

# 자기장 센서를 이용한 웨어러블 조이스틱 장치의 개발

여희주  
대진대학교 전자공학과

## Developing Wearable Joystick Device Using Magnetic Sensor

Hee-Joo Yeo  
Department of Electronic Eng., Daejin University

**요약** 산업 전반에 걸쳐 자기장 센서에 대한 연구나 제품개발이 많이 진행되어져 왔다. 하지만 이런 제품의 단가를 낮추기 위해서는 초기 개발단계에서부터 자기장 필드와 자기장 센서의 특징과 최종제품의 특징들을 정확하게 이해하는 것이 중요하다. 특히, 자기장 필드는 비선형 데이터를 처리하는 계산이 복잡하여 실제로 사용하고 응용하기에는 매우 어렵기 때문에, 이렇게 측정된 자기장 센서값들을 정확하게 계산하기 위해서는 고가의 장비나 복잡한 알고리즘이 필요한 추세였다. 하지만, 본 논문에서는 기존 조이스틱의 특징을 이해한 상태에서 자기장 센서의 고유한 특성과 특징을 소개하면서, 자기장 센서를 사용하는 웨어러블 조이스틱을 개발하기에 적합하고 간단하면서도 기능을 충족하는 디자인 및 개발 방법들을 제시하였다. 특히, 기존 조이스틱의 기계적인 특징과 자기장 센서의 특성을 서로 잘 고려한 후에, 기존 조이스틱의 본질적인 문제인 기계적인 마모와 문제점들을 해결하고자 기계적 구성이나 선들이 필요없는 자기장 센서를 이용하여, 저가의 웨어러블 조이스틱 장치의 디자인 및 개발 할 수 있는 설계요소 및 방법들을 소개하였다. 본 논문의 개발결과로 실제 사용자 테스트를 수행하여, 본 논문의 장비를 처음 접하는 사용자들도 쉽게 이용하여 기존 조이스틱과 같이 정확하게 제어할 수 있음을 보였다.

**Abstract** There has been demand for many magnetic sensor applications, and to develop low-cost devices, it is critical to accurately understand the behavior of the magnetic field and the characteristics of magnetic sensors and target devices during initial development phase. The magnetic field has been known to have very complicated nonlinear data to calculate, so it has required expensive computing machines or research to accurately calculate the magnetic sensor values. However, this paper introduces a characteristic of a magnetic sensor called the giant magnetoresistance (GMR) and proposes simple and sufficient approaches to develop a wearable joystick device using a magnetic sensor. Particularly, this paper introduces the design factors for how to properly develop a low-cost wearable joystick device using magnetic sensors after carefully considering the mechanism of a real joystick and the characteristics of magnetic sensors. As a result, user test results are provided to show how users can operate this new wearable joystick device.

**Keywords** : Wearable Device, Magnetic Field, Joystick, GMR, Magnetic Sensor

---

\*Corresponding Author : Hee-Joo Yeo(Daejin University)

email: hjyeo@daejin.ac.kr

Received November 23, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised December 22, 2020

Published January 31, 2021

## 1. 서론

최근 자기장 센서(giant magnetoresistance (GMR))의 기술이 발전함에 따라, 센서에서 측정된 자기장 데이터가 더욱 정확해지고 자기장 센서의 가격이 저렴해졌다. 이에 따라 자기장 센서의 여러가지 장점들 때문에 기존 유사기능의 부품들을 대체하기 시작하였다[1]. 자기장 센서의 장점중 하나는 센서와 자석 사이에 어떠한 전선이나 물리적인 연결이 필요하지 않아서, 설치가 용이하고 고장이 적으며 영구적으로 사용할 수 있는 장점이 있다.

기존 조이스틱은 기계적인 요소가 많고 특히 조이스틱 바가 접촉되는 부분은 기계적 릴레이를 많이 사용하고 있고, 이런 기계적 릴레이는 기구적으로 쉽게 고장이 잘 나고, 오래 사용하다 보면 기계적으로 접촉되는 부분이 영구적으로 소모되거나 고장 나기가 쉬운 문제점들이 존재한다. 이런 문제점들을 이미 여러 방면에서 인지하고 기계적인 단점을 보완하기 위해 여러 가지 노력이 시도되었다[2, 4, 7].

하지만, 자기장 센서의 치명적인 단점은 비선형 자기장 필드 때문에 계산량이 많아지고, 자기장 센서 데이터와 자기장의 세기가 선형적인 관계가 아니기 때문에, 실제의 제품에 적용하기에는 아직도 많은 한계가 존재한다[5].

본 논문에서 이런 자기장 센서의 장점을 최대한 활용하여, 자기장 센서의 한계와 문제점들을 고려한 상태에서 실제 조이스틱에 적용할 때 고려해야 할 디자인 요소들을 연구하였고, 새로운 웨어러블 조이스틱 디바이스(wearable joystick device(WJD))를 개발하고 사용성을 평가하여 가능성을 제시하였다.

## 2. 조이스틱 디자인 요소

### 2.1 하드웨어의 고안 및 설계

#### 2.1.1 조이스틱의 기구학적 해석

본 논문에서는 Fig. 1 (a)와 같이 일반적인 2차원 조이스틱을 개발 대상으로 삼았고, 조이스틱 바가 상하좌우로 움직임에 따라 출력값으로는 2차원 X-Y 값들을 출력하게 하는 일반적인 입력장치이다. 사람의 제스처들 중에서 손이 어떤 방향이나 지시를 할 때 가장 많이 사용되고, 직관적인 표현이라고 할 수 있다. 이와 같이 사람의 손을 조이스틱의 바에 대응하고 Fig. 1 (b)에서와 같이 이런 사람의 손의 움직임이 조이스틱 바의 움직임과 일치하고, 오히려 사용성(usability) 측면에서 조이스틱보다 더 유효

등하기 때문에 Fig. 1 (c)와 같이 기구적인 설계를 하였다.

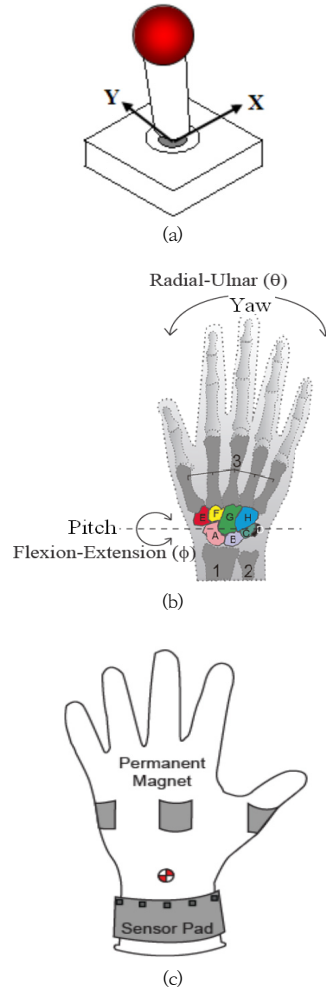


Fig. 1. A general joystick and the design of wearable joystick. (a) General joystick input device. (b) Wrist movement model in hand anthropometry model. (c) Installation of 4 magnets and sensor pad around wrist.

#### 2.1.2 시스템 디자인 및 설계 요소

웨어러블이라는 환경적인 제한으로 기존의 조이스틱을 그대로 착용 및 사용하기에는 불편하기 때문에, 새로운 개념의 직관적인 설계가 요구되었다. 따라서 Fig. 1과 같이 직관적이면서 웨어러블에 적합하도록 하기 위해, 손과 손목을 조이스틱의 기계적인 구조로 해석하여 개발하였다. 또한, 조이스틱과 같이 저가의 제품을 지원하기 위해서는 시스템의 소형 및 저전력을 고려한 제품 설계가 요구된다. 시스템 하드웨어를 제작할 때 아래의 필요한 디자인 요소들을 고려하여 제작하였다.

- **웨어러블 사이즈** : 대용량 CPU나 복잡한 장비를 사용하지 않고 일반적인 소형의 CPU(ATmega128) 사용하여 소형의 PCB 제작 가능
- **가격** : 저가의 CPU와 부품들을 사용하여 고가부품 배제
- **내구성** - 자석과 자기장 센서를 사용하여 기계적인 오차와 에러 제거

Fig. 2 (a)에서 보인바와 같이 CPU가 ADC를 통해서 센서 데이터 값을 받아 처리하고, 데이터를 축적하고 디버깅을 할 수 있는 기능을 추가하였다. Fig. 2 (b)와 같이 저가의 CPU(ATmega128)를 사용하여 AAA 배터리 사이즈로 제작하였지만, 추후에 CPU를 초소형 패키지로 사용하고, PCB 보드의 레이아웃을 좀 더 최적화한다면 충분히 소형으로 제작이 가능하다.

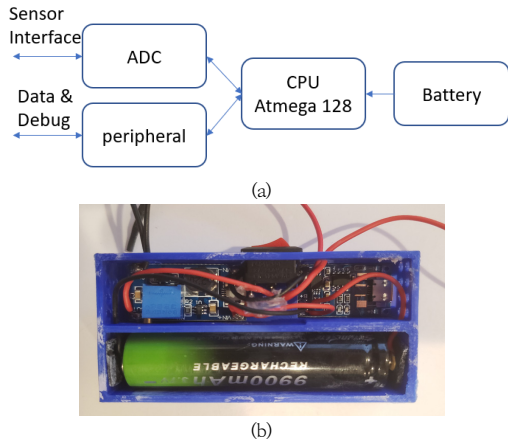


Fig. 2. Main CPU module of the wearable joystick device. (a) Actual PCB and package. (b) System block diagram.

## 2.2 소프트웨어 설계

시스템을 운영하기 위해서 소프트웨어의 디자인 요소는 크게 성능과 용량을 고려하여야 하는데, 저가 및 저성능의 CPU를 사용하기 때문에 여기에 맞추어 소프트웨어를 설계하여야 한다. 특히 계산량과 성능을 낮추는 부동소수점(floating point)를 사용해서는 안 되고, 최대한 정수로 계산을 하여야 한다. 따라서 알고리즘 선택시에 이런 한계를 고려하여 간단하면서 고속의 알고리즘을 구현하여야 한다.

본 논문에 사용된 소프트웨어는 CPU(ATmega 128)에서 실시간 운영체제(RTOS)는 사용하지 않았고, 이런 운영체제 없이 베어메탈(bare metal) 펌웨어(firmware)

만으로 구성하였다. [5]에서 제시한 간단하면서 고속의 알고리즘을 선택하여 구현하였다.

## 2.3 자석과 자기장 센서의 기구적인 설계

실제 자석과 자기장 센서 간의 데이터를 얻어 모델링하기 위해서, Fig. 3 (a, b)에서와 같이 손목의 운동과 유사한 운동효과를 가지는 구조물을 제작하여 센서 데이터를 측정하고 분석하였다.

Fig. 3 (c)와 같이 자석과 센서 패드와 손목은 3개의 다른 좌표 프레임과 오리엔테이션을 가지기 때문에, 실제로는 손목과 자석들이 계속 완벽히 고정되지 않아 움직이기 때문에, 정확한 프레임 정보를 얻기가 힘들다. 설정 프레임 정보를 얻더라도, 3가지의 다른 프레임을 계산하기 위해서는 복잡한 연산이 필요하게 된다.

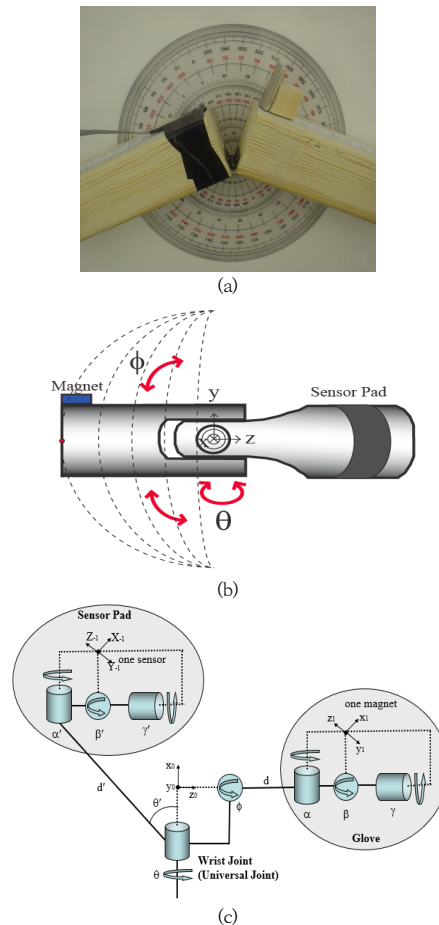


Fig. 3. Installation of magnets and magnetic sensors (a) The relationship of a magnet and a magnetic sensor. (b) Simplified mechanical modeling with magnet and wrist. (c) Joint Frame relationship over wrist, glove and sensor pad.

따라서, 본 논문에서는 간편한 캘리브레이션과 계산방법을 도입하였다[5].

### 2.4 자기장 센서의 코사인 스케일 감소 현상

자기장 센서들은 간편하며 사용이 용이하여 여러 가지 장점들이 존재하지만, 결정적인 단점이 존재하는데 이는 코사인 스케일 감소(cosine scaled falloff) 현상이 존재한다는 점이다[6]. 이 현상은, 자석과 자기장의 센서가 자기장 센서의 특정 방향으로 정렬(align)이 되면, 자석과 자기장 사이의 거리와 세기에는 상관없이 자기장 센서 데이터는 0에 가까운 값들을 출력하게 된다.

이러한 관계는 Eq. (1)과 (2)로 표현되어질 수 있다.

$$B_D = \frac{\mu_0(3(p \cdot n)n - p)}{4\pi r^3} \quad (1)$$

$$B_{sensor} = B_D \cos\theta \quad (2)$$

where  $B_D$  is the magnetic flux density of a magnet,  $\mu_0$  is vacuum permeability,  $n, p$  are magnetic dipole vector and  $r$  is the distance between a magnet and GMR sensor,  $\theta$  is the offset angle from the sensitive direction and  $B_{sensor}$  is the output of GMR sensor.

Fig. 4 (a)와 같이 자석이 존재하는 부분에서는 센서 값들이 급속도로 작아지면서 0에 가까운 값들을 발생하였다. Fig. 4 (b)와 같이 이런 코사인 스케일 감소 문제점을 해결하기 위해 주변의 좌우 센서값들을 추출해서 최대 및 최소치 값들을 제외하면 급격한 값들의 변화를 간단히 필터링할 수 있다. 이렇게 필터된 후에 평균값을 구하는 알고리즘을 적용하였다[8].

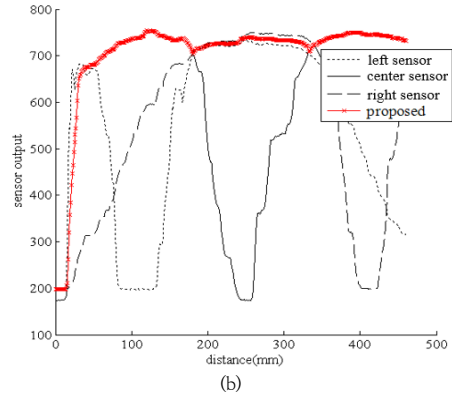
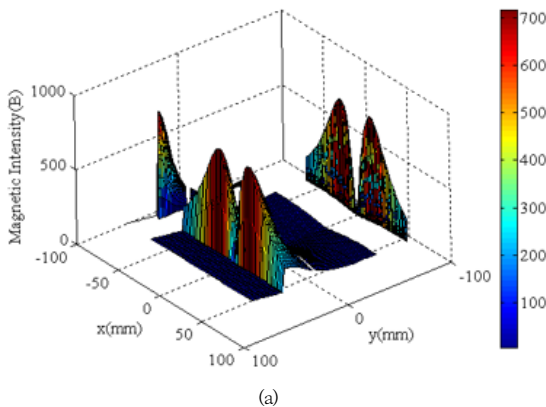


Fig. 4. Cosine scaled falloff effect. (a) 3D graphical model for magnetic intensity of the top magnet at a sensor point which a hand moves in full range, as assuming that a magnet was located at  $x=0$  and  $y=100$ . (b) Data processing by compensating cosine scaled falloff effect.

### 3. 사용자 테스트 및 평가

사용자 테스트(user test)에서 10명의 일반 대학생들을 본 시스템의 새로운 사용자들로 선정하여, 본 시스템의 장비를 직접 사용하게 하였을 때, 손목의 중심을 기준으로 움직이는 운동을 하게 한 후에 자기장 센서 데이터를 측정하였다. Fig. 5 (a, b, c, d)와 같이 손을 상하좌우 운동을 시킨 후에, 얼마나 정확하게 반복적인 제어정도(repeatability)가 정확한지를 평가하였다.

다음 실험을 수행하기 위한 구체적인 테스트 환경은 Table 1과 같다.

Table 1. Parameters and setup for test environment

Item	Description	Quantity
target people	college students who don't have experience on this system	10 people
target device	this paper's system	2 set
Test1 : Left~Mid	move hand to left and then mid point	10 times
Test2 : Right~Mid	move hand to right and then mid point	10 times
Test3 : Top~Mid	move hand to top and then mid point	10 times
Test4 : Bottom~Mid	move hand to bottom and then mid point	10 times

Table 2에서 보인 바와 같이 아주 정확하게 반복성을 보였고, 이런 오차는 일반적인 조이스틱 응용에 충분히 사용할 수 있음을 보였다.

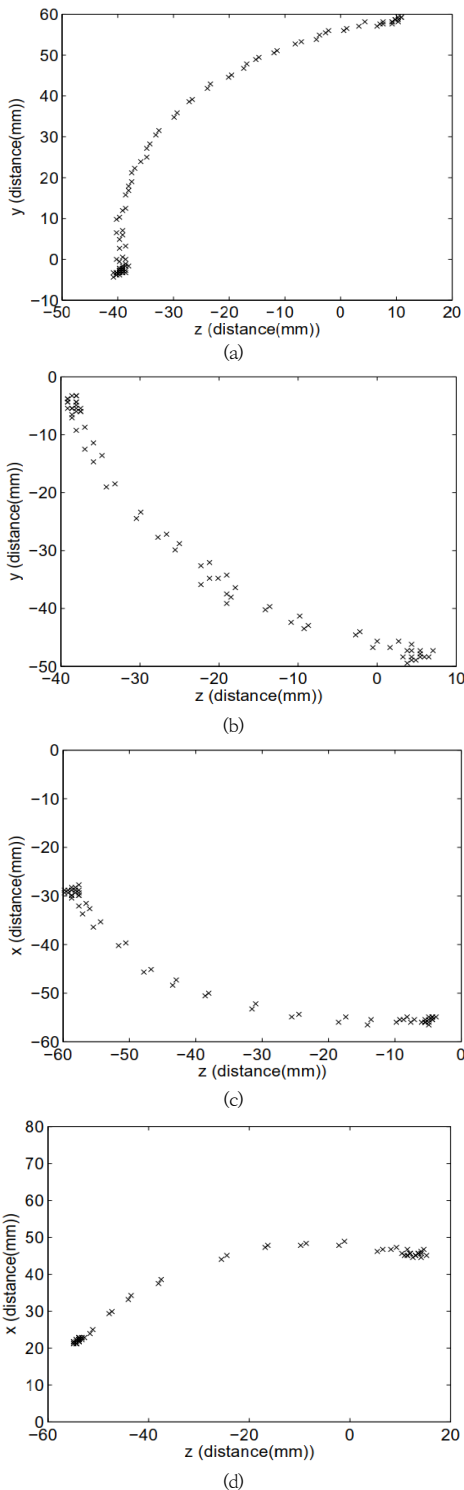


Fig. 5. Cosine scaled falloff effect. (a) Left ~ Mid gesture (b) Right ~ Mid gesture (c) Top ~ Mid gesture (d) Bottom ~ Mid gesture.

Table 2. User test result over each hand movement

Movement	Average Error	Max	Min
Left ~ Mid	0.5mm	0.8	0.1mm
Right ~ Mid	1.5mm	2.8mm	3.6mm
Top ~ Mid	1.4mm	1.7mm	0.9mm
Bottom ~ Mid	0.5mm	0.9mm	0.1mm

## 4. 결론

본 논문에서 자기장 센서를 사용한 조이스틱을 설계할 때 꼭 고려해야 할 요소들을 소개하고 구현하였다. 자기장 센서의 특징을 정확하게 이해함으로써, 자기장 센서의 코사인 스케일 감소현상이 발생함을 보였고, 이를 보상하여 구현하였다. 고가의 장치나 복잡한 계산을 사용하지 않고, 저가의 장치들을 최대한 응용해서, 조이스틱과 같은 기능을 할 수 있는 장치를 선보였다.

제시된 디자인 요소와 설계들을 통해서 구현된 장치를 실제 사용자들을 선별하여 사용하게 하여 데이터를 측정하여, 데이터의 반복성을 보였다. 기존 조이스틱과 견주어 볼 때, 평균 에러율이 1~3mm 안에 들어가는 우수한 결과를 보였다.

본 논문에서 보인 결과와 같이, 자기장 센서를 활용한 조이스틱을 만들기 위해서는 필수요소를 잘 고려하고, 특히 자기장 센서의 코사인 스케일 감소현상을 잘 고려한다면, 저가의 조이스틱 제품들을 개발할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

## References

- [1] Xinying and et al., "Wearable handwriting input device using magnetic field : Geomagnetism cancellation in position calculation" Precision Engineering Vol.33, Issue 1, pp.37-43, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2008.03.008>
- [2] R. Valenzuela and et al., "A position sensor based on magnetoimpedance" Journal of applied Physics, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.361943>
- [3] Y. Cha and et al., "Implementation of Virtual Environment System for Multi-joint Manipulator Designed for Special Purpose Equipment with Wearable Joystick used in Disaster Response" Journal of Drive and Control, Vol17 Issue 3, pp.33-46, 2020. DOI: <https://doi.org/10.7839/kscfc.2020.17.3.033>
- [4] Masayoshi Wada and Fujio Kameda, "A joystick type

car drive interface for wheelchair users” Journal of Drive and Control, Vol17 Issue 3, pp.33-46, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2009.5326085>

- [5] Hee-Joo Yeo, “Modeling and Calibration of Wrist Magnetic Sensor for Measuring Wrist Gesture”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.21, No.4, pp.26-32, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.26>
- [6] Introduction of NVE GMR Sensors, NVE Corp. <https://www.nve.com/Downloads/intro.pdf>
- [7] Y. Kim, B. Sok, and S. Lee, “A new wearable input device: Scurry,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 52, no. 6, pp. 1490-1499, Dec. 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIE.2005.858736>
- [8] +Hee-Joo Yeo, “Data Analysis and Processing Methods of Magnetic Sensor for Measuring Wrist Gesture”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.21, No.11, pp.28-36, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.28>

여 희 주(Hee-Joo Yeo)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 전자공학과 교수

〈관심분야〉

센서기반 제어시스템, 임베디드시스템, 다중로봇시스템의 협조제어