

모형 컨테이너 크레인의 파라미터 추정 및 제어 : 실험적 접근

이윤형* · 진강규** · † 소명옥**

*한국해양대학교 자동제어실험실, **한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자·통신공학부 교수, 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수

Parameter Estimation and Control for Apparatus of Container Crane : An Experimental Approach

Yun-Hyung Lee · Gang-Gyoo Jin** · † Myung-Ok So***

**Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

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

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

요 약 : 컨테이너 크레인의 수학적 모델 정확도는 모델 내부 파라미터 값의 정확도에 의해 결정되나, 기술적 혹은 환경적인 문제로 내부 파라미터의 정확한 값을 알지 못하는 경우가 빈번히 발생하기도 한다. 이 경우에는 시스템의 입·출력 데이터에 근거하여 모델의 파라미터를 추정해야 하는데, 본 논문에서는 입·출력 데이터와 RCGA가 결합된 모델조정기법을 이용하여 모형 컨테이너 크레인 모델의 파라미터를 추정하는 방법을 보인다. 또한, 이렇게 추정한 모델에 또 다른 RCGA를 적용하여 제어에 필요한 이득행렬을 탐색한다. 제안하는 파라미터 추정법과 제어는 컨테이너 크레인의 모형실험장치에 적용하고, 실험을 실시하여 그 유효성을 검증한다.

핵심용어 : 컨테이너 크레인, 파라미터 추정, 최적제어, 실수코딩 유전알고리즘

ABSTRACT : *In this paper, we presents a scheme for the parameter estimation and optimal control scheme for apparatus of container crane system. For parameter estimation, first, we construct the open loop of the container crane system and estimate its parameters based on input-output data, a real-coded genetic algorithm(RCGA) and the model adjustment technique. The RCGA plays an important role in parameter estimation as an adaptive mechanism. For controller design, state feedback gain matrix is searched by another RCGA and the estimated model. The performance of the proposed methods are demonstrated through a set of simulation and experiments of the experimental apparatus.*

KEY WORDS : *container crane, parameter estimation, optimal control, real-coded genetic algorithm(RCGA)*

1. 서 론

컨테이너 크레인 시스템을 효율적이고, 안전하게 운영하기 위해서는 알맞은 제어를 사용해야 한다. 이러한 제어를 설계하기 위해서는 우선 시스템을 잘 표현하는 모델이 필요하다.

본 논문에서는 모형 컨테이너 크레인의 입·출력 데이터와 RCGA(Real-Coded Genetic Algorithm) 기반의 모델조정기법을 이용하여 모델의 파라미터를 추정하고, 트롤리와 컨테이너의 흔들림을 정밀하게 제어하기 위해 추정된 모델에 또 다른 RCGA를 적용하여 최적제어기 이득을 탐색하는 기법을 제안한다. 제안한

파라미터 추정 방법과 최적제어기는 시뮬레이션과 모형실험장치의 실험을 통하여 그 유효성을 검증한다.

2. 컨테이너 크레인의 파라미터 추정

컨테이너 크레인의 파라미터를 추정하기 위해 모형 컨테이너 크레인의 입·출력 데이터와 RCGA(진,2004) 기반의 모델조정기법을 이용한다. 조정모델은 식 (1)과 같은 선형·시불변 상태방정식이 사용되고, $x_1 = x$ (트롤리 위치), $x_2 = \alpha$ (컨테이너 흔들림 각), $x_3 = \dot{x}$, $x_4 = \dot{\alpha}$ 를 의미한다.

* 대표저자 : 이윤형(정회원), domse54@daum.net 011)9242-5907

** 정회원, ggjin@hhu.ac.kr 051)410-4341

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

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1)$$

$$y = Cx$$

$$\text{여기서 } A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix}, C = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

적용 메카니즘으로 RCGA를 사용하므로 염색체는 식 (2)와 같이 표시된다.

$$s = (a_{32}, a_{33}, a_{34}, a_{42}, a_{43}, a_{44}, b_3, b_4) \quad (2)$$

개체의 적합도를 평가하기 위해 식 (3)과 같은 목적함수를 사용하였다.

$$J_1(\phi) = \int_{(k-W+1)T}^{kT} \|x_p - x_m\| dt \quad (3)$$

여기서 ϕ 는 미지의 파라미터 벡터, W 는 데이터 윈도우의 크기이며 x_p 와 x_m 은 각각 모형 컨테이너 크레인 시스템과 조정모델의 상태이다.

3. 최적제어기 설계

본 논문에서는 계단상의 외란이나 잡음이 존재하는 환경 하에서도 출력이 기준입력에 정상상태오차 없이 잘 추종할 수 있도록 하기 위해서 PI형의 상태피드백 제어기를 적용하며, 제어입력은 식 (4)와 같다.

$$u = -K_1 x + k_2 \int (y_r - y) dt \quad (4)$$

여기서 $K = [K_1 \ k_2]$ 는 피드백 이득행렬이다.

4. 시뮬레이션 및 실험

4.1 컨테이너 크레인의 모형 실험장치

모형실험장치는 Quanser Consulting사의 Linear Motion Servo Plant "Gantry Crane"으로 6 [V] DC 모터에 의해 운동하는 트롤리와 트롤리의 위치 및 컨테이너의 흔들림 각을 측정할 수 있는 각각의 증분형 엔코더(Incremental encoder)를 가지고 있다.

4.2 RCGA에 기초한 컨테이너 크레인의 파라미터 추정

모형실험장치에 계단상의 입력을 인가하고 입·출력 데이터를 획득하여 파라미터 추정을 실시한다. RCGA의 유전 연산자로는 구배와 유사한 재생산, 수정단순교배, 동적돌연변이를 사용하였고, 스케일링 윈도우법(Grefenstette, 1986), 엘리트전략을 사용하였다. 또한, RCGA의 파라미터로는 집단크기 $N=30$, 재생산 계수 $n_r=1.8$, 교배확률 $P_c=1.0$, 돌연변이 확률 $P_m=0.2$ 를 선택하였다. 최종적으로 탐색된 파라미터는 식 (5)와 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2.41 & -10.97 & -0.06 \\ 0 & -28.61 & -26.89 & -0.15 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.28 \\ 3.09 \end{bmatrix} \quad (5)$$

5.4 RCGA에 기초한 최적제어기 설계

컨테이너 크레인의 상태 피드백 이득행렬 K 는 또 다른 RCGA를 이용해서 탐색한다. 이때 유전 연산자는 파라미터 추정에 사용된 것과 동일하고, 제어변수는 집단의 크기 $N=20$, 재생산계수 $n_r=1.8$, 교배확률 $P_c=0.9$, 돌연변이 확률 $P_m=0.2$ 가 사용되었다. RCGA의 목적함수는 식 (6)과 같은 2차형식의 평가함수를 사용하였다.

$$J_2 = \int_0^{\infty} (x_c^T Q_c x_c + u^T R_c u) dt \quad (6)$$

여기서 $Q_c = \text{diag}([45 \ 35 \ 10 \ 8 \ 6])$, $R_c = 2.5$ 이다.

최종적으로 얻어진 상태 피드백 이득행렬 $K = [231.23 \ 21.67 \ 43.24 \ -9.89 \ 155.66]$ 이다.

4.5 제어기의 시뮬레이션 및 실험

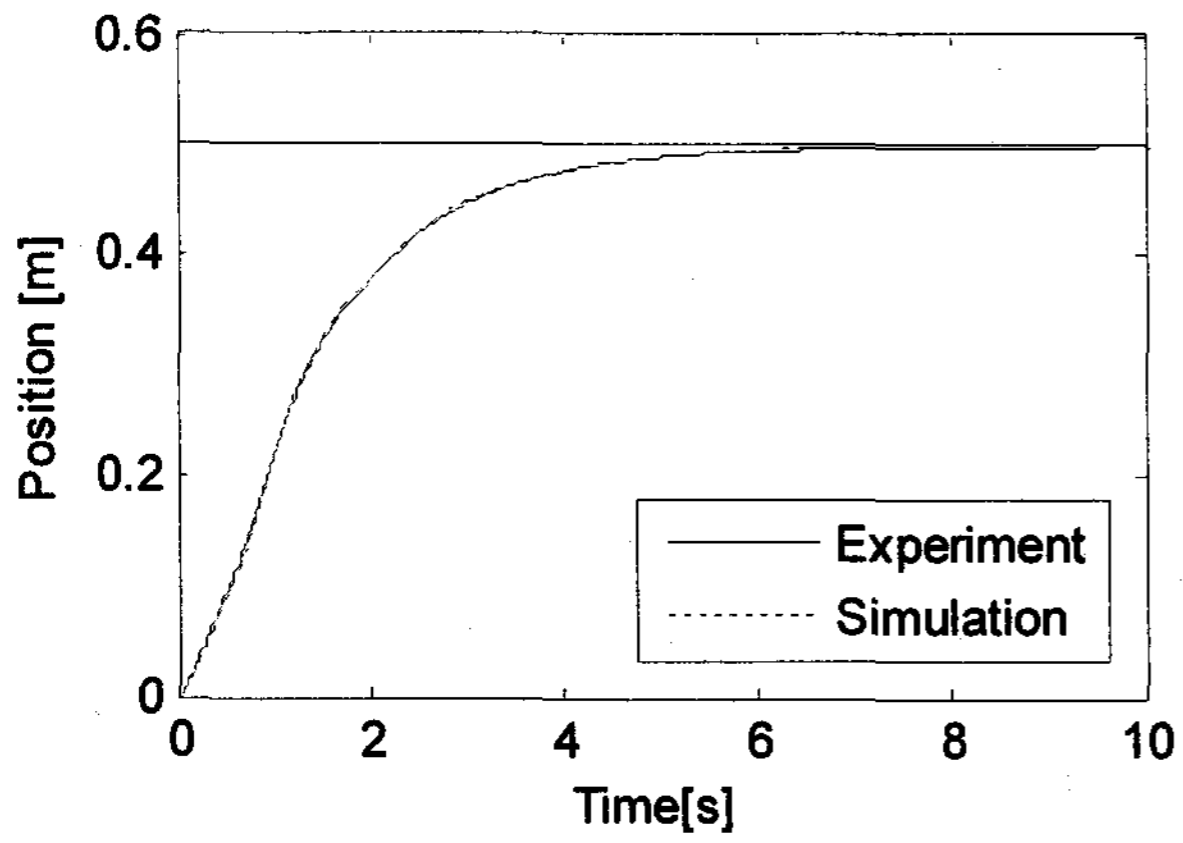
시뮬레이션과 실험은 1[ms]의 샘플링 시간으로 식 (4)의 제어기를 적용하여 실시하였다. 시뮬레이션에 사용된 모델은 식 (5)의 추정된 선형 모델이 아닌, 비선형 모델로서 참고문헌(이,2007)에서 인용하였다. 기준입력 변화에 대한 제어기 성능을 알아보기 위하여 초기위치 0[m]에서 전진방향으로 목표위치 0.5[m]의 기준입력을 인가하였다. Fig. 1은 그 결과로서 시뮬레이션과 실험이 거의 일치하는 결과를 보이고 있으며, 모두 만족스러운 응답특성을 보인다.

5. 결 론

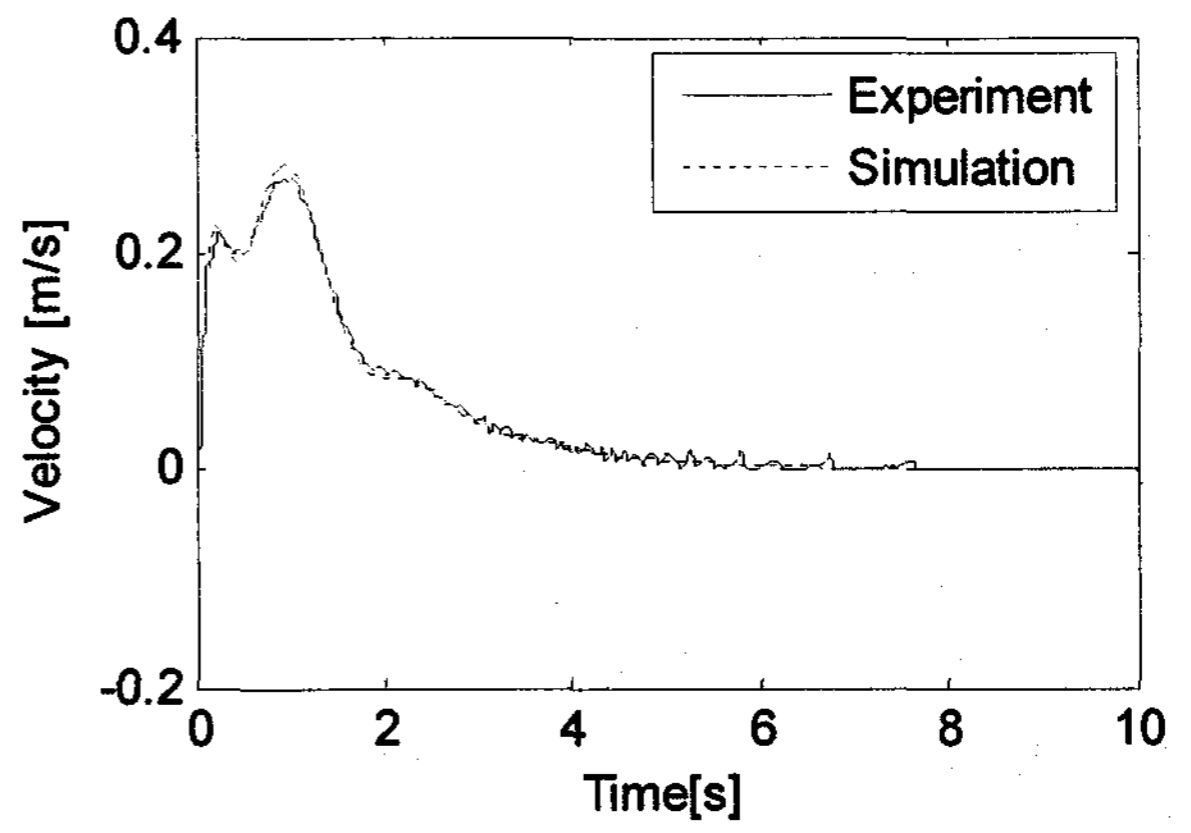
본 논문에서는 모형 컨테이너 크레인의 입·출력 데이터와 RCGA 기반의 모델조정기법을 이용하여 파라미터를 추정하고, 추정된 모델에 또 다른 RCGA를 적용하여 상태피드백 제어기를 설계하였다. 이렇게 설계된 제어기를 모형실험장치에 적용하여 실험한 결과 시뮬레이션과 거의 일치하고, 만족스러운 응답특성을 보였다.

참 고 문 헌

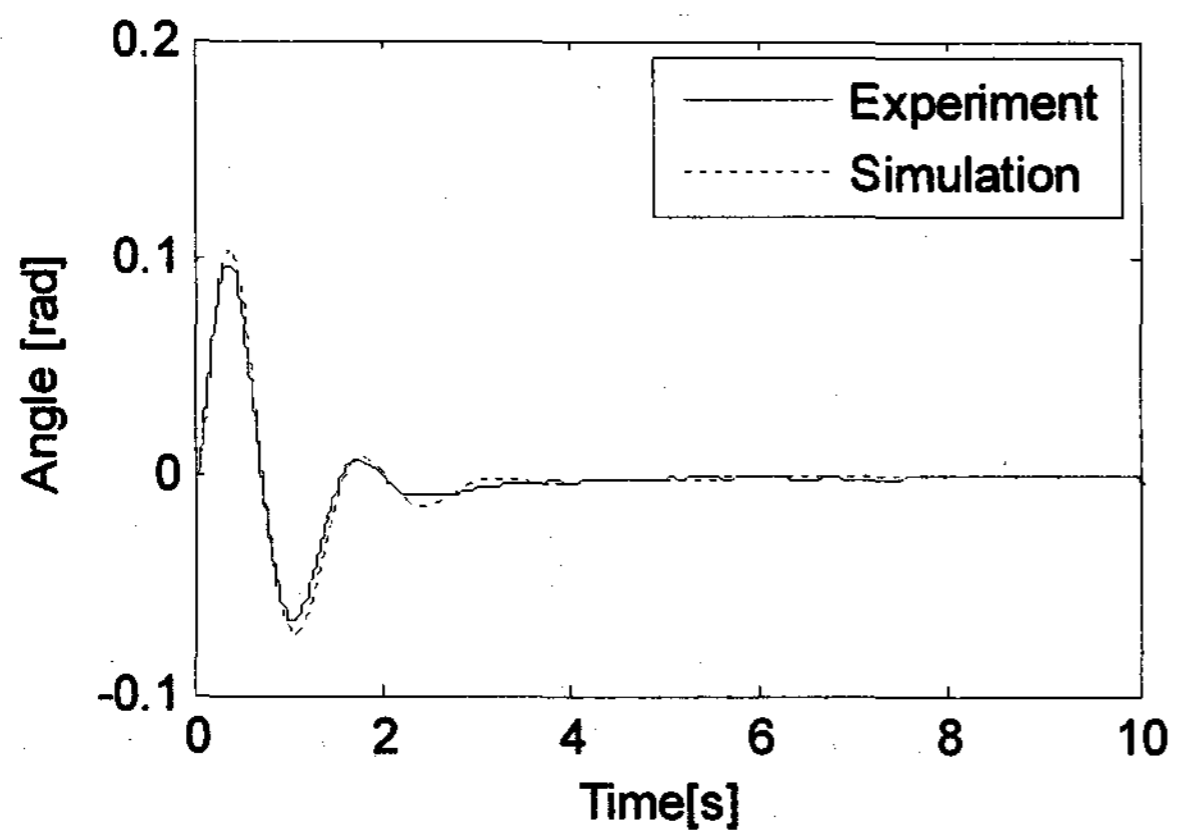
- [1] 진강규(2004), 유전알고리즘과 그 응용, 교우사
- [2] Grefenstette, J. J.(1986), "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. SMC-16, No. 1, pp. 122-128.
- [3] 이윤형(2007), "컨테이너 크레인을 위한 RCGA 기반의 퍼지 제어기", 한국해양대학교 공학박사학위논문, pp. 47-52.



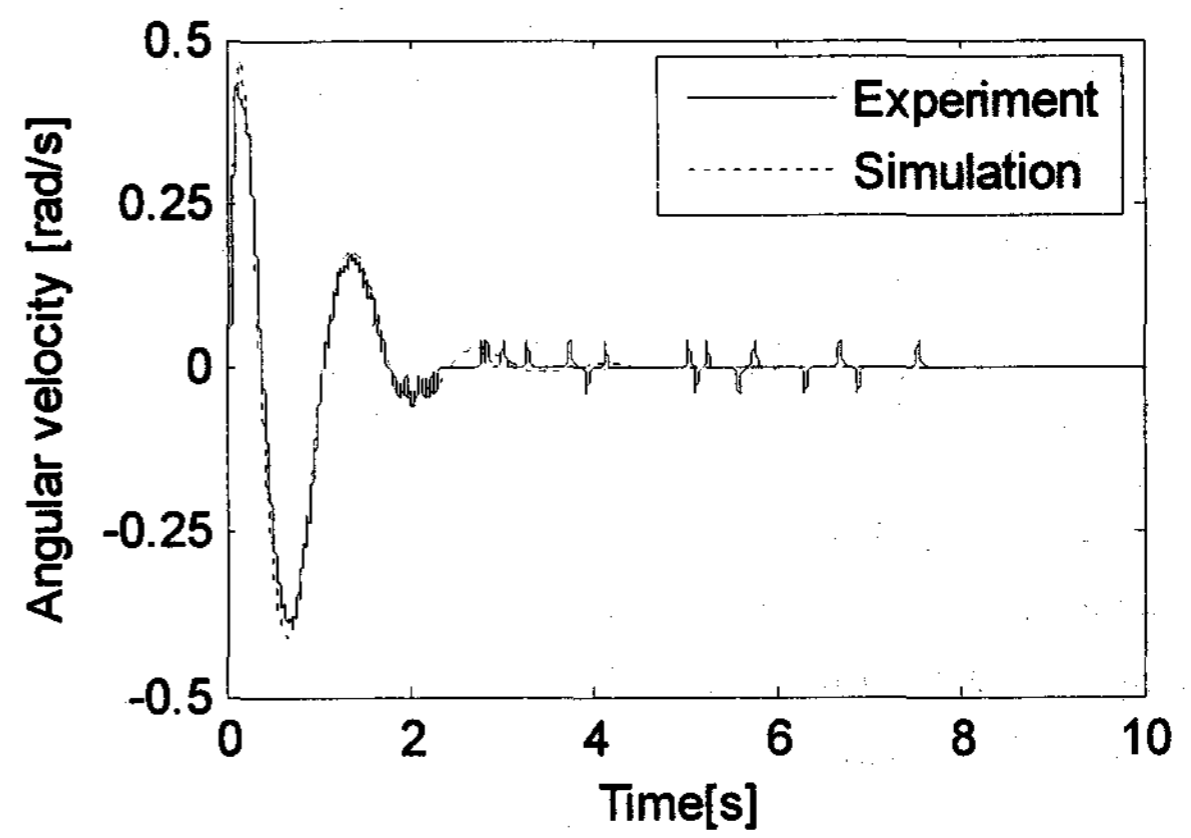
(a) Trolley position



(b) Trolley velocity



(c) Swing angle



(c) Swing angular velocity

Fig. 1 Simulation and experimental results