

지능형 자동 보정화 디지털 제어기 설계를 위한 퍼지 기법

Fuzzy Methods for the Design of Digital Controllers with Intelligent Calibration

나 승 유, *박 민 상
전남대학교 전자공학과
광주광역시 북구 용봉동 300
E-mail: syna@orion.chonnam.ac.kr

Seung You Na, *Min Sang Park
Dept. of Electronics Eng., Chonnam National University, Puk-Ku, Kwangju, 500-757, KOREA
Tel: +82-62-530-1753; Fax: +82-62-530-1759; E-mail: syna@orion.chonnam.ac.kr

ABSTRACT

The values of physical components of the plants and controllers as well as the relevant environmental conditions change in time, thus the output performance can be deteriorated during the operating span of the system. Naturally the duty of calibration or the prevention of performance deterioration due to excessive component sensitivity should be provided to the control system. The proposed controller, whenever necessary, measures the open-loop and close-loop characteristics, and then calculates the offset and sensor gain correction values based on the prepared standard measurements. It is applied to the control of a flexible link system with the gain and offset calibration problems in the light sensor module for position to show the applicability. In this paper, we propose a digital controller which has the capability of calibration gain and offset adjustment using fuzzy methods.

I. 서 론

계통의 구성 요소와 주변 환경의 변화에 따라 제어계통의 동작구간에서도 설계된 출력 정격을 유지하지 못하고 벗어나는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 필요시에는 제어계통에서 보정이나 파라미터 변동에 따른 출력 훼손을 방지하는 방안이 요구된다.

본 논문에서는 제어규칙의 수행뿐만 아니라 변동된 파라미터의 보정과 증폭율을 설계값으로 재조정하는 기능을 갖는 이산형 제어기를 제안한다. 유연 링크를 갖는 계통에서 끝단의 위치 측정을 위해 사용되는 광원과 CdS 센서 모듈에서의 증폭율 조절과 오프셋 보정 문제를 고려한다. 이러한 광측정 모듈은 주변의 조도 변화에 민감하여 전체 계통의 정상상태 출력값이 설계치에서 벗어나는 요인으로 작용한다. 제안된 제어기는 필요할 때마다 계통의 개방회로와 폐회로에서 오프셋과 센서의 증폭율을 측정하여 최적의 교정값을 퍼지논리를 이용하여

추론하고, 추론된 계산결과를 통상적인 제어기에 적용하여 주변환경에 둔감한 제어기를 구성한다. 끝단의 진동을 억제할 수 있는 유연 링크를 갖는 계통에서 끝단의 위치 측정을 위해 사용되는 센서 모듈에서의 증폭율 조절과 오프셋 보정 문제에 본 제어기를 적용하여 효용성을 보인다. II장에서는 사용된 제어기의 물리적인 모델링에 대해 설명하고 III장에서는 실험에 사용된 제어 시스템에 관해 설명하고 IV장에서는 본 논문에서 제시한 퍼지적인 방법에 의한 보정방법이 소개되고 V장에서는 결론을 제시한다.

II. 시스템 모델링

본 논문에서는 디지털제어기를 이용하여 Tip을 요구하는 위치로 옮길 때, Tip의 Oscillation을 제거하기 위한 피드백 시스템을 디자인하고 퍼지논리를 이용하여 영점 보정과 이득 조정으로 기존의 번거로운 과정을 줄인다. 먼저 디지털제어기를 설계하기 위해

서는 시스템에 대한 수학적 모델이 필요하고, 정확한 수학적 모델을 기초로 하여 제어기의 상수값(K_p , K_d , K_i)의 결정이 필요하다

시스템을 위한 Parameter는 다음의 절차에 의해서 유도된다. 그리고 그림 1은 본 실험장치의 간략한 모델이다.

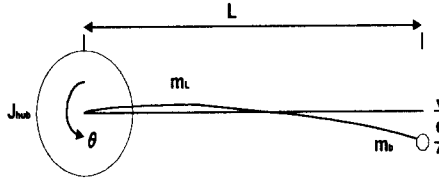


Fig. 1 Simplified model of flexible link

실험을 통해 얻은 Link의 natural frequency(f_c)는 1.8Hz이고, 고정된 Camera frame에 대한 Tip의 각편향은 다음과 같이 주어진다.

$$\ddot{a} = -\omega_c^2 a \quad (1)$$

그리고, 고정된 Joint의 Stiffness는 다음과 같이 측정된다.

$$\omega_c = \sqrt{\frac{K_{STIFF}}{J_L + j_b}}$$

$$K_{STIFF} = (2\pi f_c)^2 (J_L + J_b) \quad (2)$$

$$J_L = \frac{1}{3} m_L L^2 \quad (3)$$

$$J_b = m_b L^2$$

J_L : Inertia of the link assuming a rigid body

J_b : Inertia of the bulb at the end of the link

Stiffness가 Joint점에 있다고 가정하고, 미분방정식을 진행시킨다. 그리고 $d = aL \rightarrow a = \frac{d}{L}$ 를 대입시키면,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{K_{STIFF}}{J_{hub}L} & -\frac{K_m^2 K_g^2}{R J_{hub}} & 0 \\ 0 & -\frac{K_{STIFF}(J_{load} + J_{hub})}{J_{hub} J_{load}} & \frac{L K_m^2 K_g^2}{R J_{hub}} & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_m K_g}{R J_{hub}} \\ -\frac{K_m K_g}{R J_{hub}} \end{bmatrix} \quad X = [\theta \ d \ \dot{\theta} \ \dot{d}]^T \quad (4)$$

$$Y = [1 \ \frac{1}{L} \ 0 \ 0]$$

3. 시스템 설계

Flexible Camera 제어를 위한 전체적인 시스템 구성은 그림 2와 같다

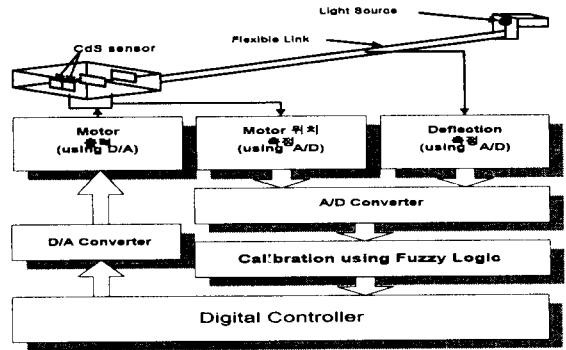


Fig. 2 System configuration

포텐서미터(Potentiometer)를 사용하여 모터의 위치정보를 얻고, Camera의 Deflection 측정은 그림 3에서와 같이 양쪽 끝에 CdS센서를 이용하여 측정되는 빛의 양을 이용하여 Deflection을 측정한다.

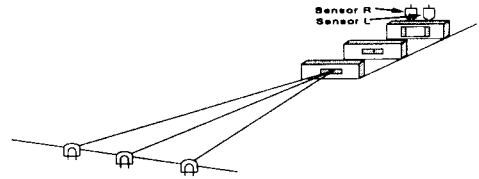


Fig. 3 Principle of deflection measurement

모터의 출력은 D/A Converter를 통해서 출력된다. 이 출력은 모터를 구동 할 정도의 충분한 전력이 아니므로 전력증폭을 통해서 증폭된다.

4. 퍼지논리를 이용한 Calibration

빛을 이용하여 Tip의 위치를 측정하므로 주변 환경에 매우 민감하다. 그러므로 기존에는 실험을 시작할 때마다 전압을 측정할 수 있는 장비를 동원하여 항상 영점보정과 이득 조절을 해야한다. 만약 영점 보정과 이득 조절이 정확히 되지 않으면 아무리 우수한 제어기를 설계하더라도 목표치에 대한 에러와 정상상태에서의 에러가 항상 존재한다. 그러므로 본 논문에서는 그림 4와 같이 퍼지적인 방법에 의해서 주변환경에 민감하게 변하는 이득과 영점을 보상하여 목표치 에러의 정상상태 에러를 최소화 할 수 있는 방법을 제시한다.

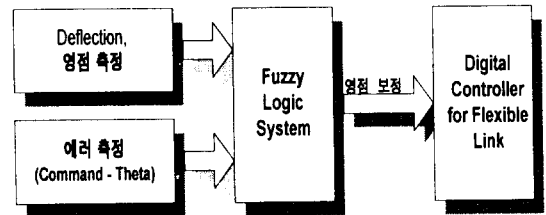


Fig. 4 Calibration using fuzzy logic

4.1 Deflection 및 에러 측정

목표치 에러의 주된 원인은 Tip이 중심에 위치할 때 측정된 Deflection 전압이 "0V"이어야 하나 중심점의 이동으로 인하여 "0V"가 아닐 때와 좌우 Deflection에 의한 전압값과 중심점과의 전압차가 같아야 하나 주변환경의 변화에 의하여 측정된 전압차가 다른 경우이다. 그리고 정상상태 오차의 주된 원인은 주변의 명암변화로 인하여 Deflection 전압이 $\pm 1.8V$ 를 추가하기 때문이다.

본 논문에서는 영점보정과 이득 조절 필요시 개루프 제어기로 하여금 목표치를 20°로 하는 응답을 유도하여 그림 5와 같은 Deflection 파형을 형성하여 현재 Tip의 Deflection 범위와 영점을 측정하고 다시 페루프로 동작하여 모터위치를 측정하여 위치 에러를 측정한다.

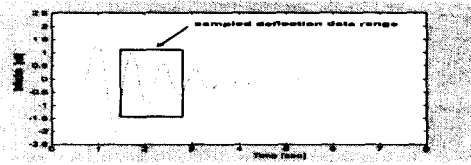


Fig. 5 Measurement of deflection

4.2 퍼지추론에 의한 보정값 결정

측정된 Deflection의 영점조절과 이득조절을 하지 않을 경우 목표치에서 큰 에러와 정상상태 오차가 나오는 것을 막기 위해서 본 논문에서는 퍼지추론에 의해서 보정값을 결정한다.

그림 5에서와 같이 얻어진 Deflection 데이터에 진폭의 최대 최소를 구하여 Scaling Factor를 결정하고 Scaling Factor를 적용후 중심값과 목표치 에러를 퍼지입력 변수로 이용한다. 그림 6은 입력변수인 영점과 목표치에러 그리고 출력변수인 영점에 대한 퍼지 소속함수를 나타낸다.

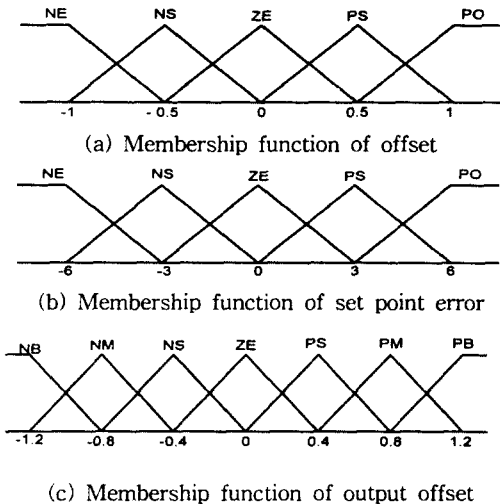


Fig. 6 Membership functions

본 논문에서는 보정값을 추론하기 위해서 표 1과 같은 규칙을 사용하고 비퍼지화에는 일반적으로 널리 이용되는 무게 중심법을 사용하였다.

표 1

영점변화 Error	NE	NS	ZE	PS	PO
NE	NB	NM	NE	NS	ZE
NS	NM	NS	NS	ZE	PS
ZE	NE	NS	ZE	PS	PO
PS	NS	ZE	PS	PS	PM
PO	ZE	PS	PO	PM	PB

NB : Negative Big NE : Negative
 NS : Negative Small ZE : Zero
 PS : Positive Small PO : Positive
 PB : Positive Big

5. 실험 결과

본 논문에서 제안한 퍼지추론을 이용하여 구해진 보정 정보를 이용하여 제어를 구성할 경우 실험 시작전 계측장비의 도움으로 영점이나 이득을 조정하지 않고도 영점의 에러로 인한 목표점의 에러나 정상상태 에러에 만족할만한 제어기의 구성이 가능하다. 이러한 결과는 주변 환경에 대한 둔감함을 알 수 있다.

실험 결과를 살펴보면 안정한 제어를 설계했다 라도 주변환경의 변화에 따라서 영점과 이득이 변하므로 이를 보정하지 않고 제어를 동작시킬 경우 목표점 에러와 더불어 시스템이 불안정함을 볼 수 있다. 그림 7에서 10가지의 목표치를 20도로 했을 때의 결과와 그림 11에서 14의 목표치를 40도로 했을 때의 결과에서와 같이 본 논문에서 제시한 퍼지추론에 의해서 추론된 보정값을 적용하여 제어를 구성한 결과 목표점 에러는 1도 미만으로 줄고 정상상태의 출력도 우수한 제어기의 설계가 가능해졌다. 실험에 사용된 Deflection 구간은 표2와 같다.

표 2

목표점	Deflection 범위
20°	㉠ -3.84V ~ 1.70V
	㉡ -2.48V ~ 0.30V
	㉢ -0.50V ~ 2.40V
	㉣ -2.40V ~ 2.00V
40°	㉤ -2.48V ~ 1.60V
	㉥ -2.23V ~ 0.90V
	㉦ -0.45V ~ 2.30V
	㉧ -1.20V ~ 2.20V

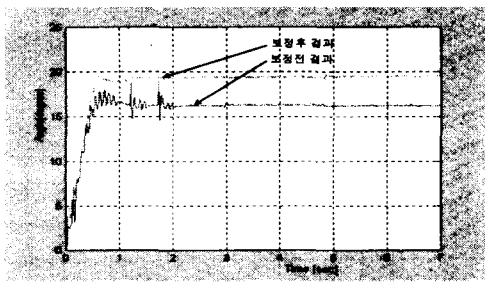


Fig. 7 Result of case (a)

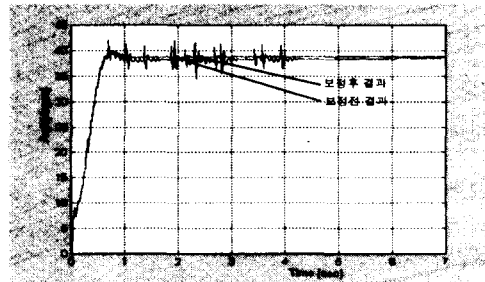


Fig. 12 Result of case (f)

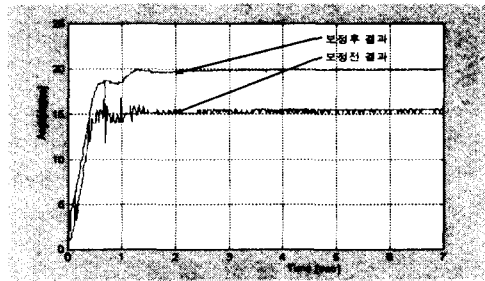


Fig. 8 Result of case (b)

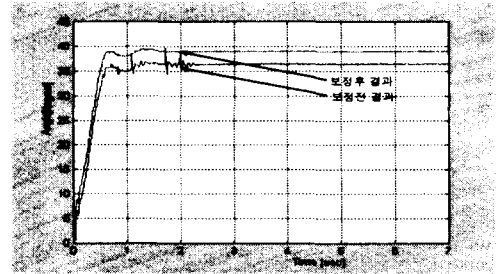


Fig. 13 Result of case (g)

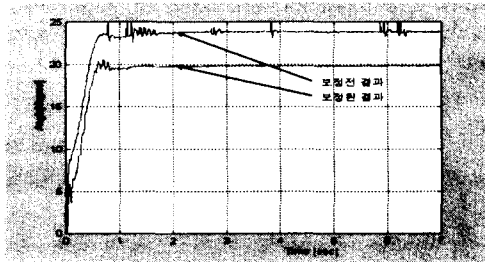


Fig. 9 Result of case (c)

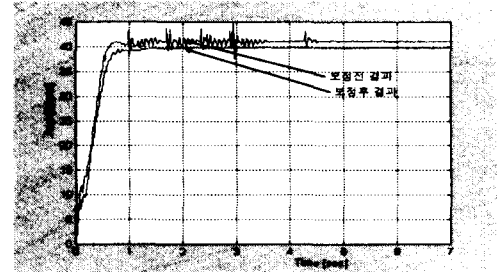


Fig. 14 Result of case (h)

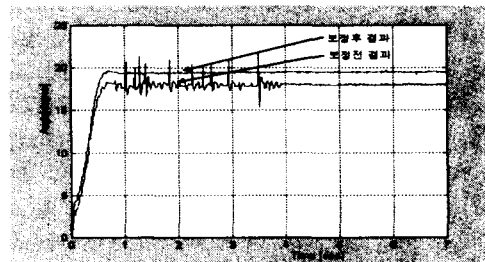


Fig. 10 Result of case (d)

참고문헌

- [1] James M.Keller, Ronald R. Yager, Hossein Tahani, "Neural network implementation of fuzzy logic", *Fuzzy Set and System*, 45, (1992) 1-12
- [2] Jacob Apkarian, *A Comprehensive and Modular Laboratory for Control Systems Design and Implementation*, Quanser Consulting, 1995.
- [3] Chern-Lin Chen and Shun-Chung Wang, "A PC-Based Adaptive Software for Automatic Calibration of Power Transducers," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 46, no. 5, Oct. 1997.
- [4] Hakan Bacakoglu and Mohamed S. Kamel, "A Three-Step Camera Calibration Method," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 46, no. 5, Oct. 1997

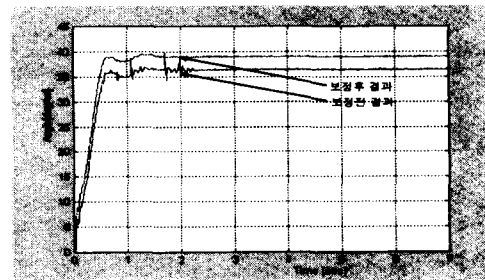


Fig. 11 Result of case (e)