

지능형 Arm-wrestling system의 수학적 모델과 시뮬레이션

손익수*(건국대 대학원 기계공학과), 이한승(건국대 기계항공우주공학부),
강철구(건국대 기계공학과)

Mathematical modeling and simulation of an intelligent arm-wrestling system

I.-X. Son*(Mech. Eng. Dept., Konkuk Univ.), H.-S. Lee(Mech. Eng. Dept., Konkuk Univ.),
C.-G. Kang(Professor. Mech. Eng. Dept., Konkuk Univ.)

ABSTRACT

An intelligent arm-wrestling system is recently developed in our laboratory that is comprised of an arm-force generation mechanism and a control system that detects the maximum arm-force of a user in the early stage of the match, generates a different game scenario each time, and executes force feedback control to implement the scenario. This paper presents the mathematical model of the force control system of the intelligent arm-wrestling system, and some improvements of it via experimental frequency responses using a control signal analyzer.

Key Words : Feedback control (되먹임 제어), Force control (힘제어), Modelling (모델링), Frequency response (주파수응답)

1. 서론

본 논문은 지능형 Arm-wrestling system의 운용 중에 발생했던 문제점들의 개선과 그 모델을 산출하고, 그것을 시뮬레이션하는 것에 주안점을 두고 있다. 좀 더 효과적이고 효율적인 제어이론을 적용하기 위해서는 시스템의 모델을 아는 것이 필수적이기 때문이다. 2절에서 지능형 Arm-wrestling system에 대한 간략한 소개와 시스템 운용동안 나타난 문제점에 대한 개선을, 3절에서는 모델링을 위한 시스템의 간략화와 CSA(Control system analyzer)를 이용한 실험적인 모델링을, 4절에서는 3장에서 얻어진 결과를 분석하고 이를 검증한다.

2. 지능형 Arm-wrestling system

Fig. 1은 본 연구실에서 개발한 지능형 arm-wrestling system을 보여주고 있다. 이 시스템은 난수를 생성하여 무작위적으로 승패를 결정하도록 구성하였고, 사용자의 승리에 대한 의지를 게임에 반영하여 승패에 영향을 줄 수 있도록 구성했다. 안전을 위해, 일차적으로는 소프트웨어로서, 2차적으로는 기계적인 Stopper를 설계하였으며, 3차적으로는 외부에 비상스위치를 배치했다[1]. 또한, 사용자의 접근 유무 파악과 시스템을 사용할 의사가 있는지를 판단할 수 있게 하는 초음파 센서와 photoelectric (infrared) sensor를 추가하였다. Fig. 2는 본 시스템의 힘제어 논리에 대한 블록선도를 보여주고 있다.



Fig. 1 The arm-wrestling system

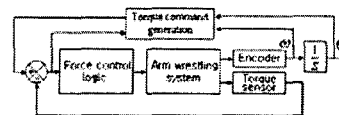


Fig. 2 Block diagram of the force feedback control system

기존의 시스템에서 각도센서를 이용한 초기위치 설정 대신, 시스템의 관성모멘트를 최대한 활용하여 초기위치를 설정하는 방법을 취했고, 시스템의 재부팅 과정에서 발생한 제어 불능현상을 초기각도 설정 단계에서 중간 각도 값의 포함으로 개선했다. Fig. 3과 Fig 4.는 개선 전후의 속도와 토크명령에 관한 그래프로, 실선으로 표시된 것이 개선 후이고, 점선으로 표시된 부분이 개선 전을 나타내고 있다.

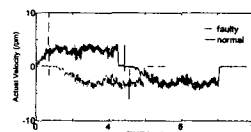


Fig. 3 Actual velocity during system initialization

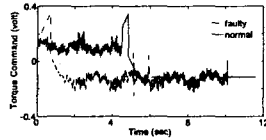


Fig. 4 Torque command during system initialization

3. 지능형 Arm-wrestling system의 모델링

토크 지령에 대한 시스템의 블록선도는 다음 Fig. 5와 같다[2]. 시스템을 수학적으로 구성하기 위해서는, 테이블의 구조적인 성질, 팔부분의 비대칭관성모멘트와 Amplifier의 PWM방식등이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 CSA(Control system analyzer; HP 3563A)를 이용하여 실험적으로 모델을 얻는 방법을 취하였다[3].

시스템의 힘 감지 방식에 의거하여, 정확한 힘의 측정을 위해 기계적인 팔 부분을 좌우의 움직임이 없이 고정된 상태에서 실험하였다.

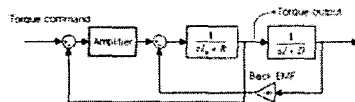


Fig. 5 Block diagram of the plant of the force control system

수학적 모델을 얻기 위하여 계단응답과 주파수 응답 실험을 수행했다. Fig. 6은 모델링을 위한 실험 개념도이다 [3,4].

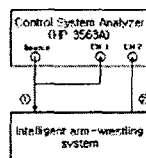


Fig. 6 Experimental setup for modelling

계단응답 실험의 소스신호는 250mV의 값을 가지는 계단입력이고, 주파수응답을 위한 소스신호는 Swept sine 신호로서 주파수는 0.05Hz ~ 500Hz까지였다. 결과는 Fig. 7, Fig. 8과 같다.

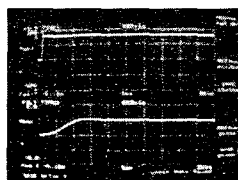


Fig. 7 Step response

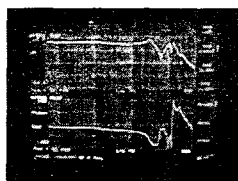


Fig. 8 Frequency response

5. 모델의 검증

결과값의 Curve fitting을 통해 시스템을 2차로 단순화 할 수 있었고, 다음과 같은 전달함수를 얻을 수 있었다.

$$\frac{-319s + 281848}{s^2 + 4267s + 282175} \quad (1)$$

아래의 Fig. 9, Fig. 10은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 산출한 계단응답과 주파수응답이다.

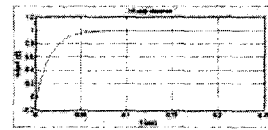


Fig. 9 Step response simulation

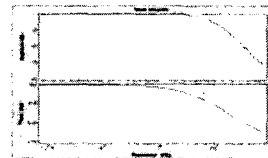


Fig. 10 Frequency response simulation

6. 결론

시스템의 개선을 위해 각도센서 없이 초기위치를 잡는 방법을 사용했고, 시스템 부팅초기의 제어불능 현상을 해결하였다. 힘제어시스템의 플랜트 모델링은 실험적 주파수응답을 통해 2차시스템으로 구하였다. 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

후기

The authors gratefully acknowledge the financial support from the Intelligent Robotics Development Program (Program No. 6-2-3), one of the 21st Century Frontier R&D Programs of Korea.

참고문헌

1. C.-G. Kang, et al, "Conceptual Design for Robotic Arm Wrestling", Proc. of IEEE Conf. on Robotics, Automation and Mechatronics, pp. 1072-1076, 2004, Singapore.
2. Electro-craft corporation "DC motors speed controls servo systems", Pergamon press, 1977
3. C. G. Kang, W. W. Kao, M. Boals, R. Horowitz, "Modeling, identification and simulation of a two link SCARA manipulator", Proc. of Winter annual meeting of ASME, 1988.
4. J. W. Youn, "Development of the modeling technique for direct drive SCARA robots", Master thesis in mechanical engineering, graduate school of Konkuk University, Feb, 1995.