

고위험 작업환경에서 응급상황 인지를 위한 직물형 플렉시블 플랫폼 기반의 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템 개발

전 기 만*, 고 광 철*, 이 현 민**, 김 영 환**

Development of Textile Fabrics Flexible Platform based Multiple Bio-Signal Central Monitoring System for Emergency Situational Awareness in High-Risk Working Environments

Ki-Man Jeon*, Kwang-Cheol Ko*, Hyun-Min Lee**, Young-Hwan Kim**

요 약

본 논문에서는 특수 작업자들의 생체신호(심박, 체온, 심전도, 근전도)와 추가적인 상황정보(3축 가속도, 온도, 습도, 조도, 주변 영상)를 획득하고 모니터링 할 수 있는 직물형 플렉시블 플랫폼 기반의 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템을 구현한다. 이 시스템은 원격지에서 작업 환경 내에 발생할 수 있는 각종 사고를 예방하고 작업자가 처해있는 상황을 실시간으로 인지하여 조속하고 효율적인 조치를 취할 수 있다. 이를 위한 직물형 플렉시블 플랫폼은 생체신호와 상황 정보의 획득이 작업자의 관련 업무 수행에 방해가 되지 않게 하기 위해 이너웨어 또는 아웃웨어 형태로 제작하였고, 획득된 정보들은 무선 통신을 이용하여 중앙 모니터링 시스템에 전송 가능하도록 하였다. 중앙 모니터링 시스템은 WMTS(Wireless Medical Telemetry Service)의 의료전용 무선통신을 기반으로 최소 2명에서부터 32명까지 동시에 모니터링 할 수 있으며, 추가 확장 가능한 구조로 설계 하였다. 또한 본 논문에서는 제작된 WMTS 통신 모듈의 성능을 검증하기 위하여 거리에 따른 패킷 수신율을 비교하여 분석하였다.

▶ Keywords : 직물섬유 플렉시블 플랫폼, 중앙모니터링 시스템, 의료전용 무선 통신, 의료 IT 융합

Abstract

The purpose of this paper is to implement a multiple bio-signal central monitoring system based on

•제1저자 : 전기만 •교신저자 : 고광철

•투고일 : 2014. 10. 29, 심사일 : 2014. 11. 13, 게재확정일 : 2014. 12. 03.

* 한양대학교 전기생체공학부(Division of Electrical and Biomedical Engineering, Hanyang University)

** 전자부품연구원 메디컬IT융합연구센터(Medical IT Convergence Research Center, Korea Electronics Technology Institute)

textile fabrics flexible platform which can obtain and monitor bio signals(heart rate, body temperature, electrocardiography, electromyogram) of workers in special working environments and additional situational information (3-axis acceleration, temperature, humidity, illumination, surrounding image). This system can prevent various accidents that may occur in the remote work environment and provide fast and efficient response by detecting workers' situations in real-time. For it, the textile fabrics flexible platform was made as innerwear or outerwear so that it does not interfere with workers' performance while collecting bio-signal and situational information, and obtained information is sent to the central monitoring system through wireless communication. The central monitoring system is based on wireless medical telemetry service of WMTS (Wireless Medical Telemetry Service); can monitor from 2 to 32 people simultaneously; and was designed so that it can be expanded. Also, in this study, to verify performance of the WMTS communication model, packet transmission rates were compared according to the distance.

▶ Keywords : Textile fabrics flexible platform, Central monitoring system, Wireless medical telemetry service, Medical IT convergence

I. 서 론

최근 급속히 발전하는 IT기술과 BT기술은 사람들의 건강 산업(Health Industry)에 대한 관심을 증폭시켰고, 환자의 질병 완화와 치료를 목적으로 하는 건강관리(Healthcare)분야 뿐만 아니라 건강한 사람을 대상으로 질병의 예방 및 체력 증진을 목적으로 하는 복지(Wellness) 분야에 대한 관심도 높이고 있다.

이러한 현상은 유비쿼터스 네트워크 환경과 융합하여 u-Health라는 분야로 발전되었고, 최근 u-Healthcare 분야는 이러한 통신 기술의 발달에 힘입어 병원이나 의료 기관에만 국한 되어 있던 기존의 한계에서 벗어나 가정(Home), 이동(Mobile), 사무실(Office) 및 특수 기관(경찰, 군사, 소방 등)으로 적용 가능한 산업 영역을 확장해 가고 있는 추세이다.

이 중 경찰, 군사, 소방 등 특수 기관에 종사하는 직업들은 항상 생명에 위협을 받는 업무를 수행하고 있으며, 실제 경찰청과 소방방재청에서 조사한 통계에 따르면 매년 평균적으로 경찰관은 약 2,283명, 소방관은 약 340명의 순직 및 공사상자가 발생한 것으로 나타났다. 이밖에 노동부에서 발표한 산업재해 현황에서는 매년 소폭으로 감소하고 있는 추세이긴 하나 현재까지 여전히 재해율이 0.7% 이상을 유지하고 있고,

이 중 위험도가 높은 조선업에서는 재해율이 평균 약 1.7%에 달하고 있다. 이러한 고위험 작업환경에서의 사건 사고는 1차적인 피해에서 그치지 않고 사상자들의 외상 후 후유증 및 스트레스로 인한 우울증, 정신적 질환 등 2차적인 피해로 이어질 수 있으며, 이로 인해 야기되는 자살률은 매년 증가하고 있는 추세일 뿐 아니라 사회의 안전을 책임지는 직업군의 자살률 증가는 일반인들의 자살률 증가보다 더 큰 사회적 문제로 대두되고 있다. 때문에 위험도가 높은 작업 환경에서의 작업자들에 대한 안전과 사고 예방을 위한 대책이 시급한 실정이며, 응급상황을 빠르게 인지하여 조속하고 신속한 조치를 취할 수 있는 방법에 대한 강구가 절실히 필요하다.

이에 본 논문에서는 경찰, 군사, 소방 등 특수 직업 및 고위험 작업 환경에 종사하고 있는 작업자들의 생체신호와 환경정보를 획득하고 모니터링 할 수 있는 직물형 플렉시블 플랫폼 기반의 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템을 구현함으로써, 대상이 처해있는 상황을 실시간으로 인지하여 조속한 조치를 통해 관련 업무 수행 능력을 극대화시키고, 작업 환경에서 발생할 수 있는 각종 사고의 예방과 공공의 안전을 향상시키는 데 활용 가능한 서비스 제공의 기반 기술을 확보할 수 있는 계기를 마련하고자 하였다. 이를 위한 본 논문의 구성은 II장에서 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템과 관련된 이론에 대해 설명하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템의 구조와 핵심 모듈 설계 및 응급상황 인지 알고리즘을 나타내었다. 그리고 IV장에서는 구현된 시스템과 성능평가를 위한

실험에 대한 결과, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 내리며 끝을 맺는다.

II. 관련 연구

생체 신호 모니터링을 위한 웨어러블 헬스케어 시스템은 용도별로 생체 신호 모니터링용, 운동량 측정을 통한 체중관리 및 운동평가가 그리고 건강 및 안전 감시용등으로 구분되고 있으며, 주로 심장의 전기적 및 역학적 활동 신호 모니터링 기기 위주로 국내외에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 에너지 소비 추정과 낙상 및 응급상황을 인지할 수 있도록 가속도계를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구는 응급상황을 감지하는 방식에 따라 크게 2가지로 구분할 수 있는데, 하나는 영상정보를 이용하여 낙상의 상황을 구분하는 방법과 또 다른 방법은 낙상 대상자에게 센서를 부착하여 낙상을 검출하는 방법이다[5]. 영상정보를 이용한 방법은 영상을 네트워크를 사용하여 전송하기 때문에 네트워크의 사용 과다 및 캡코더가 획득할 수 있는 영상에 대한 낙상만 검출할 수 있다는 단점이 있으며, 센서 부착 방법은 신호의 획득 측면에서 전극이나 센서의 위치 선정, 사용자의 무구속적 및 무인지적 특성을 고려해야 하는 상황 등 아직도 해결해야 할 문제점들이 많이 남아있다.

생체 신호 모니터링에 사용되는 중앙 모니터링 시스템은 주로 의료용으로서 병원에서 사용되고 있으며, 다양한 의료기기들에서 동시 다발적이고 복합적인 데이터들을 동시에 수집하여 하나의 의료장비로 환자의 상태를 확인할 수 있으므로 의사 및 간호사 등 의료기관 관계자의 업무 효율이 향상될 수 있다. 하지만, 다양한 의료기기들이 제각각 제조사가 다르고 동일한 통신 규격을 따르고 있지 않기 때문에 서로간의 전파방해와 주변기기들의 간섭으로 신호가 왜곡될 수 있는 단점이 있으며, 이러한 병원이라는 특성상 기존의 중앙 모니터링 시스템은 대부분 유선의 한계성과 이동성의 제한을 갖는다[10].

의료용 무선 통신 주파수 대역은 이러한 혼잡한 주파수 상의 의료 환경에서 무선통신 기술의 신뢰를 강화하고 의료기기 간의 상호 호환성 문제를 해결할 수 있다. 의료용으로 사용되고 있는 주파수 대역에는 Wireless Medical Telemetry Service(WMTS) 대역, Medical Implant Communications Service(MICS) 대역 및 Industrial Scientific and Medical(ISM) 대역이 있다. WMTS 대역을 사용하는 대표적인 병원용 통신망은 PatientNet으로 병상의 환자감시장치들이 중앙모니터링시스템(Central Monitoring System, CMS)으로 환자의 현재 상태를 무선

으로 전송하면 병원내 주치의에게 휴대형 뷰어를 통해 알려주는 시스템이다. MICS는 주로 인체에 이식된 심박조율기나 심세동제거기 및 인체에 삽입된 캡슐형 내시경과 같은 체내이식형 무선 의료기기들과 외부의 감시장치(모니터 또는 제어장치) 간에 원격계측 및 데이터 통신 서비스를 제공한다. ISM 대역을 사용하는 FlexNet은 휴대형 감시장치 및 병상의 환자감시장치가 응급중앙서버로 데이터를 전송하면 PDA나 휴대폰을 통해 의사에게 응급상황을 알려주는 시스템으로 ISM 대역이 의료분야에 사용되는 대표적인 예이다. 하지만 종래의 MICS 방식은 단방향 통신이고 확장성이 낮으며 주변 환경에 따라 전파 방해를 받을 가능성이 높다. ISM은 양방향 통신이 가능하고 확장성이 높으며 개방 표준이 존재하지만 역시 전파 방해를 받을 가능성이 있는 단점이 있다. 이에 비해 WMTS 대역은 병원용으로서 법적으로 보호를 받기 때문에 전파 방해에 비교적 강인할 수 있으며, MICS와 달리 양방향 통신이 가능하다[7].

미국, 유럽, 일본 등 국외 글로벌 의료기기 제조업체들은 이미 각 국가별 허용 주파수 및 법령에 적합한 다양한 제품들을 출시하고 있고, 관련 시장의 지배력을 확보하기 위해 노력하고 있다. 향후 의료기관이나 시설들이 점차 대형화 되고 더욱 첨단화 될 것으로 예상되므로 고신뢰성의 원격 모니터링 시스템 설계 기술은 High-End 시장 진입을 위한 핵심 기술 분야로 떠오를 전망이다.

III. 시스템 구성 및 설계

1. 시스템의 구성

1.1 직물형 플렉시블 플랫폼 구조

특수한 작업환경에서의 작업자로부터 생체신호를 획득하기 위해서는 생체신호를 획득해야 하는 모듈이 작업자의 관련 업무에 방해가 되거나 시스템에 구속되어서는 안 되므로, 이러한 문제점을 고려하여 보다 세심하고 정교한 시스템 설계가 요구된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 고려하여 의복(Wearable) 타입의 직물형 전극을 사용하는 탈부착이 가능한 무구속 플렉시블 PCB를 제작하여 사용하였다. 그림 1은 직물형 플렉시블 플랫폼의 구조를 나타낸다.

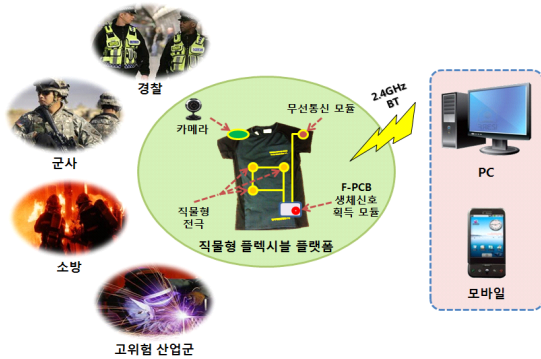


그림 1. 직물형 플렉시블 플랫폼 구조
Fig. 1. Textile Fabrics Flexible Platform Architecture

의복 내장을 위한 플렉시블 플랫폼은 심장활동을 모니터링 하는 심전도, 근피로도를 체크할 수 있는 근전도, 그리고 체온 등의 생체신호와 자세판단, 운동량, 칼로리 소모량 등의 상황 정보를 알려주는 복합형 모듈로 구성되어 있다. 이 밖에 블루투스를 이용한 무선통신 모듈과 외부의 상황을 시각적으로 인지할 수 있도록 별도의 카메라 모듈이 장착되어 있어 작업자의 모바일이나 PC를 통해 관리자에게 시각적인 데이터를 포함한 모든 데이터가 전송된다.

1.2 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템 구조

다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템은 직물형 플렉시블 플랫폼을 착용하고 있는 원격지의 여러 작업자에게서 발생한 복합 생체신호 데이터를 통합 및 관리하는 장치이며, 중앙 모니터링 시스템 모니터, 워크스테이션, 유무선 네트워크 및 DB 서버 등으로 구성된다. 그림 2는 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템의 구성을 나타낸다.

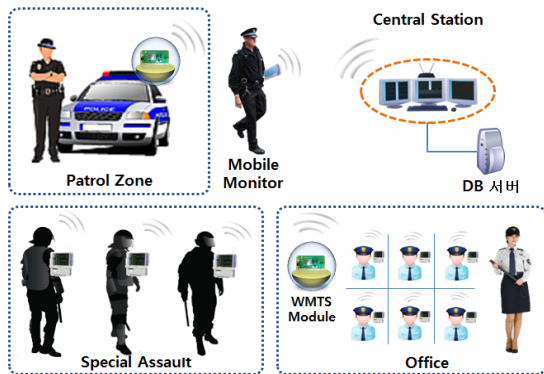


그림 2. 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템 구조
Fig. 2. Multiple Bio-Signal Central Monitoring System Architecture

다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템은 각 작업자에 설치되어 있는 직물형 플렉시블 플랫폼과 연동되는 PC나 모바일에 유무선으로 연결되어 한명의 감독자가 여러 작업자의 상태를 확인할 수도 있고, 원격지에 있는 작업자의 상태를 작업 지역 밖에서 확인할 수도 있으며, 저장매체와 DB 서버를 통하여 복합 생체신호를 저장 및 재현할 수도 있다. PC 및 모바일과 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템과의 통신은 의료진용 무선 통신 서비스 대역(Wireless Medical Telemetry Service: WMTS)을 사용하였으며, 이를 위해 WMTS 송수신 모듈과 생체신호 전용 네트워크 Access Gateway를 제작하여 사용하였다.

2. 생체신호 획득 및 무선 네트워크 모듈 설계

2.1 생체신호 획득 모듈 설계

의복 내장을 위한 F-PCB 기반 직물형 생체신호 획득 모듈은 심전도와 근피로도를 체크할 수 있는 근전도, 체온, 자세판단, 운동량, 칼로리 소모량 등을 알려주는 복합형 모듈로서 의복과의 탈부착이 용이하도록 제작되었고, 전극과 피부 사이의 임피던스 변화에 비교적 덜 민감한 계측기를 설계하기 위해 공동 모드로 발생한 전압을 부계환 회로를 연결하여 전극-피부 임피던스의 크기를 감소시켰으며, 심장의 전기적 활동 신호와 근피로도의 주파수 특성을 고려한 통합 시스템을 설계하기 위해 심장의 전기적 활동의 경우 0.01~66Hz, 근피로도의 경우 5~480Hz의 주파수 영역을 가지도록 설계하였다. 생체신호 획득에 사용된 직물 센서는 저항값이 매우 작게 변화하기 때문에 휘스톤 브릿지를 통하여 전압의 변화량을 검출하였고, 매우 작은 변화가 출력되기 때문에 능동형 소자인 차동 증폭기를 사용하여 입력단자의 신호의 차이를 획득하였다. 온도 측정 회로는 온도 변화에 따른 최종 전압 출력을 A/D 변환함으로써 얻어지며, F-PCB 기반 생체신호 획득 모듈과 PC 및 모바일과의 통신은 2.4GHz 주파수 대역을 통한 Bluetooth 방식을 사용하였다. 표 1은 플랫폼의 하드웨어 사양을 나타내며, 그림 3은 F-PCB 기반 플렉시블 플랫폼의 모습을 나타낸다.

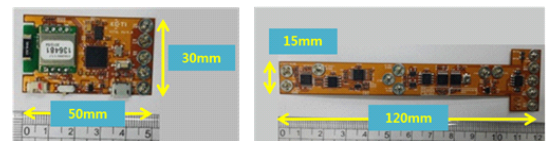


그림 3. F-PCB 기반 무선통신 모듈과 생체신호 획득 모듈
Fig. 3. F-PCB based Wireless Communication Module and Bio-Signal Detection Module

표 1. F-PCB 기반 직물형 플렉시블 플랫폼
Table 1. H/W Specifications of F-PCB based Textile
Fabrics Flexible Platform

Processor	PIC18F4523
Analog Amp	TVL2201 (Military Spec.)
Accelerometer Sensor	ADXL345 (Digital sensor, ±2g, ±4g, ±8g, ±16g)
Power	DC 3.3V
Size	39×35×20(mm)
Filter	0.01Hz HPF, 66Hz LPF, 60Hz BSF
Network	Bluetooth(Parani ESD200)

2.2 WMTS 무선통신 모듈 설계

의료용으로 사용되고 있는 무선 주파수 대역에는 WMTS 대역, Medical Implant Communications Service(MICS) 대역 그리고 Industrial, Scientific, and Medical(ISM) 대역 등이 있으며, 이 중에서 WMTS은 14MHz의 대역을 갖는 의료전용의 무선주파수 대역으로써 양방향 또는 단방향으로 방송하는 전자기신호를 통해 생체신호 및 환자관련정보를 측정하고 기록하는 것으로 정의되고 있다. WMTS는 각 주파수 대역별 정해진 측정거리, 대역폭 및 특정검출방식에서의 전기장 세기의 최대를 표 2와 같이 제한하였고, 현재 608-614 MHz의 6 MHz 대역이 병원에서 주로 사용되고 있으며, 이를 지원하는 의료기 기들이 시판되고 있다.

표 2. WMTS 최대 전파 제한
Table 2. WMTS Maximum Electric Field Limits

주파수 대역	전기장 최대치	측정거리	측정 대역폭
608~614 MHz	200 mV/m	3 m	120±20 kHz
1395~1400 MHz	740 mV/m	3 m	1 MHz
1429~1432 MHz	740 mV/m	3 m	1 MHz

본 논문에서는 608-611 MHz의 주파수 대역을 갖는 WMTS 통신 모듈을 설계하여 사용하였으며, 동시다발적으로 전송되는 복합 생체신호를 중앙 집중하기 위해 생체신호 전용 네트워크 Access Gateway를 개발하여 데이터 전송의 핵심 허브 기능을 수행하게 하였다. 그림 4의 (a)와 (b)는 각각 WMTS 송신 모듈과 의료전용 네트워크 Access Gateway의 모습을 나타낸다.

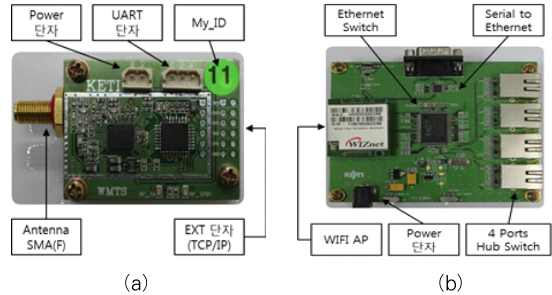


그림 4. (a) WMTS 통신 모듈 (b) 네트워크 Access Gateway
Fig. 4. (a) WMTS Communication Module (b) Network Access Gateway

그림 4(a)는 WMTS 송신 모듈의 회로 구성을 나타내며, RF Transceiver IC로는 Analog Device사의 ADF7020-1 High Performance FSK/ASK Transceiver IC를 사용하였고, 모듈 상호간의 Data 전송 프로토콜 적용을 위해 ATMEL사의 8 bit AVR Microprocessor를 사용하였다. 본 모듈은 608-611 MHz Frequency Band를 사용하는 GFSK 방식의 무선 송·수신 모듈로 모듈별 ID 설정 및 채널 설정을 통해 1:N 통신의 Data 전송을 지원하며, 전원은 2x1 Box connector를 적용하여 3.3 V를 입력받아 사용하도록 설계되어 있다. 3x1 UART Connector를 통해 PC 및 모바일과 연결되고 Receiver 모드로 설정되어 Access Gateway와 연동하기 위한 Extra 단자가 존재한다. 그림 4(b)는 Access Gateway의 회로 구성을 나타내며, 크게 2.4 GHz 대역의 WIZnet사의 WIZ610wi 모듈, IC사의 IP175C LF chip을 이용한 5port 10/100 Ethernet Integrated Switch Engine Part, WMTS 통신 모듈과 연결이 가능한 Sipex사의 SP3232E chip을 이용한 Serial to Ethernet 모듈 그리고, 3.3 V의 DC 전원을 위한 Power 단자가 존재한다. 우선 Wifi AP Chip의 유선 Port를 Ethernet Switch Chip과 연결하여 유·무선 네트워크 허브 기능을 하도록 하고, 별도로 사용된 Serial to Ethernet 모듈과 WMTS 수신 모듈의 연계를 통해 Access Gateway의 동일 네트워크 기능을 구현하여 WMTS 대역과 Wireless LAN을 동시에 사용하는 Dual Band 통신환경을 지원하도록 설계하였다.

3. 상황인지 및 응급상황 판단 알고리즘

본 논문에서는 작업자의 상황인지와 응급상황을 판단하기 위하여 ECG, 3축 가속도 센서, 체온, 자세 등의 파라미터를 복합적으로 사용하는 알고리즘을 적용하였다.

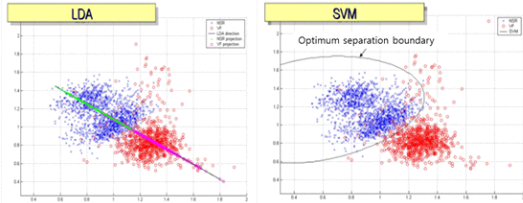


그림 5. LDA, SVM을 이용한 부정맥 검출 알고리즘
Fig. 5. Arrhythmia Detection Algorithm using LDA and SVM

ECG를 이용한 알고리즘으로는 그림 5와 같이 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 이용하여 ECG 데이터를 LDA(Linear Discriminant Analysis) 방향으로 투영하고 SVM(Support Vector Machine) 알고리즘을 적용하여 부정맥을 검출(Sensitivity: 99.75%, Specificity: 99.99%) 하였으며, 행동 추정 및 자세를 판단하기 위한 알고리즘으로는 3축 가속도 신호의 AC 성분의 신호들에 대한 평균, 표준 편차, 신호의 세기를 이용하여 동적 움직임을 분류하였다. 그림 6은 3축 가속도 신호의 AC 성분에 대한 시계열 변화를 나타낸다.

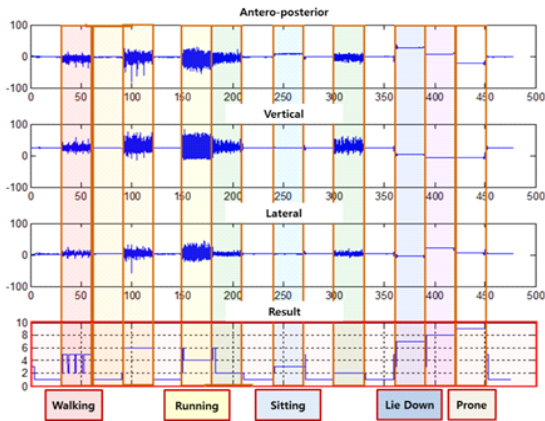


그림 6. 3축 가속도 센서를 통한 자세판단 알고리즘
Fig. 6. Poster Judgment Algorithm by 3-axis Acceleration Sensor

인체는 일반적으로 36.5℃~37.5℃의 온도를 유지하며 흔히 겨드랑이, 구강, 고막, 직장에서 측정한다. 표 3은 측정 부위와 연령에 따른 정상 체온을 나타낸다.

표 3. 측정부위와 연령에 따른 정상체온 범위
Table 3. Normal Temperature Range by Measurement Region and Age

측정부위	정상체온 범위(℃)	연령	정상체온 범위(℃)
겨드랑이	34.7~37.3	0~2	36.4~38.0
구강	35.5~37.5	3~10	36.1~37.8
고막	35.8~38.0	11~65	35.9~37.6
직장	36.6~38.0	65세 이상	36.8~37.5

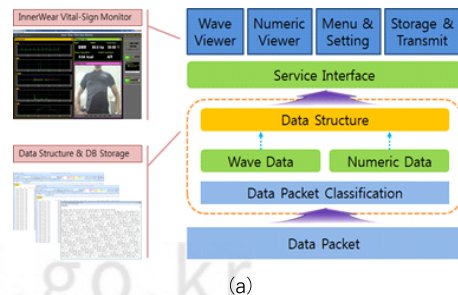
정확한 체온을 측정하기 위해서는 직장 부위에서 측정하는 것이 바람직하지만, 겨드랑이와 고막부위에서 측정하는 것이 일반적이며 본 논문에는 겨드랑이를 측정 부위로 정하였다.

IV. 시스템 구현 및 성능평가

1. 생체신호 모니터링 소프트웨어

생체신호 모니터링을 위한 소프트웨어는 의복을 착용한 작업자로부터 다양한 생체신호를 수집 받아 모니터링이 가능한 구조로 설계하였다. PC나 모바일로 전송된 복합 생체신호 데이터는 크게 Wave 데이터와 Numeric 데이터로 분류되며, 각각의 데이터는 생체신호 데이터 관리 및 저장을 위한 데이터 구조체에 임시 저장되어 이후 디스플레이 되거나 DB에 저장 및 전송된다.

인터페이스의 구성은 생체신호의 분석과 구분이 용이하도록 Wave Viewer와 Numeric Viewer로 구성되어 있으며, 필수적으로 모니터링 되어야 하는 생체신호 파라미터를 고려하여 반영하였고, 그밖에 응급 상황을 위한 Alert 설정 Menu와 작업자의 정보를 입력하고 Serial 통신 설정을 위한 Setting Bar 그리고, 데이터 저장과 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템과의 무선 전송을 위한 통신 설정 팝업메뉴 등으로 구성하였다. 그림 7은 생체신호 모니터링 소프트웨어의 구조 및 실행 모습을 나타낸다.



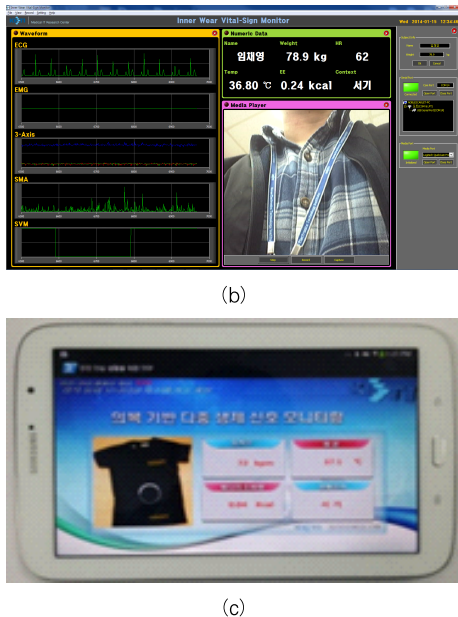


그림 7. 생체신호 모니터링 소프트웨어 (a) 소프트웨어의 구조 (b) PC 버전 실행화면 (c) 모바일 버전 실행화면
 Fig. 7. Bio-Signal Monitoring Software (a) Software Architecture (b) PC Version Running Screen (c) Mobile Version Running Screen

Waveform Viewer에 표시되는 생체신호는 ECG, EMG, 3-Axis, SMA, SVM과 같이 5가지 파라미터로 이루어져 있으며 그래프 방식으로 표시되고, Numeric Data Viewer에서는 Setting Window의 작업자 Info 입력기로부터 입력받은 작업자의 이름과 체중을 표시하고 그밖에 HR, Temperature, Energy Expenditure, Context Awareness가 표시된다. 동영상 재생기는 아웃웨어의 환경정보 데이터를 통합하여 모니터링 하기 위해 만들어진 모듈로써 별도로 제작된 아웃웨어의 카메라 모듈로부터 영상을 획득하여 화면에 출력하며, 아웃웨어에서는 환경정보(온도, 조도, 습도)를 획득하여 전송된다.

생체신호 모니터링 소프트웨어는 수집된 생체신호를 원격지에서 중앙 집중하여 모니터링 할 수 있도록 데이터를 구조화하여 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템으로 전송하며, 이를 위하여 ISO/IEEE 11073을 기반으로 하여 생체신호를 전송할 수 있는 모듈을 개발하고 패킷 구성 및 통신 프로토콜을 설계하였다.

2. 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템

다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템은 생체신호 모니터링 소프트웨어와의 시스템 연계 인터페이스 구성 및 생체신호 저장을 위한 기법을 활용하여 시스템 구조를 설계하였다. 그

림 8은 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템의 소프트웨어 구조를 나타낸다.

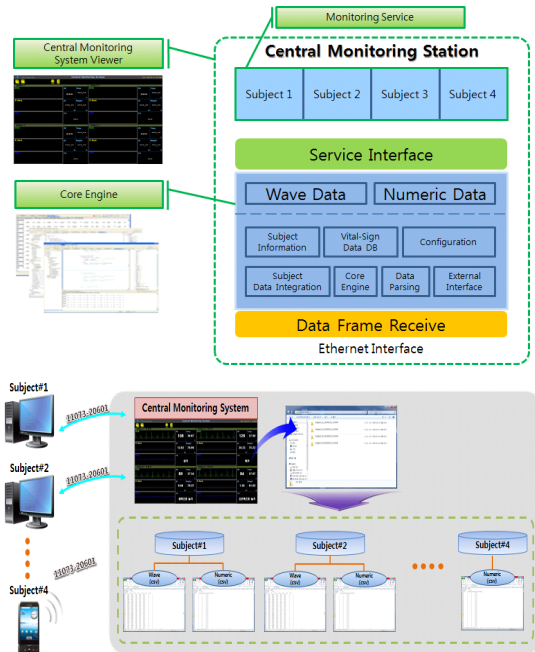


그림 8. 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템 소프트웨어의 구조
 Fig. 8. Multiple Bio-Signal Central Monitoring System Software Architecture

시스템의 통합 인터페이스는 생체신호 모니터링 소프트웨어의 구현방식을 중심으로 Wave 및 Numeric 데이터의 모니터링 위주로 구현하였고, IOCP(I/O Completion Port) 모델을 기반으로 CPU 갯수의 2배가 되는 스프레드 풀(Pool)을 생성하여 작업자 Number를 통해 작업자를 식별하고 패킷을 분류하도록 하였다.

다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템은 최대 32명까지 동시 모니터링이 가능하며 작업자의 수에 따라 확장 가능한 구조로 구현하였다. 그림 9는 다중 생체신호 중앙 모니터링 소프트웨어의 실행화면을 나타낸다.



그림 9. 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템 소프트웨어의 실행화면
 Fig. 9. Multiple Bio-Signal Central Monitoring System Software Running Screen

화면의 구성은 Full HD(1920x1080)의 해상도 환경을 가지고 있으며, 기본적으로 ECG 정보와 EMG, 3-Axis, SMA, SVM 출력이 가능하고, HR, Weight, Temperature, Energy Expenditure, Context Awareness와 같은 작업자의 생체 및 상태정보를 숫자 데이터 값으로 한눈에 파악할 수 있는 화면 제공한다. Detail Viewer는 감독자가 작업자를 선택했을 때 보다 많은 정보를 얻을 수 있도록 전환된 화면을 나타내며, 생체신호 정보와 더불어 아웃웨어의 환경정보까지 확인이 가능하다. 이밖에 Numeric 데이터의 갱신은 1000ms ~ 3000ms 사이에서 감독자가 조절이 가능하도록 설계되었고, Wave 데이터의 경우 실시간으로 생체정보의 인지와 확인, 분석에 활용하기 위하여, 데이터 표현에 누락 없이 수집된 데이터를 모두 표현하도록 구현하였다.

3. 실험결과 및 성능평가

3.1 상황인지 및 응급상황 판단 실험 결과

본 논문에서는 개발한 상황인지 및 응급상황 판단 알고리즘을 검증하기 위하여 모의적으로 만들어낸 체온, 부정맥 및 자세판단의 복합적인 상황에 따라 응급상황과의 일치율을 알아보았다. 실험은 인위적으로 만들어낼 수 없는 부정맥과 체온을 생체신호 발생기를 사용하여 대체하였으며, F1uke Biomedical사의 PS400 Patient Simulator를 사용하였다. 실험에 참여한 피검자들은 25-35세 사이의 체격이 각기 다른 건강한 남성들로 구성되어 있고, 실험 프로토콜은 피검자들이 정해진 자세를 순차적으로 취하게 하는 동안 부정맥과 체온을 변화시켜가며 응급상황과의 일치를 기록하는 형식으로 설계하였다. 피검자들은 실험 전 충분히 실험 프로토콜을 숙지할 수 있도록 교육하였고, 이렇게 유도된 응급 상황에 따른 실험 결과의 일치 횟수는 응급상황 판단 평가의 일치율을 결정하는 기준으로 적용된다. 표 4는 응급상황 판단의 실험 결과를 나타낸다.

표 4. 응급상황 판단 실험 결과
 Table 4. Results of Emergency Situational Awareness

피검자	체격	자세	각각의 실험 횟수	부정맥 상황일치 횟수	체온 이상일치 횟수	응급상황 일치율 (%)
LHM	과 체중	서기	10	10	10	100
		걸기	10	10	10	100
		뛰기	10	10	10	100
		앉기	10	8	9	85
		눕기	10	10	9	95
LCY	과 체중	서기	10	10	10	100
		걸기	10	10	10	100
		뛰기	10	9	10	95
		앉기	10	8	7	75
		눕기	10	10	10	100
JHS	정상 체중	서기	10	10	10	100
		걸기	10	10	9	95
		뛰기	10	10	10	100
		앉기	10	9	9	90
		눕기	10	10	10	100
KHS	정상 체중	서기	10	10	10	100
		걸기	10	10	10	100
		뛰기	10	10	10	100
		앉기	10	9	9	90
		눕기	10	10	10	100
KSD	체중 미달	서기	10	10	10	100
		걸기	10	10	10	100
		뛰기	10	10	9	95

피검자	체격	자세	각각의	부정맥	체온	응급상황
			실험	상황일치	이상일치	일치율
			횟수	횟수	횟수	(%)
		앉기	10	10	9	95
		눅기	10	10	10	100
		엎드리기	10	10	10	100
Total			300	292	290	96.99

실험결과를 살펴보면 서있는 상태에서의 응급상황 일치율은 100%로 가장 높고, 앉은 상태의 응급상황 일치율은 87%로 가장 낮다. 서있는 상태에서의 일치율이 가장 높은 이유는 3축 가속도 센서의 초기 상태가 서있는 상태를 기준으로 삼기 때문인 것으로 추측할 수 있으며, 과제중일수록 앉은 자세에서 일치율이 가장 낮은 이유는 3축 가속도 센서의 위치가 허리 쪽인 것을 감안할 때, 과제중일수록 센서가 정확한 위치에서 벗어나기 때문인 것으로 추측할 수 있다. 이러한 자세판단을 위한 가속도 센서의 위치는 차후 보다 섬세한 실험 프로토콜 설계에 고려해야할 사항으로 볼 수 있으며, 의복에 내장되는 플렉시블 플랫폼의 위치도 신중하게 선택하여야 할 필요성을 의미한다. 하지만 전체적인 일치율이 약 97%로 높은 일치율을 보이기 때문에 본 연구에서 적용한 응급상황 판단 알고리즘의 성능이 우수함을 알 수 있었다.

또한, 본 논문에서는 제안한 상황인지 및 응급상황 인지 알고리즘의 우수성을 나타내기 위해 앞서 II장에서 언급한 영상정보를 이용하여 응급상황을 인지하는 방법과의 결과를 비교 분석 하였으며, 본 비교 분석 방법에 사용된 카메라는 아웃웨어에 부착된 카메라의 영상정보를 이용하였다. 표 5는 제안한 알고리즘 방법과 영상정보를 이용한 방법의 결과를 비교 분석한 결과이다.

표 5. 응급상황 판단 방법 비교 결과
Table 5. Comparison of Emergency Situational Awareness Method

자세	각각의 실험 횟수	영상정보		제안한 알고리즘	
		자세 일치횟수	부정맥 일치횟수	자세 일치횟수	부정맥 일치횟수
서기	10	10	10	10	10
걸기	10	9	10	10	10
뛰기	10	9	8	10	10
앉기	10	9	9	9	9
눅기	10	8	8	10	10
엎드리기	10	6	8	10	9
응급상황 일치율(%)		86.6		97.5	

표 5에서와 같이 영상정보와 부정맥 알고리즘만을 사용한 응급상황 인지 방법은 실험적으로 약 86.6%의 일치율을 보였으며, 본 논문에서 제안한 3축 가속도 센서와 부정맥 검출 알

고리즘 및 체온 등 복합적인 생체신호를 적용하여 응급상황을 인지하는 방법은 실험적으로 약 97.5%의 일치율로 기존 방법보다 높은 정확성을 보였으며, 카메라를 이용하여 응급상황을 인지하는 방법은 신호처리를 하는 과정이 복잡하고 처리시간도 오래 걸리기 때문에 여러 복합적이고 다중적인 생체신호를 처리해야하는 중앙 모니터링 시스템에는 적합하지 않았다.

3.2 WMTS 통신 모듈 성능

본 논문에서는 개발한 WMTS 송신 모듈과 생체신호 전용 네트워크 Access Gateway의 성능을 평가하기 위해서 수집된 복합 생체신호를 WMTS 송신모듈을 통해 전송하기 위한 데이터 송신 패킷을 ISO/IEEE 11073 Extend 형태로 구성하였고, 거리에 따른 데이터 수신 실패율을 실험하였다. 패킷 구성은 Pay Load, Target Gateway ID와 WMTS 송신기 ID를 포함한 전체 패킷 길이로 구성되며, 피검자의 정보를 포함하는 SID(Subject ID) 3 bytes와 Pay Load에 시작과 끝 각각 1 byte를 두어 전체 8 bytes를 포함한 확장된 크기의 패킷으로 구성하였다. 구성된 데이터 전송 패킷은 표 6에 보였다.

표 6. 데이터 전송 패킷
Table 6. Data Transmission Packet Definition

Length	Target ID	Transceiver	Pay Load			
			Head	SID	11073	Tail
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	3 bytes	-	1 byte

WMTS 모듈의 수신율에 대한 성능 테스트는 장애물이 존재하는 실험실 환경 내에서 각각 지정된 거리를 설정하여 100ms마다 한 개의 패킷씩 약 1000개의 패킷을 전송하고 이에 대한 수신된 패킷 개수를 백분율로 알아보았다. 이러한 테스트를 실행하기 위하여 ISO/IEEE 11073이 적용된 테스트 프로그램을 별도로 구현하여 사용하였고, 그림 10에 그 모습을 보였다.

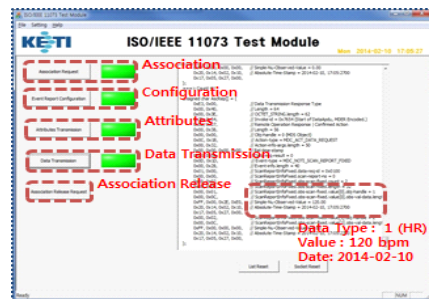


그림 10. ISO/IEEE 11073 테스트 프로그램
Fig. 10. ISO/IEEE 11073 Test Software Running Screen

테스트에 설정된 거리정보와 수신된 패킷 수에 대한 결과는 표 7에 나타내었다.

표 7. 거리에 따른 패킷 수신율
Table 7. Packet Reception Rate According to Distance

수신거리	전송 패킷수	수신 패킷수	수신율
1m 이내	1000	998	99.8%
3m 이내	1000	997	99.7%
5m 이내	1000	989	98.9%
10m 이내	1000	983	98.3%
100m 이내	1000	852	85.2%

테스트 결과 10m 이내에서 전송되는 패킷은 98.3% 이상의 높은 수신율을 나타냈으며, 10m 정도의 거리가 벗어날수록 수신되는 패킷의 수가 급격히 감소하였다. 이는 Access Gateway가 WMTS 대역과 Wireless LAN을 동시에 사용하는 Dual Band 통신환경을 지원하도록 설계되어 있음을 고려할 때, 일반적으로 사무실내에서 작업자의 활동환경을 고려한 작업실 한 곳당 Access Gateway가 한 대씩 설치된다고 가정한다면, 충분히 만족할 만한 성능으로 통신이 이루어질 수 있음을 의미한다.

V. 결 론

본 논문에서는 특수한 작업 환경에서 작업자들이 처해있는 상황을 실시간으로 인지하여 조속한 조치를 통해 관련 업무 수행 능력을 극대화시키고, 작업 환경에서 발생할 수 있는 각종 사고를 예방하기 위한 직물형 플렉시블 플랫폼 기반의 복합 생체신호 중앙 모니터링 시스템을 개발하였다. 이를 위해, 의복 타입의 직물 전극과의 탈부착이 가능한 플렉시블 PCB를 제작하여 복합 생체신호 획득 모듈을 설계하였고, 획득한 복합 생체신호와 추가적인 획득한 환경정보를 기반으로 상황 인지 및 응급상황을 판단할 수 있는 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 또한, 작업자의 무구속 특징을 보장하기 위해 블루투스 무선통신 방식을 사용하였으며, WMTS 무선통신을 기반으로 생체신호 전송을 위한 ISO/IEEE 11073 프로토콜을 적용하여 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템과의 확장성과 응용 계층 서비스들과의 원활한 연결을 지원하도록 하였다.

본 논문에서는 응급상황 판단 알고리즘의 성능 검증을 위하여 피검자를 이용한 응급상황 판단 실험을 실시하였고, 97%의 높은 응급상황 일치율을 도출하였으며, 기존에 사용되었던 영상정보를 이용한 방법과의 비교 분석을 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능이 우수함을 보였다. 또한, 무

선 네트워크에 사용된 WMTS 무선통신 모듈의 거리별 패킷 수신율을 통해 만족할 만한 성능을 확인할 수 있었으며, 결과를 토대로 Access Gateway의 설치 환경을 추론할 수 있는 토대를 마련할 수 있었다. 이는 본문에서 개발한 직물형 플렉시블 플랫폼 기반의 다중 생체신호 중앙 모니터링 시스템이 작업자의 정보와 함께 원격지로부터 중앙 기관으로 전송하여 관리할 수 있는 기반 기술을 확보할 수 있었음을 의미한다.

이에 본 논문은, 차후의 관련 연구개발이 기존의 병원이나 의료 기관에만 국한 되어 있던 u-Healthcare 분야의 한계에서 벗어나 보다 폭넓은 서비스를 제공할 수 있도록 하기 위한 기반 기술을 확보하는 계기가 되기를 기대한다.

감사의 글

이 연구는 미래창조과학부의 정보통신·방송 기술개발 사업(14-000-11-001)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Z. Li, and G. Zhang, "A Physical Activities Healthcare System based on Wireless Sensing Technology," 13th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, pp. 369-376, Aug. 2007.
- [2] H. Alemdar, and C. Ersoy, "Wireless Sensor Networks for Healthcare: A Survey," Computer Networks, Vol. 54, No. 15, pp. 2688-2710, Oct. 2010.
- [3] S. W. Yoon, S. D. Min, Y. H. Yun, S. Lee, and M. Lee, "Adaptive Motion Artifacts Reduction using 3-Axis Accelerometer in E-Textile ECG Measurement System," Journal of Medical Systems, Vol. 32, No. 2 pp. 101-106, Apr. 2008.
- [4] K. M. Jeon, K. C. Ko, H. W. Kim, and H. M. Lee, "Implementation of Central Monitoring System for Complex Vital Signals using WMTS Communication," International Conferences on IRTT, pp. 327-332, Nov. 2013.

- [5] C. Y. Lim, K. M. Jeon, K. C. Ko, K. N. Koh, and K. H. Kim, "A Study on the Estimation of Energy Expenditure and Falls Measurement System for the Elderly," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 17, No. 4, pp. 1-9, Apr. 2012.
- [6] C. Y. Lim, K. M. Jeon, and K. H. Kim, "Wireless Transmitter Earpiece for Sensibility Ergonomics," *Proceedings of the Korea Society of Computer and Information Conference*, Vol. 19, No. 2, pp. 273-276, Jun. 2011.
- [7] T. S. Lee, K. A. Kim, and E. J. Cha, "Status of Wireless Communication Technology for Wireless Healthcare," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 39-42, Jun. 2006.
- [8] Y. H. Kim, S. C. Lee, C. W. Park, K. M. Jeon, and K. C. Ko, "A Study on Wearable Healthcare System using Conductive Textile in Wireless Sensor Network," *SK Telecom Telecommunications Review*, Vol. 23, No. 3, pp. 327-341, Jun. 2013.
- [9] J. M. Yoon, C. Y. Lim, and K. H. Kim, "A Study of Baby Sleeping Position Sensing and Safety Band using an Accelerometer," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 6, pp. 11-18, Jun. 2010.
- [10] C. W. Park, "Development of Telemetry and Monitoring System on PMS: Annual Report," Korea Electronics Technology Institute, pp. 23-28, 2012.
- [11] D. S. Kim, "Development of Integrated Textile Fabrics Platform Monitoring System for Safety and Ease Life: Annual Report," Korea Electronics Technology Institute, pp. 52-58, 2014.

저 자 소 개



전 기 만

2000: 한양대학교 전기공학과 공학사.
 현 재: 한양대학교
 전기공학과 석박사 통합 수료.
 관심분야: u-Health, 하드웨어 시스템,
 의료통신 기술, 생체정보처리.
 Email : kmjeon@hanyang.ac.kr



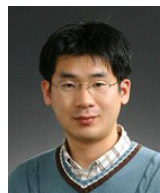
고 광 철

1986: 일본동경공업대학
 전기전자공학 공학석사.
 1989: 일본동경공업대학
 전기전자공학 공학박사.
 1990: 경원대학교
 전기공학과 전임강사, 조교수.
 1995: 한양대학교
 전기공학과 조교수, 부교수.
 현 재: 한양대학교
 전기생체공학부 정교수.
 관심분야: 펄스파워 기술 및 응용,
 디지털 시스템.
 Email : kwang@hanyang.ac.kr



이 현 민

2008: 청주대학교 전자공학과 공학석사.
 2012: 청주대학교 전자공학과 공학박사.
 현 재: 전자부품연구원
 메디컬IT융합연구센터 연구원.
 관심분야: u-Health, 생체신호처리,
 의료통신 기술,
 IT융복합 의료기.
 Email : ifurita2x@hanmail.net



김 영 환

2002: 성균관대학교
 컴퓨터공학과 공학석사.
 2011: 숭실대학교
 컴퓨터공학과 공학박사.
 현 재: 전자부품연구원
 메디컬IT융합연구센터
 책임연구원.
 관심분야: 웰니스케어, u-Health,
 스마트 섬유, 클라우드 컴퓨팅.
 Email : yhkim93@keti.re.kr