시키는 관측기를 설계한다. 선형 행렬 부등식을 (LMI) 이용하여 안정한 관측기 존재의 충분조건을 살펴본다. 임의의 선형 시스템에 대하여 본 논문이 제안한 이론이 타당한지를 모의 실험한다.

### 2. 뉴트럴 시스템

본 논문에서는 다음의 시변 시간 지연  $\tau(t)$ 와  $g(t)$ 을 가지는 선형 뉴트럴 시스템을 고려한다.

$$\dot{x}(t) - D\dot{x}(t-g(t)) = Ax(t) + A_d x(t-\tau(t)) + Bu(t),$$

접수일자 : 2007년 4월 1일

완료일자 : 2007년 7월 13일

이 논문은 2007년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

$$\begin{aligned} x(t) &= \phi(t), \quad t \in [-h, 0] \\ y(t) &= Cx(t). \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $x(t) \in R^n$ 는 상태변수,  $u(t) \in R^m$ 는 제어 입력이며,  $\phi(t)$ 는 연속적인 벡터 초기 함수이다.  $h$ 는 시간 변동 시간 지연  $\tau(t)$ 와  $g(t)$ 의 상위 경계이며,  $A, A_d, B, C$ 와 그리고  $D$ 는 알려진 차원의 행렬이다.

본 논문에서는 다음과 같은 관측기를 설계한다.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) - D\dot{\hat{x}}(t-g(t)) &= A\hat{x}(t) + A_d\hat{x}(t-\tau(t)) \\ &\quad + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)), \\ \hat{y}(t) &= C\hat{x}(t). \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $L$ 은 관측기의 이득값으로 본 논문에서 설계될 값이다. 본 논문에서 제안하는 시스템의 안정도를 위해 다음의 가정 1을 가정한다.

가정 1. 행렬  $D$ 는 다음을 만족한다.

$$D \neq 0, \quad \|D\| < 1.$$

이러한 가정 1은  $\dot{x} - D\dot{x}(t-g(t)) = 0$ 이 항상 안정함을 나타내며 이러한 가정을 바탕으로 본 논문에서 제안하는 안정도 조건은 시간 지연  $g(t)$ 에는 독립적이며, 시간 지연  $\tau(t)$ 에는 종속적임을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 오차 상태 변수를 다음과 같이 정의 한다.

$$e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$$

식 (1)과 (2)를 바탕으로 다음의 식을 유도할 수 있다.

$$\dot{e}(t) - D\dot{e}(t-g(t)) = A_0e(t) - A_d e(t-\tau(t)) \quad (3)$$

여기서  $A_0 = A - LC$ 이다.

[6]에서 유도된 모델 변환을 이용하면, 식 (3)은 다음과 같이 변환할 수 있다. [6]에서 제안한 모델 변환은 현재까지 알려진 모델 변환 중에서 가장 좋은 안정도 조건을 유도할 수 있다는 것이 알려져 있다.

$$\begin{aligned} \dot{e}(t) - D\dot{e}(t-g(t)) &= (A_0 + A_d)e(t) - A_d e(t) + A_d e(t-\tau(t)) \\ \dot{e}(t) - D\dot{e}(t-g(t)) &= (A_0 + A_d)e(t) - \int_{t-\tau(t)}^t \dot{e}(s) ds \end{aligned}$$

본 논문의 목적은 관측기를 포함한 오차 상태 방정식 (3)을 안정하게 하는 관측기 이득값  $L$ 을 설계하는 것이다. 이때 가정 1을 가정한 제안된 오차상태 방정식 (3)의 안정도 조건이  $g(t)$ 에는 독립적이며,  $\tau(t)$ 에는 종속적임을 확인한다.

본 논문에서는 시간 변동 시간 지연  $\tau(t)$ 에 대해서 다음의 가정 2를 가정한다.

가정 2.  $\tau(t)$ 는 미분 가능한 함수이며, 모든 시간  $t \geq 0$ 에서 다음을 만족한다.

$$0 \leq \tau(t) \leq h, \quad \dot{\tau}(t) \leq d < 1.$$

### 3. 선형 뉴트럴 시스템의 안정도 해석 및 관측기 설계

#### 3.1 안정도 해석

이 장에서는 오차 상태 방정식 (3)의 안정도에 대해서 논의한다. 오차 상태 방정식 (3)의 안정도를 판별하기 위한 충분조건을 제시한다. 본 논문의 결론을 유도하기 위해서 다음의 보조 정리 1을 이용한다.

보조정리 1 [7]. 적절한 행렬  $X, Z$ 에 대해서 주어진 행렬  $a \in R^a, b \in R^b, N \in R^{a \times b}$ 는 다음의 부등식을 만족한다.

$$-2a^T N b \leq \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X & Y-M \\ Y^T & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix},$$

여기서  $\begin{bmatrix} X & Y \\ Y^T & Z \end{bmatrix} \geq 0$ 이다.

다음의 정리 1은 오차 상태 방정식의 안정도를 양한정 대칭 행렬의 존재로 보여준다. 따라서 이는 관측기 설계 문제의 핵심이 된다.

정리 1. 다음의 양한정 행렬  $R, Q, S, Y_1, Y_2, Y_3, Z_1, Z_2, Z_3$  그리고  $P_1$ 과 어떤 적합한 행렬  $P_2, P_3$ 이 다음의 선형 행렬 부등식을 만족하면 오차 상태 시스템 (3)은 안정하다.

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Psi P^T \begin{bmatrix} 0 \\ A_d \end{bmatrix} - Y^T & P^T \begin{bmatrix} 0 \\ D \end{bmatrix} \\ * & -(1-\dot{\tau}(t))S & 0 \\ * & 0 & -(1-\dot{g}(t))Q \end{bmatrix} < 0, \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} R & Y \\ * & Z \end{bmatrix} > 0.$$

여기서

$$\begin{aligned} \Psi &= P^T \begin{bmatrix} 0 & I \\ A_0 - I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & A_0 \\ I - I \end{bmatrix} P + hZ \\ &\quad + \begin{bmatrix} S & 0 \\ 0 & hR + Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y \\ 0 \end{bmatrix}, \\ Y &= [Y_1 \ Y_2], \quad Z = \begin{bmatrix} Z_1 & Z_2 \\ * & Z_3 \end{bmatrix} \text{이다.} \end{aligned}$$

증명) 오차 상태 방정식 (3)의 안정도 해석을 위해서 본 논문에서는 Lyapunov-Krasovskii의 방법을 적용한다. 이 논문에서 주어진 선형 뉴트럴 시스템의 안정도 해석을 위해서 우리는 [6]의 연구에서 도입된 디스크립터 모델 변환을 이용한다. 이때의 모델 변환을 이용하면 오차상태 방정식 (3)은 다음과 같은 형태로 변환할 수 있다.

$$E\dot{\bar{x}}(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ -y(t) + D\dot{e}(t-g(t)) + (A_0 + A_d)e(t) \\ - \begin{bmatrix} 0 \\ A_d \end{bmatrix} \int_{t-\tau(t)}^t y(s) ds \end{bmatrix}$$

여기서  $\bar{x}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ e(t) \end{bmatrix}$ 이며,  $E = \text{diag}\{I, 0\}$ 이다.

다음으로 안정도 해석을 위하여 다음의 리아프노프 함수를 고려한다.

$$V = \overline{X^T E P \bar{x}} + \int_{-h}^0 \int_{t+\theta}^t y^t(s) R y(s) ds d\theta + \int_{t-\tau(t)}^t x^T(s) S x(s) ds + \int_{t-g(t)}^t y^T(s) Q y(s) ds$$

여기서,  $P = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ P_2 & P_3 \end{bmatrix}$ ,  $P_1, R, S, Q > 0$ 이다. 이 리아프노프 함수의 첫째항은 모델 변환 한 시스템의 안정도 해석을 위한 항이며, 2, 3 번째는 시간 지연  $\tau(t)$ 의 독립적이고 종속적인 안정도 해석을 위해 필요하며, 마지막 항은 에 독립적인 안정도 해석을 위한 조건이다.

제한된 리아프노프 함수의 첫 번째 항을 시간  $t$ 에 관하여 미분 하면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt}(\overline{x^T E P \bar{x}}) = 2x^T(t) P_1 x(t) = 2\overline{x^T P^T \dot{x}}.$$

리아프노프 함수의 다른 항들의 미분 항을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left\{ \int_{-h}^0 \int_{t+\theta}^t y^t(s) R y(s) ds d\theta \right\} &= \dot{\tau}(t) y^T(t) R y(t) - \int_{t-\tau(t)}^t y(s) R y(s) ds \\ \frac{d}{dt} \left\{ \int_{t-\tau(t)}^t x^T(s) S x(s) ds \right\} &= x^T(t) S x(t) - x^T(t-\tau(t)) S x(t-\tau(t)) \\ \frac{d}{dt} \left\{ \int_{t-g(t)}^t y^T(s) Q y(s) ds \right\} &= y^T(t) Q y(t) - y^T(t-g(t)) Q y(t-g(t)) \end{aligned}$$

따라서 전체 리아프노프 함수의 시간  $t$ 에 관한 미분을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} V \leq & \overline{x^T \Phi \bar{x}}(t) + \int_{t-h}^t y^T(s) R y(s) ds \\ & - (1 - \dot{\tau}(t)) x^T(t-\tau(t)) S x(t-\tau(t)) \\ & - \eta(t) - (1 - \dot{g}(t)) y^T(t-g(t)) Q y(t-g(t)) \end{aligned}$$

여기서,

$$\eta(t) = -2 \int_{t-\tau(t)}^t \overline{x^T P^T \begin{bmatrix} 0 \\ A_d \end{bmatrix}} y(s) ds \text{ 이다.}$$

보조정리 1을 이용하여  $\eta(t)$ 를 정리하면 다음과 같다. 보조정리 1을 이용하기 위해서 다음 식을 대입한다.

$$N = P^T \begin{bmatrix} 0 \\ A_d \end{bmatrix}, a = y(S), b = \bar{x}(t)$$

보조정리 1은 곱의 형태의 행렬을 풀이하기 위해 도입된다. 현재까지 곱의 항을 풀어내기 위하여 알려진 부등식 중에서 덜 보수적인 결과로 알려져 있다. 따라서 이를 이용한 본 논문의 결과는 가장 넓은 안정도 결과를 나타나게 된다. 이는 흔히 사용하는 다음의 부등식보다 좋은 결과를 얻을 수 있다.

$$-2c^T d \leq c^T X c + d^T X^{-1} d, \quad \forall X > 0.$$

보조 정리 1을 이용하여  $\eta(t)$ 를 정리해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \eta(t) &\leq \int_{t-\tau(t)}^t \begin{bmatrix} y(s) \\ \bar{x}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & Y - [0 \ A_d] P \\ Y^T - P^T \begin{bmatrix} 0 \\ A_d \end{bmatrix} & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(s) \\ \bar{x}(t) \end{bmatrix} ds \\ &= \int_{t-\tau(t)}^t y^T(s) R y(s) ds + \int_{t-\tau(t)}^t \overline{x^T}(t) Z \bar{x}(t) ds \\ &\quad + 2 \int_{t-\tau(t)}^t y^T(s) (Y - [0 \ A_d] P) \bar{x}(t) ds \\ &= \int_{t-\tau(t)}^t y^T(s) R y(s) ds + \tau(t) \overline{x^T}(t) Z \bar{x}(t) \\ &\quad + 2 \int_{t-\tau(t)}^t x^T(s) (Y - [0 \ A_d] P) \bar{x}(t) ds \\ &\leq \int_{t-\tau(t)}^t y^T(s) R y(s) ds + x^T(t) (Y - [0 \ A_d] P) \bar{x}(t) ds \\ &\quad - x^T(t-\tau(t)) (Y - [0 \ A_d] P) \bar{x}(t) ds + h x^T(t) Z \bar{x}(t) \end{aligned}$$

이를 이용하여 Lyapunov 함수의 시간  $t$ 에 관한 미분을 정리하면, 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} V \leq \xi^T(t) \Phi \xi(t)$$

여기서,  $\xi(t) = \begin{bmatrix} V(t) \\ \bar{x}(t) \end{bmatrix}$ 이다. 따라서 LMI 조건 (4) 이 만족 되면,  $\dot{V}(t) \leq 0$ 를 만족한다. 따라서 Lyapunov-Krasovskii의 이론에 따라서 오차 상태 방정식 (3)은 안정하다. ■

### 3.2 관측기 이득값 설계

이 장에서는 시변 시간 지연이 있는 뉴트럴 선형 시스템을 관측하기 위한 관측기 이득값  $L$ 의 설계를 고려한다. 관측기를 설계하는 방식은 [9]에서 시간 지연이 있는 시스템에 적용한 방식과 유사하다. 따라서 우리는 다음의 주어진 정리 2를 유도할 수 있다.

정리 2. 다음의 양한정 행렬  $R, Q, S, Y_1, Y_2, Y_3, Z_1, Z_2, Z_3$  그리고  $P_1$ 과 어떤 적합한 행렬  $P_2, P_3$ 이 다음의 선형 행렬 부등식을 만족하면 시스템 (3)은 안정하다.

$$\begin{bmatrix} X_2 + X_2^T & * & * & * & * & * \\ \Psi_1 & -X_3 - X_3^T & * & * & * & * \\ * & P^T \begin{bmatrix} 0 \\ A_d \end{bmatrix} - Y^T - (1 - \dot{\tau}(t)) S^{-1} & * & * & * & * \\ * & P^T \begin{bmatrix} 0 \\ D \end{bmatrix} & 0 & -(1 - \dot{g}(t)) Q^{-1} & * & * \\ X_2 & X_3 & 0 & 0 & -(1 - \dot{g}(t)) Q^{-1} & * \\ \tau(t) X_2 & \tau(t) X_3 & 0 & 0 & 0 & -(1 - \dot{\tau}(t)) S^{-1} \end{bmatrix} < 0$$

$$\begin{bmatrix} R & Y \\ * & Z \end{bmatrix} > 0 \quad (5)$$

여기서,

$$\Psi_1 = X_3 - X_2^T + X_1 (A_o + A_D) + C^T W^T \text{이며,}$$

이득값  $L = X_1^{-1} W$ 이다.

증명) 관측기 이득값  $L$ 을 구하기 위해서 우리는 정리 1을 결과를 이용한다. 정리 1에서 주어진 LMI 조건을 바로 이용할 경우  $P_2 LC$ 와  $P_3 LC$ 의 항들에 의해서 구하고자 하는 이득값  $L$ 을 구할 수가 없다. 따라서 우리는 다음의 행렬 변환을 통하여 이득값  $L$ 을 설계하고자 한다.

정리 1의 결과인 선형 행렬 부등식 (4)의 양쪽에

$diag(P^{-1}, S^{-1}, Q^{-1})^T$ ,  $diag(P^{-1}, S^{-1}, Q^{-1})$ 를 곱하고 다음을 정의한다.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ X_2 & X_3 \end{bmatrix}, \bar{Q} = Q^{-1}, \bar{S} = S^{-1}, \bar{U} = U^{-1}.$$

행렬 부등식 (4)에서 보여 지듯이  $P_1 > 0$ 이고,  $-(P_3 + P_3^T)$ 는 반드시 음의 정부호이므로 우리는 행렬  $P$ 는 정칙행렬이 됨을 확인할 수 있다. 따라서 위와 같이 행렬  $X$ 를 정의할 수 있다.

주어진 계산을 수행하고 난 행렬 부등식 (4)에 Schur Complement를 하고 나면 구하고자 하는 선형 행렬 부등식 (5)를 얻을 수 있다. ■

#### 4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

이 장에서는 시변 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템의 관측기 설계 및 오차 상태 방정식의 안정도를 판별한다. 여기서 고려하는 시변 시간 지연을 가지는 선형 시스템은 [7]에서 쓰인 예를 본 논문의 모델에 맞게 수정한 것이다.

$$A = \begin{bmatrix} 0.9 & 3 \\ -0.6 & -2 \end{bmatrix}, A_d = \begin{bmatrix} -0.4 & 1.2 \\ 0.2 & -0.3 \end{bmatrix},$$

$$D = \begin{bmatrix} -0.3 & 0.3 \\ 0.2 & -0.5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -2 & -0.5 \end{bmatrix},$$

$$\tau(t) = 3\sin t, g(t) = 3 \text{이다.}$$

행렬 ( $A, C$ )는 가관측성을 가짐을 쉽게 확인할 수 있다. 정리 2의 LMI 조건을 이용하여 다음의 적합한 해를 구할 수 있다.

$$X_1 = \begin{bmatrix} 2954.4 & -720.23 \\ -720.23 & 1777.5 \end{bmatrix}, X_2 = \begin{bmatrix} 522.52 & 271.62 \\ -24.992 & 503.68 \end{bmatrix},$$

$$X_3 = \begin{bmatrix} 1143.6 & -1585.5 \\ 1796.7 & 1260.5 \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} 902.66 & -28146 \\ 28681 & 1069.4 \end{bmatrix},$$

$$R = \begin{bmatrix} 3657.3 & 7619.9 \\ -7730.8 & 3304.3 \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} 1.0532 & -288.21 \\ 288.96 & 0.66537 \end{bmatrix}.$$

LMI 조건의 해가 존재함으로 오차 상태 방정식이 안정함을 확인할 수 있다. 정리 2를 이용하여 구하고자 하는 관측값 이득값을 구해보면 다음과 같다.

$$L = \begin{bmatrix} 22.3098 \\ -84.2314 \end{bmatrix}.$$

이제 설계된 관측기를 선형 시스템에 적용하면  $e_1(t)$ 와  $e_2(t)$ 의 시스템 응답은 그림 1, 2와 같다. 그림 1,2에서 나타나듯이 오차는 시간이 지날수록 0에 수렴함을 확인할 수 있다.

#### 5. 결 론

본 논문은 시변 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템에 관한 관측기 설계에 대해서 논의하였다. 시변 시간 지연을 가지는 시스템의 안정도를 판별하기 위하여 Lyapunov-Krasovskii의 이론을 이용하고 이를 바탕으로 오차 상태 시

스템의 안정도를 분석하였다. 시변 시간 지연을 가지는 선형 뉴트럴 시스템에 대한 선형 행렬 부등식 안정도 조건을 제시하였다. 선형 행렬 부등식을 이용하여 관측기의 이득값을 설계하며, 오차 상태 방정식의 안정도를 판별하였다. 모의실험을 통해 논문의 결과를 입증하였다.

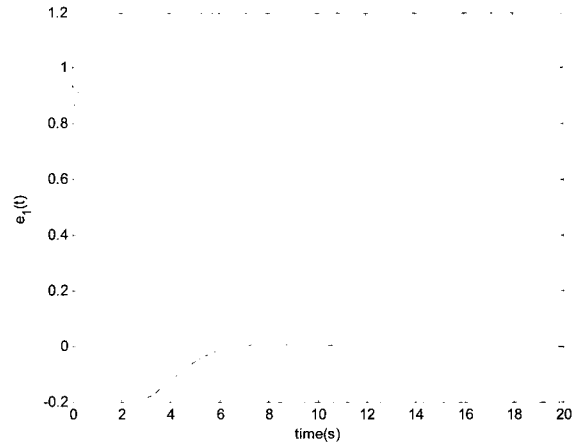


그림 1. 오차 상태 변수  $e_1(t)$ 의 시스템 응답  
Figure 1. Closed loop system response of state  $e_1(t)$

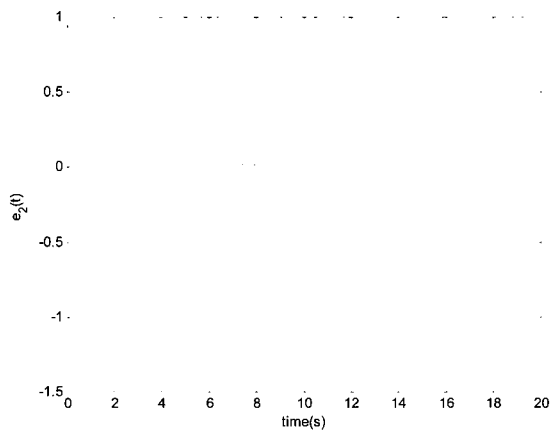


그림 2. 오차 상태 변수  $e_2(t)$ 의 시스템 응답  
Figure 2. Closed loop system response of state  $e_2(t)$

#### 참 고 문 헌

- [1] B. L. Walcott, and S. H. Zak, "State observation of nonlinear uncertain dynamical systems," IEEE Trans. Automat. Control, Vol. 32, pp. 166-170, 1987.
- [2] C. Edwards, S. K. Spurgeon, "On the development of discontinuous observers," Int. j. Control, Vol 59, pp. 1211-1229, 1994
- [3] C. P. Tan, and C. Edwards, "An LMI approach for designing sliding mode observers," Int. J. Control, Vol 74, pp. 1559-1568, 2001
- [4] V. I. Utkin, "Variable structure systems with sliding mode," IEEE Trans. Automat. Control, Vol 22, pp.212-222, 1997

- [5] H. H. Choi, "Variable structure output feedback control design for a class of uncertain dynamic systems," *Automatica*, Vol 38, pp.335-341, 2002
  - [6] H. H. Choi, "LMI-based sliding-mode observer design method," *IEE proc.-Control Theory Appl.*, Vol 152, pp. 113-115 , 2005
  - [7] P. Gahinet, and P. Apkarian, "A linear matrix inequality approach to  $H^\infty$  Control," *Int. J Robust Nonlinear Control*, Vol 4, pp.421-448, 1994.
  - [8] K. Tanaka, T.Ikeda, and H. O. Wang, "Fuzzy regulators and fuzzy observers: Relaxed stability conditions and LMI-based designs," *IEEE Trans. Fuzzy Syst*, Vol 6, pp. 250-265, 1998
  - [9] Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Tran. Syst.*, Vol SMC-15, pp. 116-132, 1985
  - [10] M.A.Sugeno and G. T.Kang, "Structure identification of fuzzy model," *Fuzzy Sets Syst*, Vol 28, pp. 15-33, 1988
- 

저 자 소 개



송민국(Min Kook Song)  
2006년 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업. (공학사)  
2006년~현재 : 동 대학원 전기전자공학과 석사과정

관심분야 : 퍼지 이론, 신경회로망, 유전알고리즘  
Phone : 02-2123-2773  
Fax : 02-362-4539  
E-mail : s5ngm2n9k@control.yonsei.ac.kr

주영훈(Young Hoon Joo)  
2007년 제 17권 3호 참조

박진배(Jin Bae Park)  
2007년 제 17권 3호 참조