모바일 유비쿼터스 헬스케어시스템 설계 및 구현

이봉환*

Design and Implementation of a Mobile Ubiquitous Healthcare System

Bong-Hwan Lee*

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 결과임.

요 약

최근 유비쿼터스 센서네트워크 및 모바일 통신 기술의 발달에 힘입어 헬스케어 시스템에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 모바일 센서네트워크 기반의 u-Healthcare 시스템을 설계하고 구현하였다. 구현한 u-Healthcare 시스템은 댁내의 무선 센서네트워크, 원격지에 위치하는 헬스케어센터 및 센싱한 생체신호를 헬스케어센터로 전송하는 게이트웨이 등 세 부분으로 구성된다. 환자의 생체신호를 측정하기 위하여 3 채널 ECG 센서, 맥박산소 농도계, 혈압 센서 등 세 가지의 센서를 이용하였다. 각 센서는 mote에 탑재되어 있으며, mote는 센싱된 생체신호를 Zigbee 통신을 이용하여 베이스 노드로 전송한다. 베이스 노드는 수신한 신호를 헬스케어센터로 보내게 되고 헬스케어센터는 이 신호를 다양한 알고리즘을 이용하여 분석하고 처리한다. 처리된 결과를 표준 데이터베이스와 비교하여 식이요법, 운동요법 등 적절한 처방을 환자에게 SMS 또는 웹으로 전송한다. 이렇게 함으로서 환자는 주기적으로 자신의 건강을 체크하여 관리할 수 있으며, 경증의 건강 상의 문제로부터 자신의 건강을 유지할 수 있게 된다.

ABSTRACT

Recently, owing to the development of ubiquitous sensor network and mobile communication technologies, many studies on healthcare system are being carried out. In this paper, we have designed and implemented a mobile u-Healthcare system based on sensor network. The u-Healthcare system is composed of three components: wireless sensor network at home, healthcare center located at remote site, and gateway which relays sensing physiological signals to healthcare center. In order to measure patient's physiological signal three sensors are used: three channel ECG sensor, pulse oximeter, and blood pressure sensor. Each sensor is mounted on a mote which can send gathered signal to the base node using Zigbee communication protocol. Once the base node receives physiological signal from each sensor, the client in the base node transfers the signal to the healthcare center. The received physiological signal at the healthcare center is analyzed and processed using various algorithms. The processed results are compared to the standard healthcare database and appropriate treatment including dietetics and exercise cure would be sent to the patient as feedback using SMS message or healthcare center web site. Each patient can check and manage one's health state every day using the healthcare system and gain a recovery under the treatments from minor health problems.

키워드

센서네트워크, 유비쿼터스, u-헬스케어, 지그비, 모바일

Key word

Sensor Network, Ubiquitous, u-Healthcare, Zigbee, Mobile

* 대전대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2009. 12. 08
심사완료일자 : 2010. 02. 04

Ⅰ. 서 론

유비쿼터스(ubiquitous) 환경은 언제, 어디서나 네트워크에서 접속할 수 있다는 뜻으로 우리가 살고 있는 주변 환경과 물체 안에 컴퓨팅과 네트워킹 기능을 포함시켜 사물과 공간, 인간, 정보가 하나로 통합되어 효과적인 정보교환 및 활용을 가능하게 하는 기술 또는 환경을 의미한다. 이러한 유비쿼터스 환경의 구축은 유·무선 네트워크 접속기능을 갖춘 컴퓨터뿐만 아니라 네트워크와 교신능력을 가진 초소형 센서 칩을 가전기기, 자동차, 진열대 등 모든 기기·사물에 내장해 각종 정보를 송·수신하여 생활을 보다 편리하게 해준다[1].

유비쿼터스의 적용분야는 날로 다양해지고 있으며 새로운 형태의 질병관리 의료서비스인 u-Healthcare, 능동적으로 위험을 감지하고 운전자의 안전을 보장하는 스마트 타이어, 외부에서도 집안의 가전, 조명기기 등을 관리할 수 있는 디지털 홈 프로젝트, 상황변화를 인식하고 자기의 임무를 알아서 처리할 수 있는 u-Robot, 산지와 소비자를 최단시간으로 연결하는 u-유통, 유비쿼터스 정보기술을 각종 학교 시설물과 교육매체에 접목함으로써 전체 시설물이 네트워크로 연결된 u-Campus, 그 외에 u-Education, u-Library, u-Apartment 등이 대표적 예이다. 그 중에서도 u-Healthcare는 집안 곳곳에 있는 각종 센서를 통해 가족의 건강상태나 변화를 감지하고 이를 통해 수집되는 생체정보는 의료 연구센터 내 중앙서버에 실시간으로 전송되어 건강상태를 점검하는 것을 말한다. 병원을 방문해 고정된 기기로 검사를 받아야 하는 현행 진단체계의 근본적인 변화와 함께 주변 생활 곳곳에 각종 의료용 칩과 센서를 부착하여 언제 어디서나 자연스럽게 의료서비스를 제공할 수 있다[1].

전 세계적으로 증가하고 있는 노인의 비율과 IT의 급속한 발전으로 원격의료는 중요한 연구 이슈가 되었다[2]. 현대 사회가 고령화됨에 따라 노인의료비는 2006년 7조 4천억원으로 전체 의료비의 25.9%를 차지하고 있으며, 매년증가 추세를 보이고 있다[3]. 이러한 상황에 대처하고자 새로운 의료 패러다임인 u-Healthcare 시대가 전개되고 있다. u-Healthcare 유형은 병원의 효율성과 편리성 도모를 위한 u-Hospital형, 노인 및 만성질환자의 모니터링을 위한 홈&모바일 헬스케어형, 일반인의 건강증진을 위한 웰니스형으로 대별된다[4]. 그 중에서도 환자 모니터링을 위한 연구가 가장 활발하게 진행되고 있다[5-6].

본 논문에서는 심전도(ECG), 혈압, 맥박 등의 생체신호 측정센서를 이용한 센서네트워크를 구축하여 u-Healthcare 시스템을 설계하고 구현하였다. 센서노드에서 게이트웨이를 경유한 생체신호는 헬스케어센터로 전송되며, 헬스케어센터에서 분석한 결과에 따라 환자에게 운동요법, 식이요법 등의 정보를 피드백하여 건강관리를 할 수 있게 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장 서론에 이어, 제 2장에서는 관련 연구에 대하여 기술하며, 제 3장은 u-Healthcare 시스템 설계를 그리고 제 4장에서는 u-Healthcare 시스템 구현 방법과 성능 평가에 대하여 기술한다. 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 연구내용으로 끝을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1 유비쿼터스

USN (Ubiquitous Sensor Network) 이란 필요한 모든 곳에 전자태그를 부착하여 사물의 인식정보를 기본으로 하여 주변의 환경정보를 탐지하고, 이것을 실시간 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것을 말한다. USN 기술은 다가올 유비쿼터스 사회에서 사회적 기반 환경이 될 중요한 기술 중의 하나로서, 이를 통해 전반적인 산업구조 및 시장 구조의 큰 변화를 주도할 기술이다. USN은 다양한 분야에 대한 자동화를 가능하게 하며, 이러한 기술을 통해 텔레매틱스, 홈 네트워크, 재고관리, 환자관리, 동물관리, 자연재해관리, ITS 시스템 등 인간에게 편리한 다양한 서비스를 제공할 수 있다. USN에 관련된 연구, 즉 센서 및 센서 네트워크에 대한 연구는 오래전부터 계속되어 왔다. 국내에서뿐만 아니라 국외에서는 이미 WSN(Wireless Sensor Network)이라는 이름으로 많은 연구가 진행되어 오고 있다[1].

- 스마트 유치원(Smart Kindergarten) 프로젝트 [7, 17]

미국 UCLA 대학의 컴퓨터공학과·전자공학과·교육정보과학대학원이 공동으로 수행하고 있는 '스마트 유치원(Smart Kindergarten) 프로젝트'는 유비쿼터스 컴퓨팅과 센서기반의 무선 네트워크를 통해 유치원이라는 물리공간속에서 유치원생들이 어떻게 학습하는지를

규명하기 위한 연구이다. 즉, 원아들이 어떻게 말을 배우고 장난감을 어떻게 활용하며, 원아들 간 혹은 원아와 선생님 간에 어떤 상호작용이 일어나며 어떤 영향을 미치는지를 분석한다. 스마트 유치원 프로젝트에서는 무선인식기술로 아동이나 장난감의 이름과 위치를 실시간으로 파악하며, 센서기술과 상황인식 기술을 통해 원아들이 사용하는 언어인식, 상호작용 특성, 행동 감지, 동태적 변화 등을 추적한다.

• Smart Its 프로젝트 [8,18]

이 프로젝트는 유럽연합의 IST(Information Society Technology) 프로그램의 일환으로 진행되고 있는 '사라지는 컴퓨팅(Disappearing Computer)'의 16개 프로젝트 중 하나이다. 여기서 'Disappearing Computer'란 일상 생활 및 환경에 정보기술을 보이지 않게 통합하여 인간의 생활을 지원하고자 하는 것이다. Mediacup 프로젝트의 영향을 받은 Smart Its 프로젝트는 사람이 인식하는 모든 사물에 센서, 프로세서, 무선통신 장치, 전력을 통합한 Smart Its 장치에 의해 독립적인 인프라를 갖추고 상황을 인식하여 동작하게 하는 것이다.

• EasyLiving 프로젝트 [19]

EasyLiving 프로젝트는 마이크로소프트(Microsoft)사의 유비쿼터스 컴퓨팅 플랫폼으로서 사용자의 다양한 입출력에 따른 지능적인 환경에 대한 기술과 구조를 연구한다. 지능적 환경은 사용자에게 정보와 서비스 이용을 제공하기 위해 움직이는 수많은 장치 또는 공간을 말한다. 예를 들어, 스피커나 천정의 전등과 같이 고정된 장치일수도 있고, 핸드폰이나 노트북 같은 이동성 있는 장치일수도 있다. 또한, 보다 정확한 상호작용을 위해서 물리적인 공간의 위치를 추적하여 사람이 야간에 집안을 돌아다니면 현재 위치의 전등은 점등시키고 지나간 공간의 전등은 소등시키는 것 등이다.

2.2 u-Healthcare

유비쿼터스 헬스케어(u-Healthcare)란 정보통신기술과 의료서비스를 접목하여 환자가 시간과 장소에 구애받지 않고 자유롭게 자신의 건강상태를 체크, 진단, 예방, 사후관리 할 수 있는 시스템을 말한다. 즉, 의료서비스가 병원에서 뿐만 아니라 가정, 요양원 등 공간적 확대와 일회성 치료에서 평생 건강관리로의 시간적 확대를 추구한다. u-Healthcare가 적용된 예를 살펴보면 다음과 같다.

'mobile health care'를 의미하는 MobiHealth 프로젝트 [20]는 건강 모니터링을 하는 동안 환자는 자유롭게 움직일 수 있으며, 개인별로 커스터마이징 된 가벼운 모니터링 장치를 부착한다. 모니터링 시간이 길어도 환자는 병원에 머무를 필요 없이 일상생활을 할 수 있다. 이 시스템은 환자에게 응급상황 발생 시에도 적절히 대처하고, 환자의 건강상태를 연속적으로 모니터링하는 것을 목적으로 한다.

미국 하버드 대학의 Sensor Network Lab에서 추진중인 Code Blue 프로젝트[21]는 TinyOS mote 하드웨어 플랫폼 기반의 무선 의료 센서 네트워크이다. 무선 맥박산소농도계 (pulse oximeter)와 무선 ECG 센서가 개발되었으며, 이들 센서로 심박수(Heart Rate), 산소포화도(SpO2), ECG 데이터를 모아 PDA, 랩탑, 수신기가 갖추어져 있는 구급차에 전송한다. 센싱된 데이터는 실시간으로 디스플레이되며 환자의 상태 진단 시 통합된다.

영국 런던의 임페리어대학에서 진행중인 UbiMon 프로젝트[22]는 부정맥 심장병을 가진 환자를 지속적으로 모니터링하고 관리하기 위한 시스템에 적용할 수 있다. 심장혈관 관련 질환은 처치방법과 진료기술이 진보했지만 여전히 치명적이며, 사망률이 매우 높은 질환이므로 임상적으로 이러한 환자를 위해 자연적인 생리학 상태에서 연속적으로 모니터링하여 환자의 상태를 감지 및 예측한다.

또한 10년 이상 환자 모니터링 분야를 주도한 핀란드는 세계 최초로 all-wireless 병원을 구축하기 위한 무선병원 프로젝트를 추진하고 있다. 무선병원은 고정된 네트워크 선 뿐 아니라 환자모니터링을 위한 선도 없애는 것이 목표이다.

2.3 근거리 무선통신 기술

편리한 이동성으로 인해 주목을 받고 있는 무선통신 기술은 IT의 주요 트렌드가 되었다. 그 중에서도 근거리 무선통신을 위해서는 저전력 소비, 저가, 보안 요건을 충족시켜야 한다. 근거리 무선통신 기술로는 무선 LAN, Bluetooth, RFID, Zigbee 등이 있다.

무선 LAN이란 네트워크 구축 시 허브에서 클라이언트까지 사용하던 유선 LAN 대신 고주파의 전파를 이용

해 데이터를 전송하는 네트워크이다. 무선 LAN은 장소에 제약 없는 연결을 제공하며 이동성을 보장하는 유연한 네트워크이다. 특히 선이 없기 때문에 설치 장소에 제한을 받지 않으며, 노드의 추가 삭제 시에도 유선 LAN에 비해 경제적이다.

블루투스는 휴대폰이나 노트북 같은 다양한 무선 장치가 100m 정도의 짧은 거리에서 음성이나 데이터의 전송을 목적으로 하는 단거리 무선 통신 표준으로 휴대폰과 주변장치를 연결하기 위한 무선 솔루션을 만들기 위해 시작되어 현재는 무선 헤드셋, PMP, PDA 등 다양한 제품으로 개발되었고, 컴퓨터, 이동단말, 가전제품 등을 상호 연결할 수 있다. 블루투스는 가격이 저렴하고 저전력 소비를 하며 장애물이 있어도 어느 정도 신호가 전송되는 등 다양한 장점들로 인해 많은 사람들의 주목을 받고 있다.

RFID는 사물에 부착된 전자 태그를 이용해 무선 주파수를 통해 정보를 송수신하고 이와 관련된 서비스를 제공하는 기술을 말하며 기존의 바코드와 기본적으로 비슷한 역할을 하지만 바코드에 비해 보다 많은 정보를 저장할 수 있어 최근 물류 시스템으로 도입하기 위한 주목을 받고 있다[9].

Zigbee는 WPAN(Wireless Personal Area Network) 표준인 IEEE 802.15.4를 기반으로 하며, IEEE 802.15.4는 물리계층과 매체접근제어 계층을 정의한다. 물리 계층은 2.4GHz ISM 대역, 915MHz ISM 대역, 868MHz(유럽) 대역이며 매체접근제어로 CSMA를 사용한다. 전송거리는 1-100미터이며 최대 65,536개의 노드를 지원한다[10]. 전송률에 있어서 블루투스가 Zigbee보다 좋지만 Zigbee는 낮은 소비전력을 갖기 때문에 일반적으로 모니터링을 위한 시스템으로 Zigbee가 사용된다[11].

Ⅲ. u-Healthcare 시스템 설계

본 연구에서는 센서 네트워크 기반의 재택 환경에서 고혈압이나 심혈관계 질환같은 만성질환자들이 생체신호 측정센서를 이용해 생체신호를 획득하고 모니터링 할 수 있는 시스템을 제안하여 질병을 예방하고 관리하도록 하였다. 또한 병원에서 의사들이 환자의 상태를 진단하는데 도움을 줄 수 있도록 웹 기반의 모니터링 서비스를 구현하였다. 본 논문에서 제안하는 u-Healthcare 시스템은 홈 센서네트워크와 u-Healthcare 센터로 구성된다. 그림 1은 u-Healthcare 시스템의 전체 구성도이다.

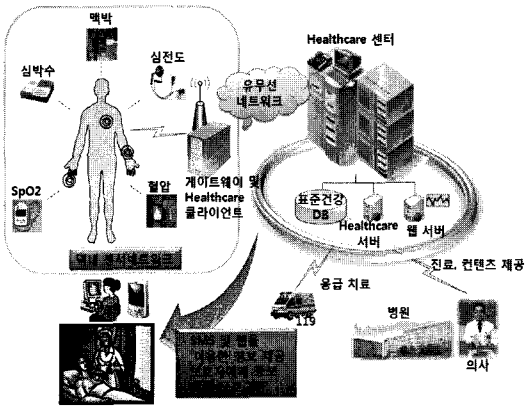

그림 1. u-Healthcare 시스템의 구조
Fig. 1. u-Healthcare System Architecture

3.1 시스템 구성

3.1.1 홈 센서네트워크

병원에서만 이루어지던 진료가 u-Healthcare 시스템을 구현하여 가정에서도 의료 서비스를 제공받을 수 있도록 홈 센서네트워크를 구성하였다. 홈 센서네트워크는 생체신호 측정을 위한 센서, 센서에 연결되는 모듈, 모듈과 연결되는 Mote 및 게이트웨이로 구성된다. 센서는 병원의 응급실에서 환자의 상태를 파악하기 위해 상시 비치해 놓는 심전도(ECG) 센서, Pulse Oximeter 센서, 만성 질환인 고혈압, 저혈압을 판별할 수 있는 혈압센서를 사용한다. ECG 센서에서는 ECG의 파형을, Pulse Oximeter 센서에서는 혈중산소농도(SpO2) 값과 심박수(Heart Rate)를, 혈압 센서에서는 수축기 혈압(mmHg)/확장기 혈압(mmHg)과 맥박을 측정할 수 있다. 게이트웨이는 다시 생체신호 측정센서로부터 신호값 수신을 위한 베이스 노드와 Healthcare 클라이언트로 구성된다. 그림 2는 홈 센서네트워크의 세부 구성도이다.

- ECG 센서 노드

ECG 신호는 심장주기 동안 심장이 생산하는 전기적 자극을 그래프로 나타내며 협심증, 심근경색, 부정맥 등을 진단하는데 사용된다[12]. ECG 센서모듈은 ECG

케이블에 증폭기(amplifier)를 달아 신호를 증폭하여 ADC(Analog to Digital Converter)에 값을 전달한다. 그림 3은 ECG 센서가 Mote와 연결된 모습을 나타내고 ECG 센서노드는 홈 게이트웨이와 Zigbee 방식으로 통신한다.

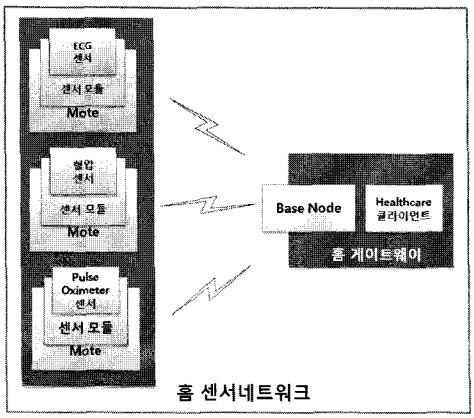

그림 2. 홈 센서네트워크 세부 구성도
Fig. 2. Detailed Architecture of Home Sensor Network

• 혈압 센서 노드

혈압(Blood Pressure)이란 인체의 동맥혈관에 흐르는 혈액의 압력을 말하며, 혈압을 관리하는 것은 고령자의 기초 체력을 유지하는데 중요한 역할을 하며 만성질환에 있어서도 관리가 필요한 필수 항목이다. 혈압 측정 방식은 오실로 매트릭스 방식으로 청진기가 필요 없기 때문에 혈압계의 사용이나 혈압측정이 간단하고 용이하다. 측정범위는 20~300mmHg이고 오차는 ±3mmHg이다. 듀오케어 혈압센서는 맥박도 함께 센싱할 수 있으며 맥박의 센싱 범위는 40~199회이고 오차는 ±5%이다. 혈압센서는 센서모듈과 연결되며, 센서모듈은 Mote와 연결된다. 그림 4는 혈압 센서 노드의 모습이다.

• Pulse Oximeter 센서 노드

Pulse Oximeter는 생체 조직에 적색광과 적외광을 투과시켜 동맥혈의 맥동성분에 대한 파장별 흡광도를 구하고 그 값의 비로써 산소포화도(Oxygen Saturation, SpO2)를 측정하는 장치이다. 수술실이나 회복실, 중환자 병동 등에서 주로 사용되고 있고, 최근에는 분만실에서도 분만 시 태아의 산소 상황을 모니터링 하는데 일반적으로 사용되고 있으며, 구급차량에 필수적으로 구비되어야 하는 장치이다[13]. Pulse Oximeter 센서는 SpO2 뿐 아니라 심박수도 함께 측정할 수 있는 장점이 있으며, 센서 모듈에 연결된다. 그림 5는 Pulse Oximeter와 센서 모듈 그리고 Mote가 연결된 모습이다.

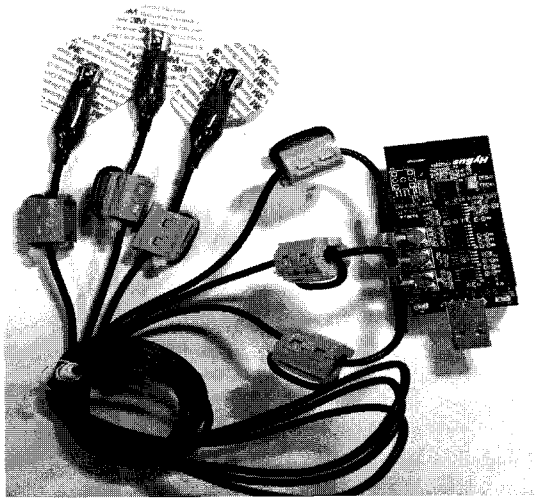

그림 3. ECG 센서 노드
Fig. 3. ECG Sensor Node

• Mote

Mote는 자율적인 센싱과 컴퓨팅 그리고 통신 시스템 기능을 통합하는 센서 노드 플랫폼을 말한다. 본 연구에서는 Hybus사의 H-mote2420과 한백전자의 HBE-ZigbeX II를 사용하며 이들 모두 Zigbee 프로토콜을 지원하며 IEEE802.15.4 기반으로 2.4GHz대역으로 통신한다.

H-mote2420의 프로세서는 TI MSP430을 사용한다. USB 인터페이스를 통해 프로그래밍이 가능하고 확장 센서보드를 통해 초음파, 온도, 조도, 습도 등 다양한 정보들을 센싱할 수 있다. 안테나의 RF Chip은 CC2420을 사용하며 TinyOS 1.x를 지원한다.

HBE-ZigbeX II는 ATMega128 CPU를 사용하며 RF Chip은 H-mote2420과 마찬가지로 CC2420을 사용하지만 TinyOS 2.x를 지원한다. H-mote2420은 ECG 센서, 혈압 센서에 연결되고 HBE-ZigbeX II는 Pulse Oximeter에 연결되어 센싱된 생체신호를 Zigbee 방식으로 베이스 노드에 송신하는 역할을 한다.

그림 4. 혈압 센서 노드
Fig. 4. Blood Pressure Sensor Node

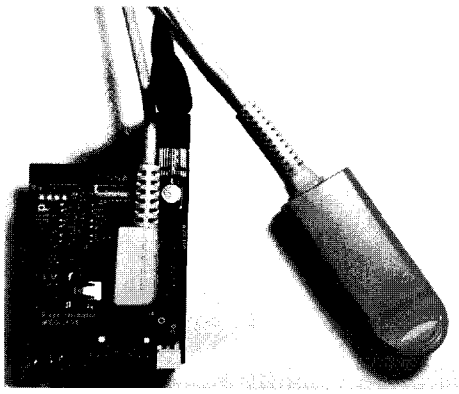

그림 5. Pulse Oximeter 센서 노드
Fig. 5. Pulse Oximeter Sensor Node

• 베이스 노드

베이스 노드는 홈 게이트웨이의 프론트엔드로서 센서 노드들로부터 전송되는 생체신호를 수신하는 역할을 한다. 하드웨어적으로 센서 노드에 연결되는 Mote와 같은 디바이스를 사용하지만 기능상으로는 PC에 연결되어 센서와 PC 사이의 중계자 역할을 한다. PC에서는 베이스 노드에서 수신한 신호를 시리얼 인터페이스로 얻을 수 있다. 그림 6과 그림 7은 각각 ECG, 혈압기 및 Pulse Oximeter의 베이스 노드를 나타낸 것이다.

• Healthcare 클라이언트

게이트웨이에 내장된 Healthcare 클라이언트는 홈 센서네트워크와 u-Healthcare 센터 간의 중계자 역할을 한다. Healthcare 클라이언트는 로그인을 통한 사용자 인증, 측정할 센서의 선택 및 센싱, 베이스 노드가 수신한 생체신호의 저장, 생체신호 데이터의 u-Healthcare 센터로의 전송 등의 기능을 담당한다. 그림 8은 Healthcare 클라이언트의 실행 초기화면이다.

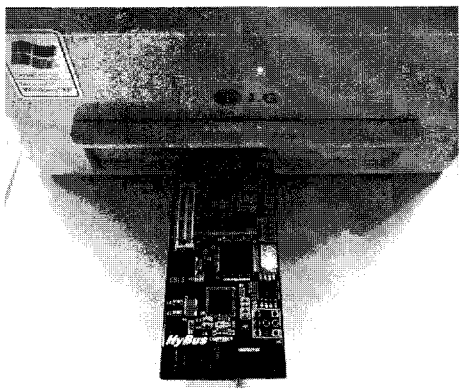

그림 6. ECG, 혈압기의 베이스 노드
Fig. 6. Base Node for ECG and Blood Pressure Sensor

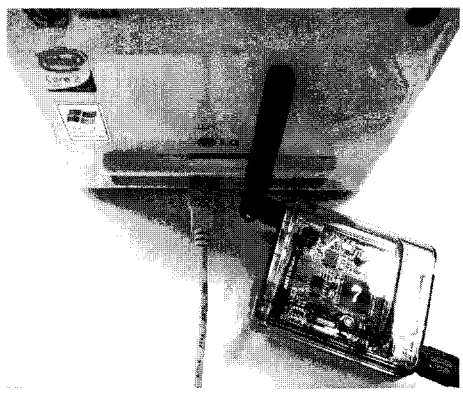

그림 7. Pulse Oximeter의 베이스 노드
Fig. 7. Base Node for Pulse Oximeter

3.1.2 u-Healthcare 센터

u-Healthcare 센터는 환자의 생체정보를 수집하여 병원을 매일 방문하지 않고도 자신의 신체 상태에 따라 건강을 관리할 수 있도록 적절한 식이요법 및 운동요법을 제공하는 것을 목적으로 한다. u-Healthcare 센터는 Healthcare 서버, 모니터링 웹 서버, 헬스케어 DB로 구성된다. Healthcare 서버는 생체정보 수집 모듈, 생체정보 DB화 모듈 및 맞춤형 건강관리 모듈로 이루어지고, 웹

서버는 환자용 모니터링 모듈과 의사용 모니터링 모듈로 구분된다. 헬스케어 DB에는 환자별 질환별 생체신호가 저장된다. 그림 9는 u-Healthcare 센터의 세부 구성도를 나타낸 것이다.

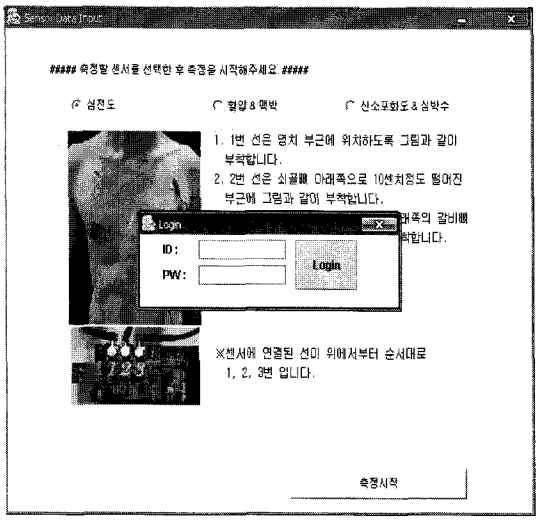

그림 8. Healthcare 클라이언트의 초기화면
Fig. 8. Initial Screen Shot of Healthcare Client

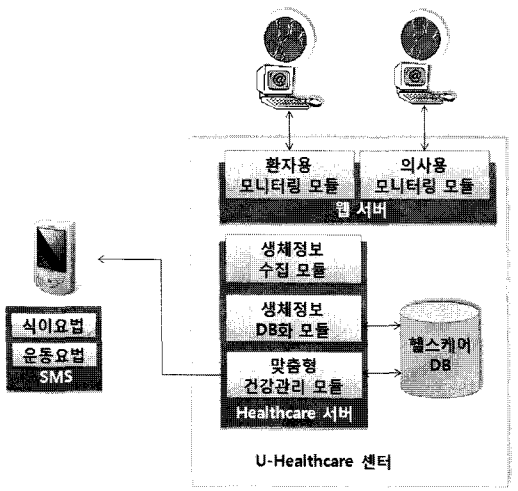

그림 9. u-Healthcare 센터의 세부 구성도
Fig. 9. Detailed Architecture of u-Healthcare Center

• 생체정보 수집 모듈

생체정보 수집 모듈은 Healthcare 클라이언트와 소켓으로 연결되어 Healthcare 클라이언트로부터 전송받은 데이터를 수집하는 역할을 한다. 전송받는 데이터는 파일형태로 되어 있으며 파일명은 ID_날짜_시간_센서종류.txt의 형식으로 되어있다. 수집된 데이터는 생체정보 DB화 모듈로 넘어가게 된다.

• 생체정보 DB화 모듈

생체정보 DB화 모듈에서는 생체정보 수집 모듈에서 전송받은 파일을 분석하여 DB화하는 역할을 한다. Healthcare 클라이언트에서 전송한 데이터는 16진수 패킷으로 되어 있기 때문에 10진수화하는 과정을 거쳐야 하며 센서 종류별로 패킷의 구조가 다르므로 분석 과정 또한 달리 해 주어야 한다. ECG 패킷에서 측정된 신호 값은 data[0]~data[9]에 들어가게 된다. 2byte가 하나의 ECG 신호 값이며 최하위 바이트부터 저장하는 리틀 엔디안(little endian)방식이기 때문에 BF 06의 값이 나온다면 06BF의 10진수 값이 실제 데이터가 된다. ECG의 패킷구조는 그림 10과 같다.

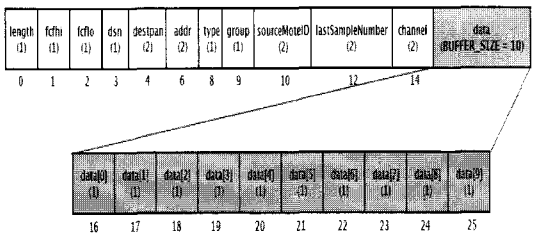

그림 10. ECG 패킷 구조
Fig. 10. ECG Packet Format

ECG 패킷에 대한 분석과정이 끝나면 ECG 패킷은 ECG 모니터링 그래프를 위해 XML 형식으로 변환된다. 이러한 XML 태그로 된 스크립트(*.mxml)를 작성해서 컴파일러로 컴파일하면 플래시로 된 화면을 만들 수 있는 리치 인터넷 애플리케이션(Rich Internet Application : RIA) 개발솔루션인 플렉스[14]를 이용해 ECG 모니터링 서비스를 제공하였다. 그림 11은 ECG 신호의 XML 파일과 플렉스를 이용한 ECG 그래프이다.

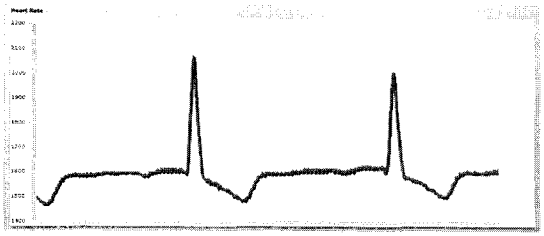

그림 11. 플렉스를 이용한 ECG 신호 그래프
Fig. 11. ECG Signal Generation using Flex

• 맞춤형 건강관리 모듈

맞춤형 건강관리는 환자의 건강 상태에 적합한 식이요법 및 운동요법을 추천하여 환자가 실행에 옮겨 자신의 건강을 회복할 수 있도록 도와주는 피드백 및 웹 모니터링 서비스를 말한다. 환자의 현재 건강 상태를 체크하기 위해 표 1~표 5와 같이 각 생체신호별 응급 유무 판단 기준을 사용한다[15-16]. 생체 신호 별 판단 기준에 따라 SMS로 생체신호 측정 결과를 통지하도록 하였으며, 정상이나 경고의 수준일 경우는 환자 본인에게만 통지하며 응급 수준일 경우에는 보호자 및 주치의에게도 환자의 상태를 알 수 있도록 SMS 응급상황 알림 서비스를 제공한다.

표 1. 맥박 판단 기준(단위 : 회/분)
Table 1. Pulse Decision Criteria (unit: times/min)

최저 임계치	판단 기준	최고 임계치
-	서맥 응급	40
41	서맥 경고	60
61	정상	100
101	빈맥 경고	120
121	빈맥 응급	-

표 2. 혈압 판단 기준(단위 : mmHg)
Table 2. Blood Pressure Decision Criteria (unit: mmHg)

수축기 최저	수축기 최고	판단 기준	확장기 최저	확장기 최고
-	80	저혈압 응급	-	-
81	90	저혈압 경고	-	-
91	120	정상	-	80
121	140	고혈압 경고	81	94
141	-	고혈압 응급	95	-

표 3. 혈중 산소포화도(SpO2) 판단 기준(단위 : %)
Table 3. SpO2 Decision Criteria (unit:%)

최저 임계치	판단기준	최고 임계치
-	저산소 응급	89
90	저산소 경고	94
95	정상	-

표 4. 남성 심박수 판단 기준(단위 : 회/분)
Table 4. Heartbeat Rate Decision Criteria for Male (unit: times/min)

최저임계치	판단기준	최고 임계치
-	심박수(저) 응급	50
51	심박수(저) 경고	59
60	정상	80
81	심박수(고) 경고	100
101	심박수(고) 응급	-

표 5. 여성 심박수 판단 기준(단위 : 회/분)
Table 5. Heartbeat Rate Decision Criteria for Female (unit: times/min)

최저 임계치	판단기준	최고 임계치
-	심박수(저) 응급	60
61	심박수(저) 경고	69
70	정상	90
91	심박수(고) 경고	110
111	심박수(고) 응급	-

• 모니터링 웹 서비스

지속적인 관리를 필요로 하는 만성질환자에게 자신의 건강상태를 체크할 수 있는 모니터링 서비스는 필수적이다. 네트워크를 이용할 수 있는 곳에서는 어디든지 모니터링 서비스를 받을 수 있도록 웹을 통해 모니터링 서비스를 제공하였다. 또한 의사에게도 자신의 환자가 평상시 어떤 상태인지 판단할 수 있도록 모니터링 서비스 및 문진 정보를 제공함으로써 정확한 진단에 도움을 줄 수 있도록 하였다. 웹 서버는 사용자를 관리자, 의사, 환자로 구분해 각각 역할에 따라 다른 기능을 제공한다.

관리자는 사용자 등록, 삭제, 권한부여, 건강관리 정보 DB 입력 기능을 제공하며 의사 권한을 가진 사용자에게는 환자별 문진정보 모니터링, 환자별 생체신호 모

니터링, 문진정보 및 생체신호 모니터링을 통한 소견서 입력기능을 제공한다. 마지막으로 환자인 사용자에게는 문진정보 입력 기능, 심전도 · 혈압 · 심박수 · 산소포화도 모니터링 및 평균수치 제공, 비정상적인 데이터 표시, 표준 건강관리 정보를 제공하며, 주치의 선택기능, 의사 소견서 관리 기능을 제공한다.

• 헬스케어 DB

헬스케어 DB에는 환자의 생체데이터 측정값만 저장되는 것이 아니라 키, 몸무게, 가족력 등 문진 정보 및 주치의 정보도 포함되어 있어 의사와 환자 간에 원활한 커뮤니케이션이 가능하도록 설계하였다. 또한, 관리자, 의사, 환자 간에 레벨을 설정하여 데이터 접근권한을 효율적으로 관리할 수 있도록 하였다.

Ⅳ. u-Healthcare 시스템 구현 및 성능 평가

4.1 홈 센서네트워크 구현

4.1.1 센서 노드 구현

센서 노드는 센서네트워크용 OS인 TinyOS 1.x 기반으로 NesC 프로그래밍 언어로 구현하였다. 홈 센서네트워크의 센서 노드는 TinyOS 1.x 기반으로 하드웨어 플랫폼은 Hmote2420, HBE-ZigbeX Ⅱ로 구현하였다. 센서 종류는 ECG, Pulse Oximeter, 혈압계이며 센싱되는 생체 신호는 ECG, 산소포화도, 심박수, 혈압 및 맥박이다.

센서 종류별로 Mote에 인스톨되는 응용 프로그램이 달라지며 베이스 노드와의 baud rate도 다르게 설정해 주어야 한다. ECG 센서의 baud rate은 4,800bps이며, 혈압 센서는 9,600bps이다.

4.1.2 게이트웨이 구현

게이트웨이는 센서 노드와 u-Healthcare 센터의 중계역할로 베이스 노드는 센서로부터 데이터를 수신하고 Healthcare 클라이언트에서 수신한 데이터를 u-Healthcare 센터의 Healthcare 서버로 전송하는 역할을 한다. 게이트웨이용 PC의 운영체제는 Windows XP이며 그 위에 TinyOS 1.x를 탑재하였다. TinyOS는 리눅스 기반이기 때문에 Redhat에서 개발한 윈도우용 리눅스 환경인 Cygwin을 이용해 TinyOS에 접근할 수 있다.

게이트웨이는 베이스 노드와 Healthcare 클라이언트로 구성되는데 그 중 베이스 노드의 하드웨어 플랫폼은 센서 노드와 마찬가지로 Hmote2420, HBE-ZigbeX Ⅱ를 사용하였으며, 베이스 노드용 응용 프로그램이 탑재된다. 센서 노드와는 Zigbee 방식으로 통신하며 패킷을 수신하여 Group ID가 자신의 ID와 같으면 패킷을 받아서 PC의 시리얼 인터페이스로 전송한다. Healthcare 클라이언트는 Java 1.4.1_02 버전을 사용하여 구현하였으며, 센서 종류별로 선택하여 센싱할 수 있도록 하였다. 또한 베이스 노드가 수신한 생체신호를 파일로 저장하여 소켓을 통해 u-Healthcare 센터로 전송하게 된다. 그림 12는 Healthcare 클라이언트 구동 화면이다.

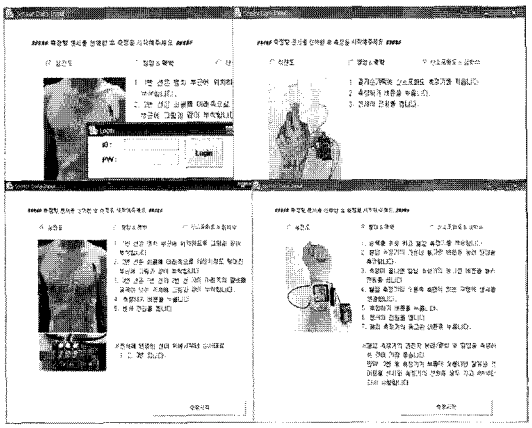

그림 12. Healthcare 클라이언트 구현 화면
Fig. 12. Screen Shot for Healthcare Client

4.2 u-Healthcare 센터 구현

u-Healthcare 센터의 운영체제는 FedoraCore8로 2.6.26-5-28.fc8 커널이고 헬스케어 DB는 MySQL 5.0.67, Java SDK는 1.5.0_16 버전, 웹 서버 및 JSP 컨테이너는 Tomcat 5.5.26을 탑재하여 구성하였다.

4.2.1 Healthcare 서버 구현

Healthcare 서버는 Healthcare 클라이언트로부터 데이터를 수신하고 분석하여 DB에 저장하고 피드백을 제공한다. ServerSocket으로 여러 개의 클라이언트를 동시에 수용할 수 있도록 멀티스레드를 생성하여 동작하도록 하였다. Healthcare 클라이언트는 서버에 TCP PORT 로 접근하며, ServerSocket은 대기상태에 있다가 accept()가 되면 스레드를 생성하여 데이터를 처

리하며 모든 처리는 ManageThread 클래스에서 진행된다. Healthcare 서버에서의 순차적인 처리과정은 그림 13과 같다.

그림 13. Healthcare 서버 처리 과정
Fig. 13. Sequential Procedure at Healthcare Server

• 생체정보 수집 모듈

생체정보 수집 모듈은 소켓으로 연결된 클라이언트로부터 데이터를 받아 파일로 만들고 서버에 저장한다. 파일은 중복되거나 기존의 파일을 덮어쓰는 것을 방지하기 위해 임시 랜덤 파일을 먼저 만들어 놓고 나중에 파일명을 바꾸는 방식으로 하였다. 생체정보 파일 생성이 완료되면 DB화 모듈 과정이 진행된다.

• 생체정보 DB화 모듈

ECG는 연속적인 신호이기 때문에 파일로 저장하여 관리하도록 하였다. 또한 ECG 파형을 그래프로 보여주기 위해 병원에서 심전도 검사 결과와 같은 동적인 구현을 위해서 플렉스로 구현하였으며 플렉스 매개변수는 XML 파일이 된다. 텍스트 파일을 XML로 변환하기 위해 JDOM을 이용하여 구현하였다. ECG 신호를 최종적으로 XML로 변환하면 데이터베이스의 ecg 테이블에 XML 파일명이 삽입되며 이것은 웹 서버에서 모니터링을 할 때 사용된다.

ECG와 마찬가지로 다른 센서 데이터도 패킷 분석과정이 필요하다. Pulse Oximeter의 패킷에서는 산소포화도(SpO2) 값과 심박수를 추출하여 산소포화도 값은 SpO2 테이블에, 심박수는 heart_rate 테이블에 입력된다. 혈압 센서의 패킷에서 수축기 혈압, 확장기 혈압 및 맥박을 추출하여 혈압은 blood_pressure 테이블에, 맥박은 pulse 테이블에 입력된다.

• 맞춤형 건강관리 모듈

분석한 생체 정보를 토대로 건강관리를 할 수 있도록 단계별로 피드백 해주는 모듈을 구현하였으며, 환자의 휴대폰에 SMS로 결과를 통지하도록 하였다. SMS 전송을 위해 CoolSMS사의 오픈 프로젝트인 CSCM2 (CoolSMS Client Module)를 이용하여 구현하였다. 응급상황일 경우 환자의 보호자와 주치의에게도 SMS로 통지하여 응급 상황임을 알린다. 또한 SMS로 공지할 수 있는 내용은 80바이트로 제한되기 때문에 자세한 피드백 내용은 DB에 축적되어 웹을 통해 확인할 수 있도록 하였다.

그림 14는 SMS 처리 과정을 나타낸 것이다. 헬스케어 센터 서버에서 CoolSMS로 SMS 전송을 요청하면 CoolSMS는 SMS를 전송하고 그 결과를 알려주며, 발송 오류 시 재전송을 요청할 수 있다.

4.2.2 모니터링 웹 서버 구현

모니터링 웹 서버의 사용자는 관리자, 의사, 환자로 구분되며 해당 역할에 따라 제공되는 서비스가 달라지며, 환자와 의사가 환자의 생체정보를 확인하고 관리할 수 있는 전반적인 서비스를 제공한다. 의사와 환자는 회원가입 시 자신의 역할을 선택할 수 있다. 일반 사용자인 환자는 회원가입 신청과 동시에 회원가입이 이루어지고 의사는 회원가입을 요청하면 대기모드가 되어 관리자가 의사임을 확인하고 승인해야만 의사로서 가입이 완료된다. 그림 15는 관리자가 로그인하여 의사 권한을 요청한 사용자에게 권한을 부여하는 화면이다.

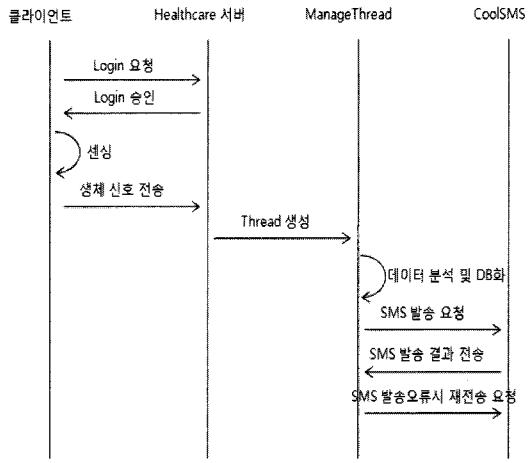

그림 14. SMS 처리과정
Fig.14. SMS Process

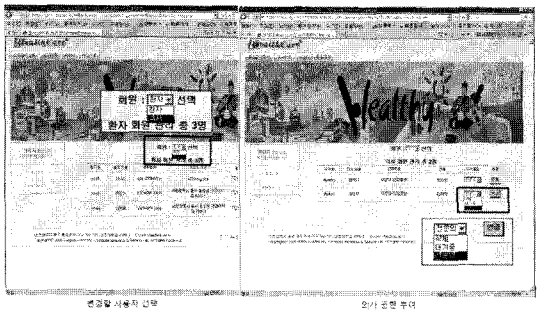

그림 15. 의사 사용자에게 권한 부여
Fig. 15. Authorization Grant for Doctor User

환자와 의사는 회원가입이 완료되면 모니터링 서비스를 제공받을 수 있다. 환자는 회원가입 후 보다 정확한 의료서비스를 제공받기 위해 추가적으로 키, 몸무게, 가족력 등 의사가 진단에 필요한 문진 정보를 입력한다. 모니터링 서비스는 심전도, 혈압, 맥박, 산소포화도, 심박수에 대한 정보를 제공하며, 그 중에서도 심전도는 동적인 그래프로 표현하여 실제 병원에서 심전도 검사를 하는 것과 같은 기능을 하도록 구현하였다.

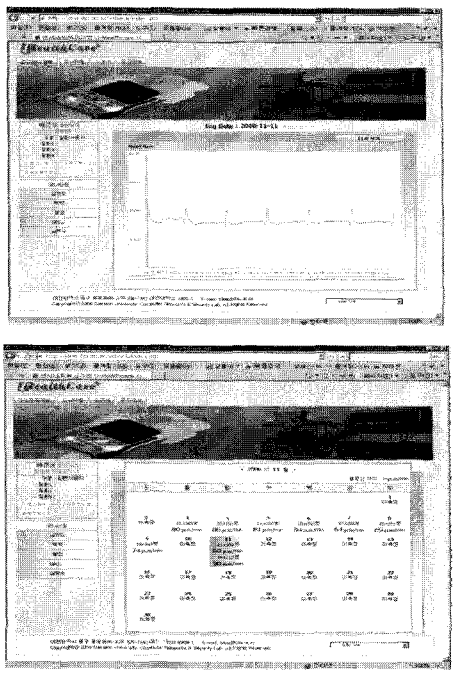

그림 16. 생체신호 모니터링 화면
Fig. 16. Monitoring Screen Shot for Physiological Signal

또한 혈압, 맥박, 산소포화도, 심박수에 있어서는 기록의 평균 수치를 제공하여 환자의 평상시 자신의 건강 이해도를 높였다. 그림 16은 구현한 생체신호 모니터링 화면을 나타낸 것이다.

환자는 생체 정보 모니터링 뿐 아니라 의사가 입력한 소견서도 볼 수 있다. 이는 자신이 주치의로 설정한 의사에 한해 가능한 기능이다. 또한 SMS 피드백 메시지에서 용량의 한계로 내용의 전달이 제한되었던 점을 감안하여 웹 페이지에서 보다 상세한 내용의 피드백을 확인할 수 있도록 하였다. 의사 권한을 부여받은 사용자는 자신을 주치의로 설정한 환자에 한해 환자의 생체정보를 모니터링 할 수 있고 환자의 문진 정보 또한 확인할 수 있어 그 내용을 토대로 환자의 상태를 진단하고 환자에게 소견서를 제공할 수 있다.

4.3 성능 평가

• 성능 측정 과정

u-Healthcare 시스템에 환자 권한으로 등록된 사용자가 Healthcare 클라이언트 프로그램을 이용하여 매일 자신의 생체 신호를 측정한 후 피드백이 잘 이루어지는지, 응급 상황 시 보호자 및 주치의에게 응급 상황을 잘 알리는지, 웹 모니터링 서비스가 잘 되는지, 측정된 값과 DB에 저장된 결과 값에 따른 패킷 에러율과 센서 노드의 센싱 타임 및 피드백이 이루어지기까지 걸리는 시간을 토대로 평가하였다.

Healthcare 클라이언트를 실행하여 사용자 인증을 위해 로그인을 하고 자신이 측정하고자 하는 센서를 선택한 후 "측정시작" 버튼을 누르면 센서가 동작한다. 측정은 센서에 따라 일정 시간이 소요된다. 혈압과 맥박의 경우 1분 이내의 시간이 소요되며, ECG는 5분정도의 시간 동안 기록한다. 측정이 시작되면 센서 노드는 자신이 측정한 값을 베이스 노드로 전송하고 센싱 과정이 끝나면 측정 완료 메시지가 나오고 다른 센서를 이용하여 측정을 시작할 수 있다. 측정이 완료되면 Healthcare 클라이언트는 Healthcare 서버로 측정 데이터를 전송한다. Healthcare 서버에서는 데이터를 분석하여 사용자에게 피드백을 제공한다.

• 성능 평가 결과

생체신호 측정 후 환자의 핸드폰으로 SMS 피드백이 이루어짐을 확인하였고, 응급 상황 발생 시 보호자와 주

치의로 설정된 휴대폰으로 통지가 이루어짐을 확인하였다. 그림 17은 응급 상황 시 환자 및 보호자, 주치의에게 SMS가 발송된 화면이다.

그림 17. 응급 상황 SMS 통지
Fig. 17. SMS Delivery for Emergency Treatment

또한 생체신호 모니터링 서비스가 잘 이루어지는지 확인한 결과 ECG 신호는 병원의 심전도 검사와 같은 그래프로 제공됨을 확인하였고, 혈압, 맥박, 산소포화도, 심박수는 달력 형태의 웹페이지에 해당 날짜에 환자가 측정한 값이 기록되어 한 눈에 자신의 건강 상태를 체크할 수 있음을 확인하였다.

센서 자체의 정확도에 있어서는 Pulse Oximeter의 경우 본 실험에 사용된 Pulse Oximeter는 의료기기로 사용되는 제품으로 100회에 걸쳐 실험한 결과 SpO2 값이 평균 97.5%를 보여 헬스케어용 제품으로 사용하기에 손색이 없음을 확인하였다. 혈압기의 경우 실제 병원에서 사용하는 혈압기와 함께 측정하여 비교하였다. 측정하여 비교한 결과 수축기의 혈압은 92.9%, 이완기의 혈압은 80.8%, 맥박은 93.6%의 일치도를 보였다.

마지막으로 센서의 측정 시간을 측정한 결과 ECG 신호의 경우 평균적으로 4분 49.87초가 걸렸고 이는 ECG 신호의 특성상 5분정도의 측정이 되어야 임상결과로의 가치가 있기 때문이었고 혈압 및 맥박은 6.77초, 산소포화도와 심박수는 6.12초로 같았다 (표 6). 이는 혈압과 맥박이 같은 센서를 사용하고 산소포화도와 심박수가 같은 센서를 사용하기 때문이다..

평균 피드백 시간은 센서 측정 시간부터 SMS로 피드백이 오기까지의 평균 시간을 말하며 ECG는 4분 55.74초, 나머지는 12초대로 비슷하였다. 같은 센서를 사용했음에도 혈압과 맥박, 산소포화도와 심박수의 피드백 시간이 다른 이유는 Healthcare 서버에서 데이터를 처리를 순차적으로 진행되기 때문이다.

표 6. 처리 시간
Table 6. Processing Time

센서 종류	평균 측정 시간	평균 처리 시간	평균 피드백 시간
ECG	4분 49.87초	5.88초	4분 55.74초
혈압	6.77초	5.80초	12.57초
맥박	6.77초	5.85초	12.62초
산소포화도	6.12초	6.61초	12.73초
심박수	6.12초	6.75초	12.87초

V. 결 론

본 논문에서는 센서네트워크 기반의 u-Healthcare 시스템을 설계하고 구현하였다. u-Healthcare 시스템은 ECG, Pulse Oximeter, 혈압 센서 등 센서 노드에서 Zigbee 통신 방식으로 베이스 노드에 측정 데이터를 전송하고 게이트웨이를 통해 u-Healthcare 센터로 생체신호를 전송할 수 있어 언제, 어디서나 의료 전문가에게 의료 서비스를 받을 수 있고 자신의 건강상태를 체크하고 관리할 수 있도록 구현하였다. 또한 SMS로 피드백을 제공하여 생활 습관 개선 및 건강관리를 할 수 있도록 하였다. 환자와 의사에게 생체 정보 모니터링 서비스를 제공하여 의사는 자신의 환자 상태를 보다 정확하게 파악할 수 있고 환자의 문진 정보도 제공받기 때문에 보다 정확한 판단을 내릴 수 있게 하였으며, 환자는 자신의 건강 상태가 어떤지 지속적으로 관찰할 수 있고 의사에게 제공받는 소견서 내용을 토대로 병증의 진단 및 예방을 함으로써 질병의 집중관리가 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 뇌혈관 질환, 심혈관계 질환을 대상으로 Pulse Oximeter, 혈압 및 ECG 센서를 이용하여 헬스케이시스템을 구현하였으나 향후 연구 내용으로 혈당 센서를 추가하여 당뇨병도 관리할 수 있는 헬스케어 시스템으로의 확장이 요구된다 하겠다.

참고문헌

[1] 남상엽, 이강현, 디지털 컨버전스를 위한 유비쿼터스 공학, pp.111-274, 상학당, 2008.

[2] I.Y. Chen, C.H. Tsai, "Pervasive Digital Monitoring and Transmission of Pre-Care Patient Biostatics with an OSGi, MOM and SOA Based Remote Health Care System," In Proc. of the Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, pp.704-709, 17-21 March 2008.

[3] 통계청, 2007 고령자 통계, pp.2-22, 2007.

[4] 강성욱, 이성호, "u-Health의 경제적 효과와 성장전략", 삼성경제연구소, pp.i-iii, 2007.

[5] J. Y. Jung and J. W. Lee, "Zigbee Device Access Control and Reliable Data Transmission in Zigbee Based Health Monitoring System," ICACT, pp.795~797, Feb. 2008.

[6] Toshiyo Tamura, Takahiro Kawada and Masaki Sekine, "The home health care with th ad-hoc network system," pp.307~310, SICE, Sept. 2007.

[7] Philipp Steurer and Mani B. Srivastava, "System Design of Smart Table," In Proc. of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2003), March 2003.

[8] L.E. Holmquist, F. Mattern, B. Schiele, P. Alahuhta, M. Beigl and H.W. Gellersen. "Smart-Its Friends: A Technique for Users to Easily Establish Connections between Smart Artefacts," In Proc. of UBICOMP 2001, Atlanta, GA, USA, Sept. 2001.

[9] 김진태, "RFID와 ZigBee를 이용한 u-Health 시스템 구현과 망 최적화 연구", 전자공학회논문지, 제43권 TC편 제1호, pp.79-88, 2006. 06.

[10] Mao-Cheng Huang, Jyun-Ciang Huang, Jing-Cyun You, Gwo-Jia Jong, "The Wireless Sensor Network for Home-Care System Using ZigBee," In Proc. of Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing 2007. IIHMSP 2007. Volume 1,pp.643 - 646, 26-28 Nov. 2007.

[11] Safaric S., Malaric K., "ZigBee wireless standard," In Proc. of 48th International Symposium ELMAR-2006 on Multimedia Signal Processing and Communications, pp. 259-262, June 2006.

[12] 송미순 외 4명, 진단적 검사와 간호, 현문사, pp.68-239, 2001.

[13] 김수진 외 5명, "산소포화도 측정을 위한 신호처리 방법 및 계산 알고리즘", 한국광학회지 제11권 6호, pp.452-456, 2000. 12.

[14] 옥상훈, Adobe 플렉스2, 에이콘, 2007.

[15] 연세대학교 원주의과대학 응급의학교실, 응급구조와 응급처치, 군자출판사, 2005.

[16] 전국응급구조학과교수협의회, 응급환자평가, 한미의학, 2007.

[17] Smart Kindergarten Project, http://nesl.ee.ucla.edu/projects/smartkg/

[18] Smart Its Project, http://www.smart-its.org/

[19] B. Brumitt et al., "EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments," In Proc. of the 2nd International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, pp.12-29, Bristol, UK, September 2000.

[20] MobiHealth Project,http://www.mobihealth.org/

[21] Code Blue Project, http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue

[22] UbiMon Project, http://www.ubimon.net/

저자소개

이봉환(Bong-Hwan Lee)

1985년 서강대학교 전자공학과 졸업(학사)
1987년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
1993년 Texas A&M 대학교 대학원 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(박사)
현재 대전대학교 정보통신공학과 교수
※관심분야 : 클라우드컴퓨팅, 유비쿼터스헬스케어, 네트워크보안 등