

---

# Fuzzy Logic을 이용한 센서의 왜곡 현상의 지능형 추론 시스템 설계

김영구\* · 박창규\*

Design of Intelligent system with Fuzzy Logic for MR Sensor in destortion

Young-Gu Kim\* · Chang Gui Bak\*

## 요 약

본 논문에서 지구자기장을 측정하여 방위를 결정하는 자기 저항 소자의 경사각의 이상 현상에서 있어 예측할 수 없는 특성에 대해 불확실성에서의 추론을 통해 센서로서의 안정성을 확보하는데 그 목적이 있다. 따라서 퍼지 알고리즘을 적용하여 외부 환경 변화에 민감하게 변화하는 소자의 왜곡현상을 프로그래밍 적인 요소를 실험 하여 센서의 왜곡적인 요소에서 벗어남을 보인다. 나아가 소자의 고속, 고신뢰성을 갖는 응용에 사용할 수 있음을 보인다.

## ABSTRACT

In this paper, we discussed, intelligent soft filter for MR(magneto-resistive) sensor. Most navigation systems today use some type of compass to determine heading direction. Using the earth's magnetic field, electronic compass based on MR(magneto-resistive) sensors can electrically resolve better than 0.1 degree rotation. Intelligent methode for soft building a one degree compass using MR(magneto-resistive) sensors will also be discussed. Compensation techniques are shown to correct for compass tilt angels and nearby ferrous material disturbances. we proved the fuzzy logic that based on the way the brain deals with inexact information, is useful for MR sensors

## 키워드

MagnetoResistive sensor(자기저항소자),Fuzzy logic(퍼지) motion detection(동작검출), 방위각(azimuth)

## I. 서 론

인류는 지구에 존재하는 자기장의 범위에 어떻게든 영향을 받으며 살아 왔으며, 현재에 이르기까지 그 자기장을 이용하며 생활 하고 있다. 오늘날에 이르러 여러 종류의 자기 센서가 개발 되어 여러 응용 분야에서 지자기 검출용으로 사용되고 있다. 코일과 자기 코어로 이루어진 Fluxgate 센서는 1 mGauss의 해상도를 갖지만 반응 속

도가 2-3초 정도로 느리고, 구조적으로 약하여 고속의 네비게이션(navigation)장비나 동작 검출(Motion Detection)에의 사용이 어려우나, MR센서(MagnetoResistive)는 자기장에 의해 전기 저항이 변화하는 permalloy(니켈 철의 합금) 박막으로 이루어진다. 이 센서는 집적화하여 대량 생산이 되어 지고 있으며, 0.1mGauss이상의 해상도와 1 밀리 초 이하의 응답속도에 의해 많은 응용에 사용 되어 지고 있다. 본 논문의 실험 대상 소자인 자기저항

(MagnetoResistive) 센서 HMC10XX\*는 2축으로 이루어져 있으며 40마이크로Gauss의 해상도를 갖는 소자이다. 내부적으로 Noise와 OFFSET pin을 가지고 있으나 고속 동작 검출(Motion Detection)등의 응용에 있어 외부 전자 회로만으로 해결 되지 않는 문제점이 발생 하였다. 그중 예상 할 수 있는 예를 보면 지구 자기장의 변화이다. 미세 저자기장인 지구자기장(Earth Magnetic Field)의 크기는 대한민국의 경우, 시간에 따라 변하지 않는 직류성분이 Vertical 40 uT(0.4 gauss), N-S 30 uT(0.3 gauss), E-W 3 uT(0.03 gauss) 이며, 태양풍 등이 없는 정상적인 날의 시간에 따라 변화는 성분은 약 100 nT/day 이다. 자기장의 세기가 급속하게 감소하는 현상인 자기폭풍은 태양의 흑점활동에 기인하며, 수 시간동안 또는 2,3일간 지속되며 적도보다 극지방에 자주 일어나는 현상이고, 태양에서 오는 자기폭풍의 세기는 1000 nT 정도이다. 이와 같은 자기장의 미세 변화에 의한 검출 에러와 센서 사용처에 대한 주변 구성 물체의 자기 왜울 변화에 의한 여러 가지 반응도가 예측하기 어려운 문제로 대두 된다. 이러한 문제 해결 방법 모색으로 퍼지(Fuzzy) 추론을 사용한다. 퍼지는 관측, 측정, 경험 직관적인 추론, 판정과 같은 아주 기초적인 것부터 실제 시스템을 이해하는데 유용하며, 일반적으로 불분명하고 복잡한 시스템을 인식하며 서로 다른 형태를 갖는 지식 표현을 통합하고 정리하는 지능제어 알고리즘으로 검출 소자의 소프트웨어적인 필터 설계에 적용할 것이다.

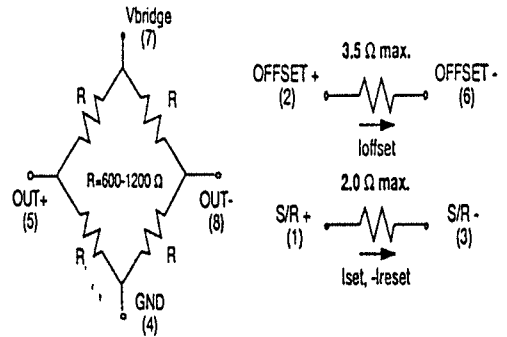


그림 1. MR센서 구조  
Fig. 1. On Chip components

나. 실험 회로

2축 소자 2개를 직각으로 배치하여 공간상의 기울임과 방위각을 측정하기 위해 그림3와 같은 좌표계 상에서 실험을 하였다. 하나의 보드에서 취하는 xyz좌표 상에서의 센서 출력 값은 지표면을 중심으로 (x<sub>n</sub>, y<sub>n</sub>)의 값으로 아래 식(1)을 적용하여 변환할 수 있다. 식(1)은 제조 회사에서 소자 실험 시 적용한 실험값에 기초한 수식이다.

$$x_h = x^* \cos(\phi) + y^* \sin(\theta)^* \sin(\phi) - z^* \cos(\theta) \sin(\phi)$$

$$y_h = y^* \cos(\theta) + z^* \sin(\theta)$$

$$A_{zimuth} = \text{arcTan}(y_n/x_n)$$

II. 본 론

2.1. 센서의 특성 실험

가. 센서의 기본 사양

제조사에서 제공한 소자의 기본 사양은 평면상의 X-Y 2개축을 가진 소자이다. 평면에서 공간상의 기울기를 알기 위해 소자를 수직으로 배치하여 실험에 사용했으며, 센서의 구조는 간단히 자기장에 반응하여 전압으로 응답을 하는 자기 저항 소자이다. 전압이 Vbridge에 0~10Volts의 값이 인가되면 센서는 감지 축 주변의 자기장에 대해 응답을 한다. 아래 그림1과 같이 브릿지 저항 값의 변화로 자기장의 크기를 출력 전압 값으로 측정하도록 nickel-iron의 박막을 실리콘에 증착시킨 자기저항 소자이다.

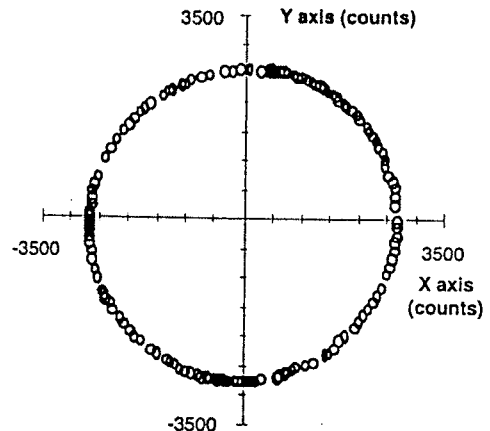


그림 2. 평면에서의 360도 회전값  
Fig. 2. Rotation of degree on plane

\* Honeywell, 매뉴얼 사양

앞 그림2 에서 제조사의 사양에 따라 나온 실험값의 표본을 보여주고 있다. 그림2의 그래프는 식(1)에서 주어진 함수식을 그대로 따르고 있는 것을 보여준다. 보드 내에 사용된 회로 역시 그림4와 같이 제조사에서 제공한 2축 센서회로를 이용하여 하나의 보드를 제작하였다.

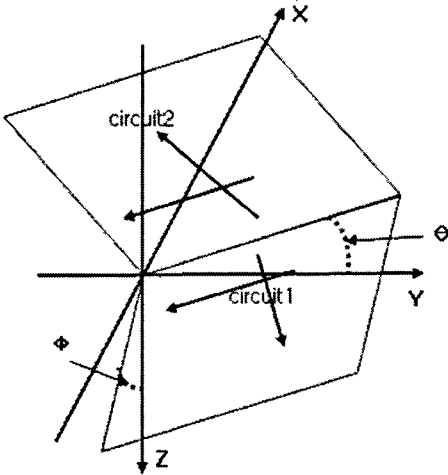


그림 3. 센서 보드의 구조와 방위각  
Fig. 3. Structure of Sensor Board

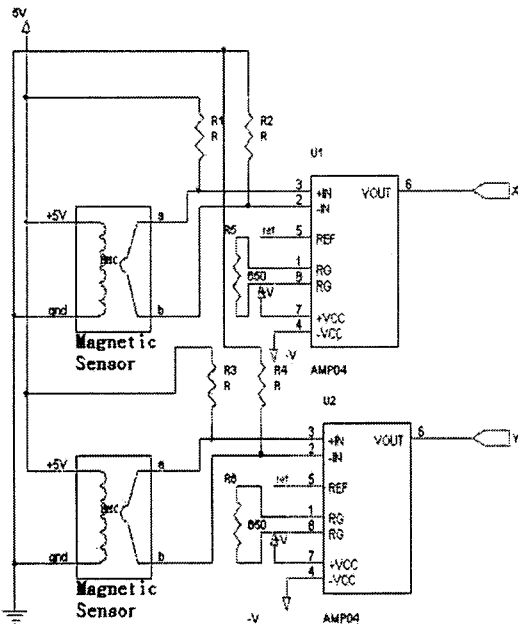


그림 4. 2축 센서 회로  
Fig. 4. Two-Axis Sensor Circuit

이 보드를 그림3에 나타난 것처럼 2개의 보드를 제작하여 상호 90도의 각을 유지하도록 하여 공간상의 센서 데이터를 실험하였다. 제조사에서의 설계사양에 포함된 Set/Reset 핀은 그림4에 보면 나타나 있지 않다. 하지만, 실제 보드 상에 구현 하였으나, 단순 외부 전자파에 의한 필터의 작용과 동작 왜곡 에는 실험적으로 큰 영향을 미치지 않았으므로 본 실험에서는 생략 하였다.

다. 센서의 실험 데이터

실험 방법은 그림2의 보드를 공간상에 정북 방향과 지면과 평행인 방향을 그 시작점으로 하여  $\theta$ 와  $\phi$ 값을 10도씩 변화 시켜 측정하여 data를 추출하였다. 아래 그림 5, 그림6은 그 data를 기초로 하여 작성한 하나의 그래프를 보여 준다.

$\theta=0, \phi=10$  센서 Board1

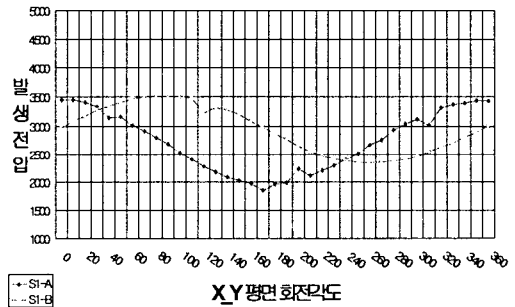


그림 5.  $\theta=0 \phi=10$ 도에서의 board1 값(mV)  
Fig. 5. Result of board1 on  $\theta=0 \phi=10$ (mV)

$\theta=0, \phi=10$  센서 board2

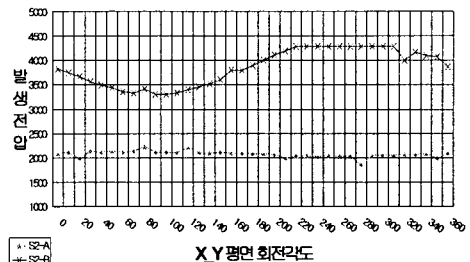


그림 6.  $\theta=0 \phi=10$ 도에서의 board2 값(mV)  
Fig. 6. Result of board2 on  $\theta=0 \phi=10$ (mV)

실험데이터가 제조사에서 제공한 함수 식(1)과의 관계를 따라가기는 하지만 여러 각도에서 많은 왜곡(distortion)이 일어나며, 일부 실험 환경 변화 즉, 실험 중 근처 물체의 위치가 바뀌면 왜곡이 더욱 심하게 일어났다. 이러한 현상에 대해 퍼지 추론으로 소프트웨어적인 필터를 구현 하고자 한다.

**2.2. Software Filter with Fuzzy**

가. 실험적 데이터 분석

그림2에서 보드의 구조를 보면 circuit 1의 센서 X축 Y축과 circuit 2의 센서 X축 Y축과의 구조를 비교해보면 circuit 1의 X축과 circuit 2의 X축이 180도로 방향이 틀어져 있음을 알 수 있다. 이는 방향이 180정도 돌면 같은 값을 나타내야 한다는 말이다. 하지만 실험값에서는 그러한 결과는 나오지 않았다. 따라서 퍼지 판단 조건으로서 하나의 판단 변수가 더 존재 할 수 있다는 것을 의미한다. 판단변수  $A_x$ 로 각 보드의 X축 간의 크기 차이를 식(2)와 같이 퍼지 입력변수 변수로 사용한다.

$$A_x = board1.x - board2.x \quad (2)$$

또한 Z축을 살펴보면, 그림5 와 그림 6의 그래프에서 알 수 있듯이 다른 축의 값보다 현저히 작은 변화를 볼 수 있다 Z축으로도 90의 차이가 나기 때문이다. circuit 1과 circuit2의 전체 변화 값을 살펴보면 각 보드와 지표면과의 Z축 관계 정보가 들어 있음을 알 수 있다. 실험값 분석에서 지표면과 평행한 보드가 수직한 보드보다 전체 오프셋 값의 차이가 적었다. 따라서 퍼지 판단변수  $b_x$ 는 오프셋 값의 차이를 식(3)과 같이 퍼지 입력 변수로 사용한다.

$$B_x = \left( \sum_{n-1}^n b1.x(i)/2 - \sum_{n-1}^n b1.y(i)/2 \right) - \left( \sum_{n-1}^n b2.x(i)/2 - \sum_{n-1}^n b2.y(i)/2 \right) \quad (3)$$

퍼지 출력 변수로는  $C_a$ 와  $C_b$ 로 한다.

$C_a$ : 방위각이 계산될 board의 소속정도

$C_b$ : 지표면과의 board 사이의 각(0 ~ 90도)의 크기 정도

나. 퍼지 추론 알고리즘

입력변수의 퍼지화 구현은

$A_x$ 는 "negative", "small negative", "zero", "small positive", "positive"를 정의하고,  $B_x$ 는 "very big", "big", "none", "little", "very little"로 정의하며, 후건부 변수인 출력변수는  $C_a$ 는 "very near", "near", "far", "very far"로 정의하며,  $C_b$ 는 "very small", "small", "large", "very large"로 정의한다.

$C_a$ 의 룰 베이스는 표1과 같다.

표 1.  $C_a$  룰 베이스  
Table.1 Rule Base of  $C_a$

Ax \ Ca	very near	near	far	very far
negative	1			
small negative	1	1		
zero		1		
small positive		1	1	
positive			1	1
very big				1
big			1	
none		1	1	
little		1	1	
very little	1	1		

$C_b$ 의 룰 베이스는 표2와 같다.

표 2.  $C_b$ 의 룰 베이스  
Table 2. Rule Base of  $C_b$

Bx \ Cb	very small	small	large	very large
negative	1			
small negative	1			
zero		1		
small positive		1	1	
positive			1	1
very big			1	1
big		1	1	
none		1		
little		1		
very little	1			

추론은 Max-Min법을 사용하여 전건부에서 근사 추론을 실시하고 비 퍼지화 단계에서는 최소 자승법을 적용하여 본다.

다. 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션 실험은 기초 소자 실험에서와 같이 10도 식  $\theta$ 와  $\phi$ 값을 변화 시키면서 측정된 값을 컴퓨터의 AD 변환기로부터 입력 받아 프로그램(C프로그램) 되어 있는 파일의 입출력을 통해 퍼지 논리를 적용하여 그 값을 표로 정리 하였다. 따라서 추론 후 나온 결과를 정리하여, 그 결과 값을 식(1)에 넣어 얻어 낸 결과 값과 비교 분석하여 본다. 하지만 식(1)은 평면에서의 값이므로 Z축과의 기울기  $\phi$ 와의 관계에 있어서는 그 추론 값을 비교할 수는 없다. 따라서 그림2에서 보여준 삼각함수의 그래프 모양과 비슷하면 현재의 방위각을 판단 할 수 있으므로 그 그래프의 모양으로 신뢰성을 그림7에서 판단 해 본다. 그림7은  $\phi$ 값이 60도이전의 결과 값들의 그래프이다.

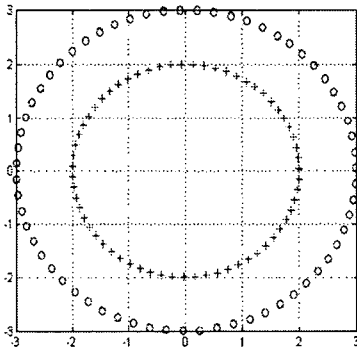


그림 7.  $\phi < 60$ 에서의 추론 결과값 그래프  
(‘o’ board1, ‘+’ board2)  
Fig. 7. Result of simulation of  $\phi < 60$

$\phi$ 값이 60도 근방에서의 각 보드의 분포 값은 표3에 보여 지고 있으며 Z축과의 기울기가 60도 각도를 중심으로 더 커지게 되면 본 논문에서의 퍼지 추론의 입력 변수로도 그 추론에 대한 신뢰성을 확보 할 수 없다는 것을 표3과 그림 8에서 보여 주고 있다.

표 3.  $\phi = 60$ 에서의 추론 결과  
Table 3. Result of  $\phi = 60$

$\theta$ (degree)	Board1(V)	Board2(V)
0	1,863	3,138
10	1,935	3,01
20	2,021	2,882
30	2,121	2,799
40	2,245	2,668
50	2,347	2,572
60	2,445	2,475
70	2,584	2,405
80	2,703	2,363
90	2,837	2,156

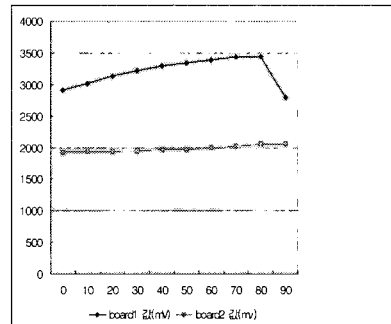


그림 8.  $\phi = 60$ 에서의 추론 결과값 그래프  
Fig. 8. Result of simulation of  $\phi = 60$

시뮬레이션 측정에 사용된 환경( $\phi$ 값이 60 이내에서)은 이 프로그램을 사용하지 않았을 때의 외부 환경에서의 노이즈에 대한 반응도가 확실히 개선 된 것을 볼 수 있다.

III. 결론

본 연구의 결과를 분석하여 보았을 때 알고리즘을 사용하지 않은 것 보다 나은 결과를 가져 왔지만 여전히 특수한 각도 에서는 예상 할 수 없는 결과를 보여 주고 있다. 차기에는 다른 지능 알고리즘을 적용하여 그 문제도 같이 해결해야 할 것이다. 이번 연구 결과로 사용된 소자를 특수한 환경 하에서 다시금 재 실험을 거쳐야 하겠지만 일반적인 motion detection (동작 검출)에 사용할 수 있을 정도의 안정성은 확보 되었다. 이 알고리즘을 적용한 소자의 응용범위는 아주 높은 것으로 모션 캡처나 자동 항법시스템, 위치 검출 등에서 보다 나은 신뢰도를 확보 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Chin-Teng Lin & C.S George Lee, Neural Fuzzy Systems - A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems, Prentice Hall P T R Upper Saddle River,nj07458, 1996.
- [2] 변중남, Topic on Fuzzy Logic-Based control Systems and Applications, 한국 과학 기술원 전기 전자공학 과, 1991
- [3] Grant,George A., and Klinkert,John, The Ship's Compass, 2d ed.(1970)
- [4] Barber, G.W., and Aarott,A.s., History and Magnetics of Compass Adjusting, IEEE Trans.Magn. Nov.1988
- [5] Olson, Gregory j>, et al, Nongimbaled Solid State Compass, Solid State Sensor and Actuator Workshop, June, 1994.
- [6] 이상배, Fuzzy-Neuro Control System, 한국 해양대학교 , 교학사p.87, 1999
- [7] 오성권, Fuzzy Model & control system,원광대, 내하출판사 p81 ~185, 2002.
- [8] 김영구, 조현찬, 김두용, ,“Intelligence Monitoring Network system”, 한국퍼지 및 지능시스템 학회 논문지, 2001.vol.11 no.1,pp3-7

저자소개



**김 영 구(Young-Gu Kim)**

2001년 한국기술교육대학 공학석사  
2007년 한국폴리텍Ⅷ 부산대학  
전임강사

※관심분야: 지능 알고리즘, 무선 통신



**박 창 규(Chang-Gyu Bak)**

1992년 2월 부경대학교 전자공학과  
(공학사)  
1997년 2월 부경대학교 산업대학원  
전자공학과(공학석사)

2007년 5월 현재 한국 폴리텍 부산대학 전자과 부교수  
※관심분야 : 마이크로 프로세서와 디지털 신호처리