

# 센서 배열의 보정에 의한 자기 부상 시스템의 외란 제거 성능 개선

안 명 국, 나 승 유  
전남대학교 정보통신공학부  
전화 : 062-530-0370

## Disturbance Elimination Performance Improvement of A Magnetic Levitation System by Array-Sensor Calibration

Myung Kook An, Seung You Na  
Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University  
E-mail : mkan@chonnam.ac.kr, syna@chonnam.ac.kr

### Abstract

In this paper we propose a controller which has the capability of disturbance measurement calibration for CdS array sensors in a magnetic levitation system. Steady state error due to environment light condition or external disturbance is corrected constantly. The correction is made by the sensors to measure the ball position of the system without additional deployment of sensors

하지만 CdS 센서는 주변 조도의 변화에 민감하여 조도의 변화가 정상상태에서의 오차로 나타나게 된다.

본 논문에서는 자기부상시스템에서 Ball의 위치 측정을 위해 CdS 센서의 배열을 사용한다. 센서 배열에 soft computing을 이용하여 선형적인 특성을 얻어내 불의 위치를 측정할 때 외부 조도 변화에 의한 정상상태의 오차를 추가의 보상용 센서 없이 보상하는 방법을 제안한다. 센서 배열 중 Ball의 그림자가 영향을 미치지 않는 센서를 조도 보상을 위한 센서로 선택해 조도의 변화량을 보정하도록 한다.

### I. 서론

제어 시스템 동작에 적절한 센서 값을 제공하는 것은 필수적이다. 비 접촉 센서들은 충돌회피, 물체 감지의 목적으로 이동 로봇이나 산업 현장에서 광범위하게 사용된다. CdS와 같은 광전도 센서는 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 사용할 때 비선형성이 문제가 된다. CdS 센서는 빛의 양에 따라 저항이 변화하는 광전도 센서로 Ball의 그림자가 센서에 비취질 때 전압을 측정하여 Ball의 위치를 알 수 있다.

### II. 센서 배열 특성 선형화

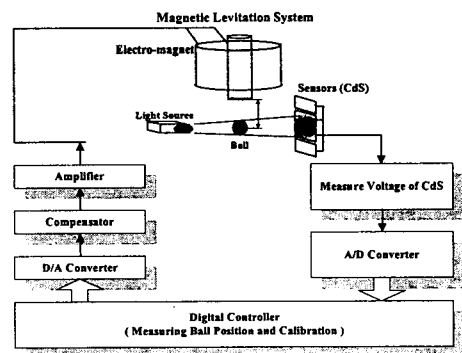


그림 1. 자기 부상 시스템의 블럭도

한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구 센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음. (R12-1998-007003-0)

2.1 센서 배열을 이용한 거리 측정

광전도 센서인 CdS는 센서에 비추지는 양에 따라 저항이 변화 하므로 센서에 비추지는 그림자의 위치에 따라 변하는 저항을 측정하여 거리로 변환할 수 있다. 그러나 일반적으로 CdS는 빛의 양에 따른 저항의 변화가 비선형적이므로 빛의 양을 검출하여 시스템을 동작시키거나 물체의 유무를 판별하는 단순한 동작에 사용된다.

CdS를 이용해 큰 간격의 거리를 측정하기 위해서는 적절한 크기의 센서를 측정하려는 범위에 적절히 배치하여 센서 배열을 이용하고, 배열을 이루는 각 센서에서 다른 가중치를 적용하여 그림자 위치에 따른 저항치를 선형화하는 방법이 많이 사용된다[1]. 이 방법은 아날로그 가산 회로를 이용해 하드웨어로 쉽게 선형화가 가능하다는 장점이 있지만, 측정하고자 하는 거리가 커질수록 센서수가 증가하여 센서별 저항 특성에 따른 선형화가 하드웨어방법으로는 어려워진다.

CdS 센서는 그림자 크기의 1/2이상이 되는 크기를 선택하고, 각 센서는 일정 구간을 중첩시켜 측정구간 불연속 되는 점이 없도록 한다.

2.2 퍼지 논리를 이용한 선형화

본 논문에서는 그림 2과 같은 센서 배열을 사용한다. 센서 배열에 의해 Ball 위치를 측정하기 위해 단일 CdS 셀이 갖는 비선형적인 특성을 소속함수로 표현하는 퍼지 변수를 사용한다. 또한 배열로 사용되는 CdS 셀에 각 단일 셀의 소속함수와 특성을 이용하는 퍼지 논리를 적용하여 제어 시스템이 동작하는 전체 영역에서 선형화된 센서 특성을 얻는다. 센서 배열의 선형 특성을 최적화하기 위해 입·출력 소속함수의 파라미터를 유전알고리즘을 사용하여 최적화 한다.

각 센서의 입력 소속함수는 센서에 비추지는 그림자의 크기에 따라 Low, Mid, High의 3가지 퍼지변수로 표현하고 출력 소속함수는 singleton으로, cds0, cds1, cds2, cds3은 각 센서의 중복되지 않는 영역의 값을 나타내고, cds01, cds12, cds23은 센서들 간의 중복된

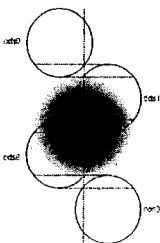


그림 2. CdS 센서배열

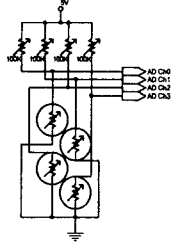


그림 3. 센서 배열 회로도

영역의 값을 나타낸다. 후론에 사용한 fuzzy rule은 81개의 조합에서 불가능한 경우를 제외하고 다음과 같이 29개의 규칙으로 Max-Min, Center Of Gravity 방법을 사용하였다.

```

if (cds0 is High or Mid)
and (cds1 is High or Mid)
and (cds2 is Mid or Low)
and (cds3 is Low)
then 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)
then 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)
then Output is cds2
if (cds0 is Low)
and (cds1 is Low)
and (cds2 is Low)
and (cds3 is High or Mid)
then Output is cds23
if (cds0 is Low)
and (cds1 is Low)
and (cds2 is Low)
and (cds3 is Low)
then Output is cds3
    
```

2.3 유전 알고리즘을 이용한 최적화

본 논문에서 사용된 유전 알고리즘은 다음과 같이 설계하였다. 문자열에서 표현하는 각 파라미터의 범위는 센서 영역에서의 파라미터 값을 기준으로 하여 결정하였다. 개체의 구성은 입력 소속함수 파라미터 16개와 출력 소속함수 파라미터 7개, 총 23개의 파라미터를 포함하고 각 파라미터는 12자리의 이진 문자열로 구성하였다. 초기 개체군은 개체의 각 bit을 Random으로 100개의 개체를 생성하였다. 개체의 적합도는 각 개체를 실제 퍼지 소속 함수의 파라미터로 변환, 퍼지 연산을 수행하여 각 개체에 해당하는 선형화된 센서 출력을 얻어 목표함수와 비교하여 식 (1)에 의해 구한다.

$$f_{fitness} = \frac{1}{f_o^2} + \frac{1}{f_{eg}^2} \tag{1}$$

$f_{fitness}$  : 개체의 적합도

$f_o$  : 선형화 목표 함수와의 평균에러

$f_{eg}$  : 선형화 목표 함수와의 기울기 평균 에러

각 개체의 교차는 각 변수에 해당하는 문자열 간에 만 교차가 일어나도록 다점 교차를 사용하였고 교차 확률은 0.6, 돌연변이 확률은 0.014를 사용하였다.

종료조건은 최고 적합도가 200이상인 세대가 5세대 이상 반복되거나 3000세대까지 조건을 만족치 못하면 종료하도록 하였다. 적합도 200은  $f_o$  가 0.05,  $f_{eg}$  가 0.05가 되는 점을 기준으로 설정하였다

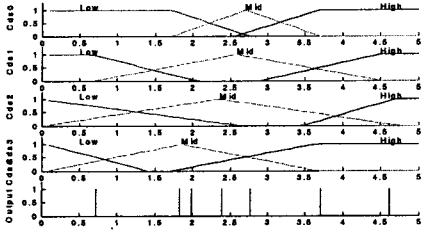


그림 4. 최적화된 퍼지 입·출력 소속함수

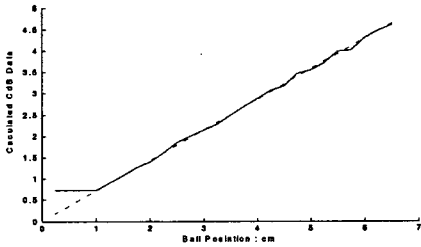


그림 5. 최적화 센서배열 특성

### 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 외부 조도의 변화는 보통의 환경에서 자연스러운 현상으로 자기 부상 시스템에서 정상상태 오차로 나타나게 된다.

#### 3.1 센서 배열 간의 비율에 의한 보정

일반적으로 센서 값을 보정하기 위해서는 보정용의 센서를 추가하여 그 값을 기준으로 다른 센서들의 값을 보정하지만 제안하는 방법은 배열을 이루고 있는 센서 중에서 Ball 위치 결정에 사용되지 않는 센서를 보정을 위한 센서로 선택해 조도의 변화량을 보정한다.

Ball의 위치를 결정하기 위한 매 Interrupt 마다 그림 6과 같은 순서에 의해 센서간의 비율과 비율의 변화량을 계산하고 보관한다. 가장 작은 센서 값과 변화량을 갖는 센서를 보정을 위한 센서로 선택한다. 만약 센서 배열 중 k번째 센서가 선택되었다면 보정값은 식 (2)에 의해 구한다.

$$\frac{SecondLow(R_{ik}) - FirstLow(R_{ik})}{FirstMax(R_{ik}) - SecondMax(R_{ik})} \times D_k \quad (2)$$

$R_{ik}$  : k번째 센서에 대한 각 센서의 비율

$D_k$  : k번째 센서의 데이터

표 1. 최적화된 소속함수 파라미터

최적화된 소속함수 파라미터						
CdS#	CdS0	CdS0	CdS0	CdS0	cds0	0.7219
X0	1.7294	0.6908	0.0014	0.0713	cds01	1.8304
X1	2.7241	2.0344	2.6264	1.3980	cds12	2.7662
X2	2.5799	2.9105	3.4770	1.7339	cds2	2.3868
X3	3.6850	4.4979	4.7162	3.6315	cds23	3.7092
					cds3	4.6098

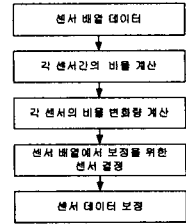


그림 6. 보정순서

#### 3.2 퍼지 추론에 의한 보정

비율에 의한 보정에 사용된 비율 값을 퍼지 소속함수로 표현하고 표 2와 같은 추론 규칙을 사용 퍼지 추론에 의해 보정값을 구한다[3].

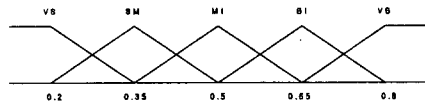


그림 7. 센서 비율을 위한 소속함수

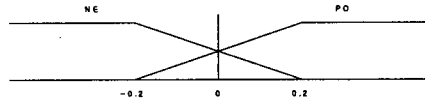


그림 8. 센서의 변화량을 위한 소속함수

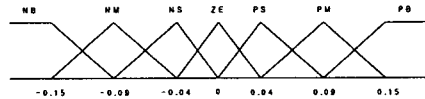


그림 9. 보정을 위한 출력 소속함수

표 2. 퍼지 보정 추론 규칙

비율 변화량	VS	SM	MI	BI	VB
NE	ZE	NS	NM	NM	NB
PO	ZE	PS	PM	PM	PB

### IV. 자기 부상 시스템

#### 4.1 제어기 설계 및 구현

그림 10.의 시스템에 표 3의 시스템 상수를 대입하면 식 (3)과 같은 시스템 전달함수를 얻는다 [1][2].

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

불안정한 시스템을 안정한 시스템으로 만들기 위해 식 (4)과 같은 보상기를 첨가하여 시스템의 상대 안정도를 증가시킨다.

$$K(s) = Kc \frac{s+13.99}{s+190}, \quad Kc = 33.33 \quad (4)$$

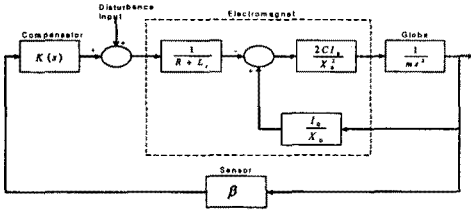


그림 10. 자기 부상 시스템 모델

표 3. MLS 모델 파라미터

Parameter	Value	Parameter	Value
Distance : $X_0$	0.03 m	Coil resistance : $R$	63.4Ω
Coil Current : $I_0$	0.405 A	Coil inductance : $L_1$	3.405H
Ball mass : $m$	0.003 Kg	Sensor gain : $\beta$	73.33V/m
Constance : $C$	16538 N · m <sup>3</sup> /A <sup>2</sup>		

각 CdS 센서의 전압값을 12bit AD 컨버터(AD7891), 0~5[V], 4개 채널을 사용하여 측정하며, 계산된 센서 배열의 출력값은 12bit DA 컨버터(DAC7621), 0~5[V], 1개 채널을 통해 보상기의 입력으로 전달된다.

## 4.2 실험 결과

그림 11, 12, 13은 3Cm을 목표로 하는 정상상태에서 외부 광원에 의한 외란을 반복적으로 가한 결과이다. 각 그림에서 상단은 외란이 없는 경우, 중단은 6V의 외부 광원, 하단은 7V의 외부광원이 외란으로 작용한 결과이다. 보정하지 않는 경우 약 4V의 외부광원에서부터 외란의 영향을 받았다.

## V. 결론

본 논문에서는 자기 부상 시스템에서 비선형 특징을 갖는 CdS 센서 배열에 퍼지 논리를 적용하여 선형화하고 소속함수의 파라미터를 유전 알고리즘으로 최적화 하는 방법을 사용하여 Ball의 위치를 측정할 때 외란에 의한 정상상태의 오차를 퍼지 논리를 이용하여 보정하는 방법을 제안하고 실험에 의해 제안된 방법이 유용함을 보였다.

## 참고문헌

- [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] B. Shahian and M. Hassul, "Control System Design Using Matlab," Prentice Hall, Int'l. pp.455-465, 1993.
- [3] 나승유, 박민상, "지능형 자동 보정화 제어기 설계를 위한 퍼지 기법", 한국퍼지 및 지능 시스템 학회 논문지, 1998, Vol 8, No. 7. (1998) 57~65

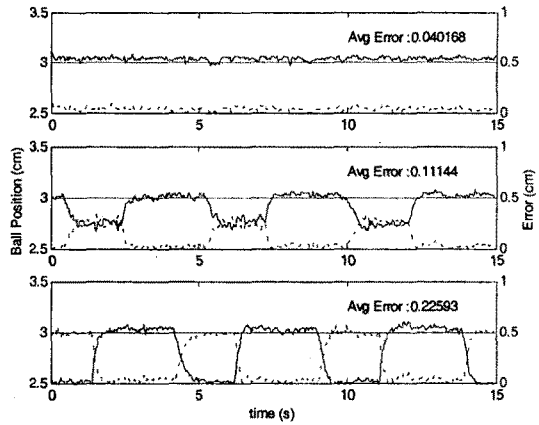


그림 11. 보정하지 않은 경우

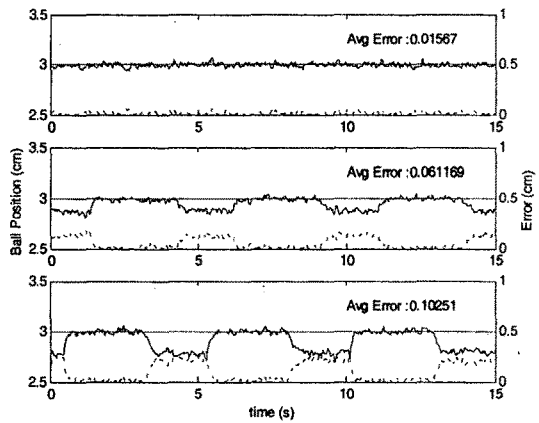


그림 12. 비율에 의해 보정한 경우

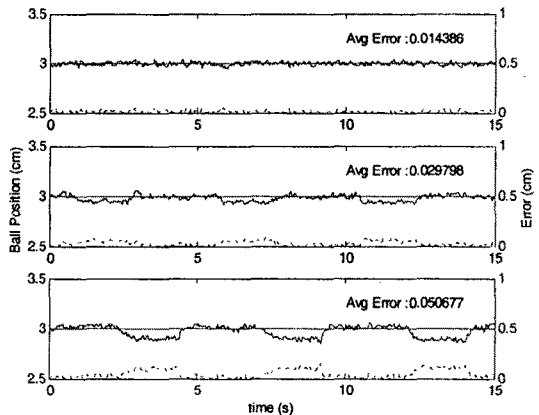


그림 13. 퍼지 논리에 의해 보정한 경우