한국지능시스템학회 논문지 2008, Vol. 18, No. 3, pp. 335-340

시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템의 분산 퍼지 출력 궤환 제어기 설계

Decentralized Fuzzy Output Feedback Controller for Nonlinear Interconnected System with Time Delay

구근범* · 박진배* · 주영훈**+
Geun Bum Koo, Jin Bae Park and Young Hoon Joo

* 연세대학교 전기전자공학과
** 군산대학교 전자정보공학부

요 약

본 논문은 시간 지연을 가지는 비선형 상호 결합 시스템에 대한 분산 퍼지 출력 궤환 제어기를 제시한다. Takagi-Sugeno (T-S) 퍼지 모델링을 통하여 비선형 상호 결합 시스템을 퍼지 모델로 표현한다. 상호 결합 시스템의 하위 퍼지 시스템을 안정화 시킬 수 있는 분산 출력 궤한 제어기를 설계한다. 폐루프 하위 시스템들의 안정도 조건을 선형 행렬 부등식으로 나타내고, 부등식을 이용하여 제어기의 이득값을 구한다. 모의실험을 통하여 시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템에 대한 분산 퍼지 출력 궤한 제어기의 효용성을 평가한다.

Abstract

In this paper, a decentralized fuzzy output feedback controller for nonlinear interconnected systems with time delay is proposed. The nonlinear interconnected system is represented to fuzzy system using Takagi-Sugeno (T-S) fuzzy model. The decentralized output feedback controller is designed for stability of subsystems of the fuzzy interconnected system. The stable condition of the closed-loop subsystem is represented to the linear matrix inequality (LMI) form, and control gain is obtained by LMI. An example is given to show the verification discussed throughout the paper.

Key Words : Interconnected system, Output feedback controller, Takagi-Sugeno (T-S) fuzzy model, Decentralized control, Linear matrix inequality.

1. 서 론

최근 들어 네트워크 제어 시스템이나 전력 시스템 등에서 시스템의 복잡성이 증가하고 있다. 특히나 각각의 시스템들이 다른 시스템에 영향을 형태가 많이 나타나고 있다. 이러한 서로의 시스템이 서로 영향을 주는 시스템을 상호 결합 시스템이라 한다. 이러한 상호 결합 시스템의 제어를 위해서는 분산(decentralized) 제어가 필수적이다. 이는 집중제어나 분산(distributed) 제어와는 달리 시스템의 상호 결합을 고려하면서도 각 하위 시스템을 독립적으로 제어하는 방식이다. 분산(decentralized) 제어는 비효율적인 집중 제어의 단점을 보완하면서, 정확하지 않은 분산(distributed) 제어의 단점을 보안하는 것이 가능하게 한다. 하지만 상호 결합 시스템에 대한 많은 연구들 중에서 비선형성과 시간 지연의 문제를 고려한 연구는 극히 드물다.

몇몇의 연구가들에 의해 상호 결합 시스템의 분산 제어에 대한 연구를 진행 중에 있다 [1-11]. Tseng [1]는 비선형 상호 결합 시스템에 대하여 퍼지를 이용한 분산 제어를 연구하였다. 하지만 상호 결합 시스템에서 일반적으로 나타나는 시간 지연 문제를 고려하지는 못하였다. Wang [6]은 시간 지연을 가지는 비선형 상호 결합 시스템에 대한 분산 제어기법을 연구하였다. 하지만 분산 제어 기법을 상태변수를 궤환하여 제어하는 방식을 취하였다. 이러한 상태변수 궤환 제어 기법은 시스템의 모든 상태를 변수를 파악해야 하는 조건을 가지게 된다. 하지만 이는 실제 시스템에서는 거의 불가능하다고 볼 수 있다. Park[9]은 상호 결합 시스템에 대한 동적 출력 궤한 제어기를 설계하였다. 하지만 비선형성을 고려하지 못하였다.

본 논문에서는 시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템에 대한 분산 퍼지 출력 궤환 제어기의 설계를 제안한다. 먼저, 비선형 상호 결합 시스템을 Takagi-Sugeno (T-S) 퍼지 모델로 모델링한 후, 퍼지 모델을 기반으로 분산 출력 궤환 제어기를 설계한다. 폐루프 시스템의 안정화를 위한 선형 행렬 부등식(LMI)을 유도하고 이를 통해 제어 이득값을 구한다. 모의실험을 통하여 설계된 제어기의 성능을 판단하고 시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템의 분산 퍼지 출력 궤환 제어기의 효용성을 입증한다.

접수일자 : 2008년 3월 20일
완료일자 : 2008년 6월 05일
+ 책임저자(Corresponding Author)
본 연구는 학술진흥재단(KRF-2007-521-D00159) 프로젝트에 의해 일부 지원 받았음.

2. 상호 결합 시스템의 T-S 퍼지 모델링과 퍼지 출력 궤환 제어기 설계

N 개의 하위 시스템을 가지는 시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{x}_i(t)=f_i(x_i(t))+\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} f_{ij}(x_j(t-\tau_{ij}))+g_i(u_i(t)) \quad (1)$$

여기서 $f_i(x_i(t))$와 $g_i(u_i(t))$는 시간변수와 i번째 하위 시스템의 상태변수와 입력으로 이뤄진 비선형 함수이고, $f_{ij}(x_j(t-\tau_{ij}))$는 i번째 하위 시스템과 상호 결합을 이루고 있는 j번째 시스템의 상태변수로 τ_{ij}만큼의 시간 지연을 가진다.

주어진 비선형 상호 결합 시스템을 다음과 같은 퍼지 규칙을 통하여 T-S 퍼지 모델링이 이루어진다.

$$\begin{aligned}&\textit{Plant Rule } k:\\ &\textit{IF } x_{i1} \textit{ is } \Gamma_{i1}^{k}, \ldots, \text{and } x_{ip} \textit{ is } \Gamma_{ip}^{k},\\ &\textit{THEN}\\ &\dot{x}_i(t)=A_{ik}x_i(t)+B_{ik}u_i(t)+\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{n} A_{ijk}x_j(t-\tau_{ij})\end{aligned} \quad (2)$$

여기서 Γ_{iq}^{k}는 $i\in I_n=\{1,2,\ldots,n\}$에서 i번째의 $q\in I_p=\{1,2,\ldots,p\}$를 만족하는 k번째 퍼지 규칙이다. A_{ik}와 B_{ik}는 적합한 크기를 가지는 시스템 행렬과 입력 행렬이다. A_{ijk}는 j번째 하위 시스템과의 상호 결합 행렬이다. 위의 규칙을 통하여 시간 지연을 가지는 비선형 상호 결합 시스템을 T-S 퍼지 모델링하면 다음과 같이 나타내어진다:

$$\begin{aligned}\dot{x}_i(t)=&\sum_{k=1}^{r}\mu_{ik}(x_i(t))(A_{ik}x_i(t)+\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} A_{ijk}x_j(t-\tau_{ij})\\ &+B_{ik}u_i(t))\end{aligned} \quad (3)$$

여기서,

$$\mu_k(x_i(t))=\frac{\omega_k(x_i(t))}{\sum_{k=1}^{r}\omega_k(x_i(t))}\ ,\ \omega_k(x_i(t))=\prod_{q=1}^{p}\Gamma_{ip}^{k}(x_{ip}(t))$$

이고, $\Gamma_{ip}^{k}(x_{ip}(t))$는 소속 함수의 소속정도를 나타낸다. 이 때, $\omega_k(x_i(t))$는 다음의 특성을 따르게 된다.

$$\omega_k(x_i(t))\geq 0\ , \qquad \sum_{k=1}^{r}\omega_k(x_i(t))>0$$

또한, $\omega_k(x_i(t))$의 특성에 의해서 $\mu_k(x_i(t))$ 역시 다음과 같은 특성을 따르게 된다.

$$\mu_k(x_i(t))\geq 0\ , \qquad \sum_{k=1}^{n}\mu_k(x_i(t))=1$$

본 논문에서 제안할 출력 궤환 제어기를 위해서 시스템의 출력 시스템을 다음과 같이 가정한다:

$$y_i(t)=C_ix_i(t) \quad (4)$$

여기서 $y_i(t)$는 출력변수, C_i는 출력 행렬로 계산상의 편의를 위해 선형이고 선행계수라 가정한다.

위의 퍼지 시스템 (3)의 제어를 위해 분산 퍼지 출력 궤한 제어기를 제안한다. 제어기는 다음과 같은 퍼지 규칙을 따르게 된다:

$$\begin{aligned}&\textit{Controller Rule } m:\\ &\textit{IF } x_{i1} \textit{ is } \Gamma_{i1}^{m} \text{ and}, \ldots, x_{iq} \textit{ is } \Gamma_{iq}^{m},\\ &\textit{THEN } u_i(t)=K_{im}y_i(t)\end{aligned} \quad (5)$$

여기서 퍼지 규칙의 전제부는 상호 결합 시스템의 퍼지 규칙 전제부와 동일하고, K_{im}은 적합한 크기를 가지는 제어 이득 행렬이다.

제어기의 퍼지 규칙을 통하여 비선형 상호 결합 시스템의 제어를 위한 제어 시스템을 다음과 같이 제안한다:

$$u_i(t)=\sum_{k=1}^{r}\mu_{ik}(x_i(t))K_{ik}y_i(t) \quad (6)$$

분산 퍼지 출력 궤한 제어 시스템 (6)을 상호 결합 시스템 (3)에 대입하면 다음과 같은 폐루프 시스템을 얻을 수 있다:

$$\begin{aligned}\dot{x}_i(t)=&\sum_{k=1}^{r}\sum_{m=1}^{r}\mu_{ik}(x_i(t))\mu_{im}(x_i(t))\\ &\times((A_{ik}+B_{ik}K_{im}C_i)x_i(t)+\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} A_{ijk}x_j(t-\tau_{ij}))\end{aligned} \quad (7)$$

본 논문의 목적은 폐루프 시스템 (7)이 안정화되는 충분조건을 구하고 이를 통해, 제어 이득 행렬 K_{im}을 구하는 것이다. 하지만 위의 시스템의 상호 결합 부분 때문에 일반적인 방법으로는 그 조건을 구하기가 어렵다. 뿐만 아니라, 상호 결합 부분에 시간 지연이 존재하기 때문에 이득 행렬을 구하는 것이 더욱 어렵다.

3. 제어 이득값을 구하기 위한 선형 행렬 부등식

이 장에서는 시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템의 분산 퍼지 출력 궤환 제어기의 이득값을 구하기 위해 선형 행렬 부등식(LMI)을 유도한다. LMI를 유도하기 위해서 먼저 Lyapunov 함수를 다음과 같이 정한다:

$$V(t,x)=\sum_{i=1}^{N}V_i(t,x_i) \quad (8)$$

$$\begin{aligned}V_i(t,x_i)=&\ x_i^T(t)P_ix_i(t)\\ &+\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N}\int_{t-\tau_{ij}}^{t}x_j^T(s)x_j(s)ds\end{aligned} \quad (9)$$

전체 Lyapunov 함수를 i번째 하위 시스템의 Lyapunov 함수의 합으로 나타낸다. 여기서 $P_i>0$ $(1\leq i,j\leq N)$를 항상 만족하게 된다. 위의 Lyapunov 함수를 통해 선형 행렬 부등식을 구하기 위해서는 다음과 같은 보조 정리가 필요하다.

보조 정리 1 [12] 적합한 차원의 어떤 상수 대칭 행렬 N, O, L이 주어졌을 때 다음의 두 개의 부등식은 서로 필요충분조건이 된다.:

$$O>0, \qquad N+L^TOL<0 \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix} N & L^T \\ L & -O^{-1} \end{bmatrix} < 0 \text{ or } \begin{bmatrix} -O^{-1} & L^T \\ L & N \end{bmatrix} < 0. \tag{11}$$

보조 정리 2 [13] 어떤 상수 $\epsilon > 0$와 적합한 차원을 가지는 어떤 행렬 X와 Y가 존재할 때 다음 부등식이 성립한다:

$$X^TY+Y^TX \le \epsilon X^TX + \frac{1}{\epsilon} Y^TY \tag{12}$$

정리 1 만약 다음의 선형 행렬 부등식과 특정한 조건을 만족하는 양한정 행렬 Q_i, S_i와 어떤 행렬 N_{imk}이 존재하기 된다면, 분산 퍼지 출력 궤한 제어가 된 시간 지연을 가지는 비선형 상호 결합 시스템 (7)은 점근적으로 안정하게 된다.

$$\begin{bmatrix} \Phi_{ikm} & * & * & \cdots & * & * \\ A_{i1k}^T & -I & 0 & \cdots & & 0 \\ A_{i2k}^T & 0 & -I & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & & \\ A_{iNk}^T & & & & & 0 \\ Q_i & 0 & \cdots & & 0 & -I \end{bmatrix} < 0 \tag{13}$$

그리고

$$C_iQ_i = M_iC_i \tag{14}$$

여기서,

$$\begin{aligned} \Phi_{ikm} = {} & P_iA_{ik} + A_{ik}^TP_i + B_{ik}N_{im}C_i + C_i^TN_{im}^TB_{ik}^T \\ & +(N-1)I \\ M_{ik}K_{im} = {} & N_{imk} \end{aligned}$$

이고, $*$는 행렬에서의 전칭요소를 의미한다. 제어기 이득값은 다음을 통해 구한다.

$$K_{ik} = N_{imk}\left\{C_iQ_iC_i^T(C_iC_i^T)^{-1}\right\}^{-1} \tag{15}$$

증명 앞에서 제시된 Lyapunov 함수 (8), (9)를 고려하면, P_i가 양한정 행렬이기 때문에 (9)는 언제나 0보다 큰 값을 가지게 되고, 따라서 $V(t,x)$는 언제나 0보다 크게 된다. 따라서 (8)의 미분값이 항상 0보다 작게 된다면, $x_i(t)$의 평형점은 언제나 점근적으로 안정하게 된다. 이렇게 $\dot{V}(t,x)<0$을 만족하는 조건을 구함으로써 제시된 시스템의 안정화 조건을 구할 수 있다. 결국 $\dot{V}(t,x)$는 (16)과 같이 전개된다.

$$G_{ikm} = A_{ik} + B_{ik}N_{im}C_i \tag{17}$$

이고, $\hat{x}_i(t)$는 앞장의 아래에 나타내어져 있다. 결국, 수식 (16)으로부터 다음이 만족되면 분산 퍼지 출력 궤환 제어기를 포함한 시간 지연을 가지는 비선형 상호 결합 시스템이 안정화됨을 알 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Phi_{ikm} & * & * & \cdots & * \\ A_{i1k}^T & -I & 0 & \cdots & 0 \\ A_{i2k}^T & 0 & -I & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & 0 \\ A_{iNk}^T & 0 & \cdots & 0 & -I \end{bmatrix} < 0 \tag{18}$$

위의 부등식을 선형행렬 부등식으로 바꾸기 위해서 다음과 같은 행렬을 정의한다.

$$\begin{bmatrix} P^{-1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & I & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & I & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & I \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}(x(t)) = {} & \sum_{i=1}^{N}(\dot{x}_i^T(t)P_ix_i(t) + x_i^T(t)P_i\dot{x}_i(t) + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} x_j^T(t)x_j(t) - \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} x_j^T(t-\tau_{ij})x_j(t-\tau_{ij})) \\ = {} & \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{r}\sum_{m=1}^{r}\mu_{ik}(x_i(t))\mu_{im}(x_i(t))(x_i^T(t)(G_{ikm}^TP_i + P_iG_{ikm})x_i(t) + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} x_j^T(t-\tau_{ij})A_{ijk}^Tx_i(t) \\ & + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} x_i^T(t)A_{ijk}x_j(t-\tau_{ij}) + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} x_j^T(t)x_j(t) - \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} x_j^T(t-\tau_{ij})x_j(t-\tau_{ij})) \\ = {} & \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{r}\sum_{m=1}^{r}\mu_{ik}(x_i(t))\mu_{im}(x_i(t))(x_i^T(t)(G_{ikm}^TP_i + P_iG_{ikm} + (N-1)I)x_i(t) \\ & + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N}(x_j^T(t-\tau_{ij})A_{ijk}^Tx_i(t) + x_i^T(t)A_{ijk}x_j(t-\tau_{ij}) - x_j^T(t-\tau_{ij})x_j(t-\tau_{ij}))) \\ = {} & \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{r}\sum_{m=1}^{r}\mu_{ik}(x_i(t))\mu_{im}(x_i(t))\hat{x}_i(t)^T \begin{bmatrix} G_{ikm}^TP_i + P_iG_{ikm} + (N-1)I & * & * & \cdots & * \\ A_{i1k}^T & -I & 0 & \cdots & 0 \\ A_{i2k}^T & 0 & -I & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & 0 \\ A_{iNk}^T & 0 & \cdots & 0 & -I \end{bmatrix} \hat{x}_i(t) \end{aligned} \tag{16}$$

$$\hat{x}_i(t)^T = \left[x_i(t)^T \;\; x_1(t-\tau_{i1})^T \cdots \;\; x_{i-1}(t-\tau_{i,i-1})^T \;\; x_{i+1}(t-\tau_{i,i+1})^T \cdots \;\; x_N(t-\tau_{iN})^T\right]$$

그리고 위의 행렬을 이용해서 식 을 합동치환한 후, 보조정리 1을 이용하면 정리 1의 식 (13)를 얻을 수 있다.

참조 1 비선형 상호 결합 시스템에서 출력행렬 C_i의 경우 역행렬을 가지고 있을 필요는 없다. 하지만, 선행계수는 항상 만족해야 한다. 즉, 선행계수라는 가정을 통해 $C_iC_i^T$의 역행렬은 항상 존재해야 한다.

4. 모의실험

4.1 Lorenz 시스템의 퍼지 모델링

논문에 대한 예제로 다음과 같은 chaotic Lorenz 시스템을 고려한다 [14].

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sigma x_1(t)+\sigma x_2(t) \\ rx_1(t)-x_2(t)-x_1(t)x_3(t) \\ x_1(t)x_2(t)-bx_3(t) \end{bmatrix}$$

여기서 각 파라미터의 값들을 다음과 같이 고려한다.

$$\sigma=10, \quad r=28, \quad b=\frac{8}{3}$$

위의 식을 $\chi_1^T=[x_1 \;\; x_2]^T$와 $\chi_2=x_3$의 두 개의 하위 시스템으로 이루어진 상호 결합 시스템으로 간주한다. 그리고 T-S 퍼지 모델링을 하면 다음과 같다:

Plant Rule 1:
IF $x_1(t)$ *is about* M_1

$$\text{THEN} \begin{cases} \dot{\chi}_i(t)=A_{i1}\chi_i(t)+B_{i1}u_i(t)+\sum_{j=1,j\neq i}^{n} A_{ij1}\chi_j(t) \\ y_i(t)=C_ix_i(t) \end{cases}$$

Plant Rule 2:
IF $x_1(t)$ *is about* M_2

$$\text{THEN} \begin{cases} \dot{\chi}_i(t)=A_{i2}\chi_i(t)+B_{i2}u_i(t)+\sum_{j=1,j\neq i}^{n} A_{ij2}\chi_j(t) \\ y_i(t)=C_ix_i(t) \end{cases}$$

여기서,

$$A_{11}=A_{12}=\begin{bmatrix} -10 & 10 \\ 28 & -1 \end{bmatrix}, \quad A_{121}=\begin{bmatrix} 0 \\ 20 \end{bmatrix},$$

$$A_{122}=\begin{bmatrix} 0 \\ 30 \end{bmatrix}, \quad B_{11}=B_{12}=\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C_1=[1\,1],$$

$$A_{21}=A_{22}=-\frac{8}{3}, \quad A_{211}=[0 \;\; -20],$$

$$A_{212}=[0 \;\; 30], \quad B_{21}=B_{22}=1, \quad C_2=1$$

$$M_1=-20, \quad M_2=30.$$

이때, M_1와 M_2의 값은 $x_1(t)$의 대략적 경계값으로 잡아준 것이다.

여기서 각 시스템의 소속 함수는 다음과 같다.

$$\mu_{11}(x(t))=\mu_{21}(x(t))=\frac{-x+M_2}{M_2-M_1}$$

$$\mu_{12}(x(t))=\mu_{22}(x(t))=\frac{x-M_1}{M_2-M_1}$$

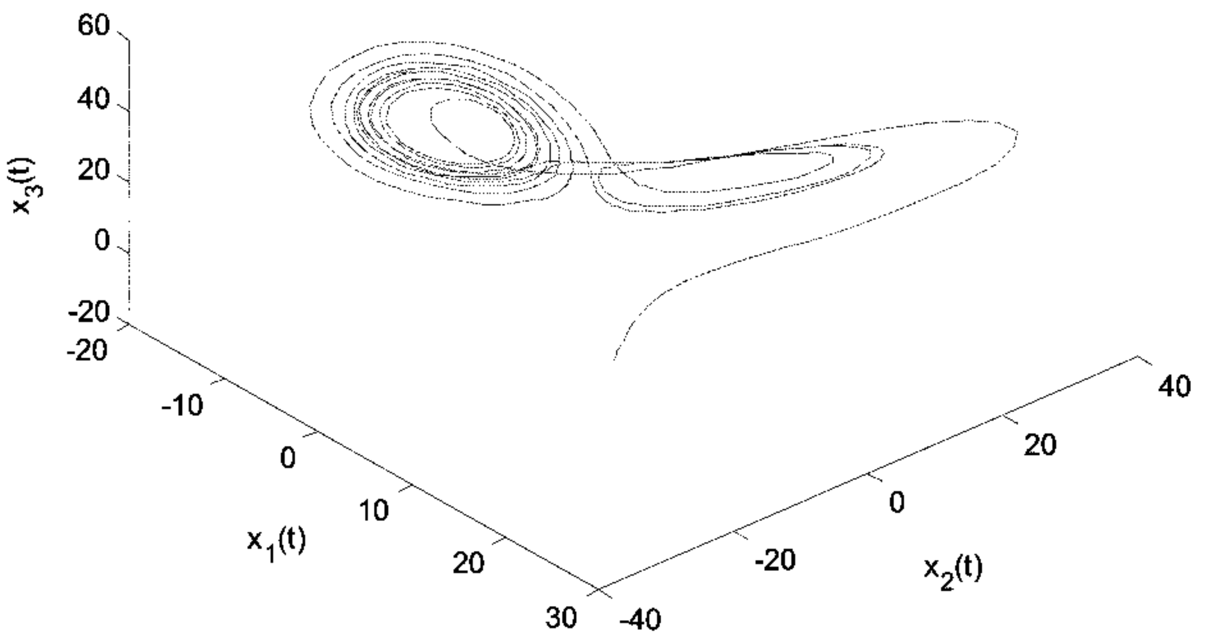


그림 1. 제어되기 전의 chaotic Lorenz 시스템
Fig. 1. Chaotic Lorenz system without dynamic output feedback controller

위의 퍼지 모델링을 통해서 제어되지 않은 시스템의 그래프를 나타낸 것이 아래의 그림 1과 그림 2가 된다.

위의 비선형 상호 결합 시스템의 제어를 위해 퍼지 출력 궤한 제어기를 설계한다. 정리 2를 통해서, 제어기의 이득값을 구하면 다음과 같이 나타난다.

$$K_{11}=[-31.5875], \qquad K_{12}=[-30.7923],$$
$$K_{21}=[1.7420], \qquad K_{22}=[1.7204].$$

선형 행렬 부등식을 통해 구한 이득값을 시스템에 넣어서 그 결과를 관찰한다. 그림 3은 상태변수의 초기값이 $[10 \;\; -10 \;\; -10]$일 때의 제어기가 포함된 폐루프 시스템의 상태변수를 나타낸 것으로 보는 것과 같이 0으로 수렴하고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 분산 퍼지 출력 궤환 제어기를 포함한 비선형 상호 결합 시스템의 안정성을 보였을 뿐만 아니라, 제어기의 효용성을 입증할 수 있다.

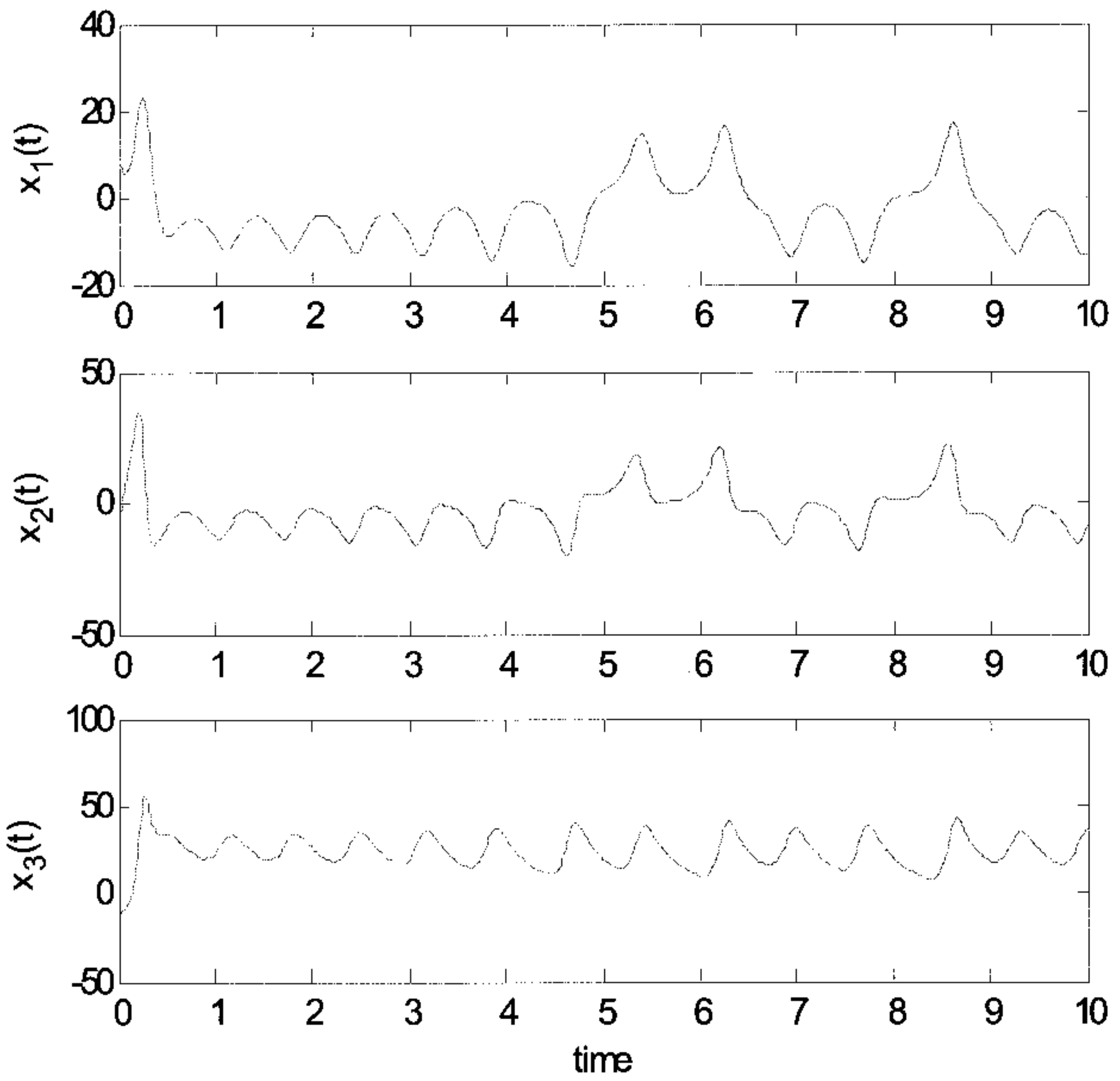


그림 2. 제어되기 전의 시스템 상태변수
Fig. 2. System states without dynamic output feedback controller

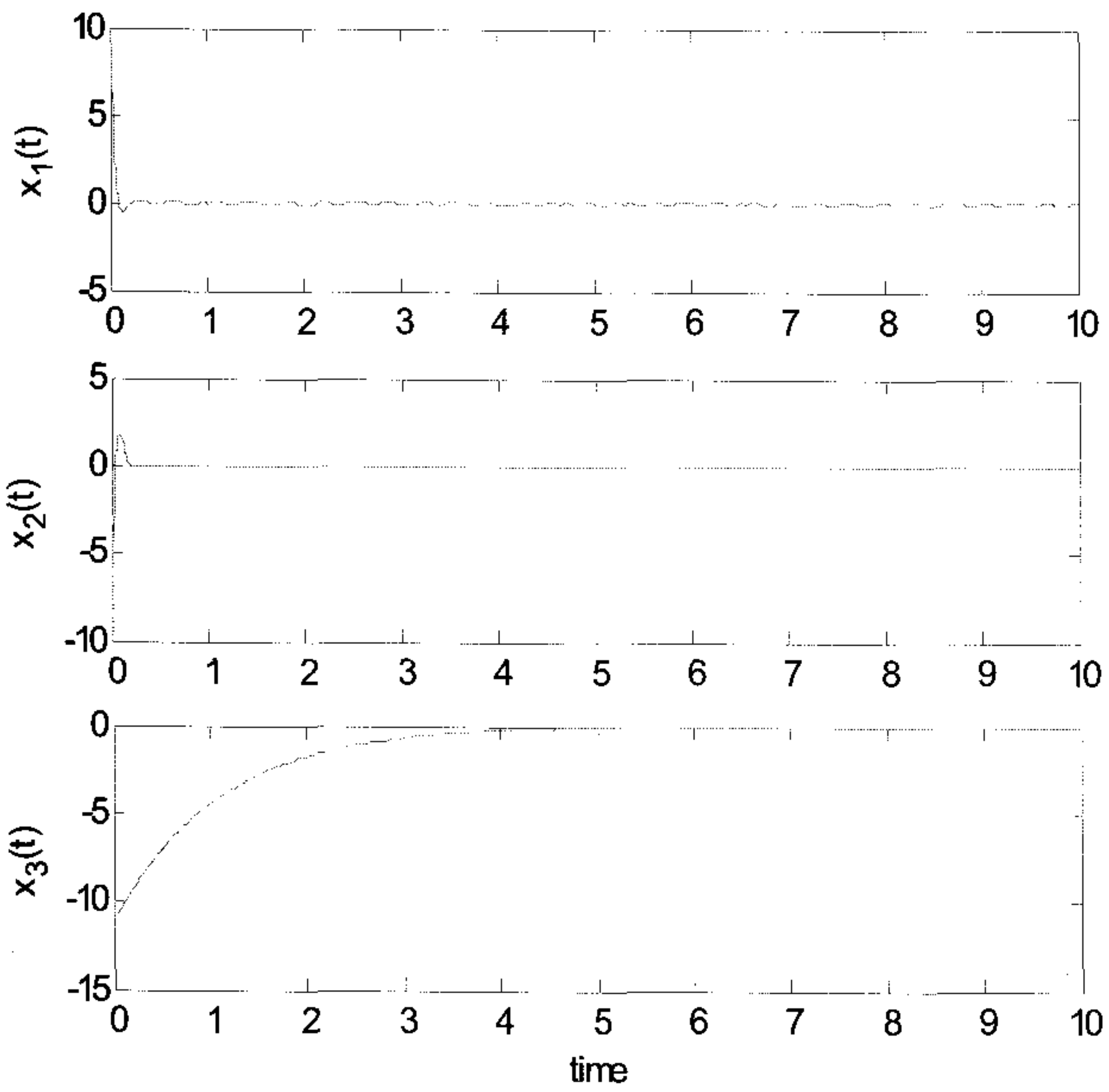


그림 3. 제어된 chaotic Lorenz 시스템
Fig. 3. Chaotic Lorenz system with dynamic output feedback controller

5. 결 론

본 논문에서는 시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템의 분산 퍼지 출력 궤한 제어기를 제안하였다. 먼저, 제어기 설계 문제는 제약 조건이 있는 선형 행렬 부등식의 형태로 표현하였다. 선형 행렬 부등식의 해를 통하여 분산 퍼지 출력 궤한 제어기의 이득 값을 구할 수 있고, 그 이득 값에 따라 시간 지연이 있는 비선형 상호 결합 시스템이 안정화됨을 하나의 예를 통하여 증명하였다. 향후, 제약 조건이 없는 경우에서도 제어가 가능한 이론을 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] C. S. Tseng, "H_∞ *decentralized fuzzy model reference tracking control design for nonlinear interconnected systems*," IEEE Trans. on fuzzy Systems, Vol. 9, No. 6, pp. 795-809, 2001.

[2] S. S. Stanković, "*Decentralized dynamic output feedback for robust stabilization of a class of nonlinear interconnected systems*," Automatica, Vol. 43, pp. 861-867, 2007.

[3] D. D. Šiljak, "*Design of robust static output feedback for large-scale systems*," IEEE Trans. on Automatic Control. Vol. 49, pp. 2040-2044, 2004.

[4] C. W. Chen, "*Stability analysis of T-S fuzzy models for nonlinear multiple time-delay interconnected systems*," Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 66, pp. 523-537, 2004.

[5] X. G. Yan, "*Decentralized robust sliding mode for a class of nonlinear interconnected systems by static output feedback*," Automatica, Vol. 40, pp.613-620. 2004.

[6] X. G. Yan, "*Decentralized control of nonlinear large-scale systems using dynamic output feedback*," Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 104, No. 2, pp. 459-475, 2000.

[7] R. J. Wang, "*Nonlinear decentralized state feedback controller for uncertain fuzzy time-delay interconnected system*", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 151, pp. 191-204, 2005.

[8] M. Benyakhlef, "*Decentralized nonlinear adaptive fuzzy control for a class of large-scale inter- connected systems*", International J. of Computational Cognition, Vol. 4, No. 2, pp. 14-19, 2006.

[9] F. H. Hsiao, C. W. Chen, Y. W. Liang, S. D. Xu, and W. L. Chiang, "*T-S fuzzy controllers for nonlinear interconnected systems with multiple time delays*", IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. 52, No. 9, pp. 1883-1893, 2005.

[10] J. H. Park, H.Y. Jung, J. I. Park, and S. G. Lee, "*Decentralized Dynamic Output Feedback Controller Design for Guaranteed Cost Stabilization of Large-scale Descrete-delay Systems*," Applied Math- ematics and Computation, Vol. 156, pp. 307-320, 2004.

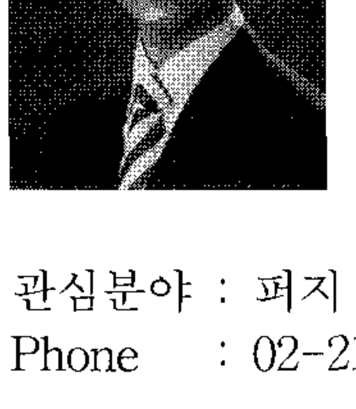
[11] Y. G. Zhang, "*Decentralized robust stabilization of discrete-time fuzzy large-scale systems with parametric uncertainties: a LMI method*," Journal of Systems Engineering and Electronics, Vol. 17, No. 4, pp. 836-845, 2006.

[12] L. Xie, "*Output Feedback Control of Systems with Parameter Uncertainties*," Int. J. Control, Vol. 63, No. 4, pp. 741- 750, 1996.

[13] I. R. Petersen, "*A stabilization Algorithm for a Class of Uncertain Linear Systems*," Systems and Control Letters, Vol. 8, pp. 351-357, 1987.

[14] H. J. Lee, "*Robust fuzzy control of nonlinear systems with parametric uncertainties*," IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 9, No. 2, pp. 369-379, 2001.

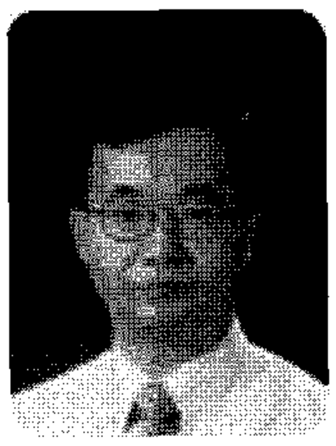
저 자 소 개



구근범(Geun Bum Koo)
2007년 2월 : 연세대학교 전기전자 공학과 졸업.
2007년 3월～현재 : 연세대학교 전기전자 공학과 석사 과정

관심분야 : 퍼지 이론, 지능 제어.
Phone : 02-2123-2773

Fax : 02-362-4539
E-mail : milbam@yonsei.ac.kr



박진배(Jin Bae Park)

제 18권 1호(2008년 2월호) 참조

주영훈(Young Hoon Joo)

제 18권 2호(2008년 4월호) 참조