

# 무선센서 네트워크를 이용한 웨어러블 자기장 센서 장치

여희주  
대전대학교 전자공학과

## Wearable Magnetic Sensor Device Using Wireless Sensor Network

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

**요약** 최근 많은 전자 기기들이 무선센서 네트워크 기술들을 접목하면서, 다양한 종류의 센서들이 무선센서 네트워크로 연결하여 사용할 수 있게 되었다. 하지만, 이런 무선센서 네트워크 장비들은 다양한 종류의 네트워크 기술들을 사용하는데, 각각의 네트워크 기술에 따라 장단점이 존재한다. 따라서 이런 장단점을 잘 고려하여 적용하려는 분야와 목적에 부합할 수 있도록 최적으로 잘 선택하여야 한다. 특히 자기장 관련 센서는 다른 센서들과 달리 복잡한 센서 데이터를 처리함에 있어서, 자기장 센서만의 독특한 특징과 성질이 존재하기 때문에, 개발 초기에 잘 이해한 후에 설계를 하여야 한다. 본 논문에서는 자기장 필드에 발생하는 자기장 센서 데이터의 비선형 데이터를 처리할 수 있는 저가이면서 소형의 웨어러블 장비를 제안하였다. 또한 무선 센서 네트워크 기술들을 선택하는 방법에 대해서 논의를 하고, 실제 자기장 센서 장치들이 네트워크로 구성하는 방법을 소개하였다. 결론적으로 개발된 웨어러블 자기장 센서장치가 구성하는 무선 센서 토폴로지를 제시하고, 이 무선센서 네트워크 망에서 실제 데이터 전송의 성능 및 효능을 보였다.

**Abstract** Recently, many electronic devices have been integrated with various kinds of wireless sensor network technologies that have been enabled with wireless network connections. These wireless sensor network devices have adopted various kinds of wireless network technologies. On the other hand, because each wireless network technology has its advantages and disadvantages, the target and purposes should be considered carefully at the beginning of the development. In particular, the approach to the magnetic sensor should be considered carefully because it has its own characteristic compared to general sensors. The magnetic field generates nonlinear data. This paper introduces the design aspects to reflect low cost and wearable devices to use in a wireless sensor network. In addition, this paper addresses how to select proper sensor network technology. As a result, wireless sensor network devices were integrated using Zigbee and showed the performance of the throughput.

**Keywords** : Wearable Device, Magnetic Field, Sensor Network, GMR, Zigbee

### 1. 서론

최근 웨어러블 자기장 센서 장치들과 무선 통신 프로토콜들이 다양하게 개발되면서, 다양한 산업 및 기술분야에 적용되어져 왔다[1, 2, 5]. 웨어러블 장치는 여러 가

지 형태로 개발이 되고, 웨어러블 할 수 있도록 최대한 소형화하거나 사용에 불편함이 없어야 한다. 특히, 웨어러블 자기장 센서 장치들을 개발할 때, 중요한 디자인 요소인 소형화 및 저가를 목적으로 개발이 많이 이루어져 왔다.

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

email: hjyeo@daejin.ac.kr

Received December 4, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised January 4, 2021

Published January 31, 2021

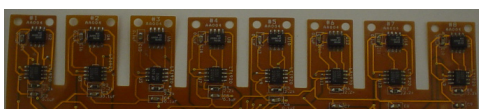
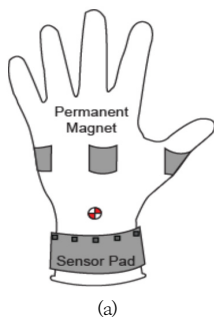
이와 같은 센서 노드들이 많아지면서, 이들을 연결하기 위한 노력이 많아졌고, 이를 위해서 센서 네트워크 기술이 발달되어져 왔다[6]. 특히 센서 네트워크 기술들 중에는 무선통신 프로토콜들(블루투스(Bluetooth), 지그비(Zigbee)와 와이파이(Wi-Fi))이 많이 개발되었는데, 각각의 프로토콜은 서로 데이터 전송량과 전송거리, 파워 등의 장단점들이 있기 때문에, 개발목적에 따라 적합한 프로토콜을 선정하여야 한다[2].

본 논문에서는 웨어러블 자기장 센서 디바이스들이 무선센서 네트워크를 적용할 때의 한계와 문제점들을 다시 살펴보고, 무선 네트워크 프로토콜 선정 시 주의해야 할 점들을 제시하였다. 또한, 무선 네트워크 프로토콜중의 하나인 지그비를 실제로 사용하여 웨어러블 자기장 센서 디바이스를 개발하였고, 이 네트워크를 통해서 손목의 제스처에 따라 데이터를 전송함으로써, 전송률과 센서 노드의 개수에 따른 연결 지연률 관계를 보였다.

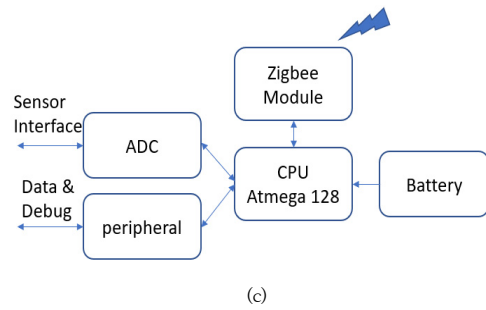
## 2. 하드웨어의 설계

### 2.1 센서 입력부 : 자석과 자기장 센서 설치

Fig. 1(a)와 같이 본 논문에서는 사람의 손에 4개의 자석을 90도 방향으로 각각 설치하고, 손목 주변에 Fig. 1(b)의 자기장 센서 패드를 감아서 설치하였다. 이렇게 설치된 상태에서 상하좌우로 움직임에 따라 일반적인 2차원 조이스틱과 동일한 효과를 나타내기 위한 장치이다.



(b)



(d)

Fig. 1. A general joystick and the design of wearable joystick. (a) Installation of 4 magnets and sensor pad around wrist, (b) Magnetic sensor wrist pad, (c) System block diagram and (d) Main system board.

### 2.2 데이터 처리부 : 프로세서와 지그비

Fig. 1(c)와 같이 지그비 모듈을 부착하여 무선 센서 네트워크를 구성하게 설계하였다. 이렇게 무선센서 네트워크를 구성함으로써, 여러 개의 입력들을 한 번에 받아들일 수 있고, 센서 입력부와 컨트롤하는 부분을 분리할 수 있게 하였다. 따라서 무선센서 네트워크를 이용함으로써, 여러 사람이 하나의 로봇을 제어하거나 여러 사람의 손목의 제스처를 하나의 장치에서 처리가 가능하게 된다. 이런 목적을 달성하기 위해서는, 시스템 하드웨어를 제작할 때 아래의 필요한 디자인 요소들을 고려하여 제작하였다.

- 소형 및 저전력 : 통신 프로토콜 중에서 소형 및 저전력으로 적절한 지그비 적용
- 웨어러블 : 소형 자석과 센서 패드
- 프로세서 : 소형 프로세서인 ATmega128 적용
- 내구성 : 전선 연결이 필요없는 자석과 자기장 센서 사용

### 2.3 소프트웨어 설계

본 논문의 시스템은 웨어러블 조이스틱 장치가 센서

네트워크상에서 운영될 때의 효과와 결과를 보이기 위한 것으로, 성능 향상을 위해서 그 외의 기능은 최소한으로 하거나 제거하였다.

따라서 본 논문에 사용된 소프트웨어는 CPU (ATmega128)에서 실시간 운영체제(RTOS)는 사용하지 않고, 이런 운영체제 없이 베어메탈(bare metal) 펌웨어 (firmware)만으로 구성하였다[4].

### 3. 무선통신 프로토콜 및 성능

#### 3.1 무선통신 프로토콜 선정

여러 종류의 무선통신 프로토콜이 존재하는데, 각각의 장단점으로 인하여 개발목표에 맞추어 최적으로 선정하여야 한다. Table 1에서 보인바와 같이 각각의 데이터 전송률, 파워와 사이즈에 따라 특징을 가지게 된다[2].

Table 1. Relative comparison over wireless communication protocols

Protocol	Data Rate	Power Consumption	Size
Bluetooth	high 1Mbps(R2.0) 25Mbps(R4.0)	medium	small
Zigbee	low (<250Kbps)	low	small
Wi-Fi	high (1Gbps)	high	big

본 논문의 웨어러블 자기장 센서 디바이스는 웨어러블이라는 특징으로 소형 및 저전력이 요구되기 때문에, 와이파이는 선정에서 제외되었다. 블루투스과 지그비를 비교해 보면, 블루투스는 마스터와 슬레이브의 네트워크 구조를 가지고 있지만, 지그비는 센서 네트워크의 프로토콜의 특징을 가지고 있다. 따라서, 저전력 소형의 본 논문의 장치를 개발하기 위해서는 지그비가 가장 적합하다고 할 수 있다.

#### 3.2 지그비의 네트워크 토폴로지

지그비는 물리적인 레이어와 MAC 레이어에서 IEEE 802.15.4 2003 사양을 따르고 있다. IEEE 802.15.4에서는 스타(star), 트리(tree), 클러스터 트리(cluster tree)와 매쉬(mesh) 토폴로지(topology)를 지원한다. 하지만 지그비는 스타, 트리와 매쉬만 지원한다. Table 2와 같이 각각의 토폴로지는 장점(pros)과 단점(cons)을 가지고 있다.

Table 2. Pros and cons of each topology

Topology	Pros	Cons
Star	Simple to use coordinator	- high dependency on coordinator - no alternative path
Tree	The children can talk to only the parent	If a parent disabled, the children can't communicate
Mesh	Self healing	Great overhead

이중에서 매쉬 토폴로지는 피어 투 피어(peer-to-peer) 네트워크로 알려져 있고, 몇 개의 라우터(router)와 센서 노드로 이루어져 있다. 여기서 센서 노드는 본 논문의 웨어러블 자기장 센서 디바이스를 지칭한다. 특히, 매쉬 토폴로지를 사용한 이유는 자체복구(self-healing)를 지원하기 때문에, 본 논문에서는 사용자에 따라서 자주 출몰하고 없어지는 경우를 가정하고 개발을 하였고, 여기에 매쉬 토폴로지가 가장 적합하다고 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 Fig. 2에서와 같이 지그비 매쉬를 사용해서 토폴로지를 구성하는 예를 보이고 있다.

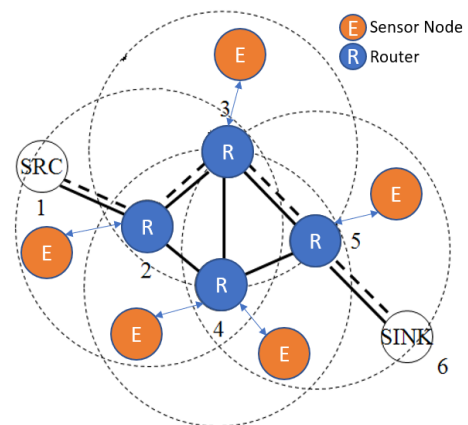


Fig. 2. An example of mesh topology of Zigbee

#### 3.3 데이터 전송률 및 성능 평가

데이터 전송률을 평가하기 위해서, 더미(dummy) 100bytes의 데이터를 10msec 샘플링을 하고, 평균값을 필터링한 후에, 데이터의 변화가 없으면 보내지 않고, 변화가 있을 때만 보내는 식으로 각각의 손목 제스처에 따라서 전송률을 Fig. 3(a)와 같이 측정하였다. 원을 그리는 제스처가 가장 많은 데이터의 전송이 필요했고, 앞뒤 좌우에서는 다소 낮은 전송률을 보였다. 일반적인 조이스

틱의 샘플링은 10msec 훨씬 낮기 때문에 전혀 문제가 없음을 보였다.

Table 3. Detail packet information over sensor network

No.	Contents	Bytes	Offset
1	start delimiter	1	0
2	packet id	1	1
3	time to be sent	4	2
4	command	1	6
5	source id	4	7
6	joystick X data	4	11
7	joystick Y data	4	15
8	dummy (for throughput test purpose)	vary	19
9	end delimiter	1	vary

Fig. 3(b)와 같이 샘플링을 10msec로 고정시키고, 더미값을 변경하여, 패킷량에 따른 전송률을 측정하였다. 지그비의 최대 전송률인 250kbps에 근접하게 측정되었다.

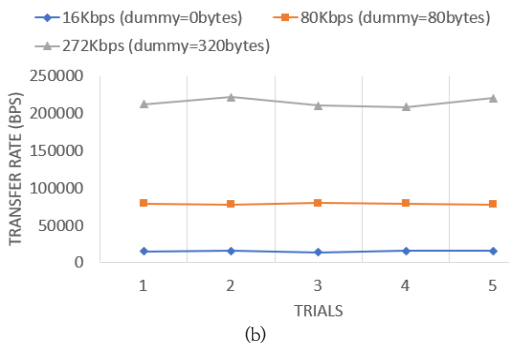
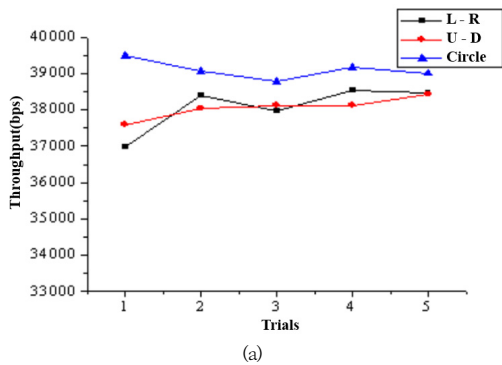


Fig. 3. Transfer rate measurement. (a) Data throughput over 3 different gestures, such as L-R : Left and Right gesture. U-D : Up and Down gesture. Circle: Circle gesture. (b) Transfer rate measurement with different dummy values.

데이터 전송을 위해서 특정 데이터 패킷 포맷을 사용하는, Table 3과 같이 데이터 전송률을 테스트하기 위해서 더미 필드를 두고 실제 전송되는 데이터 패킷 사이즈를 변경할 수 있게 하여, 소프트웨어 변경 없이도 여러 가지의 전송패킷 사이즈들을 테스트함으로써, 다양한 데이터 전송량을 측정할 수 있게 설계를 하였다.

여러 개의 센서 노드가 움직이고 있을 때의 접속 지연률을 측정하였는데, 지그비의 안정적인 전송거리인 방(room) 거리가 적합하고, 이 거리안에 여러 개의 센서가 존재하면 크게 네트워크의 토폴로지가 손상되지 않기 때문에, Fig. 4에서 보인 바와 같이 지그비의 전송거리 안에 여러 개의 센서 노드를 두는 것이 안정되게 전송할 수 있음을 보여 주었다.

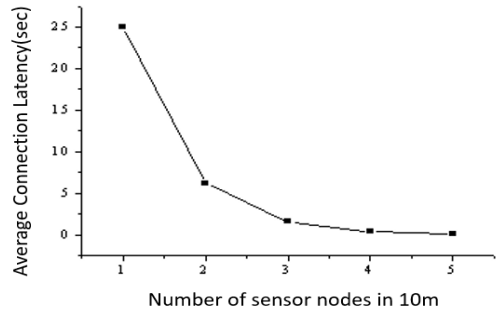


Fig. 4. Average connection latency vs number of sensor nodes.

## 4. 결론

본 논문에서 웨어러블 자기장 센서 디바이스가 하드웨어적으로 어떻게 구성되는지를 소개하였다. 이러한 배경에서 센서 네트워크를 적용할 때 고려해야 할 점들을 지적하고, 문제점들을 해결하기 위한 방법들을 제시하였다. 특히 무선통신 프로토콜 중에 하나인 지그비를 사용하여 웨어러블 자기장 센서 디바이스에 구현하여, 무선센서 네트워크를 통해서 통신하는 방법을 소개하였다. 여러 무선통신 프로토콜들 중에 지그비를 선택한 배경을 제시하였다. 특히 웨어러블 자기장 센서 디바이스의 특징을 잘 고려한 상태에서 적용하였다.

본 논문에서는 실험을 통하여 지그비 센서 네트워크에서 실제 웨어러블 자기장 센서 디바이스가 운영 중일 때 데이터 전송률의 결과를 제시하였다. 또한 센서 네트워크에서 토폴로지와 관계된 센서 노드의 개수에 따른 네트워크 연결지연 결과들을 보였다. 따라서, 지그비의

데이터 전송량이 30K 바이트에서 40K 바이트의 성능을 보여서 본 논문의 시스템에 적합하다고 증명하였다. 센서 노드의 접속 지연률을 고려할 때 3~4개 이상의 센서 노드가 있을 때 3초 내로 존재함으로, 일정 개수 이상의 노드가 필요함을 증명하였다.

## References

- [1] H. Ketabdar and *et al.*, "Towards using embedded magnetic field sensor for around mobile device 3D interaction" Proceedings of the 12<sup>th</sup> international conference on human compture interaction, September 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/1851600.1851626>
- [2] Firdaus and *et al.*, "ZigBee and wifi network interface on Wireless Sensor Networks" 2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics, March 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/MICEEI.2014.706731>
- [3] I.F. Akyildiz and *et al.*, "Wireless sensor networks: a survey" Elsevier Volume 38, Issue 4, pp393-422, March 2009.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4)
- [4] 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>
- [5] 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: <https://10.1109/TIE.2005.858736>
- [6] M. Kohvakka and *et al.*, "Performance analysis of IEEE 802.15.4 and ZigBee for large-scale wireless sensor network applications" Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ACM international workshop on performance evaluation of wireless ad hoc, sensor and ubiquitous networks pp. 48-57, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/1163610.1163619>

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