

논문 2003-12-2-04

Soft Computing을 이용한 배열 센서 시스템의 제어 성능 개선

나승유*, 안명국*

Improvement of Control Performance of Array-Sensor System Using Soft Computing

Seung You Na* and Myung Kook Ahn*

요 약

본 논문에서는 비선형 특성을 갖는 센서 배열을 사용하는 시스템에서, 센서 배열에 soft computing을 이용하여 선형적인 특성을 얻고, 배열의 특성을 이용하여 외란의 영향을 감소시켜 시스템의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 대표적인 예로 배열에 사용된 광전도 센서인 CdS는 단일 CdS 셀조차도 비선형적인 특성을 갖고 있기 때문에 비선형 특성을 소속 함수로 표현하는 퍼지 변수를 사용한다. 배열로 사용되는 센서에 각 단일 센서의 소속 함수와 특성을 이용하는 퍼지 논리를 적용하여 전체적으로 선형화된 센서 특성을 얻는다. 각 센서의 비선형적 요소를 표현하는 소속 함수의 파라미터들에 유전 알고리즘을 사용하여 최적화된 선형 특성을 얻어 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 또한 보정을 위한 센서를 추가하지 않고 센서 배열의 특성을 이용하여 광전도 센서가 민감한 영향을 받는 외란을 보정하여 시스템의 외란 제거 성능을 향상시킬 수 있다. CdS 센서 배열의 자체 비선형성 뿐만 아니라 입력되는 물체의 그림자는 경계가 뚜렷하지 않고 흐릿하므로 퍼지 논리를 이용하는 방법이 거리측정과 외부 광원에 의한 외란에 대해 향상된 결과를 보인다. 제안된 방법을 적용한 센서 배열을 자기부상(Magnetic Levitation System)에서 볼의 거리 측정에 적용하여 성능을 검증한다.

Abstract

In this paper, we propose a method to obtain a linear characteristic using soft computing for systems which have array sensors of nonlinear characteristics. Also a procedure utilizing the pattern information of array sensors without additional sensors is proposed to reduce disturbance effects. For a typical example, even a single CdS cell for CdS array has nonlinear characteristics. Overall linear characteristic for CdS array is obtained using fuzzy logic for each cell and overlapped portion. In addition, further improvement for linearization is obtained applying genetic algorithms for the parameters of membership functions. Also the effect of disturbing external light changes to the CdS array can be reduced without using any additional sensors for calibration. The proposed method based on fuzzy logic shows improvements for position measurements and disturbance reduction to external light changes due to the fuzziness of the shadow boundary as well as the inherent nonlinearity of the CdS array. This improvement is shown by applying the proposed method to the ball position measurements of a magnetic levitation system.

Key Words : array sensor, linearization, soft computing, disturbance eliminátion.

* 전남대학교 정보통신공학부 (Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University)
<접수일자 : 2002년 12월 21일>

1. 서 론

제어시스템의 구성에서 센서는 설계자들의 비교적 적은 관심을 차지하는 것처럼 보이지만, 시

스텝 동작에 정확한 센서 값을 제공하는 것은 양호한 제어 성능의 출력을 얻는데 필수적이다. 광전도 센서인 CdS는 가격이 저렴하고, 구조가 간단하여 사용이 간편하며, 사용상의 환경적 제약이 적어 다양한 응용시스템에서 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 넓은 영역에서 센서 데이터를 필요로 할 경우 센서를 배열로 사용하여 자료 획득 영역을 확장해야 하므로 센서가 가지고 있는 비선형성이 문제가 된다.

광전도 센서는 센서에 비추지는 빛의 양에 따라 저항이 변화하므로 일반적으로 빛의 양을 검출하여 시스템을 동작시키거나 물체의 유무를 판별하는 데 사용한다. 센서에 비추지는 그림자의 위치에 따라 저항이 변화하므로 저항을 측정하여 거리로 변환할 수 있지만 그림자 위치와 저항의 관계가 비선형적이므로 큰 간격의 거리를 정밀하게 측정하기 어렵다. 따라서 큰 간격의 거리를 측정하기 위해서는 센서를 측정하려는 범위에 적절히 배치하여 센서 배열을 이용하고, 배열을 이루는 각 센서에 서로 다른 가중치를 적용하여 그림자 위치에 따른 센서 모듈 전체의 출력 전압을 선형화한다. 기존 방법의 경우 그림자보다 충분히 작은 소형의 센서를 배열하여 중첩된 영역을 제거하거나, 몇 개의 센서를 직렬로 연결하여 하나의 센서처럼 동작하도록 한다.⁽¹⁾⁽²⁾ 또는 고가의 라인 CCD 센서를 사용하여 불의 위치를 측정한다.⁽³⁾ 전자의 방법은 아날로그 가산 회로를 이용해 하드웨어로 쉽게 선형화가 가능하다는 장점이 있지만, 그림 1 (a)와 같이 중첩된 영역이 제거되어 센서 간에 측정되지 않는 구간이 발생할 수 있다. 또한 측정하고자 하는 거리가 커질수록 센서수가 증가하여 센서별 저항 특성에 따른 선형화가 하드웨어방법으로는 어려워진다.

본 논문에서는 비선형 특성을 갖는 센서가 배열로 사용될 때 soft computing을 이용하여 선형적인 특성을 얻고 센서 배열의 특성을 이용하여 외란의 영향을 감소시켜 시스템의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 단일 CdS 셀이 갖는 비선형적인 특성을 소속 함수로 표현하는 퍼지 변수를 사용하고 배열로 사용되는 각 센서의 소속 함수와 특성을 이용하는 퍼지 논리를 적용하여 제어 시스템이 동작하는 전체 영역에서 선형화된 센서 특성을 얻도록 한다. 센서 배열의 선형 특성을 최적화하기 위해 입·출력 소속 함수의 파라미터를 유전알고리즘을 사용하여 최적화

한다. 또한 센서 배열의 특성을 이용하여 광전도 센서에 많은 영향을 주는 외부 광원에 의한 외란을 보정한다. 센서가 배열로 사용되므로 보정을 위한 추가적인 센서 없이도 센서 배열의 특성을 이용하여 외부 광원에 의한 외란을 보정할 수 있다. 제안된 방법을 적용한 CdS 센서 배열을 자기 부상 시스템에서 불의 거리 측정에 적용하여 유용성을 검증한다.

II. 센서 배열 특성의 선형화

본 논문에서는 MLS의 불 위치 측정에 4개의 CdS 센서 배열을 이용한다. 센서는 그림자 크기의 1/2이상이 되는 크기를 선택하고, 그림 1 (b)와 같이 각 센서는 일정 구간을 중첩시켜 측정구간이 불연속 되는 곳이 없도록 한다. 센서 자체의 비선형성과 센서 배열의 중첩된 영역에 의한 비선형성, 그림자의 농도에 의한 비선형성이 복합되어 센서 배열 전체의 비선형성이 증가한다. 그러나 제안된 방법을 사용하여 센서들 간의 측정구간에서 불연속점을 없앨 수 있으며 증가한 비선형성은 soft computing을 이용하여 선형화할 수 있다.

CdS 센서는 각각 서로 다른 초기 저항을 가지므로 초기 저항에 의한 오차를 줄이기 위해서 배열을 이루는 각 센서의 초기 저항에 의한 전압을 제거한 후 측정값을 정규화 한다.

2-1 Crisp 선형화

측정하려는 영역 내에서 선형적인 출력을 얻기 위해 그림 2과 같이 센서 배열의 영역을 분할하여 중첩되는 부분을 한쪽 센서의 측정영역에서 제외시킨다. 각 센서의 새로운 영역을 설정하고, 각 영역에 가중치를 적용하여 센서 배열의 출력을 계산한다.

그림 2과 표 1에서 $cds\#_low$ 는 중첩된 영역에서 발생하는 정규화된 전압, $cds\#_step$ 은 각 센서 영역에 해당하는 가중치, $cds\#_base$ 는 출력 전압에 사상되는 각 센서 영역의 기준점을 의미한다. 표 1의 규칙에 따라 각 센서의 출력을 비교하여 그림자가 존재하는 영역을 판단하고, 그 센서 영역에 가중치를 적용하여 선형화한다. 각 센서의 상수들($cds\#_low$, $half$)은 그림자 크기가 센서 크기의 1.5배 일 때 측정하여 결정

했다.

표 1. Crisp 선형화 규칙.

Table 1. Rules of crisp linearization.

```

- CdS0_Area : if cds0 > cds0_low
                & cds1 > half
                & cds2 < half
                & cds3 < cds3_low
    than out = cds0_base + cds0_step * cds0
- CdS1_Area : if cds0 < cds0_low
                & cds1 > cds1_low
                & cds2 > half
                & cds3 < half
    than out = cds1_base + cds1_step * cds1
- CdS2_Area : if cds0 < cds0_low
                & cds1 < cds1_low
                & cds2 > cds2_low
                & cds3 > half
    than out = cds2_base + cds2_step * cds2
- CdS3_Area : if cds0 < cds0_low
                & cds1 < cds1_low
                & cds2 < cds2_low
                & cds3 > cds3_low
    than out = cds3_base + cds3_step * cds3
    
```

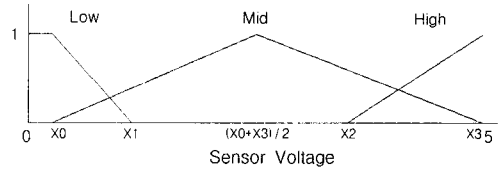


그림 3. 각 센서 전압에 대한 입력 소속함수.

Fig. 3. Input membership functions for each cells.

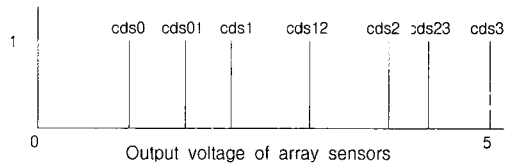


그림 4. 센서 배열의 출력 소속 함수.

Fig. 4. Output membership functions.

추론에 사용한 fuzzy rule은 한 센서가 3가지 언어 변수로 표현되므로 총 81개의 조합이 가능하지만 그림자의 상하 운동만을 가정하여, 불가능한 경우를 제외하고 표 2와 같이 29개의 규칙으로 Max-Min, Center Of Gravity 방법을 사용하였다.^[4]

2-3 유전 알고리즘을 이용한 최적화

선형화를 위해 3-2절의 퍼지논리에서 사용한 파라미터에 유전 알고리즘을 적용하여 최적의 값을 얻는다. 적절한 파라미터 값을 탐색할 때 최적화에 성공적으로 수렴하기 위해서는 각 파라미터의 영역과 구간 간격을 잘 설정하여야 한다.^[5] 표 4의 문자열에서 표현하는 각 파라미터의 범위는 Crisp 선형화에 사용된 각 센서 영역에서의 파라미터 값을 기준으로 하여 결정하였다.

개체의 구성은 그림 5와 같이 입력 소속함수의 파라미터 16개와 출력 소속함수의 파라미터 7개, 총 23개의 파라미터를 포함하고 각 파라미터는 12자리의 이진 문자열로 구성하였다. 예를 들어 임의의 개체에서 CdS0의 입력 소속함수의 두 번째 파라미터(X1)를 표현하는 문자열이 001100100011 이라면 실제 파라미터(X1)는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$X1 = 1.00 + \frac{2}{803(=001100100011)} \approx 1.00249 \quad (1)$$

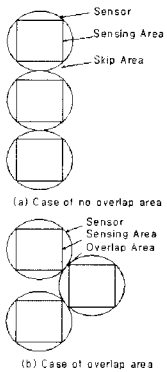


그림 1. 센서 배열.
Fig. 1. Array of cells.

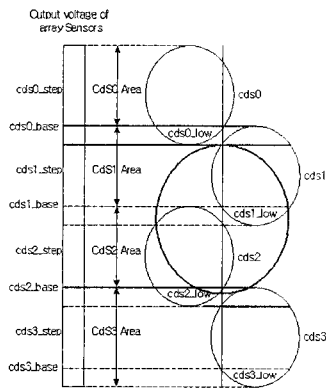


그림 2. 센서 배열 영역의 분할.
Fig. 2. Partition of cells.

2-2 퍼지 논리를 이용한 선형화

각 센서의 입력 소속함수는 센서에 비춰지는 그림자의 크기에 따라 Low, Mid, High의 3가지 퍼지 변수로 표현한다(그림 3). 센서 배열의 출력 소속함수는 계산량을 줄이기 위해 singleton으로 하였으며, cds0, cds1, cds2, cds3은 각 센서의 중복되지 않는 영역의 값을 나타내고, cds01, cds12, cds23은 센서들 간의 중복된 영역의 값을 나타낸다(그림 4).

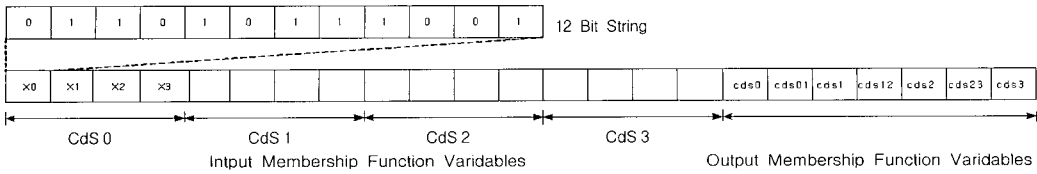


그림 5. 개체의 코딩 방법.
Fig. 5. Coding methods for strings.

표 2. Fuzzy 선형화 규칙.
Table 2. Rules of fuzzy logic linearization.

if {cds0 is High or Mid}	
and {cds1 is High or Mid}	
and {cds2 is Mid or Low}	
and {cds3 is Low}	
than Output is cds0	
if {cds0 is Low}	
and {cds1 is High or Mid}	
and {cds3 is Low}	
else if {cds2 is Low} then Output is cds0	
if {cds2 is Mid} then Output is cds01	
if {cds0 is Low}	
and {cds1 is High or Mid}	
and {cds2 is High or Mid}	
and {cds3 is Mid or Low}	
than Output is cds1	
if {cds0 is Low}	
and {cds1 is Low}	
and {cds2 is High or Mid}	
else if {cds3 is Low} then Output is cds1	
if {cds3 is Mid} then Output is cds12	
if {cds0 is Low}	
and {cds1 is Low}	
and {cds2 is High or Mid}	
and {cds3 is High}	
than Output is cds2	
if {cds0 is Low}	
and {cds1 is Low}	
and {cds2 is Low}	
and {cds3 is High or Mid}	
than Output is cds23	
if {cds0 is Low}	
and {cds1 is Low}	
and {cds2 is Low}	
and {cds3 is Low}	
than Output is cds3	

표 3. 소속함수 파라미터.
Table 3. Parameters of membership functions.

소속함수 파라미터 (Parameters of membership functions)			
X0	0.3	cds0	1.0
		cds01	1.6
X1	1.2	cds1	2.3
		cds12	3.0
X2	2.8	cds2	3.4
		cds23	4.0
X3	5	cds3	5.0

표 4. 문자열이 표현하는 파라미터 탐색 구간.
Table 4. Search range of parameters.

파라미터의 탐색 구간 (Search range of parameters)			
X0	0.00~2.00	cds0	0.00~2.00
		cds01	0.50~2.50
X1	1.00~3.00	cds1	1.75~3.75
		cds12	2.25~4.25
X2	1.50~3.50	cds2	2.25~4.25
		cds23	2.75~4.75
X3	3.00~5.00	cds3	3.00~5.00

초기 개체군은 개체의 각 bit을 0과 1중 무작위로 초기화한 개체를 100개 생성하였다. 개체의 적합도는 각 개체를 실제 퍼지 소속 함수의 파라미터로 변환한 후 퍼지 연산을 수행하여 각 개체에 해당하는 선형화된 센서 출력을 얻고, 선형화 목표함수와 비교하여 식 (2)에 의해 구한다.

$$f_{fitness} = \frac{1}{f_e^2} + \frac{1}{f_{eg}^2} \quad (2)$$

$f_{fitness}$: 개체의 적합도

f_e : 선형화 목표 함수와의 평균에러

f_{eg} : 선형화 목표 함수와의 기울기 평균 에러

각 개체의 교차는 각 파라미터에 해당하는 문자열 간에만 교차가 일어나도록 하는 다점 교차를 사용하였고 교차 확률은 0.6, 돌연변이 확률은 0.014를 사용하였다.

종료조건은 최고 적합도가 200이상인 세대가 5세대이상 반복되거나 3000세대까지 조건을 만족하지 못하면 종료하도록 하였다. 적합도 200은 f_e 가 0.05, f_{eg} 가 0.05가 되는 점을 기준으로 설정하였다. 그림 6는 최적화된 입출력 소속 함수를 표현한 것으로 각 센서에 따라 소속 함수가 변경된 것을 알 수 있다.

그림 7에서 CL은 Crisp 선형화 결과이며 FL은 표 3의 파라미터를 이용한 퍼지 논리 선형화 결과이고 OFLL은 표 5의 파라미터를 사용한 최적화된 선형화 결과이다. 각각의 선형화 방법을 자기 부상 시스템의 센서 배열에 적용하여 시스템의 성능 향상을 비교하였다.

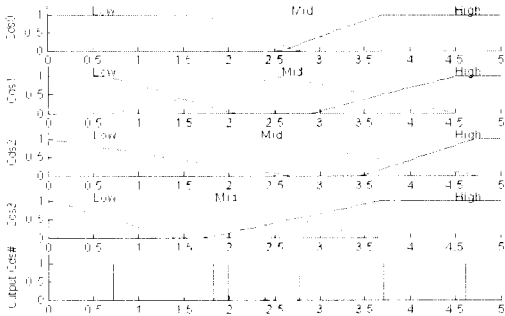


그림 6. 최적화된 입·출력 소속함수.
Fig. 6. Optimized input and output membership functions.

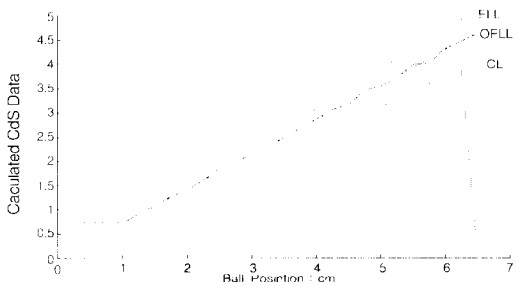


그림 7. 센서 배열의 선형화 결과.
Fig. 7. Linearization results of array-sensors.

표 5. 최적화된 소속함수 파라미터.
Table 5. Optimized parameters of membership functions.

최적화된 소속함수 파라미터 (Optimized parameters of membership functions)						
CdS#	CdS0	CdS0	CdS0	CdS0	cds0	0.7219
X0	1.7294	0.6808	0.0014	0.0713	cds01	1.8304
					cds1	1.9874
					cds12	2.7662
X2	2.5799	2.9105	3.4770	1.7339	cds2	2.3868
					cds23	3.7092
					cds3	4.6098
X3	3.6850	4.4979	4.7162	3.6315	cds3	4.6098

III. 보정에 의한 외란 제거

CdS 센서와 같은 광전도 센서는 비취지는 빛의 양, 다시 말하면 그림자의 크기에 따라 저항이 변화하는 센서이므로 센서 배열의 최적화된 파라미터는 외부 빛의 영향이 일정할 때 적용될 수 있다. 하지만 보통의 환경에서 외부 조도의 변화는 자연스러운 현상으로 조도 변화에 의한 외란은 시스템에서 정상상태 오차로 나타나게 된다. 최적화된 파라미터를 적용하기 위해서는 센

서 값을 보정하여 외란을 제거할 필요가 있다.

3-1 센서 배열 간의 비율에 의한 보정

일반적으로 센서 값을 보정하기 위해서는 보정용의 센서를 추가하여 그 센서 값을 기준으로 다른 센서들의 값을 보정하지만 본 논문에서는 센서 배열의 특성을 이용하여 추가적인 센서 없이 외란을 보정하는 방법을 사용한다. 배열을 이루고 있는 센서 중에서 볼의 위치 결정에 사용되지 않는 센서를 보정을 위한 센서로 선택해 조도의 변화량을 보정하는 방법을 사용해 추가적인 센서 없이도 보정이 가능하다. 그림 8은 식 (3)에 의해 구해진 각 센서간의 전압 비율 배열을 외란의 증가에 따라 등고선으로 나타낸 그림으로 외란이 증가할수록 전압 비율(등고선)이 변화하고 있음을 알 수 있다.

$$R_{xy} = \frac{V_{cds_x}}{V_{cds_y}}, (x, y=1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

V_{cds_x}, V_{cds_y} : x 또는 y번째 센서의 전압

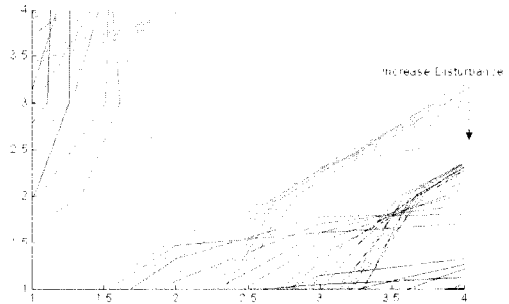


그림 8. 외란의 증가에 따른 센서간 비율의 변화.
Fig. 8. Change of ratio among sensors when disturbance is increased.

볼의 위치를 결정하기 위한 선형화 방법은 일정한 간격의 타이머 인터럽트에 의해 수행된다. 매 인터럽트마다 그림 9과 같은 순서에 의해 센서간의 비율과 비율의 변화량을 계산하고 저장한다. 가장 작은 센서 값과 변화량을 갖는 센서를 보정을 위한 센서로 선택하고 선택된 센서를 기준으로 하여 다른 센서들의 값을 보정한다. 센서 배열 중 y번째 센서가 선택된다면 보정값은 식 (4)에 의해 구한다.

$$\frac{SecondLow(R_{xy}) - FirstLow(R_{xy})}{FirstMax(R_{xy}) - SecondMax(R_{xy})} \times D_y \quad (4)$$

R_{xy} : y번째 센서에 대한 각 센서의 비율

D_y : y번째 센서의 데이터

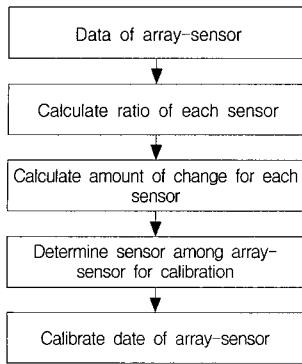


그림 9. 보정 절차.

Fig. 9. Procedure of calibration.

3-2 퍼지 추론에 의한 보정

비율에 의한 보정에 사용된 비율 값을 퍼지 소속함수로 표현하고 표 6와 같은 추론 규칙을 사용, 퍼지 추론에 의해 보정값을 구한다.^[6]

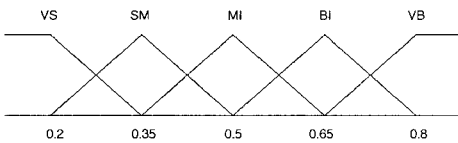


그림 10. 센서 비율을 위한 소속함수.

Fig. 10. Membership function for ratio of sensors.

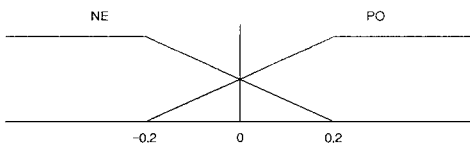


그림 11. 센서 비율의 변화량을 위한 소속함수.

Fig. 11. Membership function for quantity of changed ratio among sensors.

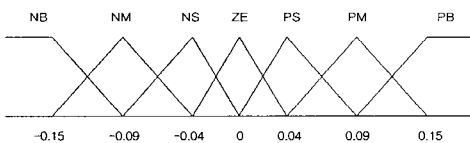


그림 12. 보정을 위한 출력 소속함수.

Fig. 12. Output membership function for calibration.

표 6. 보정 추론 규칙.

Table 6. Inference rules of Calibration.

Amount of change	Ratio				
	VS	SM	MI	BI	VB
NE	ZE	NS	NM	NM	NB
PO	ZE	PS	PM	PM	PB

센서간의 비율만을 사용한 방법과 퍼지 추론에 의한 방법을 자기 부상 시스템의 센서 배열에 적용하여 외란 제거에 의한 시스템의 성능 향상을 비교하였다.

IV. 실험 및 결과 고찰

제한한 선형화 방법과 외란 제거 방법의 효율성을 검증하기 위해 자기 부상 시스템의 볼의 위치 측정에 CdS 센서 모듈을 적용하여 검증하였다.

4-1 제어기 설계^{[1][2][7]}

그림 13의 시스템에 표 7의 시스템 상수를 대입하면 식 (5)와 같은 시스템 전달함수를 얻는다.

$$G(s) = \frac{-1.8 \cdot 10^3}{(s + 18.62)(s + 25.56)(s - 25.56)} \quad (5)$$

불안정한 시스템을 안정한 시스템으로 만들기 위해 식 (6)과 같은 보상기를 첨가하여 시스템의 상대 안정도를 증가시키고 과도 응답시간을 짧게 한다.

$$K(s) = Kc \frac{s + 13.99}{s + 190}, \quad Kc = 33.33 \quad (6)$$

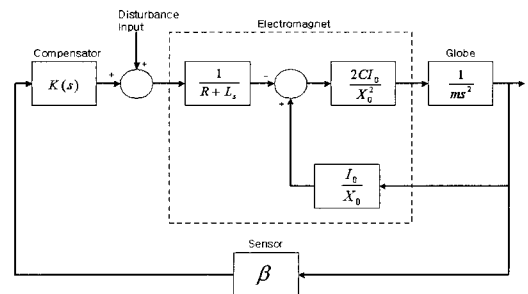


그림 13. MLS 모델의 블록도.

Fig. 13. Block diagram of MLS model.

표 7. MLS 모델 파라미터.

Table 7. Parameters of MLS model.

Parameter	Value	Parameter	Value
Distance : X_0	0.03 m	Coil resistance : R	63.4Ω
Coil Current : I_0	0.405 A	Coil inductance : L_l	3.405H
Ball mass : m	0.003 Kg	Sensor gain : β	73.33V/m
Constance : C	16538 N·m ² /A ²		

4-2 실험 시스템의 구현

각 CdS 센서의 전압을 12bit AD 컨버터

(AD7891), 0~5[V], 4개 채널을 사용하여 측정하고, 계산된 센서 배열의 출력 전압은 12bit DA 컨버터(DAC7621), 0~4.96[V], 1개 채널을 통해 보상기의 입력으로 전달된다. AD 컨버터와 DA 컨버터는 PC(Pentium II 133Mhz)의 AT 슬롯 및 인터페이스 카드를 사용하여 실시간으로 데이터를 입출력할 수 있도록 구성하고 C 언어를 이용하여 퍼지 연산 부분과 하드웨어 제어 부분을 프로그래밍하였다.

실험에 사용된 파라미터는 퍼지 연산 부분과 유전 알고리즘 부분을 Matlab을 이용 프로그래밍하고 모의실험을 통해 사전에 구하여 실제 실험장치에 적용하였다. 그림 14는 정상상태에서 외부 조도 변화에 따른 외란 제거 성능을 실험하고 있는 자기 부상 시스템의 그림이다.

4-3 실험 결과

그림 15, 16은 자기 부상 시스템에 사인파 기준신호를 주었을 경우, 센서 모듈의 출력전압을 볼의 위치로 표현한 그림이다. 그림 15에서는 볼의 움직임에 시간 지연이 생겨 일정한 오차가 규칙적으로 나타나고 있다. 그림 16은 그림 15의 출력에서 시간지연을 제거한 그림으로 Crisp, 퍼지 선형화, 최적화된 퍼지 선형화순으로 평균오차가 감소하고 있으며 전반적인 시스템의 응답특성이 좋아진 것을 알 수 있다. 그림 17은 구형파 기준 신호를 주었을 경우, 센서 모듈의 출력전압을 볼의 위치로 표현한 그림이다. 사인과 입력을 주었을 경우와 같이 제안된 방법에서 평균오차가 감소하고 시스템의 응답 특성이 좋아진 것을 알 수 있다.



그림 14. 동작중인 자기 부상 시스템.

Fig. 14. MLS in operation.

외부 조도의 변화에 따른 외란 제거 성능을 비교해 보기위해서, 볼의 그림자를 만들기 위한

광원과는 독립적으로 동작할 수 있는 별도의 외부 광원을 추가한다. 자기 부상 시스템을 3Cm의 정상상태에 있도록 한 후 외부 광원에서 일정한 주기의 외란을 발생시켜서 비교하였다. 그림자를 만들기 위한 광원이 12V에서 동작할 때 외부 광원에 인가되는 전압이 약 4V를 넘었을 때부터 시스템에서 확인 할 수 있을 정도의 오차로 나타나기 시작하여 7.5V를 넘어섰을 때 시스템이 불안정한 상태가 되었다. 그래서 외부 광원이 각각 6V, 7V일 때 각 방법에 의한 시스템의 응답을 측정하였다.

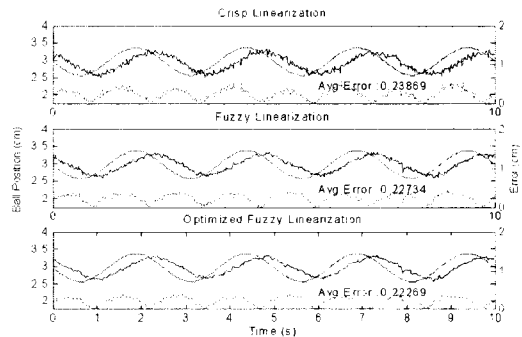


그림 15. 사인파 기준 신호에 대한 센서 출력.

Fig. 15. Output of array-sensors for sinusoidal reference.

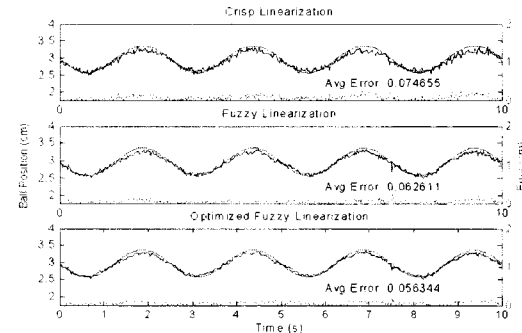


그림 16. 사인파 기준 신호에 대한 센서 출력.

(시간 지연 제거)

Fig. 16. Output of array-sensors for sinusoidal reference. (time lag deleted)

그림 18은 보정하지 않은 경우, 그림 19는 센서간의 비율로 보정한 경우, 그림 20은 비율에 퍼지 논리를 적용하여 보정한 경우, 센서 모듈의 출력 전압을 볼의 위치로 표현한 그림이다. 그림 18, 19, 20을 평균 오차를 기준으로 비교하면 센서의 비율을 이용해 보정한 경우는 보정하지 않은 경우에 비하여 외부광원이 6V일 때

45.1%, 7V일 때 54.6%의 평균오차가 감소하였으며, 퍼지 논리를 적용하여 보정한 경우는 비율만을 적용한 경우에 비하여 외부 광원이 6V일 때 51.2%, 7V일 때 50.5%, 보정하지 않은 경우에 비하여 외부 광원이 6V일 때 73.2%, 7V일 때 77.5%의 평균오차가 감소되어 제안된 방법으로 외란에 의한 영향이 많이 제거되었다.

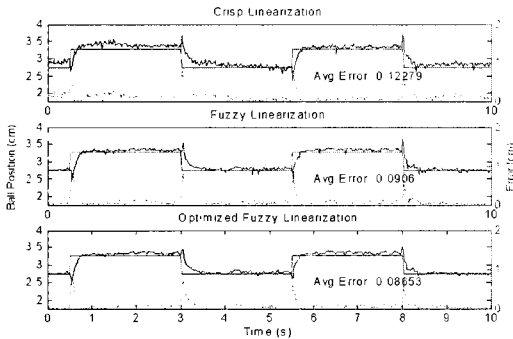


그림 17. 구형파 기준 신호에 대한 센서 출력.
Fig. 17. Output of array-sensors for pulse train reference.

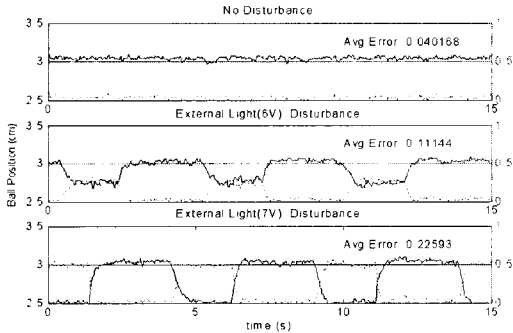


그림 18. 정상상태(3Cm)에서 보정하지 않은 경우.
Fig. 18. Case of no calibration at steady state. (3Cm)

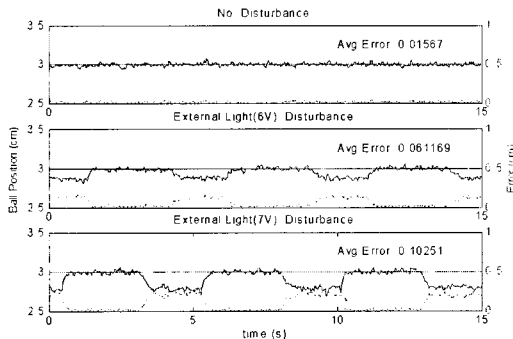


그림 19. 정상상태(3Cm)에서 비율로 보정한 경우.
Fig. 19. Case of calibration using ratio at steady state. (3Cm)

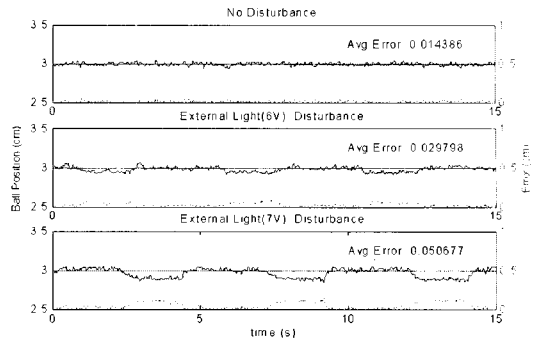


그림 20. 정상상태(3Cm)에서 퍼지 논리로 보정한 경우.
Fig. 20. Case of calibration using fuzzy logic at steady state. (3Cm)

V. 결론

본 논문에서는 비선형 특성을 갖는 센서가 배열로 사용되는 시스템에서 센서 배열에 퍼지 논리를 사용하여 선형화한 후 각 소속 함수의 파라미터에 유전 알고리즘을 적용하여 센서 배열의 최적화된 선형 특성을 얻는 방법을 제안하여 기존의 단순 가중치만을 적용하는 방법을 개선하였다. 또한 센서에 민감한 영향을 주는 외란을 센서 배열의 특성에 퍼지 논리를 적용하여 추가적인 센서 없이 이를 제거하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 자기 부상 시스템의 CdS 센서 배열에서 불의 그림자 위치 측정에 적용하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다. 제안된 방법은 비선형 특성을 갖는 센서가 배열로 사용될 때 최적화된 선형특성을 얻어내 정확한 측정값을 얻을 수 있고, 또한 센서에 민감한 영향을 주는 외란을 추가적인 센서 없이, 센서 배열의 특성만을 가지고 보정하므로 광전도 센서 이외에도 센서를 배열로 사용하는 시스템에 응용될 수 있다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음. (R12-1998-007003-0)

참고 문헌

[1] Seung You Na, Dae Jung Shin, "An efficient sensor array for a large-

- gap magnetic levitation system". *Proceedings of the 10th KACC, International Program*, pp.154-161, 1995.
- [2] Seung You Na, Yun Young Choi, "Performance improvement of a large gap magnetic levitation system by digital sensor calibration", *Proceedings of IEEK Summer Conference '99*, vol. 22, no. 1, pp. 1133-1136, 1999.
- [3] C. E. Lin and Y. R. Sheu, "A STF+PD Control approach for Large Gap Magnetic Suspension System", *Proceedings of FUZZ-IEEE94*, pp.1337-1342, 1994.
- [4] Wang, *Adaptive Fuzzy System And Control*, Prentice Hall, 1994.
- [5] 김지윤, 김현영, 심귀보, "유전자 알고리즘을 이용한 축구 로봇의 속도 제어 함수 파라미터 최적 해 탐색", *제어자동화시스템공학회지*, 제8권, 제3호, pp. 14-21, 2002.
- [6] 나승유, 박민상, "지능형 자동 보정화 제어기 설계를 위한 퍼지 기법", *한국퍼지 및 지능 시스템 학회 논문지*, Vol 8, No. 7, pp. 57~65, 1998.
- [7] B. Shahian and M. Hassul, *Control System Design Using Matlab*, Prentice Hall, Int'l. pp.455-465, 1993.

 著 者 紹 介



나 승 유

1954년 5월 1일생
 1977년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사, 박사)

1987년 ~ 현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

주관심 분야 : 지능제어, 뉴로퍼지시스템, 신호처리



안 명 국

1974년 10월 9일생
 1997년 전남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 ~ 현재 전남대학교 대학원 석사과정 재학중
 주관심 분야 : 지능제어, 뉴로

퍼지 시스템, 신호처리