



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0093331
(43) 공개일자 2018년08월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 13/04 (2006.01) G05B 13/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G05B 13/04 (2013.01)
G05B 13/0275 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0019253
(22) 출원일자 2017년02월13일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
이호재
인천광역시 연수구 해돋이로84번길 29, 303동 1804호(송도동, 송도풍림아이원3단지아파트)
문지현
인천광역시 남구 경인남길118번길 21, 103호(용현동, 한솔빌라)
강현빈
경기도 부천시 상동로 186, 2130동 606호(상동, 다정한마을 금강KCC아파트)
(74) 대리인
한라특허법인(유한)

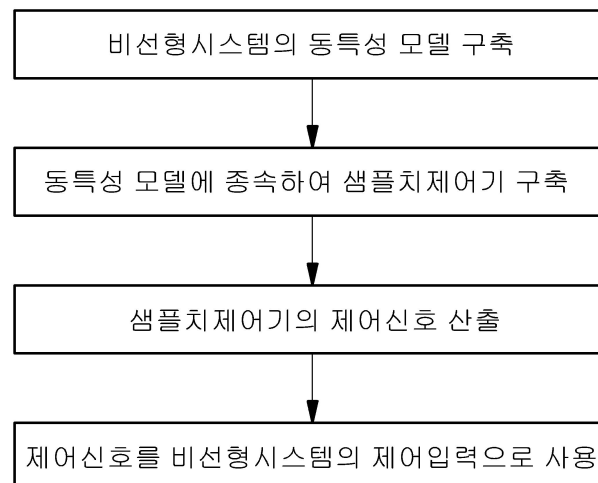
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법

(57) 요약

본 발명은 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법에 관한 것으로서, 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 상태 변수를 '0'으로 수렴시킬 수 있게 구축된 새로운 샘플치제어기를 이용하여 상기 비선형시스템을 보다 안정화할 수 있는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711022852

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원

연구과제명 다개체 시스템의 효율적 분산 제어기 설계기법 개발과 수중 글라이더의 편대 유영에의 응용

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교

연구기간 2015.05.01 ~ 2016.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

특이섭동을 갖는 비선형시스템의 동특성 모델을 구축하는 제1단계;

상기 동특성 모델에 종속하여 상기 비선형시스템의 동특성 제어를 위한 샘플치제어기를 구축하는 제2단계;

상기 동특성 모델의 상태변수에 기초하여 상기 샘플치제어기가 동특성 제어를 위한 제어신호를 주기적으로 산출하는 제3단계;

상기 제어신호를 비선형시스템의 제어입력으로서 사용하는 제4단계를 포함하며,

상기 샘플치제어기는 상기 상태변수를 '0'으로 수렴시킬 수 있게 된 것임을 특징으로 하는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 샘플치제어기는

$$u = u_{kT} := \sum_{i=1}^r \theta_i(z_{kT}) K_i x_{kT}$$

의 형태로 구성된 것을 특징으로 하는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법.

상기 $\theta_i(z_{kT})$ 는 동특성 모델의 퍼지규칙발화도이고, 상기 x_{kT} , z_{kT} 는 각각 동특성 모델의 상태변수 x , 전반부 변수 z 의 kT 시점에서 샘플링된 값이고, 상기 u_{kT} 는 kT 시점에서 샘플치제어기가 산출한 제어신호 u 이고, 상기 K_i 는 샘플치제어기의 제어이득이다.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 샘플치제어기의 제어이득 $K_i = M_i * N$ 인 것을 특징으로 하는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법.

상기 M_i 는 비선형시스템의 동특성 모델에 종속하여 구축된 선형행렬부등식을 만족하는 행렬 M_j 의 해이고, 상기 N 은 선형행렬부등식을 만족하는 행렬 S 의 해에 대한 역행렬이다.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 비선형시스템의 동특성 모델은

$$E \dot{x} =: \sum_{i=1}^r \theta_i(z) (A_i x + B_i u)$$

인 것을 특징으로 하는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법.

상기 $E = \begin{bmatrix} I & * \\ 0 & \varepsilon I \end{bmatrix}$ 이고, 상기 I 는 항등행렬이고, 상기 ε 은 특이섭동 파라미터이고, 상기 x 는 상태변수이고, 상기 A_i 와 B_i 는 각각 시스템행렬과 입력행렬이고, 상기 u 는 제어입력이고, 상기 $\Theta_i(z)$ 는 퍼지규칙발화도이다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 특이섭동이 나타나는 비선형시스템의 동특성 제어를 위한 샘플치제어기를 이용하여 비선형시스템을 점근적으로 안정화하기 위한 비선형시스템의 안정화 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 특이섭동 시스템은 시간 스케일이 상대적으로 빠른 상태변수(즉, fast mode)와 느린 상태변수(즉, slow mode)가 동시에 존재하는 동적시스템을 말한다.

[0003] 특이섭동은 비선형시스템에도 많이 나타나는데, 예를 들면 도립진자 시스템의 구동에 사용되는 직류전동기의 관성모멘트는 도립진자의 관성모멘트에 비하여 상대적으로 매우 작아 무시할 수 있으며, 이 경우 패스트 모드(fast mode)와 슬로우 모드(slow mode)의 동특성이 동시에 존재하게 된다. 또한, 기생(parasitic) 인덕턴스를 포함한 터널다이오드 회로 및 고이득 궤환시스템 역시 패스트 모드(fast mode)와 슬로우 모드(slow mode)의 동특성이 동시에 존재한다.

[0004] 비선형시스템에 존재하는 패스트 모드의 동특성 즉, 시간적으로 빠른 동특성을 특이섭동이라고 하며, 이러한 특이섭동을 갖는 비선형시스템은 패스트 모드의 동특성과 슬로우 모드의 동특성이 혼재함에 따라 시스템을 안정화하기 위해 샘플치제어기를 사용하고 있다.

[0005] 상기 샘플치제어기는 비선형시스템에서 샘플링된 상태변수를 이용하여 산출한 제어신호를 사용하여 비선형시스템의 동특성을 제어함으로써 비선형시스템을 안정화하게 된다.

[0006] 그런데, 패스트 모드와 슬로우 모드의 동특성이 혼재되어 나타나는 비선형시스템의 제어를 위한 샘플치제어기는 이산시간 영역에서 설계하는 것이 용이하기 때문에, 미분방정식으로 표현되는 비선형시스템의 동역학을 적분하여 이산화한 차분방정식을 기반으로 샘플치제어기를 설계하는 것이 일반적이다.

[0007] 그러나, 비선형시스템의 동특성을 나타내는 비선형 미분방정식의 적분에 의한 이산화 모델링은 일반적으로 불가능하므로 적분방정식의 근사화 식을 이용하여 근사화 오차를 포함한 이산시간 모델을 구성하게 되는데, 이를 기반으로 설계한 샘플치제어기를 이용하는 경우 비선형시스템의 안정화 성능이 저하되는 문제점이 존재하게 된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 일본공개특허 특개평7-287602호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 점을 감안하여 안출한 것으로서, 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 상태변수를 '0'으로 수렴시킬 수 있게 구축된 새로운 샘플치제어기를 이용하여 상기 비선형시스템을 보다 안정화할 수 있는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 이에 본 발명에서는, 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 동특성 모델을 구축하는 제1단계; 상기 동특성 모델에 종속하여 상기 비선형시스템의 동특성 제어를 위한 샘플치제어기를 구축하는 제2단계; 상기 동특성 모델의 상태변수에 기초하여 상기 샘플치제어기가 동특성 제어를 위한 제어신호를 주기적으로 산출하는 제3단계; 상기 제어신호를 비선형시스템의 제어입력으로서 사용하는 제4단계를 포함하며, 상기 샘플치제어기는 상기 상태변수를 '0'으로 수렴시킬 수 있게 된 것임을 특징으로 하는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법을 제공한다.

[0011] 구체적으로, 상기 샘플치제어기는

$$u = u_{kT} := \sum_{i=1}^r \theta_i(z_{kT}) K_i x_{kT}$$

[0012] 의 형태로 구성되며, 이때 상기 $\theta_i(z_{kT})$ 는 동특성 모델의 퍼지규칙발화도이고, 상기 x_{kT} , z_{kT} 는 각각 동특성 모델의 상태변수 x , 전반부 변수 z 의 kT 시점에서 샘플링된 값이고, 상기 u_{kT} 는 kT 시점에서 샘플치제어기가 산출한 제어신호 u 이고, 상기 K_i 는 샘플치제어기의 제어이득이다.

[0014] 그리고, 상기 샘플치제어기의 제어이득 $K_i = M_i * N$ 이며, 상기 M_i 는 비선형시스템의 동특성 모델에 종속하여 구축된 식 6의 선형행렬부등식을 만족하는 행렬 M_j 의 해이고, 상기 N 은 식 6의 선형행렬부등식을 만족하는 행렬 S 의 해에 대한 역행렬이다.

[0015] 아울러, 상기 비선형시스템의 동특성 모델은

$$E \dot{x} =: \sum_{i=1}^r \theta_i(z) (A_i x + B_i u)$$

이고,

[0017] 상기 $E = \begin{bmatrix} I & * \\ 0 & \varepsilon I \end{bmatrix}$ 이고, 상기 I 는 항등행렬이고, 상기 ε 은 특이섭동 파라미터이고, 상기 x 는 상태변수이고, 상기 A_i 와 B_i 는 각각 시스템행렬과 입력행렬이고, 상기 u 는 제어입력이고, 상기 $\theta_i(z)$ 는 퍼지규칙발화도이다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 비선형시스템의 안정화 방법에 의하면, 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 상태변수를 '0'으로 수렴하도록 제어함으로써 결과적으로 상기 비선형시스템을 효과적으로 안정화할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 터널다이오드 회로의 예시도

도 2는 도 1에 도시한 터널다이오드 회로의 실제 구동특성을 고려하여 모델링한 회로도

도 3은 본 발명에 따른 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 안정화 방법을 나타낸 순서도

도 4는 본 발명에 따른 샘플치제어기를 이용한 페루프 샘플치 제어시스템을 나타낸 블록도

도 5는 본 발명에 의해 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 상태변수(x_1, x_2)가 '0'으로 수렴됨을 예증하기 위한 모의실험 결과를 나타낸 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 본 발명을 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 설명하기로 한다.

[0021] 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 동특성은 아래의 식 1과 같은 형태의 상미분방정식으로 표현할 수 있다.

[0022] 식 1 : $x_1' = f_1(x, u)$

[0023] $\varepsilon x_2' = f_2(x, u)$

[0024] 상기 x_1' 은 비선형시스템의 슬로우 모드의 동특성을 나타낸 것이고, 상기 x_2' 은 비선형시스템의 패스트 모드의 동특성을 나타낸 것이며, 상기 x 는 비선형시스템의 상태변수이고, 상기 u 는 비선형시스템의 동특성 및 상태를 위한 제어입력(샘플치제어기의 제어신호)이다.

- [0025] 상기 식 1과 같이 표현되는 동특성을 갖는 비선형시스템으로는 예를 들면, 모터를 이용하여 구동되는 기계장치와 이 기계장치의 출력을 센싱하기 위한 센서를 포함하는 페루프 시스템이 있다.
- [0026] 상기 기계장치의 출력을 센싱하기 위한 센서의 동특성은 모터의 동특성보다 빠른 특징이 있으며, 이에 상기 페루프 시스템은 시간적으로 빠른 동특성과 느린 동특성이 혼재하여 나타나게 된다.
- [0027] 한편, 첨부한 도 1에는 터널다이오드 회로의 설계도가 도시되어 있고, 도 2에는 터널다이오드 회로의 실제 구동 특성을 고려하여 모델링한 회로도도 도시되어 있다.
- [0028] 도 1과 같이 전원(1)과 저항(2) 및 캐패시터(3)가 직렬 연결되고 상기 캐패시터(3)에 병렬 연결된 터널다이오드(4)로 구성된 터널다이오드 회로는, 실제 구동 시 도 2에 보듯이 크기가 ε_L 인 아주 작은 기생 인덕턴스(5)가 존재하는 동특성을 보인다.
- [0029] 도 2에 도시된 터널다이오드 회로의 동특성을 모델링하면 위에 식 1과 같은 형태로 표시된다.
- [0030] 상기 식 1과 같은 형태의 상미분방정식으로 표현되는 동특성을 갖는 비선형시스템은 시간적으로 슬로우 모드의 동특성(x_1')과 패스트 모드의 동특성(x_2')이 혼재되어 나타나며, 이때 패스트 모드의 동특성을 특이섭동이라고 한다.
- [0031] 상기와 같은 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 경우 시스템을 안정화하기 위하여 샘플치제어기를 사용하는데, 기존의 샘플치제어기는 이산시간 영역에서 설계하는 것이 용이하기 때문에 연속시간에 대한 미분방정식[$x'=f(x)$]으로 표현되는 비선형시스템의 동특성을 이산화하여 $x(t+1)=x(t)+\int f(x)$ 와 같이 적분방정식을 포함한 형태로 표현해야 하나, 상기 미분방정식[$x'=f(x)$]의 적분은 일반적으로 수식화하여 표현하는 것이 불가능하다.
- [0032] 따라서, 종래의 샘플치제어기는 $\int f(x)$ 의 근사화 식을 사용하여 이산화한 비선형시스템의 동특성 모델에 맞춰 설계된다.
- [0033] 그러나, 이렇게 $\int f(x)$ 의 근사화 식을 이용하여 이산화한 비선형시스템의 동특성 모델을 기반으로 하여 설계된 샘플치제어기를 사용하는 경우, 비선형시스템의 상태변수를 '0'으로 수렴시키는 것이 불가능하며, 결국 비선형 시스템을 안정화하는데 한계가 존재하게 된다.
- [0034] 이에 본 발명에서는 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 동특성을 이산화하지 않고 연속시간에 대해 타카기--수게노(Takagi--Sugeno: T--S) 퍼지모델 형태로 모델링하고, 이렇게 모델링한 비선형시스템의 동특성 제어를 위한 새로운 샘플치제어기를 구축함으로써 비선형시스템을 보다 효과적으로 안정화할 수 있도록 한다.
- [0035] 이를 위하여, 본 발명에서는 도 3에 나타낸 바와 같이, 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 전역적(Global) 동특성 모델을 구축하는 제1단계, 상기 동특성 모델에 종속하여 상기 비선형시스템의 동특성 및 상태 제어를 위한 샘플치제어기를 구축하는 제2단계, 상기 동특성 모델의 샘플링된 상태변수(즉, 비선형시스템의 상태변수)에 기초하여 상기 샘플치제어기가 비선형시스템의 동특성 제어를 위한 제어신호를 주기적으로 산출하는 제3단계, 상기 제어신호를 상기 비선형시스템의 제어입력으로서 사용하는 제4단계를 포함하는 비선형시스템의 안정화 방법을 제시한다.
- [0036] 먼저, 상기 제1단계에서와 같이 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 전역적 동특성을 모델링하여 동특성 모델을 구축한다.
- [0037] 위에 식 1과 같이 표현되는 비선형시스템의 동특성을 섹터 논리니어리티(sector nonlinearity) 기법을 이용하여 퍼지화하면 아래 식 2와 같이 표현된다.
- [0038] 식 2 :
- $$\dot{x}_1 = A_{i,11}x_1 + A_{i,12}x_2 + B_{i,1}u$$
- $$\varepsilon \dot{x}_2 = A_{i,21}x_1 + A_{i,22}x_2 + B_{i,2}u$$
- [0039]
- [0040] 그리고, 상기 식 2를 싱글톤 퍼지화, 곱셈추론, 중심값 평균 비퍼지화에 의하여 타카기--수게노(Takagi--Sugeno: T--S) 퍼지모델 형태로 표현하면 아래 식 3과 같다. 즉, 상기 비선형시스템의 전역적 동특성 모델은 아래 식 3과 같이 구축된다.

[0041] 식 3 :

$$\begin{aligned} E\dot{x} &= \sum_{i=1}^r \theta_i(z) \left(\begin{bmatrix} A_{i,11} & A_{i,12} \\ A_{i,21} & A_{i,22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{i,1} \\ B_{i,2} \end{bmatrix} u \right) \\ &=: \sum_{i=1}^r \theta_i(z) (A_i x + B_i u) \end{aligned}$$

[0042]

[0043] 여기서, 상기

$$E = \begin{bmatrix} I & * \\ 0 & \varepsilon I \end{bmatrix}$$

[0044]

[0045] 이고, $\sum_{i=1}^r \theta_i = 1$ 을 만족한다.

[0046] 여기서, 상기 I는 항등행렬이고, 상기 ε 은 패스트 모드의 동특성과 슬로우 모드의 동특성을 분리하는 정도를 나타내는 특이값동 파라미터이고, 상기 $x=(x_1, x_2)$ 는 상태변수이고, 상기 A_i 와 B_i 는 각각 비선형시스템의 동특성에 따라 결정되는 시스템행렬과 입력행렬이고, 상기 u 는 동특성 제어를 위한 제어입력(또는 샘플치제어기의 제어신호라고 함)이고, 상기 $\theta_i(z)$ 및 z 는 각각 비선형시스템을 타카기--수계노 퍼지모델 형태로 표현하기 위해 사용되는 퍼지규칙발화도와 전반부 변수이다.

[0047] 참고로, 상기 $\dot{x}$ 는 x 를 미분한 것으로서 x' 과 동일한 표현이다.

[0048] 상기 식 3과 같은 동특성을 갖는 비선형시스템을 제어하기 위하여 상기 식 3의 동특성 모델에 종속하여 시간구간 $[kT, kT+T]$ 에 대해 아래 식 4와 같은 형태의 샘플치제어기를 모델링하여 구축한다.

[0049] 식 4 :

$$u = u_{kT} := \sum_{i=1}^r \theta_i(z_{kT}) K_i x_{kT}$$

[0050]

[0051] 여기서, 상기 $\theta_i(z_{kT})$ 는 상기 동특성 모델의 퍼지규칙발화도이고 구체적으로는 퍼지규칙발화도 $\theta_i(z)$ 의 kT 시점($t = kT$)에서 샘플링된 값이며, 상기 x_{kT} , z_{kT} 는 각각 상기 동특성 모델의 상태변수 x , 전반부 변수 z 의 kT 시점($t = kT$)에서 샘플링된 값이고, 상기 u_{kT} 는 kT 시점($t = kT$)에서 샘플치제어기가 산출한 제어신호(혹은 제어입력) u 이고, 상기 K_i 는 샘플치제어기의 제어이득이다.

[0052] 상기 식 4와 같이 구성되는 샘플치제어기를 이용하여 상기 식 1 및 식 3과 같이 표현되는 슬로우 모드 및 패스트 모드의 동특성을 갖는 비선형시스템의 샘플치 제어시스템을 도 4와 같이 구성할 수 있다.

[0053] 도 4에 도시된 페루프 타입의 샘플치 제어시스템은 상기 샘플치제어기(12)를 이용하여 비선형시스템(10)을 점근적으로 안정화하기 위한 것으로서, 비선형시스템(10)의 출력단과 샘플치제어기(12)의 입력단 사이에 연결 구성되는 스위칭부(14)와, 상기 샘플치제어기(12)의 출력단과 비선형시스템(10)의 입력단 사이에 연결 구성되는 ZOH(Zero Order Holder)(16) 포함한다.

[0054] 상기 스위칭부(14)는 일정한 시간 간격으로 온(On) 작동하여 비선형시스템(10)의 상태변수(x) 값이 샘플치제어기(12)에 입력 가능하도록 구성되고, 상기 ZOH(16)는 일정 시간 간격으로 샘플링된 상태변수(x) 값에 기초하여 샘플치제어기(12)가 산출한 제어신호(u)를 상기 비선형시스템(10)의 제어입력으로서 제공하여 비선형시스템(10)으로 입력 가능하도록 구성된다.

[0055] 다시 말하면, 샘플치제어기(12)는 주기적으로 샘플링(예를 들어, kT 시점에서 샘플링)된 비선형시스템(10)의 상태변수(x) 값을 입력받아 비선형시스템(10)의 동특성 제어를 위한 제어신호(u)를 산출하고, 상기 제어신호(u)는 ZOH(16)를 통해 비선형시스템(10)의 동특성 및 상태 제어를 위한 제어입력으로서 사용된다. 이때 상기 ZOH(16)는 주기적으로 산출되는 제어신호(u)를 다음 제어신호가 발생하기 전까지 유지시켜 비선형시스템(10)의 안정화를 위한 제어입력으로서 상기 비선형시스템(10)에 연속적으로 입력되도록 한다.

[0056] 아울러, 상기 샘플치제어기(12)는 주기적으로 샘플링되는 비선형시스템(10)의 상태변수(x) 값을 입력받음과 더

불어 전반부 변수(z)도 입력받는다.

[0057] 여기서, 상기 비선형시스템의 샘플치 제어시스템을 모델링하면 아래 식 5와 같이 표현된다.

[0058] 식 5 :

$$E\dot{x} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r \theta_i(z)\theta_j(z_{kT})(A_i x + B_i K_j x_{kT})$$

[0060] 그리고, 상기 식 5와 같이 표현되는 샘플치 제어시스템을 구성하는 샘플치제어기의 제어이득 $K_i = K_j = M_i * N$ ($i, j = 1, 2, \dots, r$)이고, 상기 $N=S^{-1}$ 이다.

[0061] 이때, 식 4를 구성하는 상기 제어이득 K_i 는 상기 식 5에서 다른 변수들과의 아래 첨자를 구분하기 위해 " K_j "로 표현한 것일 뿐이며, 식 5에서 i 와 j 가 동일한 값으로 한정되는 것을 의미하는 것은 아니다.

[0062] 여기서, 상기 M_i 는 아래 식 6의 선형행렬부등식에 의해 결정되는 행렬 M_j 의 해이고, 상기 N 은 아래 식 6의 선형행렬부등식에 의해 결정되는 행렬 S 의 해에 대한 역행렬로서 소정의 비특이행렬이다.

[0063] 즉, 상기 제어이득(K_i)은 아래 식 6과 같은 선형행렬부등식을 만족하는 행렬 S 와 M_j 를 구함으로써 결정할 수 있다. 아래 식 6의 선형행렬부등식은 리아푸노프 안정도 이론에 근거하여 비선형시스템의 동특성 모델을 구성하는 행렬 A_i 와 B_i 및 E 를 이용하여 구성된다. 즉, 아래 식 6의 선형행렬부등식은 리아푸노프 안정도 이론을 근거로 비선형시스템의 동특성 모델에 종속하여 구축된다.

[0064] 식 6 :

$$\begin{bmatrix} \text{He}\{S^T A_i^T + M_j^T B_i^T\} & * & * \\ S^T A_i^T + c_1(A_i S + B_i M_j) & -Y + c_1 \text{He}\{S^T A_i^T\} & * \\ X - S^T E + c_2(A_i S + B_i M_j) & X - c_1 S^T E + c_2 A_i S & T^2 Y - c_2 \text{He}\{S^T E\} \end{bmatrix} \prec 0.$$

[0066] 상기 S , M_j , X , Y 는 비선형시스템의 동특성에 종속하여 결정되는 서로 다른 변수에 해당하는 행렬이고, 상기 T 는 비선형시스템의 상태변수(x)를 샘플링하는 주기이고, 상기 S^T , A_i^T , B_i^T , M_j^T 는 각각 S , A_i , B_i , M_j 의 전치행렬이다.

[0067] 적절한 상수값으로서 설정된 c_1 , c_2 에 대하여, 수치적 최적화 기법에 의하여 상기 식 6의 선형행렬부등식을 만족하는 S , $M_i=M_j$, $X=X^T > 0$, $Y=Y^T > 0$ 가 존재하면 상기 식 4와 같이 구성된 샘플치제어기는 상기 식 1 및 식 3과 같은 동특성을 갖는 비선형시스템의 상태변수(x)를 '0'으로 수렴시켜 시스템을 점근적으로 안정화할 수 있게 된다.

[0068] 이에 상기 샘플치제어기는 상기 식 6을 만족하는 S , M_i 를 이용하여 계산한 제어이득(K_i)을 적용함으로써 상기 식 1 및 식 3과 같은 동특성을 갖는 비선형시스템을 점근적으로 안정화할 수 있게 된다.

[0069] 다시 말해, 상기 샘플치제어기의 제어이득(K_i)을 상기 식 6을 만족하도록 결정함으로써 샘플치제어기가 비선형시스템의 상태변수(x)를 '0'으로 수렴시킬 수 있는 제어특성을 가지게 되며, 이렇게 샘플치제어기의 제어특성을 결정함으로써 상기 샘플치제어기를 이용한 샘플치 제어시스템은 특이섭동을 갖는 비선형시스템의 상태변수(x)가 '0'으로 수렴하도록 제어하게 되고 결국 상기 비선형시스템을 점근적으로 안정화할 수 있게 된다.

[0070] 여기서, 본 발명의 효용성을 예증하기 위한 모의실험 및 그 결과를 설명하면 다음과 같다.

[0071] 먼저, 아래와 같은 파라미터로 구성되는 식 3과 같은 형태의 동특성을 갖는 비선형시스템을 가정한다.

$$\begin{aligned} A_1 &= \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} \\ B_1 &= \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = 0.01 \\ \theta_i &= \begin{cases} \frac{1}{1+e^{-x_1}}, & \text{for } i = 1; \\ 1 - \theta_1, & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

[0073] 식 4와 같이 구성된 샘플치제어기의 샘플링 주기 T를 0.02로 설정하고, 식 6과 같은 선형행렬부등식의 c1, c2를 0.05로 설정한 뒤, 상기 선형행렬부등식을 풀면 아래와 같은 해가 존재한다.

$$S = \begin{bmatrix} 6.7556 & 0.3157 \\ -34.8752 & 32.9473 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} 9.8453 & -3.0783 \\ -3.0783 & 2.4517 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} 207.9050 & -42.1749 \\ -42.1749 & 43.0205 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} -269.8101 & -268.2412 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} -269.8101 & -268.2412 \end{bmatrix}$$

[0074]

[0075] 상기 S와 M1, M2를 이용하여 샘플치제어기의 제어이득을 아래 K1, K2와 같이 결정한다.

$$K_1 = \begin{bmatrix} -78.1057 & -7.3932 \end{bmatrix}$$

$$K_2 = \begin{bmatrix} -78.1057 & -7.3932 \end{bmatrix}$$

[0076]

[0077] 다음, 비선형시스템의 초기 상태변수 $x(0)=(1,1)$ 로 선정하고 모의실험을 수행한 결과를 도 5에 나타내었다.

[0078]

도 5에 보듯이, 비선형시스템의 상태변수(x_1, x_2)가 시간이 지남에 따라 점차 '0'으로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

[0079]

이상으로 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명하였는바, 본 발명의 권리범위는 상술한 실시예에 한정되지 않으며, 다음의 특허청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 또한 본 발명의 권리범위에 포함된다.

부호의 설명

[0080]

10 : 비선형시스템

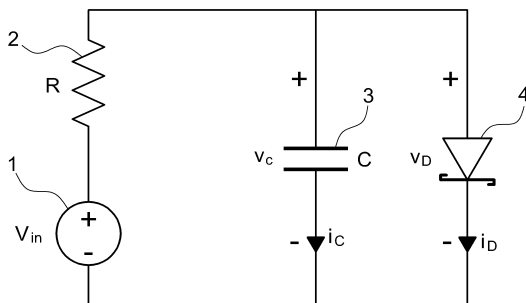
12 : 샘플치제어기

14 : 스위칭부

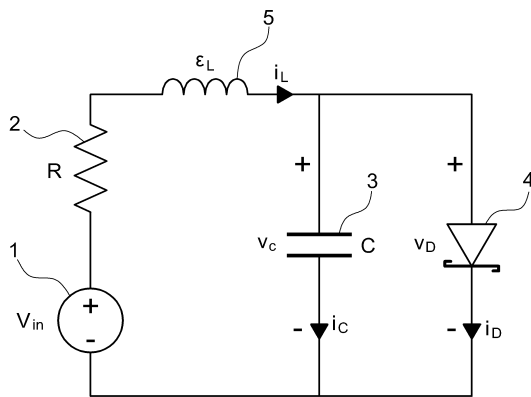
16 : ZOH(Zero Order Holder)

도면

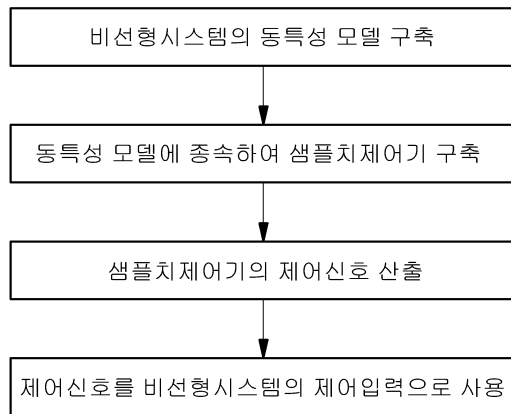
도면1



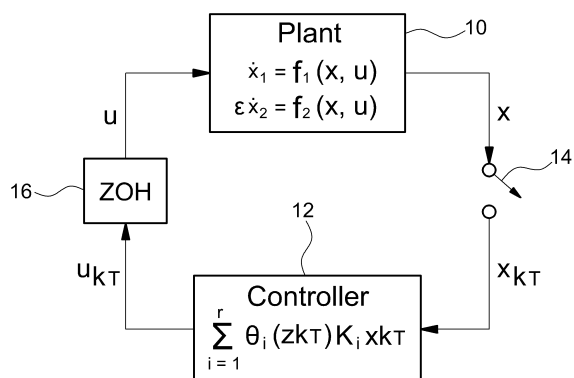
도면2



도면3



도면4



도면5

