

시소 시스템을 위한 RCGA 기반의 상태피드백 제어

류기탁* · † 소명옥**

*한국해양수산연수원 교관, **한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수

RCGA-Based State Feedback Control for Seesaw Systems

Ki-Tak Ryu · † Myung-Ok So***

**Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Pusan 608-080, Korea*

***Division of Mechatronics Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

요 약 : 일반적으로 대부분의 실제 시스템은 복잡하고, 외란이나 불완전한 지식에 영향을 받으며, 비선형 특성을 가지고 있다. 이러한 시스템을 제어하기 위해 현대제어 이론에 기초한 제어기가 연구되고 있다. 그러나 이러한 제어이론과 제어기를 산업현장에 검증 없이 곧바로 적용하면 시스템의 손상이 발생할 수 있으므로 모의실험을 통한 검증이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 산업현장의 불안정과 비선형성을 대표할 수 있는 시소시스템을 모형대상으로 설정하여 RCGA기반의 상태피드백 제어기와 상태관측기를 설계하여 이들을 결합한 제어시스템을 설계한다. 다양한 초기조건과 외란에 대한 시뮬레이션을 통해 제어시스템의 유효성을 확인한다.

핵심용어 : 시소 시스템, 실수코딩 유전알고리즘(RCGA), 상태피드백 제어기, 상태관측기

ABSTRACT : In general, most physical systems are complex, highly non-linearity, affected by disturbance, incomplete knowledge, and even interactive change with the operating points. To solve this problem, the research of modern control theory and controller is proceeding. Before applying the proposed controller to the real system, however, it needs an apparatus which can verify the proposed controller for being not damaged the plant. In this paper, therefore, a RCGA-based PI-type state feedback controller using reduced-order observer is implemented and applied to the seesaw system and a series of simulation are carried out to verify the effectiveness of the control system.

KEY WORDS : seesaw system, RCGA(real-coded genetic algorithm), state feedback controller, reduced-order observer

1. 서 론

시소 시스템은 대표적인 불안정·비선형 시스템으로 어느 지점을 기준으로 평형을 항상 유지하여야 한다. 또한, 빠른 시간 안에 시소를 평형점에 도달시켜야 하고, 돌발적인 외란이 존재하는 경우에도 정상오차가 발생하지 않아야 한다. 따라서 본 논문에서는 다양한 초기조건이나 외란이 존재하는 환경 하에서 시소 시스템을 제어하기 위해 RCGA 기반의 상태관측기를 설계하고, 이를 RCGA 기반의 PI형의 상태피드백 제어기와 결합한 제어시스템을 제안한다. 이렇게 제안된 제어시스템은 다양한 시뮬레이션을 통해 그 성능과 유효성을 입증하도록 한다.

2. 유전알고리즘과 시소 시스템 모델링

2.1 유전알고리즘

유전알고리즘(진 등, 1997; 진, 2004)은 자연선택과 유전학을 모방한 최적화 알고리즘으로, 본 논문에서는 PI형의 상태피드백 이득행렬과 상태관측기의 이득행렬을 탐색하는 도구로 사용된다.

2.2 시소시스템 모델링

Lagrange 방정식을 이용하여 시소시스템의 비선형 방정식을

* 대표저자 : 류기탁(정회원), ryukitak@hanmail.net 018)586-7236

† 교신저자 : 소명옥(중신회원), smo@hhu.ac.kr 051)410-4248

도출한 후, 선형화하여 Quanser사의 시소 시스템 파라미터 값을 참고하면 다음과 같은 상태방정식을 구할 수 있다.(류 등, 2007)

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1.7695 & -9.1618 & -21.6068 & 0 \\ -14.1562 & 5.1856 & -3.8115 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.0972 \\ 0.5463 \end{bmatrix} u, \quad (1)$$

$$y = [0 \ 1 \ 0 \ 0] \mathbf{x}$$

여기서, x_1 은 대차의 위치, x_2 는 시소의 각도, x_3 는 대차의 속도, x_4 는 시소의 각속도이다.

3. 제어기 설계

3.1 PI형의 상태피드백 제어기

계단상의 외란과 잡음이 존재하는 환경에서도 정상오차 없이 시소의 평형점을 찾을 수 있도록 오차 보상 상태변수 z 를 식 (2)와 같이 정의한 후, PI형의 상태피드백 제어기를 설계하면 식 (3)과 같다.

$$z = \int [y - y_r] dt \quad (2)$$

$$u = -\hat{K}_1 \mathbf{x} + \hat{k}_i \int [y - y_r] dt \quad (3)$$

3.2 축소차수 상태관측기

루엔버그형 축소차수 상태관측기를 설계하기 위해 계측하는 상태(대차의 위치, 시소의 각도) \mathbf{x}_a 와 추정하는 상태(대차의 속도, 시소의 각속도) \mathbf{x}_b 를 $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_a \ \mathbf{x}_b]^T$ 로 구분한 후, 축소차수 상태관측기의 상태방정식을 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\dot{\tilde{\eta}} = (\mathbf{A}_{bb} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{ab})\tilde{\eta} + (\mathbf{A}_{bb}\mathbf{L} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{ab}\mathbf{L} + \mathbf{A}_{ba} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{aa})\mathbf{y} + (\mathbf{B}_b - \mathbf{L}\mathbf{B}_a)u \quad (4)$$

$$\tilde{\eta} = \tilde{\mathbf{x}}_b - \mathbf{L}\mathbf{y}$$

4. 시뮬레이션

RCGA를 이용하여 PI형의 상태 피드백 제어기의 이득행렬을 구하기 위해 하중행렬 $\hat{\mathbf{Q}}$ 와 $\hat{\mathbf{R}}$ 을 시행착오적으로 식 (5)와 같이 선정하며, RCGA의 목적함수는 식 (6)과 같다.

$$\hat{\mathbf{Q}} = \text{diag}(970, 2780, 0, 0, 8450), \quad \hat{\mathbf{R}} = 6.3 \quad (5)$$

$$J = \int (\hat{\mathbf{x}}^T \hat{\mathbf{Q}} \hat{\mathbf{x}} + u^T \hat{\mathbf{R}} u) dt \quad (6)$$

이로부터 피드백 이득행렬 $\hat{\mathbf{K}}$ 를 RCGA를 이용하여 구하면 식 (7)과 같다.

$$\hat{\mathbf{K}} = [119.0832 \ -118.6785 \ 8.2422 \ -31.5996 \ -36.1347] \quad (7)$$

상태관측기 이득행렬 \mathbf{L} 은 추정하는 상태와 시스템의 상태 norm이 최소가 되도록 또 다른 RCGA를 이용하여 탐색하면 식 (8)과 같다

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0.2611 & -0.54 \\ -7.5139 & 15.0915 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Fig. 1은 시스템이 임의의 초기값을 가질 경우이며, Fig. 2는 외란을 인가할 경우의 응답결과이다.

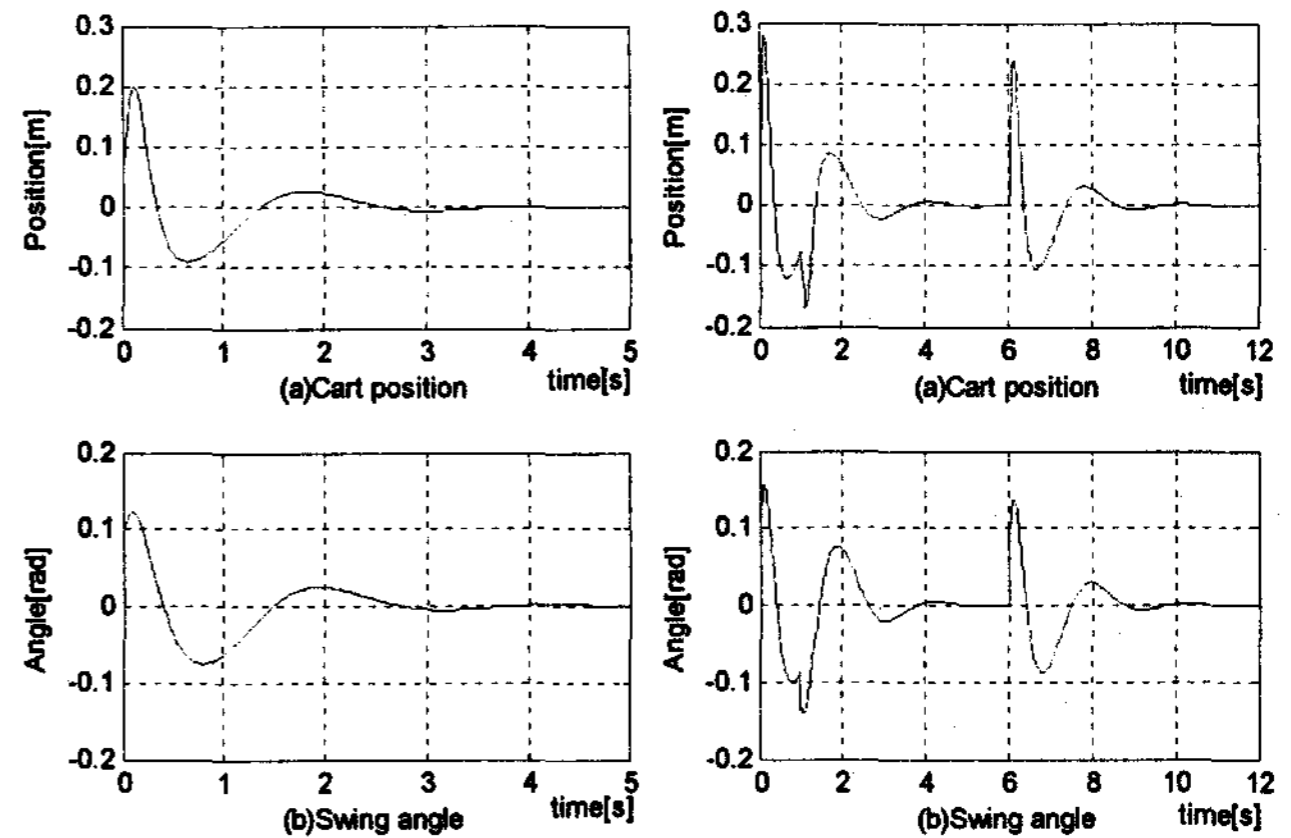


Fig. 1 Response of the observer-based system when $\mathbf{x}(0)=[0.05 \ 0.1 \ 0 \ 0]^T$ and $\tilde{\mathbf{x}}_b=[0 \ 0]^T$

Fig. 2 Response of the observer-based system when $\mathbf{x}(0)=[-0.05 \ 0.1 \ 0 \ 0]^T$ and $\tilde{\mathbf{x}}_b=[0 \ 0]^T$, (Disturbance $-0.05[\text{rad}]$ at $1.0[\text{s}]$ and $0.10[\text{rad}]$ at $6.0[\text{s}]$)

5. 결론

본 논문에서는 시소시스템의 평형을 유지하기 위해 RCGA 기반의 상태관측기를 RCGA 기반의 상태피드백 제어기에 결합한 제어시스템을 설계하였다. 제안한 제어시스템은 다양한 초기조건과 외란이 존재하는 환경 하에서 시뮬레이션을 실시해 그 유효성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 류기탁, 소명옥, 유희한, 정병건, 김종수(2007), 축소차수 관측기를 이용한 시소시스템의 자세제어, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp. 105-106.
- [2] 진강규, 하주식(1997), 최적화기법으로서의 유전알고리즘과 그 응용, 한국박용기관학회, Vol. 21, No. 2, pp. 108-116.
- [3] 진강규(2004), 유전알고리즘과 그 응용, 교우사.