

퍼지 논리를 사용한 Self-Validating 센서의 성능 개선

Performace Improvement of Self-Validating Sensors Using Fuzzy Logic

나승유, 배희중

전남대학교, RRC-HECS, 전자공학과

Tel: +82-62-530-1753; Fax: +82-62-530-1759;

E-mail: syna@chonnam.ac.kr

Abstract

In case of sensor faults, they can be detected by examining the sensor output values and the typical values of the system. And then the types of the faults are recognized by the analysis of symptoms of faults. If necessary self-validating sensor values are synthesized according to the types of faults, and then they are used for the controller instead of the raw data. In this paper, fuzzy logic is introduced in SEVA sensors to improve the system performance. And then the method is applied to the control of a flexible link system with the sensor fault problems for exact positioning to show the applicability.

I. 서론

디지털 제어 시스템에서 센서 회로의 접속 불량이나 주위 환경의 변화와 같은 내·외부 외란 요인에 의해 제어시스템에 미치는 영향을 줄이는 지능적인 신호처리방법을 사용한다. 여기서는 센서에 오류가 발생했을 경우 센서를 대체할 SEVA 센서^[3,5]라 부르는 소프트웨어 센서를 사용한다.

본 논문에서는 퍼지 분류기를 사용하여 센서 오류를 검출 및 오류 요인을 분류한다. 퍼지 분류기의 결과에 따라 동작모드를 변경하고 센서를 재구성하여 센서 오류로 인한 영향을 줄일 수 있는 지능형 디지털 제어기를 제안한다. 제안한 디지털 제어기의 유효성을 보이기 위해 실제 유연 링크 시스템에 적용하여 센서 오류로 인한 피해를 줄이는 과정을 보인다.

II. 시스템 모델링

Flexible Link System^[1]은 DC Servo Motor 와 각도 및 Deflection을 측정하는 센서를 사용한다. 링크의 각도를 목표치로 이동시키는데 Deflection을 적게 하면서 빠른 시간 내에 수렴하게 하는데 목적이 있다.

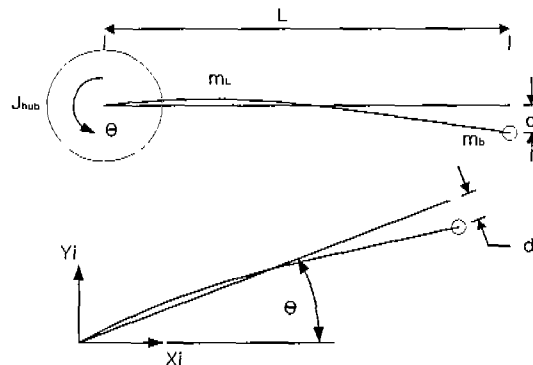


그림 1. 유연 링크 실험장치의 간략화 모델

고정된 Camera frame에 대한 Tip의 각 편향은 $\dot{\alpha} = -\omega_z^2 \alpha$ 이다.

여기서, $d = \alpha L \rightarrow \alpha = \frac{d}{L}$ 이며, θ : 링크의 각도[°], d : Deflection[cm]일 때,

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

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

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_m K_g}{RJ_{hub}} \\ -\frac{LK_m K_g}{RJ_{hub}} \end{bmatrix} \quad X = [\theta \ d \ \dot{\theta} \ \dot{d}]^T$$

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

이며, 상태 방정식은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{d} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1925 & -55 & 0 \\ 0 & -956 & 24 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ d \\ \dot{\theta} \\ \dot{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 103 \\ -44 \end{bmatrix} V_m$$

III. Self-Validating 센서

Self-Validating 센서는 하드웨어 센서가 정상적으로 동작하지 못할 때 센서값을 예측하고 재구성하여 센서값을 유효하게 한다.

표 1. 동작 모드

모드	동작
정상 모드	정상 센서값을 학습, 센서의 오류 감시
진단 모드	센서 오류 검출 시 오류 종류판별
SEVA 모드	센서 오류가 발생하여 센서 측정값을 사용할 수 없는 경우 SEVA 센서(예측값)로 동작
Hybrid 모드	필터로 제거하지 못하는 잡음이 유입되면 Hybrid 제어로 동작

3.1 센서값의 학습

시스템이 정상일 때 20도와 40도의 목표치 이동시 2초 동안의 센서 측정값을 학습하여 그림 2와 같은 보간법으로 *weight*를 재조정한다.

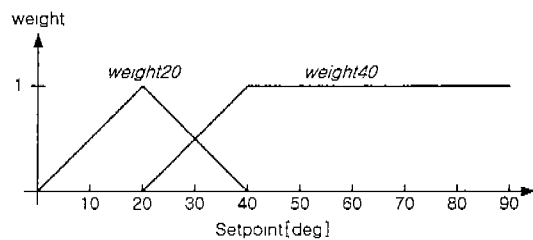


그림 2. 목표치에 따른 연결강도 생성

weight20 : 목표치 20도일 때의 연결강도

weight40 : 목표치 40도일 때의 연결강도

3.2 퍼지 분류기

표 2. 실험에서 사용한 오류 요인

오류 요인	실험에서 사용한 방법
센서회로개방	센서회로 연결단자를 개방
외부광원	10도 위치에 1W 전구
반투명물체	OHP 필름 8장 겹친 것
저주파잡음	A/D변환기의 분해도를 12→8Bit로

표 3. 퍼지 분류기의 규칙표

(max) (min)	NB	ZE	PB
NB	SEMI	OPEN	OPEN
ZE	X	NORMAL	LIGHT
PB	X	X	LIGHT

(여기서, X는 발생할 수 없는 경우이다.)

Bulb의 Deflection 절대값이 1[cm]이상일 때 동작한다. 입력은 센서 오류가 검출되었을 경우에 0.1초 동안의 Deflection 최대값(max)과 최소값(min)을 사용한다. 출력은 센서 오류 요인이다. Mamdani의 MIN-MAX법을 사용하여 추론하고, 아래 식을 이용한 무게중심법으로 비퍼지화한다.

$$U_c = \frac{NORMAL \times 10 + SEMI \times 20 + LIGHT \times 30}{OPEN + NORMAL + SEMI + LIGHT}$$

if($U_c < 5$) : 센서 회로가 개방된 경우

if($(U_c \geq 5) \text{ and } (U_c < 15)$) : 정상

if($(U_c \geq 15) \text{ and } (U_c < 25)$) : 반투명물체로 카메라 입구를 가린 경우

if($U_c \geq 25$) : 외부광원이 존재한 경우

IV. 제어기 설계

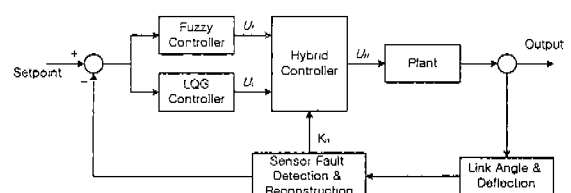


그림 3. 제어 시스템 블록도

4.1 LQG 제어기

시스템 모델링에서 구한 A, B와 시스템의 $Q = \text{diag}([300 \ 30000 \ 1 \ 0])$, $r=2$ 를 사용하여 Matlab의 LQR 디자인으로 최적의 상수값을 구하면 아래와 같다.

$$K = [0.21 \ -0.89 \ 0.053 \ 0.052] \text{ [V/deg][V/cm]}$$

4.2 퍼지 제어기^[2]

시그모이드함수를 두 개 사용하여 적은 수의 규칙과 단순한 구조로 작성한다. 입력은 링크의 각도와 Bulb의 Deflection을 사용하고, 출력은 제어기의 출력 전압으로 한다. Mamdani의 MIN-MAX법을 사용하여 추론하고 무게중심법으로 비퍼지화한다.

표 4. 퍼지 제어기의 규칙표

	Deflection		
Angle		NB	PB
NB		NB	ZE
PB		ZE	PB

4.3 Hybrid 제어기^[4]

정상 모드로 동작중일 때 링크의 각속도를 +, -로 나누어 1초 동안의 연속평균을 취한다. 실험 결과 +평균과 -평균의 차이가 정상시에는 10정도이나 잡음이 유입되면 15이상이므로 이때 Hybrid 모드로 변경한다.

$$D_{ave} = |P_{ave}| - |N_{ave}|$$

$$K_H = \frac{U_F}{U_H} = \frac{D_{ave} - 10}{10}$$

$$U_H = (K_H \times U_F) + ((1 - K_H) \times U_L)$$

U_L, U_F, U_H : LQG 제어기, 퍼지 제어기, Hybrid 제어기의 출력

$P_{ave}, N_{ave}, D_{ave}$: 링크 각속도의 +평균, -평균, ±평균의 차이

K_H : Hybrid 제어기에서 퍼지 제어기 출력의 비율

V. 시스템 구성

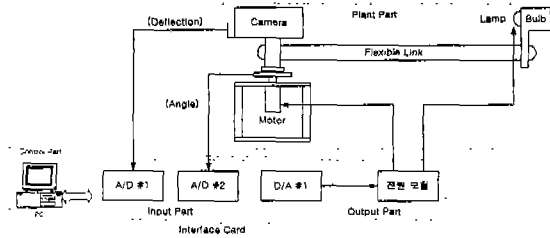


그림 4. 전체 시스템의 하드웨어 구성

5.1 Input Part

A/D 12bit, $\pm 5[V]$, 2개 채널을 사용하며, 샘플링 주파수는 100[Hz]이고, 링크의 각도와 Bulb의 Deflection을 측정한다.

5.2 Output Part

제어기 출력을 D/A 12bit, $\pm 5[V]$, 채널1을 통해 전류증폭하여 모터를 구동시킨다.

5.3 Control Part

PC의 AT 슬롯을 이용한 인터페이스 카드를 사용하여 센서 측정값을 받아들이고 제어기 출력값을 내보낸다.

5.4 Plant Part

제안한 지능형 디지털 제어기의 유효성을 보기 위해 유연 링크 실험장치를 사용한다.

VI. 실험 결과

6.1 센서 오류가 발생한 경우

그림 5, 그림 6, 그림 7은 각 오류요인이 있는 경우 센서 측정값으로 동작한 경우(Before)와 SEVA 센서로 동작하는 경우(After)의 시스템 응답이다. 센서 오류 발생 후 1초 후에 30도, -15도, 0도 순서로 목표치를 변경하였다.

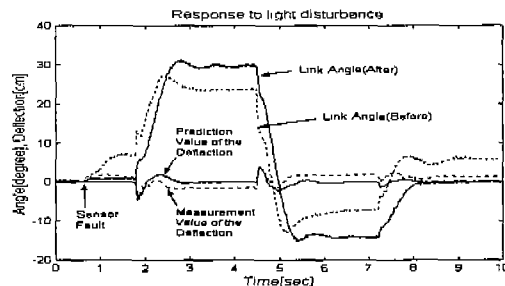


그림 5. 외부광원이 존재하는 경우

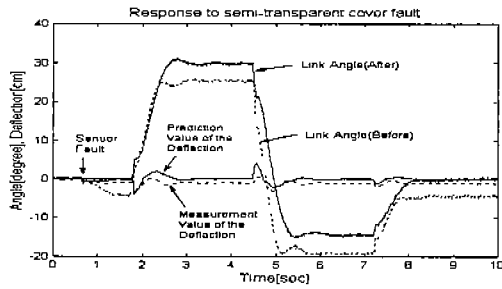


그림 6. 카메라 입구를 반투명 물체로 가린 경우

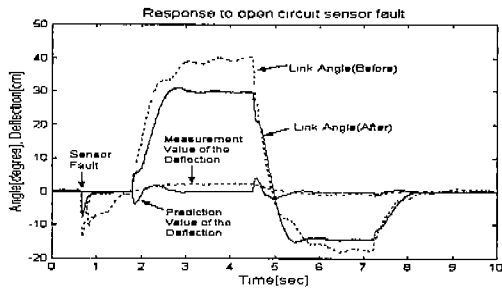


그림 7. 센서회로가 개방된 경우

6.2 저주파 잡음이 발생한 경우

그림 8, 그림 9, 그림 10은 A/D 분해도를 8Bit로 낮추어 잡음을 발생시킨 후 각 제어기 별 시스템 응답을 비교하기 위해 목표치(0→30도)를 변경한다.

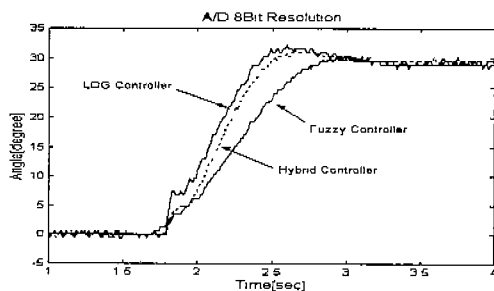


그림 8. 링크 각도의 변화

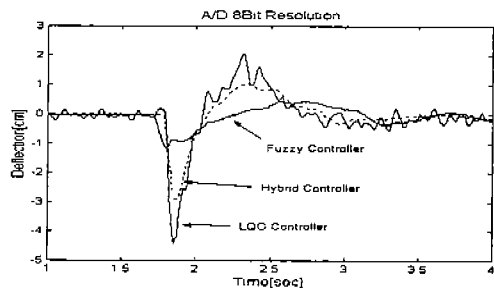


그림 9. Deflection의 변화

그림 10에서 제어기 출력 전압이 0을 기준으로 +, -로 급하게 변하면 모터는 정·역회전을

반복하여 링크는 심하게 진동하게 된다.

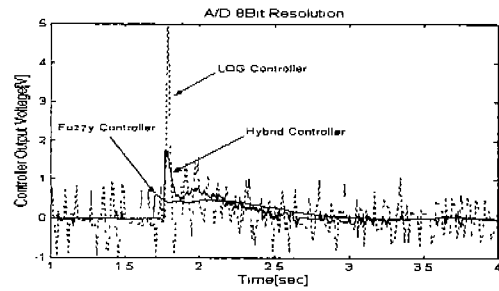


그림 10. 제어기 출력 전압의 변화

Ⅶ. 결론

본 논문에서는 퍼지 논리를 사용하여 센서 오류로 인한 영향을 줄일 수 있는 지능형 디지털 제어를 설계 및 작성하였다. 제한된 조건과 오류요인을 사용한 실험이었지만 실제 유연 링크 시스템에 적용하여 제안한 지능형 디지털 제어기의 유효성을 보였다.

참고 문헌

- [1] Jacob Apkarian, "A Comprehensive And Modular Laboratory For Control Systems Design And Implementation", Quanser Consulting, 1995.
- [2] Li-Xin Wang, "A Course In Fuzzy Systems and Control", Prentice Hall International, pp. 90-116, 1997.
- [3] Janice C.-Y. Yang and David W. Clarke, "A Self-Validating Thermocouple", IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 5, No. 2, pp. 239-253, March 1997.
- [4] 최창호, 임화영, "퍼지 스위칭 모드를 이용한 하이브리드 제어기의 설계", 한국 퍼지 및 지능시스템 학회 논문지 2000, Vol. 10, No. 3
- [5] 나승유, 배희중, "Self-Validating 지능형 센서를 사용한 디지털 제어기의 설계", 대한전공학회 하계 학술대회 논문집V, Vol. 23, No. 1, pp. 51-54, 2000.