

인체 임피던스를 이용한 양방향 통신 시스템의 설계

김원준^a, 송교용^a, 김영필^a, 고동영^a, 김정한^{a*}

Development of a Half-Duplex Communication Device for Use via Human Skin

Won-Jun Kim^a, Kyo-Yong Song^a, Young-Pil Kim^a, Dong-Young Ko^a, Jung-Han Kim^{a*}^a Mechanical System Design Engineering of Seoul National University of Science & Technology,
232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	17	August	2015
Revised	23	September	2015
Accepted	1	October	2015

Keywords:

Full-duplex communication (FSK)
Body area network (BAN)
Human body communication
Frequency shift keying

ABSTRACT

In this study, a half-duplex mutual communication device via human skin was developed. Frequency-shift keying (FSK) digital modulation and demodulation control were used to transmit and receive data. Data communication through the human body is an effective communication technique and has high-grade security characteristics. In addition, making contact is a natural instinct of humans. Transmitting data through the human body is currently a highly conspicuous technology, because recently a lot of commercial sensors for humans have been developed. A body area network (BAN) can be easily constructed by this communication method on human skin. In this study, a half-duplex FSK mutual communication device was developed using a commercial FSK modulator and demodulator. A special control switching circuit and communication sequence were developed for mutual communication through human skin.

1. 서론

1.1 인체피부를 이용한 통신

인체통신이란 약간의 전도성을 갖는 우리 몸인 인체를 통신 매개체로 이용하여 인체와 접촉되어 연결되는 기기들 간에 정보를 전달하는 기술을 말하는 것으로, 최근 유비쿼터스 환경의 구축과 더불어 많은 관심과 기대가 커지고 있는 기술이다. 인체 통신의 큰 장점 중 하나는 사용자를 중심으로 손쉽게 네트워크를 구성할 수 있다는 점이며, 별도의 케이블 없이도 간단한 신체 접촉만으로 편리한 기능과 보안 기능을 구현할 수 있다는 점이다. 최근 들어 스마트폰을 이용한 다양한 의료 관련 센서가 개발되고 있는데 질병예방 및 건강 모니터링에 사용되는 이러한 센서들은 본 기술을 사용하면, 간

단하게 인체 영역 네트워크(BAN: body area network)를 구성할 수 있으며, 보다 인간 친화적인 시스템을 구축할 수 있다^[1].

인체를 이용한 유선통신의 개발은 1990년대로 거슬러 올라가는데, MIT의 Zimmerman^[2]은 사람의 피부를 이용하여 9,600 bps로 통신하는 시스템을 처음 개발하였고, 이후 마이크로소프트와 NASA에서도 인체에 장착된 기기들의 통신설계에 대한 다양한 방법과 실험을 테스트하였다. 동경 대학교의 Hachisuka^[3]는 인간의 심전도 신호를 인체통신을 이용하여 외부기기로 전달하는 장치를 개발하였고, 국내에서도 한국전자통신연구원에서 생체신호계측신호 및 음악 등의 신호를 전송하는 연구를 수행하였다. 최근에는 FSDT(frequency selective digital transmission)라는 신기술을 고안하여 디지털 신호의 코드선택을 이용하여 전송 주파수 대역을

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6397

Fax: +82-2-970-8270

E-mail address: hankim@seoultech.ac.kr (Jung-Han Kim).

가변할 수 있는 새로운 모듈레이션 기법을 개발하였다. 유선 통신 이든 무선통신이든 보내고자 하는 신호를 원거리로 전송하려면 변조 및 복조 시스템이 반드시 필요한데, 최근 들어 디지털 기기의 급격한 발전으로 디지털 변조방식인 ASK(amplitude shift keying), FSK(frequency shift keying) 등의 기술들이 크게 발전하였고 또 널리 사용된다.

본 연구에서는 현대의 통신기법 중 일반적으로 많이 사용되는 FSK 기법을 사용하여 인체통신을 구현하였고 기술의 유용성을 시연하기 위하여 악수에 의하여 명함을 교환하는 시스템을 구현하였다.

FSK 변조방식은 주파수의 선택을 달리하여 데이터를 구별하는 방식으로 이미 널리 사용되고 있어서 상용화된 변복조 칩을 구하기가 쉽고, 저가의 마이컴을 사용해서 데이터를 처리하기가 용이하다. 그런데 FSK 변조방식을 실제로 사용하여 양방향성을 갖는 인체통신장치를 개발해 보면 사람의 신체가 가지는 임피던스 특성, 변조장치의 지속적인 송신과 생성으로 인한 반향파의 존재 및 전송 신호의 기준이 되는 GND 신호의 부재로 인하여 양방향 통신을 구현하기가 매우 어렵다⁴⁾. 본 학부 졸업 작품 연구에서는 양방향 통신이 가능하도록 아날로그 스위치(analog mux)와 시간 제어기법을 새로이 개발하여 구조가 간단하면서도 별도의 비콘이나 토클링 기법을 사용하지 않고 half-duplex 방식의 양방향 통신이 가능하도록 장치를 설계하였다.

인체통신 기술을 활용하면 특별한 잠금장치, 특수코드 전화기, 보안데이터의 전송, 전자화폐의 지불 등 다양한 장치를 개발할 수 있는데⁵⁾, 시간적 비용적인 면을 고려하여 본 연구에서는 기본적인 적용분야인 두 사람이 악수했을 때 서로간의 명함이 시간차를 두고 양방향(half-duplex 방식)으로 전송되는 시스템(이하 바이오키)을 개발하였다.

명함교환을 원하는 2명의 사람이 각각 master와 slave기능을 갖고 있는 본 작품을 각자 팔에 부착한 뒤, 통신장치를 가동한 후 악수를 하게 되면, master 및 slave가 순서대로 정보를 송신함으로써 상호간의 이름, 연락처, e-mail 등 서로간의 정보가 인체의 피부를



Fig. 1 Data exchange by skin contact

통해서 전달되게 된다.

본 연구에서의 차별점은 기존의 상용화된 FSK 변조칩을 사용하여 인체의 피부를 통한 단방향이 아닌 양방향 통신을 구현하였으며, 이에 대한 기술적인 어려움과 해결책은 2절에 자세히 설명하였다.

2. 본 론

2.1 인체통신을 위한 FSK 변조장치의 설계

마이컴에 내장되는 이진화된 정보는 디지털 신호, 즉 0과 1의 신호로 모든 정보를 표기하므로, 인체통신 시스템에서도 디지털 신호를 처리를 고려하면 디지털 변복조 방식이 유리하다. 다양한 변복조 방법 중 비교적 간단하게 구현할 수 있고, 개발과정에서의 신호의 검증이 유리한 FSK방식을 택하여 개발하였다. FSK방식은 2개의 별도의 주파수를 사용하여 0과 1의 정보를 보내는 방식이며, Fig. 2는 FSK 방식의 원리를 도시한 그림이다. FSK 전송방식은 1 Mhz 이하의 고주파 전송에서 안정적인 성능을 보여주며, 소형의 칩셋으로 구현하기 용이하다.

본 연구에서는 마이컴과 인터페이스가 용이하고 주변회로가 최소화 되는 FSK 모듈레이터로 EXAR의 XR2206 칩을 선정하여 설계하였다. 실제 저주파용을 사용할 수 있는 FSK 모듈레이터 칩은 종류가 많지 않은데 EXAR의 XR2206 칩은 손쉽게 구할 수 있으며, ‘바이오키’라 이름 붙인 명함 교환기를 소형화 하는데 도움을 준다.

Fig. 3은 Exar의 XR2206을 정현파 FSK 발진 모드로 사용할때의 주변회로를 도시한 것이다. 여기서 R1과 R2, C의 값에 따라 FSK 변조 모드에서의 ‘Low’일 때의 주파수 f_L 와 ‘High’일 때의 주파수 f_H 를 설계할 수 있다.

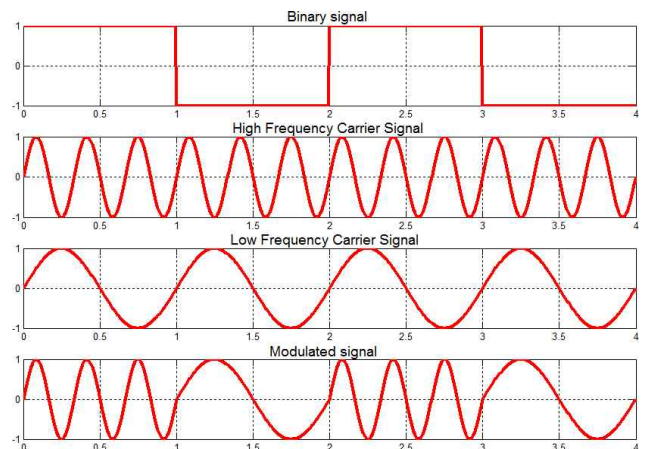


Fig. 2 Signal example of FSK modulation

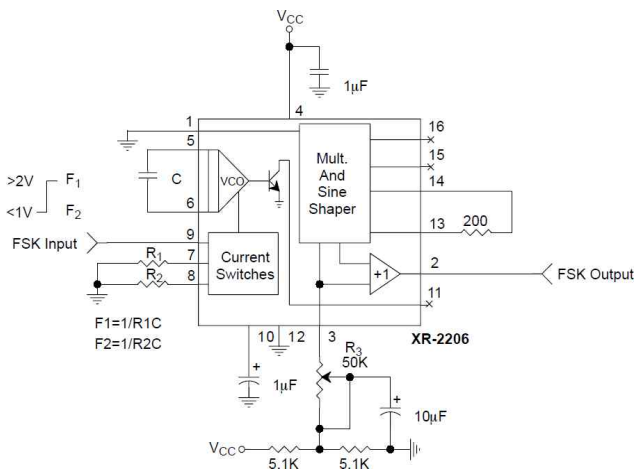


Fig. 3 Sinusoidal FSK generator using XR-2206

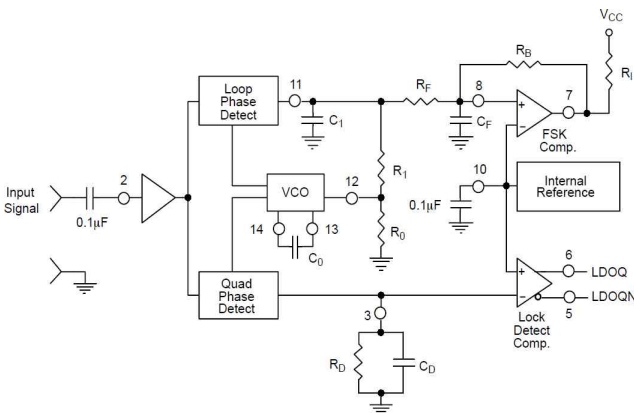


Fig. 4 FSK Demodulator circuit using XR-2211

$$\text{High frequency (kHz)} : f_H = \frac{1}{R_1 C} \quad (1)$$

$$\text{Low Frequency (kHz)} : f_L = \frac{1}{R_2 C} \quad (2)$$

본 연구에서는 인간에게 불쾌감을 주지 않는 저역대의 주파수를 선정하여 high frequency (f_H)를 133 kHz로 정하였고, low frequency (f_L)를 109 kHz로 설계하였다. Fig. 3의 좌측에 도시된 FSK input (pin 9)에 입력되는 데이터는 low/high에 따라 FSK로 변조되어 Fig. 2와 같은 정현파의 FSK 신호로 변조되어 출력된다. 예를 들어 pin 9에 들어오는 신호가 2 V보다 크다면 R1이 활성화되어 133 kHz의 신호가 생성되고, 2 V보다 작다면 R2가 활성화되어 109 kHz의 신호가 출력된다. 원하는 주파수를 위해 C의 값을 1,000 pF (data sheet 권하는 값)으로 고정한 후, R1의 값을 9.1 K Ω , R2의 값을 7.5K Ω 로 설계 하였다.

관련 연구에 따르면 사람의 피부에 흘릴 수 있는 최대 안전 전류는 초당 20 mA라 한다. 사람은 1 mA 정도일 때 약한 느낌, 10 mA일 때 불쾌감을 느끼기 시작하며, 50 mA가 넘어가면 위험하다는 연구결과가 있다^[6]. 따라서 본 연구에서는 인체에 해롭지 않은

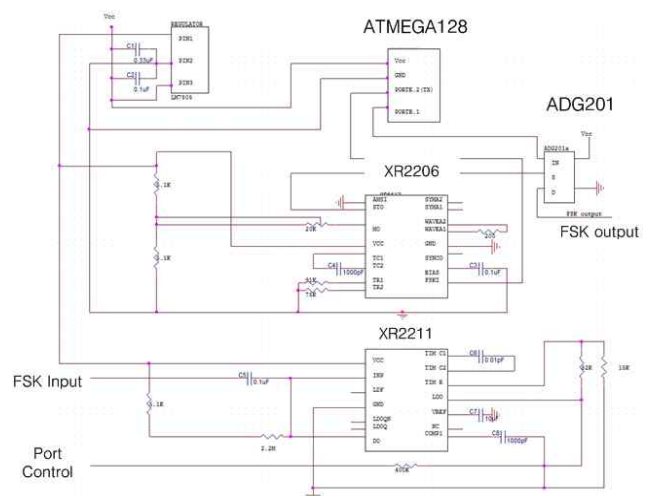


Fig. 5 TX-RX circuit of FSK with a micromicro

저역대의 주파수(133 kHz, 109 kHz)를 사용하며 1 mA 이하의 전류가 순간적으로만 흐르도록 하여 사람이 인지하지 못하도록 설계하였다.

2.2 인체통신을 위한 FSK 복조장치의 설계

인체 피부의 임피던스를 이용하여 전달된 FSK 신호를 수신인 쪽에서 복조하기 위한 회로를 설계하였다. FSK 복조기술은 EXAR의 XR2211을 사용하였으며, 가장 효율적이고 단순한 기능을 사용하여 경험의 부족에서 오는 시행착오를 최소화 하였다.

2.1절에서 설명한 복조회로와 대응되는 변조회로의 설계치를 계산하는 프로세스를 정리하면 다음과 같다. 복조회로의 설계 프로세스 :

a) VCO Free-running frequency (f_0) :

$$f_0 = \frac{1}{R_0 C_0} \text{ Hz} \quad (3)$$

(단, 10 K Ω < R_0 < 100 K Ω , 200 pF < C_0 < 10 uF)

b) $C_0 = \frac{1}{R_0 f_0} \quad (4)$

c) $R_1 = \frac{2R_0 f_0}{(f_H - f_L)} \quad (5)$

d) $C_1 = \frac{1250 C_0}{R_1 C^2} \quad (6)$

e) $V_{ref} = \frac{V_{cc}}{2} - 650mV \quad (7)$

2.3 송수신부 통합회로 및 마이컴의 설계

양방향 통신이 가능한 인체통신 장치를 만들기 위해서는 하나의 마이컴(Atmega128)에 변조장치인 XR2206과 복조장치인 XR2211가 같이 결합 설계되어야 한다.

구동전압은 정류를 위하여 LM7805를 사용하였으며, 일반 포트

와 마이컴의 UART를 사용하여 설계하였다. 완성된 회로의 주요 부분은 Fig. 5에 도시하였다.

2.4 Half-duplex 방식의 양방향 통신 회로설계

FSK 방식의 데이터 모듈레이션은 상용화된 고주파 무선통신 기기에서 많이 사용하고 있으나 인체통신에 적합한 저주파용 FSK 모듈레이션 칩은 그 종류가 많지 않다. 본 연구에서는 EXAR사의 XR2206과 XR2211을 사용하여 장치를 설계하였다.

인체 통신에서는 인간의 피부가 하나로 연결되어 있으므로, TX(송신) 신호와 RX(수신) 신호를 별도의 라인에 의해서 구성하는 full-duplex 방식의 통신을 구현하기 힘들다. 또한 별도의 그라운드(GND) 라인이 없으므로 조그마한 노이즈에도 매우 취약하다. 따라서 하나의 라인(피부 임피던스)에서 송신과 수신을 시간 차이를 두고(time sharing) half-duplex 방식으로 송수신기를 설계하여야 하며, 인체의 피부와 주변에서 생성되는 노이즈에 대한 방지 설계가 되어야 한다⁷⁾.

그런데 여기서 기술적으로 더욱 어려운 점은 송신 모듈레이터인 XR2206이 데이터를 전송하고 있지 않는 상태에서도 정확한 주파수 생성을 위하여 PLL이 가동되어 끊임없이 반송파를 생성하고 있다는 점이다. 만약 인체통신에서 단방향 통신만 사용한다면 변조기에서 생성되는 반송파가 큰 문제가 없으나 단일 전송라인(인체 피부)을 사용하는 인체통신에서는 이러한 특징은 두 개의 변조기와 하나의 전송라인을 사용해야 하므로 양방향 전송을 불가능하게 만든다.

본 연구에서는 여러 시행착오를 거듭하여 아날로그 스위치와 전송 시퀀스 및 송수신의 시차를 이용한 해결책을 찾아내었다. Analog device사의 아날로그 스위치 ADG201은 디지털에서의 mux와 비슷한 역할을 아날로그 회로에서 사용할 수 있게 해주는 칩이다. 아날로그 스위치는 단일 전송라인상에서 송수신 채널 상호 생성되는 두 개의 반송파를 마스터에서 슬레이브로, 혹은 슬레이브에서 마스터쪽으로 데이터를 시간차이를 두고 격리시켜 준다.

다음의 Fig. 7은 인체피부를 이용한 FSK 양방향 통신의 시퀀스를 도시한 것이다.

통신의 순서는 데이터 충돌을 회피하기 위하여 우선 마스터가 명함의 데이터를 전송하고, 이후에 슬레이브가 마스터에게 데이터를 전송하는 방식으로 이루어진다. 통신 스피드는 대략 1,200 bps 정도로 설계하였다.

2.5 외형설계 및 작동사진

Fig. 8은 UG사의 NX 프로그램을 이용하여 수행한 외형설계를 최종적으로 3D 모델링한 것이다. 최대한 착용에 불편함이 없도록 팔에 닿는 모든 부분을 곡선화 하였고, 전원 토글 스위치와 여러 가지 기능을 위한 푸쉬 스위치, LCD가 정밀하게 맞도록 설계하였다.

전원 배터리 충전을 위한 배터리 충전 커넥터 구멍 및 프로그램 변경을 위한 ISP 연결 커넥터 구멍도 설계 도안에 포함하였다. 염

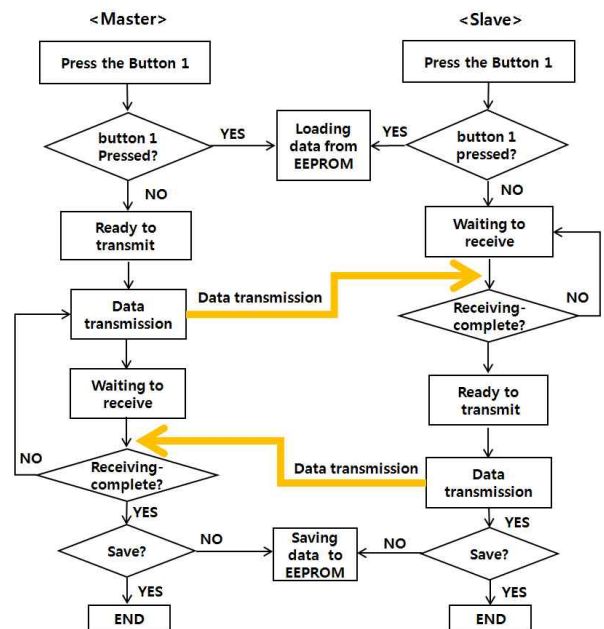


Fig. 7 Flowchart of mutual communication by human skin

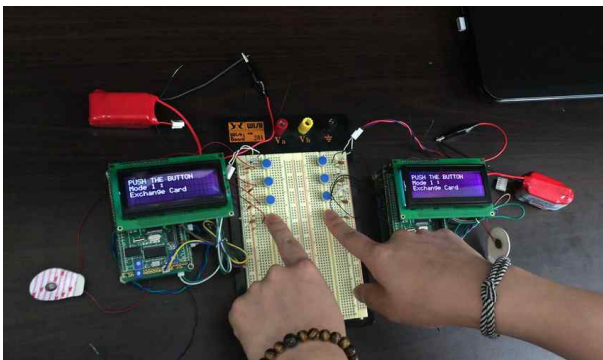


Fig. 6 Half-duplex data exchanger by FSK

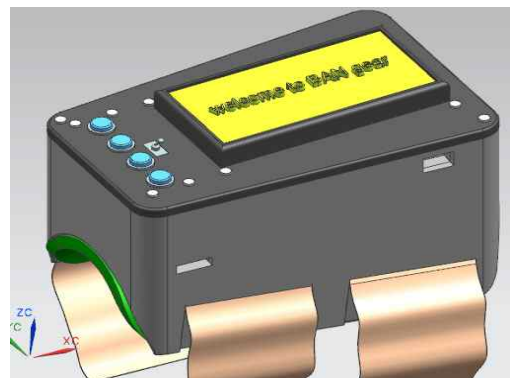


Fig. 8 3D modeling of BIOKEY



Fig. 9 Name card exchange demo

가형 부품들을 사용하여 부피가 다소 커진 부분은 있지만 시제품으로써 가지고 있어야 할 최소한의 기능은 다 포함하고 있으며, 교환된 명함의 저장, 커내보기 및 PC와의 연결기능 등 실제 사용에 필요한 필수요소 기능은 모두 다 포함하고 있다.

Fig. 9는 최종 조립까지 완료한 BAN gear를 착용한 모습이다. 3D프린터로 외형을 출력하였으며, 4개의 버튼 스위치는 각각 명함 전송, 저장 한 명함 불러내기, 저장하기, 메인 화면으로 돌아가기의 기본 기능 할당이 되어있다. 총 저장 가능한 명함의 수는 3개이며, 명함 교환이 완료되기까지 약 8초의 시간이 걸린다. 이는 악수를 하며 간단하게 자기소개를 마칠 정도의 시간이다. 교환된 명함은 각자의 LCD에 네 줄로 이름, 연락처, 소속, email가 표시되어 육안으로 확인이 가능하다. 작품의 크기는 약 15×7×7 cm로 웨어러블이라 말하기엔 다소 크다고 할 수 있지만, 실제로 사용된 부품들이 본과제의 전용 PCB로 제작된 것이 아니기 때문에 부득이하게 배터리, 스위치 등의 크기 때문에 전체적으로 사이즈가 커졌지만 실제로 배터리 및 스위치 등을 제외하면 큰 부피를 필요로 하는 부품이 없으므로 향후 모듈의 소형화 작업은 큰 무리 없이 콤팩트하게 제작이 가능하다고 사료된다.

3. 결론

본 연구에서는 인체피부의 임피던스를 사용하여 양방향 통신이 가능한 인체 통신 기술을 설계 개발하였다. 디지털 신호의 전송을 위하여 최근 상용화 제품에 많이 사용되는 FSK 변복조 방법을 활용하였으며, 개발된 기술의 시연을 위하여 명함을 교환하는 시스템을 개발하였다. 실제 FSK 기술을 사용하여 이러한 데이터 교환장치를 개발하려면, 인체의 임피던스 특성을 잘 고려하여야 하는데, 손을 맞잡은 인체의 피부는 단일 임피던스로 full-duplex 타입의 통신 설계가 쉽지 않고, 송수신시 발생하는 데이터 충돌을 효율적

으로 방지하여야 한다.

본 연구에서는 시중에서 널리 구할 수 있는 상용 변조칩, 아나로그 스위치(analog mux) 및 특별한 송수신 제어 시퀀스를 사용하여 양방향 통신이 가능한 효율적인 half-duplex 데이터 교환장치를 개발하였다.

개발된 인체통신 기술은 단순히 명함교환등에만 활용될 수 있는 것이 아니라, 특별한 보안장치, 스마트폰을 사용한 웨어러블 장치 간의 통신, 환자의 모니터링 기술 등 BAN(body area network)가 필요한 다양한 장치에 활용가능하다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교의 교내 학술 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Choi, N. H., 2009, Link Budget and System Design for Off-body Communication of WBAN System, A Thesis for a Master, Inha University, Republic of Korea.
- [2] Zimmerman, T. G., 1996, Personal Area Networks: Near-field Intrabody Communication, IBM System Journal, 35:3/4 609-617.
- [3] Kang, S. W., Park, H. I., Park, K. H., 2013, Trends of Human Body Communications, Altair Engineering Inc.
- [4] Bae, J. S., 2013, A Low Energy Wireless Body Area Network Transceiver with Scalable Double FSK Modulation, A Thesis for a Doctorate, KAIST, Republic of Korea.
- [5] Matsushita, N., Tajima, S., Ayatsuka, Y., Rekimoto, J., 2000, Wearable Key: Device for Personalizing Nearby Environment, Proc. Fourth Int. Symp. Wearable Comput., 119-126.
- [6] Fish, R., Geddes, L., 2009, Conduction of Electrical Current to and Through the human body: A Review, Open Access Journal of Plastic Surgery, 9 407-421.
- [7] Nadeem, A., Hussain, M. A., Owais, O., Salam, A., Iqbal, S., Ahsan, K., 2015, Application Specific Study, Analysis And Classification of Body Area Wireless Sensor Network Applications, Computer Networks, 83 363-380.