

무선 네트워크 기반의 실시간 환자 모니터링 시스템 구축 사례 연구

최종수¹ · 김동수^{2*}

¹삼성서울병원 정보전략팀, 숭실대학교 산업·정보시스템공학과 /

²숭실대학교 산업·정보시스템공학과

A Case Study on the Implementation of a Real-time Patient Monitoring System based on Wireless Network

Jong Soo Choi¹ · Dongsoo Kim²

¹ Department of IT Planning, Samsung Medical Center,

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Soongsil University

² Department of Industrial and Information Systems Engineering, Soongsil University

As wireless and mobile technologies have advanced significantly, lots of large sized healthcare organizations have implemented so called mobile hospital (m-Hospital) which provides a location independent and point of care (POC) clinical environment. Implementation of m-Hospital enhances quality of care because health professionals such as physicians and nurses can use hospital information systems at the very place where patients are located without any delay. This paper presents a real-time patient monitoring system based on wireless network technologies. A general framework for the patient monitoring process is introduced and the architecture and components of the proposed monitoring system is described. The system collects and analyzes biometric signals of in-patients who suffer from cancer. Specifically, it continuously monitors oxygen saturation of patients in bed and alarms health professionals instantly when an abnormal status of the patient is detected. The monitoring system has been used and clinically verified in a university hospital.

Keyword: wireless network, real-time patient monitoring, m-Hospital, healthcare

1. 서론

정보통신 기술의 발전과 더불어 서비스 산업의 가치창출 원천이 단일 서비스 경쟁력에서 종합 솔루션(Total Solution)쪽으로 변하고 있으며, 이른바 IT융합을 통한 서비스 및 프로세스 혁신이 주목받고 있다. 의료산업에서도 과거의 전통적인 의료서비스 개념을 초월한 u-Healthcare(ubiquitous Healthcare)와 관련한

기술적, 제도적 환경이 준비되고 있으며, 이에 따른 소비자의 욕구도 비등하고 있다(Ji, 2007). 최근 의료계뿐만 아니라 국가 사회적으로 주목받고 있는 u-Healthcare는 새로운 것은 아니다. 원격의료와 관련한 여러 개념들이 과거 Tele-Medicine, e-Healthcare, Tele-Health, Mobile-Health 등의 용어로 소개된 바 있다. 이들은 모두 원격지에서 의료 활동을 수행하여 의료의 범위를 확장시킨다는 기본 개념인 원격의료(Tele-Medicine)에 근간을

본 연구의 대상인 무선 네트워크 기술을 활용한 환자 모니터링 시스템이 안정적으로 정착될 수 있도록 지원을 아끼지 않으신 삼성서울병원 조명숙 간호본부장님, 테스트 및 자료 수집을 지원해주신 압센터 간호사님들, 그 외 유재영 책임연구원님과 정재곤 이사님에게 감사드립니다.

*연락처 : 김동수 교수, 156-743 서울시 동작구 상도동 숭실대학교 511 산업·정보시스템공학과, Fax : 02-825-1094,

E-mail : dskim@ssu.ac.kr

투고일(2010년 01월 28일), 심사일(1차 : 2010년 03월 09일, 2차 : 2010년 04월 21일), 게재확정일(2010년 04월 23일).

두고 있다(Lee, 2006).

1900년대초 라디오나 TV를 이용한 응급의료서비스를 고려한 것이 원격의료의 시작이었다. 이후 오랜 시간이 지나서 압축된 영상 이미지와 대용량 네트워크 회선을 이용한 쌍방향 영상회의가 가능해진 1990년대 초반 ‘재탄생’ 하였으며, 1995년 이후에는 정신과 의사들이 쌍방향 텔레비전을 통한 원격 진단을 시도하였다(Rashvand, 2008). 이와 같이 텔레비전, 컴퓨터의 출현과 정보통신기술의 발전으로 u-Healthcare가 의료분야의 새로운 서비스로 대두되었다(Choi, 1997).

본격적으로 u-Healthcare가 의료 현장에 적용되기 시작하는 것은 2000년대 초반부터이다. 인구의 고령화와 함께 생활양식 및 환경의 변화로 인하여 건강에 관한 관심이 높아졌고, 정보통신 기술의 발전으로 언제 어디서나 자신의 건강상태를 모니터링하고 특화된 건강관리 서비스를 받을 수 있는 u-Healthcare에 관한 관심이 고조되었다(Jung, 2008; Do, 2007)

2000년대 초반 미국에서는 의료 서비스 비용의 증가로 인해 보건의료정책 의사결정자, 의료 서비스 제공자, 병원, 보험회사 및 환자들은 여러 가지 과제에 직면하였다. 그 중 가장 중요한 과제는 제한된 재정과 인적자원을 사용해서 보다 더 좋은 의료 서비스를 제공하는 것이었다. 이러한 과제 해결에 포괄적인 환자 모니터링 방법, 즉 u-Healthcare가 적합하다고 판단하여, 이에 대한 다양한 연구가 이루어져 왔다(Varshney, 2006).

u-Healthcare가 구현된 이상적인 환경에서는 환자가 의식하지 않는 상태에서 환자의 건강상태를 실시간으로 모니터링하고 환자의 상태가 악화될 경우 바로 응급센터 및 병원 등에 환자 상태에 대한 정보가 전달되어 신속한 의료 서비스가 이루어진다(Jung, 2008; Lee, 2008). 환자를 자동적으로 실시간 모니터링하는 시스템을 도입하면 환자 치료에 요구되는 사항에 주의를 집중할 수 있으며, 환자 치료 결과를 개선할 수 있다. 또한 환자의 상태가 예기치 못하게 악화되는 경우에 환자의 가족이나 의료진에게 자동으로 경고를 알려주는 u-Healthcare 모니터링 시스템은 병원 방문을 줄이고 생명을 구할 수 있는 등 환자의 치료를 효율적으로 수행할 수 있도록 한다(Pollard, 2001; In-

derscience Publishers, 2009).

최근 사회적으로 웰빙에 대한 욕구가 높아짐에 따라 가정용 의료기기를 통하여 정보통신과 의료기술을 접목한 원격 건강 지원 시스템 구축에 대한 많은 연구 및 개발이 이루어지고 있다(Do, 2007). 병원 또한 지난 20년 동안 무선 통신기술의 괄목상대한 발전을 바탕으로 u-Healthcare의 핵심이라고 할 수 있는 환자 모니터링 시스템 구축에 크게 주목하고 있다(Varshney, 2006).

본 연구에서는 최근 의료계에서 지대한 관심을 가지고 있는 u-Healthcare의 대형 병원에서의 구체적인 적용 사례를 소개한다. 무선 네트워크 기반의 실시간 환자 모니터링 시스템 구축 사례를 소개하며 그 운영 결과를 고찰하고자 한다. 기존 연구가 u-Healthcare의 개념 또는 단편적이고 부분적 환자 모니터링 시스템 구축에 대한 것인 반면, 본 연구는 의료기기, 무선 인터넷, 데이터 센터, 전화 통신까지 연결하는, 즉 최근 사회가 추구하고 있는 포괄적인 ICT(Information & Communication Technology) 활용의 선도적 사례라고 할 수 있다. 또한 실험실 수준 또는 파일럿 테스트 수준을 탈피하여 임상적으로 종합병원에 전격적으로 적용한 사례를 고찰한다는데 연구의 의의가 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 1장에서 u-Healthcare의 도입 배경에 대한 설명, 제 2장에서는 u-healthcare의 구체적인 사례로서 환자 모니터링 관련 연구 중 프레임워크 관련 연구와 실제 임상적용관련 연구를 살펴보고, 제 3장에서는 본 연구에서 제안하는 실시간 환자 모니터링 시스템 구축 요구사항을 제시하였다. 제 4장에서는 시스템 아키텍처를 제시하고, 주요 데이터 구조 및 알고리즘을 설명하였다. 제 5장에서는 구축된 시스템의 운영과 관련한 사항을 기술하였다. 마지막으로 제 6장에서 본 연구의 결론 및 향후 연구 방향을 제시하였다.

2. 환자 모니터링 관련 연구

기존의 환자 모니터링 관련 연구는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 Varshney(2008)와 Sneha(2009)는 환자 모니터링의 프레임

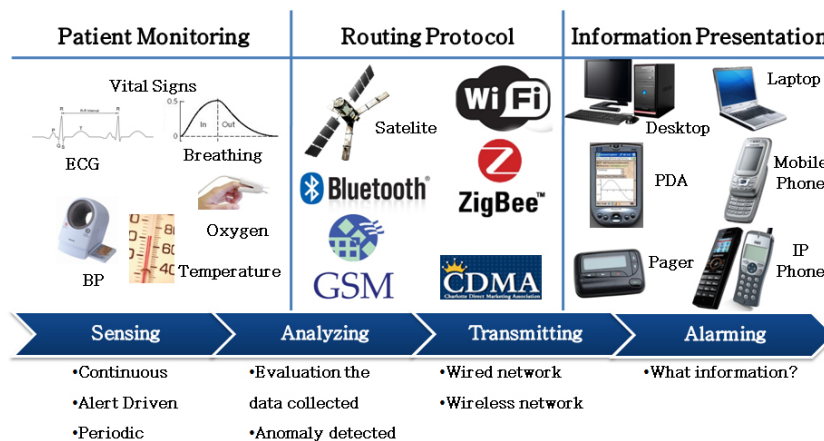


Figure 1. 환자 모니터링 과정의 프레임워크

워크 관련 연구를 수행한 반면, 다른 연구자들은 실질적으로 임상적으로 적용할 수 있는 모델들을 고안, 제시하였다.

먼저 Varshney과 Sneha이 제시한 환자 모니터링의 프레임워크를 종합하면 <Figure 1>과 같은 일반적 프레임워크를 작성할 수 있다.

환자 모니터링은 심전도, 호흡, 산소포화도, 체온, 맥박, 혈압 등의 생체 신호를 대상으로 하며, 이를 연속적으로 감지하는 방법, 미리 설정해 놓은 가이드라인을 벗어나는 경고 또는 위험 수준의 측정치가 발생하면 감지하는 방법, 그리고 주기적으로 감지하는 방법이 있을 수 있다. 생체 신호를 감지, 측정하면 생체신호 모니터링 기기 자체에서 분석을 하거나 또는 별도의 컴퓨터에서 평가할 수도 있다. 수집된 데이터를 분석한 결과, 이상 값이 검출되면 의료 전문가에게 전송된다. 이 때 전송하는 방법으로 유선 인프라를 활용할 경우 신뢰성은 높겠지만 환자의 이동성을 보장할 수 없기 때문에 연속적 모니터링이 어렵다. 따라서 일반적으로 전송을 위해서 무선 네트워크를 활용하는데 근거리 무선 기술로는 블루투스를 사용하며 기존 인프라를 활용하는 경우는 WLAN을 사용한다. 보다 광범위한 지역으로 활용하기 위해서는 위성 통신 기술 또는 이동 통신 기술을 사용하기도 한다. 어떤 정보를 보여줄 것인가는 측정하는 대상 생체 신호에 따라 다양할 수 있고 그 형태는 사용하는 기기에 의존적이다.

실질적인 환자 모니터링 시스템 연구는 다양한 방법으로 시도되었다. Reddy(2005)는 중환자실의 환자 상태에 작은 변화가 발생하면 의사와 간호사에게 무선 호출기로 알려주는 시스템을 구축하여 사용결과를 분석하였다. 이 연구에서는 시스템 도입으로 새로운 정보의 흐름을 만들어서 의료진들이 보다 빨리 응급상황에 대처하여 치료의 질이 개선된다는 분석결과를 제시하였다. Kundu(2005)는 실험실 환경에서 무선 네트워크 기술을 활용하여 의사가 환자 정보를 PDA를 사용하여 입력하고 조회하는 시스템을 설계하였다. Moron(2005)은 환자의 산소포화도를 측정하여 블루투스로 전송하고 무선 네트워크 환경에서 PDA로 조회하는 시스템을 테스트 베드로 구축하였다. Al-Ali(2006)는 여러 곳에서 환자의 혈압과 체온을 의료기기로부터 측정하여 데이터를 수집하고, 수집된 정보를 의료진의 휴

대폰으로 문자를 전송하는 시스템을 구축하였다. Straka(2008)는 간호사 호출벨을 무선 전화시스템과 기술적으로 연결한 시스템을 6주간 파일럿 테스트한 결과 환자 만족도가 높아졌을 뿐만 아니라 환자와 의료진 간 의사소통 구조가 개선되었다고 발표하였다. 부가적으로 병실 내 소음이 줄어들었다는 분석 결과를 제시하였다.

이제까지 살펴본 바와 같이 무선 기술이 제공하는 편의를 활용하여 다양한 적용 사례와 프레임워크 검토 그리고 무선 기술도입에 대한 고려사항에 대한 연구는 여러 연구자에 의해 시도되었다. 그러나 무선 네트워크 기반의 환자 모니터링 시스템을 실제로 종합병원에 적용하여 임상적으로 활용하고 있는 사례는 거의 찾아 볼 수 없다(Rashvand, 2008). 이에 본 연구는 종합병원에서 응급상황 발생 시 환자에게 치명적인 혈중의 산소포화도(Loh, 2005)를 실시간으로 모니터링하는 시스템의 구성 및 구축 과정을 소개하고자 한다. 또한 기존 연구에서 제시된 고려사항 및 향후 연구 방향에 대하여 논의 하고자 한다.

3. 시스템 구축 요구사항

본 장에서는 본 연구에서 구축한 실시간 환자 모니터링 시스템의 구축 요구사항을 1) 전체 범위의 유무선 네트워크 환경, 2) 인터넷 프로토콜 기반의 통신 시스템, 3) 산소포화도 측정값 전송 및 관리로 구분하여 제시하였다.

3.1 전체 범위의 유무선 네트워크 환경 구축

의료 환경에서 환자 모니터링을 효율적으로 수행할 수 있는 솔루션의 필요성은 지속적으로 요구되어 왔으나 가장 기본적인 요구사항이자 구축 시 어려운 부분은 시스템 구성 요소들 간의 커뮤니케이션을 원활하게 제공할 수 있는 컴퓨터 네트워크를 구성하는 것이다. 본 연구에서 실시간 환자 모니터링 시스템을 위한 기본적인 네트워크 환경은 기 설치되어 있는 유선 및 무선 네트워크 환경을 사용하였다. 유선 네트워크 환경은 전산기계실은 10Gbps, 전산기계실에서 층간 네트워크 스위

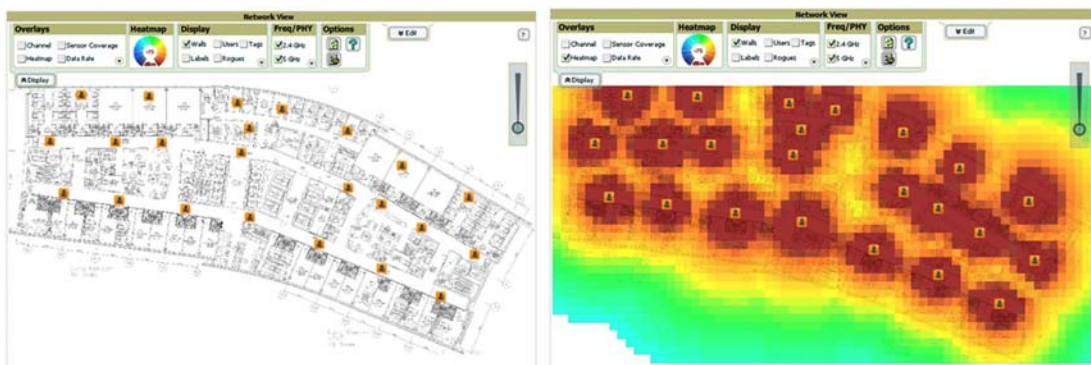


Figure 2. 무선 LAN 접속 가능 영역

치까지는 1Gbps, 중간 네트워크 스위치에서 무선 AP(Access Point)까지는 100Mbps 환경으로 구축되어 있다. 무선 네트워크 환경은 IEEE 802.11a/b/g 모두 접속 가능한 무선 네트워크 AP를 사용하였다.

이 무선 네트워크 AP를 활용하여 커뮤니케이션하는 구성요소는 환자감시장치(Patient Monitor)에 부착된 트랜스미터와 무선 IP 전화기로 이들은 802.11b 방식으로 AP에 접속한다. 구성요소들 간의 원활한 커뮤니케이션의 기본 요소는 서비스 해당 지역에서 음영지역이 없어야 한다는 것이다. <Figure 2>와 같이 건물 1개 층에 무선 네트워크 AP를 골고루 설치하였으며, 수신감도 화면(Heat Map)으로 보면 무선 네트워크 접속가능 영역에 빈틈이 없도록 하였다. 또한 간호사의 경우 무선 IP 전화기를 소지하고 병동 내 여기저기 이동을 하면서 업무를 수행하므로 무선 네트워크 AP간 이동을 하더라도 접속이 항상 유지될 수 있도록 구성하였다.

3.2 인터넷 프로토콜 기반의 통신 시스템

본 연구에서 제한한 환자 모니터링 시스템은 측정된 생체정보를 평가하여 정상 범위를 벗어나는 경우 문자 메시지를 통해서 무선 IP 전화기로 경보를 전송을 하는 구조로서 인터넷 프로토콜 기반의 통신 시스템(IP based Communication System)이 필수적으로 요구된다. 따라서 문자메시지 서비스 센터(SMSC : Short Message Service Center)인 SMS 서버가 개발되어야 한다. SMSC는 관리도구인 중앙 모니터링 시스템(CMS: Central Monitor System)으로부터 들어오는 정보를 구내 전화교환기(IAP 스위치, Intelligent Access Platform Switch)를 거쳐서 무선 IP 전화기까지 전달하는 것을 관리한다.

SMSC로부터 정보를 받는 것은 IAP 스위치이다. IAP 스위치는 기존의 구내교환기와 달리 아날로그 전화, 디지털 전화, IP 전화기뿐만 아니라 휴대폰까지 통신이 가능하다. IAP 스위치에 탑재된 SIP(Session Initiation Protocol) 서버를 통해서 본 연구에서 사용한 무선 IP 전화기의 음성 통신과 데이터 통신이 가능하다. SMSC로부터 전달된 정보를 IAP 스위치에 탑재된 데이

터 통신용 서버(COMM Server)가 받아서 SIP 서버로 넘겨주면 무선 IP 전화기로 문자 메시지가 전송된다. 이때 문자 메시지를 받은 간호사가 무선 IP 전화기에서 통화 버튼을 누르게 되면 정보를 발송한 환자의 침상에 있는 전화기로 IAP 스위치의 SIP 서버를 통하여 음성 통화가 연결된다.

SMSC에서는 병원 내 설치된 IAP 서버를 외부 단문메시징 개체(ESME : External Short Messaging Entity)로 인식하지만 외부에 있는 이동통신사의 교환기도 또 다른 ESME로 인식할 수 있다. 따라서 SMSC에서 병원 내의 무선 IP 전화기로 뿐만 아니라 외부에 있는 의료진이 소지하고 있는 휴대폰으로도 자동으로 문자 메시지를 전송하는 것이 가능하다(<Figure 3> 참조).

3.3 산소포화도 측정값 전송 및 관리

전체 범위의 유무선 네트워크 환경과 인터넷 프로토콜 기반의 통신 시스템이 구축되었다면, 실제적으로 환자로부터 측정된 생체정보를 전송하고 전송된 생체정보를 수집하여 평가하고 관리할 수 있는 애플리케이션이 필요하다.

측정한 생체정보를 받아서 전송하는 구성요소는 트랜스미터이다. 그리고 수집된 정보를 평가하고 관리하는 애플리케이션은 CMS이다. 본 연구에서 개발한 환자 모니터링 시스템 구축에 있어 전체 범위의 유무선 네트워크 환경과 인터넷 프로토콜 기반의 통신 시스템은 가장 기본적이고 필수적인 인프라 시스템이라면, 트랜스미터와 CMS는 본 연구의 대상인 환자 모니터링 시스템을 구현하기 위해서 개발 적용한 구성요소이다.

트랜스미터는 환자감시장치인 산소포화도 모니터기와 RS-232(Recommended Standard 232) 케이블로 연결되어 있어 802.11b의 통신 방식으로 산소포화도 모니터기에서 발송되는 정보를 2초 간격으로 무선 LAN AP를 통해 CMS로 전송한다(<Figure 4> 참조). CMS에서는 수집된 생체 정보와 산소포화도 모니터기로부터 같이 전송된 경보(Alarm) 정보를 분석하여 비정상인 경우에는 간호사가 소지하고 있는 무선 IP 전화기로 문자 메시지를 전송하기 위하여 SMS 서버로 해당 정보를 전송한다.

<Figure 5>는 중앙의 모니터링 시스템에서 간호사들이 사용하는 CMS 애플리케이션을 보여 준다. CMS에서 직접 정보를 관리할 수 있도록 애플리케이션을 개발하여 간호사 스테이션에 설치하였다. 건물 1개 층은 병동이 동서로 구분되어 있으며 1개 병동에는 환자감시장치가 적게는 2대, 많게는 10대 정도

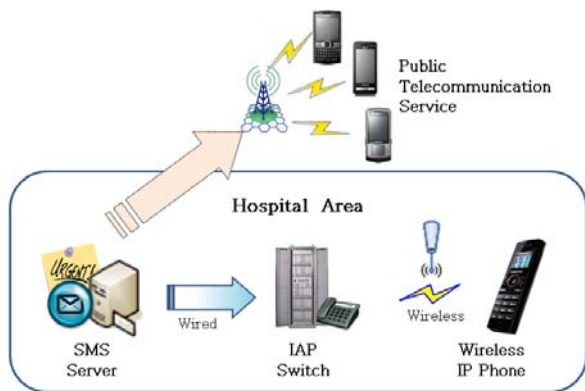


Figure 3. 인터넷 프로토콜 기반의 통신 시스템

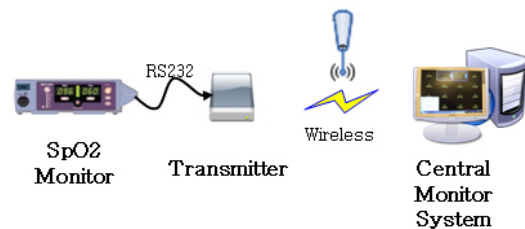


Figure 4. 산소포화도 모니터기, 트랜스미터 및 CMS의 연결

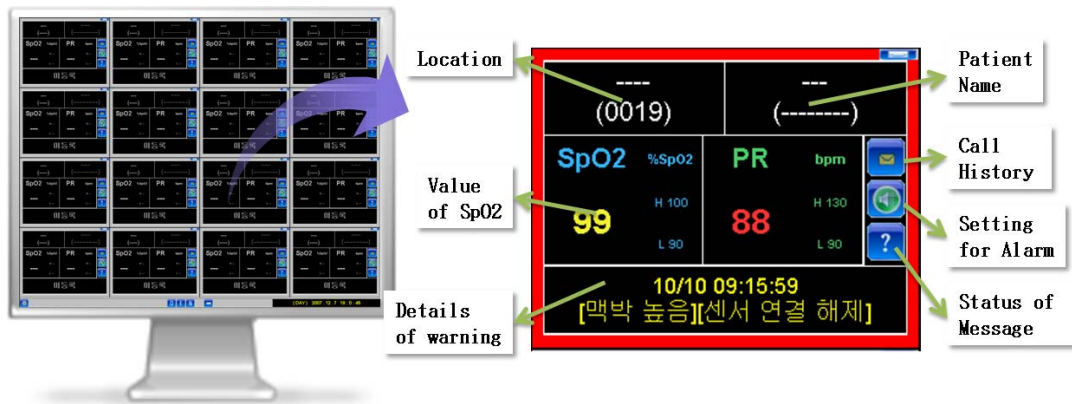


Figure 5. CMS 애플리케이션의 화면 구성

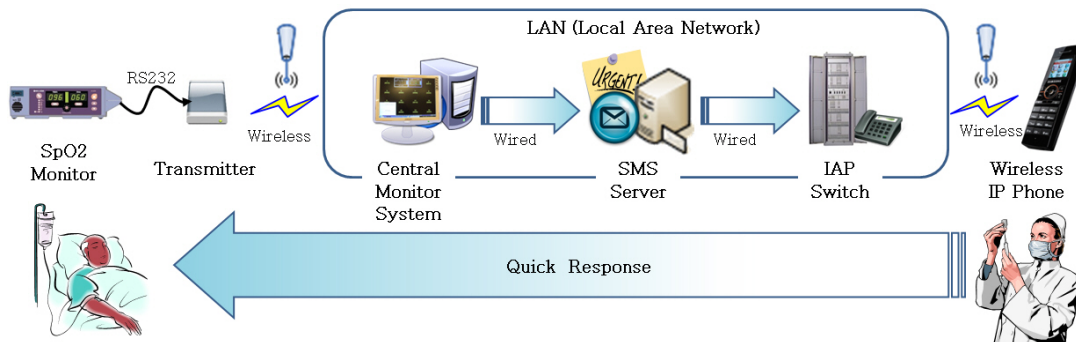


Figure 6. 실시간 환자 모니터링 시스템 아키텍처

운영하고 있다. 1대의 CMS에서 환자감시장치 16대까지 관리할 수 있으므로, 각 병동마다 CMS 1대를 설치, 운영 중이다.

기 위해서는 제 3장에서 설명한 바와 같이 유무선 네트워크 환경이 구축되어 있어야 한다. 산소포화도 모니터기에서 측정된 정보를 단계적으로 전달하기 위해 트랜스미터, CMS, SMS 서버, IAP 스위치가 시스템 구성요소로 필요하다.

4. 시스템 아키텍처, DB 스키마 및 알고리즘

본 장에서는 제 3장에서 설명한 시스템 요구사항을 충족하기 위해 본 연구에서 개발한 실시간 환자 모니터링 시스템의 아키텍처와 DB 스키마, 주요 알고리즘을 제시하였다.

4.1 시스템 아키텍처

본 연구의 대상인 무선 네트워크 기반의 실시간 환자 모니터링 시스템은 수술 후 환자의 산소포화도를 측정하여 환자의 위급사항을 조기에 발견하여 신속히 조치함으로써 환자의 생명을 구하기 위하여 구축되었다. 이를 구현하기 위해서는 제 3장에서 상술한 세 가지 요구사항이 충족되어야 한다.

<Figure 6>은 실시간 환자 모니터링 시스템의 전체적인 아키텍처를 나타낸다. 가장 먼저 환자의 침상에서 산소포화도를 측정할 수 있는 산소포화도 모니터기가 필요하며, 이 기기에서 측정된 정보를 간호사에게 전달하기 위해서는 간호사들이 통신기기로 사용하고 있는 무선 IP 전화기가 필요하다. 산소포화도 모니터기에서 측정된 정보를 무선 IP 전화기까지 전달하

4.2 DB 스키마 및 전송 메시지 구조

환자 모니터링 시스템의 가장 중요한 구성 요소는 CMS에서 생체 정보를 취합, 평가하여 문자 메시지 전송을 요청하는 과정이다. CMS의 데이터베이스는 크게 2개로 구성되어 있는데 산소포화도 모니터기와 환자정보, 그리고 간호사 정보를 저장하는 기준정보인 ‘Master Information’과 실제 측정 정보를 저장하는 ‘Data Trend’이다. CMS 1대에 최대 16개의 산소포화도 모니터기가 연결될 수 있으므로 기준 정보인 ‘Master Information’ 1개와 16개의 ‘Data Trend’로 구성되어 있다. 기기의 생체 정보 측정 기록은 ‘Data Trend’ + 기기번호로 구성하여 저장한다. 즉, 1번 산소포화도 모니터기의 생체 정보 측정 기록은 ‘Data Trend 01’에 저장한다.

<Figure 7>은 실시간 환자 모니터링 시스템의 DB 스키마를 나타내고 있다. ‘Master Information’은 산소포화도 모니터기 정보, 환자 정보, 근무 간호사의 전화번호 정보, 그리고 문자 메시지를 전송할 내용과 전송 주기 및 횟수를 정의한 기준 정보를 저장하고 있다. ‘Data Trend’는 실제로 산소포화도 모니터기에

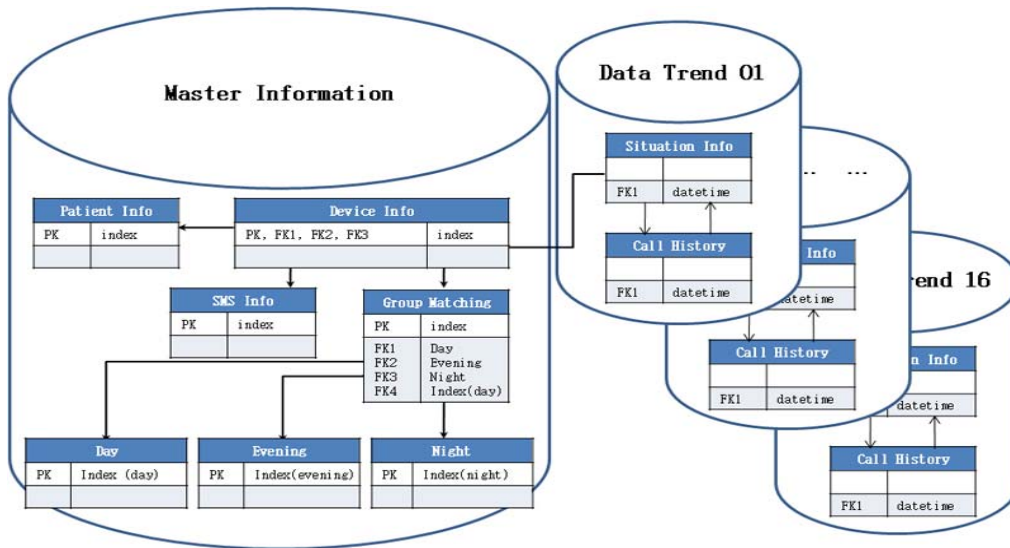


Figure 7. DB 스키마

서 발생한 생체 측정 정보를 실시간으로 저장한 정보와 이상 수치가 발생한 경우 문자 메시지를 전송한 결과를 저장한 정보로 구성되어 있다. 산소포화도 모니터링에서 측정된 생체 정보를 'Data Trend'의 상황 정보(Situation Info) 테이블에 저장하고 이상 수치가 발생하면 기준 정보인 'Master Information'에서 기기 정보(Device Info) 테이블에서 기기 ID(Device ID)로 산소포화도 모니터링의 위치정보(Location)를 찾고, 환자 정보(Patient Info) 테이블에서 환자 정보를 찾는다. 그리고 SMS 정보(SMS Info) 테이블에서 문자 메시지 발송 횟수 및 발송 간격을 조회하여 그룹 매칭(Group Matching) 테이블을 통하여 근무하고 있는 간호사의 전화번호로 문자 메시지를 발송한다. 이때 문자 메시지로 발송하는 정보는 환자정보와 SMS 정보 테이블에서 정의한 경보 체크(Alarm Check) 13개 항목에서 'True'로 체크된 경보 정보이다. 문자 메시지를 발송하고 그 결과 값은 'Data Trend'의 호출 이력(Call History) 테이블에 저장하는데 이

때 발송한 횟수도 같이 저장된다.

<Figure 8>은 환자 모니터링 시스템 구성 요소간의 정보의 흐름 및 메시지 구조를 보여 주고 있다. 산소포화도 모니터링에서는 산소포화도 측정값과 정상적인 산소포화도의 범위값, 그리고 경보 상태 정보를 트랜스미터로 전달한다. 트랜스미터는 수신한 정보에 기기 ID, 즉 산소포화도 모니터링의 위치정보를 첨부하여 전송한다. 산소포화도 모니터링의 위치정보를 통해 환자 및 근무 간호사 정보를 추출할 수 있다. CMS 서버는 여기에 환자의 병상에 위치하는 전화번호, 근무 간호사의 전화번호, 그리고 문자 메시지를 발송할 횟수를 덧붙여 SMS 서버로 전송한다. SMS 서버는 접수된 정보를 문자 메시지로 변경하여 LAP 스위치를 통하여 무선 IP 전화기로 전송한다. 이때 메시지를 전송한 시간과 무선 IP 전화기에서 메시지를 수신한 시간, 그리고 그 결과 값을 저장한다. 부가적으로 ESME 정보를 저장하여 추후 정보에 대한 감사를 할 때 활용할 수 있도록 한다.

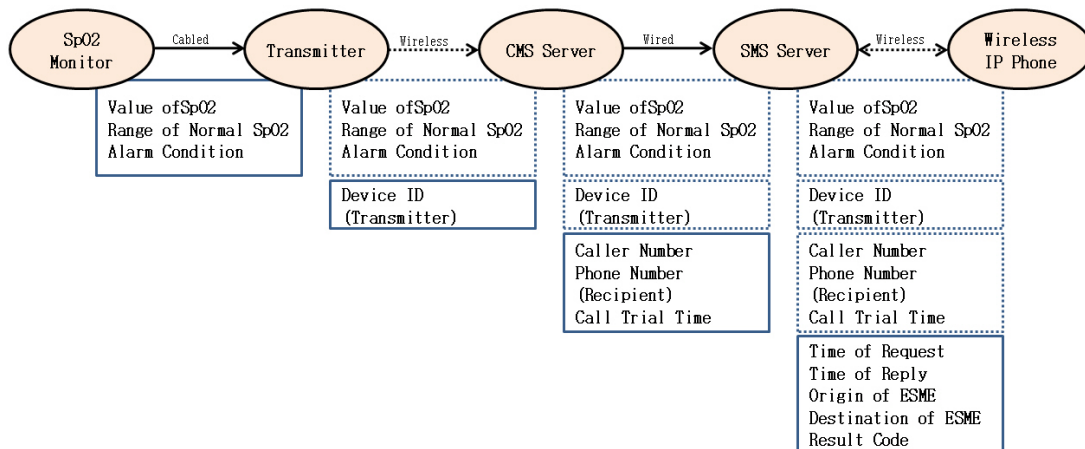


Figure 8. 시스템 구성요소 간 메시지 흐름

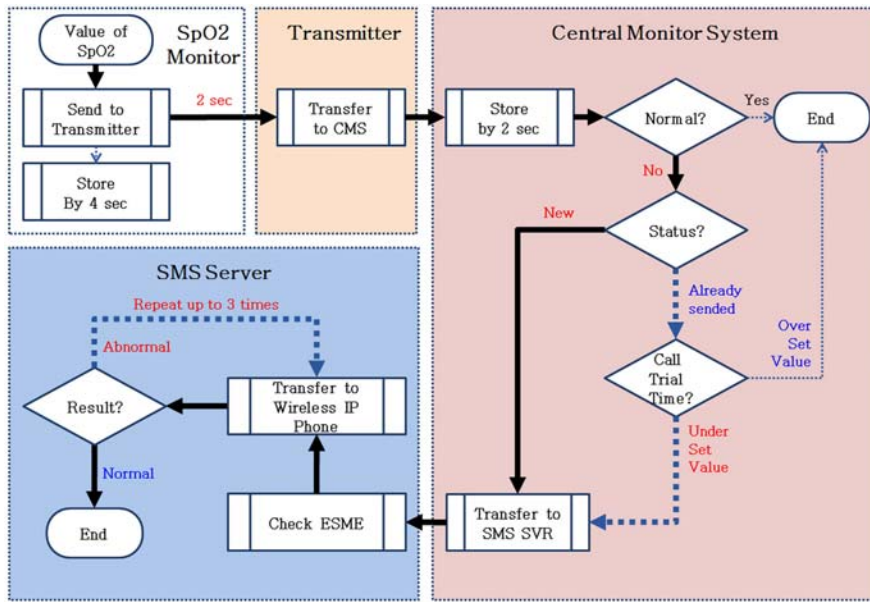


Figure 9. 환자 모니터링 시스템 알고리즘

4.3 환자 모니터링 시스템 알고리즘

<Figure 9>는 본 연구에서 구축한 환자 모니터링 시스템의 핵심적인 알고리즘을 보여주고 있다. 환자가 수술 후 병실에 돌아오면 손가락에 센서를 끼워서 산소포화도를 측정하고, 측정된 생체 정보와 정상/비정상 여부 관련 정보가 2초 간격으로 트랜스미터로 전달된다. 트랜스미터는 무선 네트워크를 통하여 CMS로 메시지를 재전송하게 된다.

CMS는 수집된 정보를 평가하여 정상이면 전송과정을 종료한다. 만약 비정상이라고 평가되면 CMS에 설정된 경보 관련 정보(경보 형태, 경보 발송 횟수, 경보 발송 시 시간 간격)를 참조한다. 비정상 정보가 처음으로 발생한 경우에는 SMS 서버에 환자를 간호하는 간호사의 무선 IP 전화기 정보와 생체정보 및 경보 정보를 문자 메시지로 발송하도록 요청한다. 만일 이미 발송하였던 동일한 환자의 정보이면 CMS에서 설정한 경보 발송 횟수를 확인한다. 그리고 발송 횟수가 설정한 값보다 적은 경우에는 SMS 서버로 문자 메시지 전송을 요청하지만 이미 발송횟수를 초과한 경우에는 전송과정을 종료한다.

SMS 서버에서는 접수한 환자 정보, 간호사 전화번호, 생체 정보와 경보 관련 사항을 문자 메시지 형태로 포장을 하여 ESME인 IAP 스위치에 전달한다. IAP 스위치에서 무선 IP 전화기로 문자 메시지를 전송한 결과가 정상이면 전송과정을 종료한다. 만약 전송결과가 비정상이면 3회에 걸쳐 재전송을 시도하게 된다.

5. 시스템 구현 및 활용

5.1 무선 네트워크 환경 구축 경과

본 연구에서 개발한 환자 모니터링 시스템을 도입한 병원

에서는 전자의무기록을 수행하기 위하여 무선 노트북을 설치하기 시작한 2003년부터 무선 네트워크 환경을 구축하였다. 병동내 환자 침상 옆에서 간호사가 노트북으로 의무기록을 입력할 수 있도록 본원과 별관동에 무선 네트워크 AP를 371 개 설치하였다. 설치된 무선 네트워크 환경을 활용하여 바코드 투약시스템과 무선 IP 전화기를 도입하여 활용하고 있다.

2008년 암센터 개원 시 환자 모니터링 시스템을 구축 적용하면서 암센터에 157개의 무선 네트워크 AP를 추가 설치하였다. 2009년에는 환자의 생체 신호 감지를 보다 완벽하게 수행하기 위해서 간호사의 동선을 조사하여 식당, 로비 등 간호사가 이동하는 공간에도 239개의 무선 네트워크 AP를 더 설치하였다. 이로써 병원에 767개의 무선 네트워크 AP를 설치하여 간호사의 위치에 상관없이 환자의 생체 신호를 즉각적으로 파악할 수 있도록 하였다. 현재 무선 네트워크를 적용한 환자 모니터링 시스템은 암센터에만 적용된 기능이지만, 점차 간호 업무의 효율성 제고에 기여하고 있다고 판단하여 본원 병동에도 추가 설치하는 것을 검토하고 있다.

5.2 시스템 개발 환경

본 연구에서 개발한 애플리케이션은 트랜스미터, CMS, SMS 서버에 탑재되어 운영된다. <Table 1>은 트랜스미터, CMS, SMS 서버의 운영체제, 데이터베이스, 데이터 인터페이스, 개발 도구를 정리하여 보여 주고 있다. 트랜스미터에서 구동되는 애플리케이션은 무선 네트워크 상황을 체크하는 애플리케이션과 산소포화도 모니터기로부터 받은 정보를 전송하는 애플리케이션이 있으며, 이들은 Win CE 5.0 환경에서 C++로 개발하였다. CMS에 탑재된 애플리케이션은 전송 받은 정보를 평가하여 SMS 서버로 전송하는 기능과 간호사 스테이션에서 관리할

Table 1. 주요 시스템 구성요소의 개발 환경 및 도구

	Transmitter	CMS	SMS 서버
Operating System	Win CE 5.0	Windows XP	Windows SVR 2003(Java Platform 1.5)
Database	-	Microsoft Access	MySQL 5
Data Interface	(Data Packet)	Database Access Objects	JDBC Database Access
Developing Tool	Win CE 5.0 C++	Visual Studio 2005 C++(.NET)	NetBeans IDE 6.0

수 있는 화면을 제공하는 것으로서 Visual Studio 2005 환경에서 닷넷기반의 C++로 개발되었다. SMS 서버에 탑재되어 CMS에서 받은 정보를 무선 IP 전화기로 전송하는 SMSC 기능을 하는 메시징 서버는 자바 플랫폼 환경에서 NetBeans IDE 6.0을 사용하여 개발되었다.

5.3 환자 모니터링 시스템 운영 시나리오

본 절에서는 본 연구에서 개발한 환자 모니터링 시스템이 도입 병원에서 어떻게 활용되고 있는지를 소개하고자 한다. 수술을 마친 환자가 병실에 도착하면 환자의 상태를 실시간으로 모니터링하기 위하여 산소포화도 모니터링의 전원을 켜다. 이때 산소포화도 모니터링과 RS-232 케이블로 연결되어 있는 트랜스미터에도 전원이 들어오게 된다. <Figure 10>에서 보는 것처럼 트랜스미터에 있는 3개의 LED 중 COM과 LINK의 LED에 녹색 불빛이 들어오면 정상적으로 켜진 것이다. 그런 다음 측정하고자 하는 생체 신호(산소포화도, SpO2)의 최고치와 최

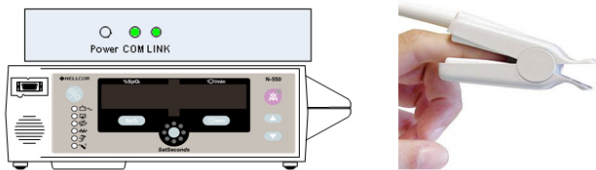


Figure 10. 산소포화도 모니터링기와 트랜스미터



Figure 11. 산소포화도 모니터링기 등록

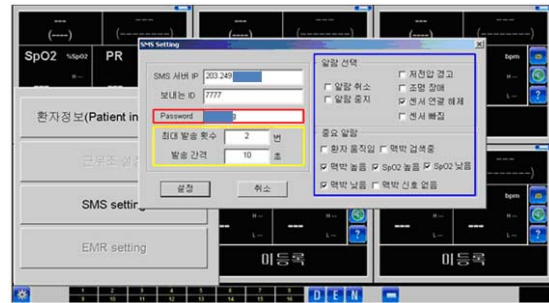


Figure 12. SMS 서버 환경설정

저치를 설정한다. 그리고 환자의 손가락에 센서를 끼워서 환자의 생체 정보를 측정하게 된다.

환자에게 산소포화도 모니터링기를 부착하고 나면 간호사 스테이션에 있는 CMS에서 기기를 등록하여야 한다. <Figure 11>에서 파란색 번호는 이미 선택된 위치를 의미하며, 간호사는 아직 선택되지 않은 위치를 의미하는 회색의 번호 가운데 하나를 선택할 수 있다. 이미 등록된 적이 있는 기기는 연결하게 되면 자동으로 번호가 파란색으로 설정된다.

산소포화도 모니터링기와 CMS가 연결되고 나면 생체 신호의 이상 수치 발생 시 문자 메시지를 전송하기 위한 설정을 해야 한다. <Figure 12>는 SMS 서버의 환경설정 화면을 보여 주고 있다. 문자 메시지를 보낼 SMS 서버의 IP 주소, 발신자 전화번호, 문자 메시지 발송 횟수, 발송 간격, 경보 관련정보 등을 입

Table 2. 13 가지 경보 유형(Alarm Type)

구분	표시 내용	상세 내용	약어
1	[알람 취소]	Alarm Off	AO
2	[알람 중지]	Alarm Silence	AS
3	[저전압 경고]	Low Battery	LB
4	[조명 장애]	Loss of Pulse w/Interference	LM
5	[맥박 신호 없음]	Loss of Pulse	LP
6	[환자 움직임]	Interference Detected	MO
7	[맥박 높음]	Pulse Rate Upper Limit Alarm	PH
8	[맥박 낮음]	Pulse Rate Lower Limit Alarm	PL
9	[맥박 검색 중]	Pulse Search	PS
10	[SpO2 높음]	Saturation Upper Limit Alarm	SH
11	[SpO2 낮음]	Saturation Lower Limit Alarm	SL
12	[센서 연결 해제]	Sensor Disconnect	SD
13	[센서 빠짐]	Sensor Off	SO

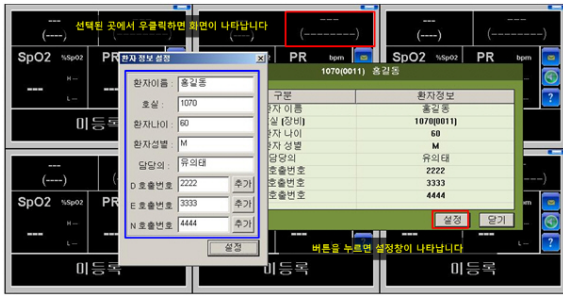


Figure 13. CMS에서의 환자 정보 입력화면



Figure 14. 경보 발생 시 CMS 화면

력한다. SMS 서버 환경설정 기능은 관리자 기능으로서 설정을 완료하기 위해서는 암호를 입력해야 한다.

경보 관련정보는 산소포화도 모니터기에서 발생하는 경보 코드(Alarm Code)와 일치하며, <Table 2>에 제시된 것과 같이 13 가지 경보 유형이 존재한다. 관리자가 환자 상태를 담당 간호사에게 알리고 싶은 항목을 선택을 하여 설정한다. 경보 유형이 선택되고 나면 산소포화도 모니터기에서 경보가 발생하는 경우 문자 메시지가 간호사에게 전송되지만, 선택이 해제 되면 경보가 발생하여도 문자 메시지가 전송되지 않는다.

CMS의 모니터에서 환자의 이름이 표시되는 위치를 클릭하고 마우스의 우측 버튼을 클릭하면 환자 정보를 입력할 수 있다(<Figure 13> 참조). 환자의 이름, 병상번호, 나이, 담당 의사 이름을 입력할 수 있다. 그리고 경보가 발생할 경우 문자 메시지를 발송할 간호사의 무선 IP 전화번호 정보를 입력할 수 있다. 간호사는 3교대로 근무하므로 낮 근무, 저녁 근무, 밤 근무 간호사의 전화번호를 각각 입력할 수 있다. 문자 메시지를 여러 명의 간호사에게 전송하고 싶을 때는 10명 까지 전화번호를 입력할 수 있다.

실제 경보가 발생하면 <Figure 14>와 같이 간호사 스테이션에 설치되어 있는 CMS의 모니터에서 해당 기기에 해당하는 화면이 붉은색 테두리로 깜박이게 된다. 해당 지역에서 근무하고 있는 간호사가 모니터에서 붉은 색의 화면이 깜박이는 것을 확인하면 해당 환자를 파악하여 신속히 환자에게 적절한 조치를 취할 수 있다.

간호사가 CMS 모니터를 항상 지켜볼 수는 없다. 경보 발생 시 문자 메시지가 무선 IP 전화기로 <Figure 15>와 같은 문자 메시지가 전송되므로 간호사가 어느 곳에 있든지 신속하게 경보 상황을 파악할 수 있다. 문자 메시지로 전송되는 정보는 침상번호, 병실, 환자 이름, 산소포화도, 맥박, 문자 메시지 발생

원인 순으로 표시하였다. 문자 메시지가 전송되는 경우에는 경보가 발생했다는 것이므로 경보의 원인이 여러 개인 경우에도 모두 표시될 수 있도록 하였다. 문자 메시지를 수신한 간호사는 해당 환자에게 신속히 이동하여 응급조치를 실시한다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 u-Healthcare 구현의 근간이 되는 환자의 생체신호를 무선 네트워크를 통해 실시간으로 모니터링하는 시스템의 구축 사례를 소개하였다. 시장 조사기관인 프로스트 앤 설리반(redOrbit.com, 2006) 자료에 의하면 효율적인 무선 네트워크 기반의 환자 모니터링 시스템은 생산성을 제고하고 의료사고는 감소시킨다. 반면 시스템을 구축하는 데 요구되는 투자 예산 문제가 시스템 도입의 가장 큰 장애 요인으로 제시하고 있다.

본 연구에서 개발한 시스템의 실제 사용자인 현장의 간호사들에 따르면, 시스템 도입 이전에는 환자의 상태가 악화되는 경우 이를 인지하는 데 소요되는 시간이 최소한 15초 이상 걸렸다고 한다. 그러나 시스템을 구축한 이후 환자의 생체 신호가 정상범위를 벗어나는 경우 최대 10초 이내에 문자 메시지가 간호사가 소지하고 있는 무선 IP 전화기로 자동 전송되어 신속하게 환자 이상 상태를 파악할 수 있다. 뿐만 아니라 간호사가 항상 환자 옆에 있을 필요가 없으므로 업무 생산성이 높아지면서도, 이상 상태 발생 시 환자에게는 신속한 조치를 취할 수 있다.

2008년 3월에는 취장암 환자가 취장/십이지장 절제술을 받고 일반 병실에서 간호를 받던 중 산소포화도가 72%까지 떨어졌으나 본 연구에서 개발한 시스템의 도움으로 담당 간호사가

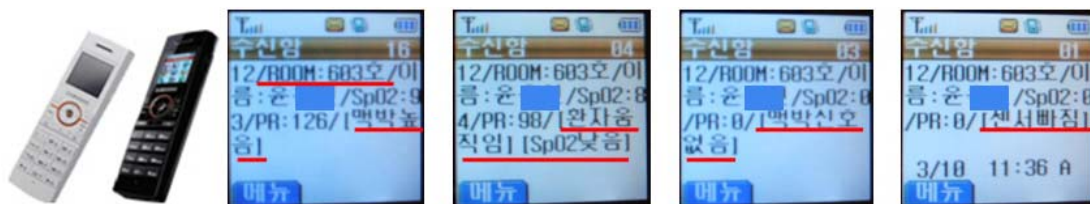


Figure 15. 무선 IP 전화기에 전송된 경보 메시지 내용

경보 발생 사실을 빨리 인지하고 응급조치를 취하여 환자를 호전시켰다. 이런 경우 만약 환자 상태 파악이 늦어지면 환자에게 치명적인 영향을 미쳐 의료사고가 유발될 수 있다. 실제 사용자인 현장 간호사의 의견을 종합하면, 본 연구에서 개발한 무선 네트워크 기반의 환자 모니터링 시스템은 프로스트 앤 설리반이 제시한 바와 같이 병원 현장에서 의료인의 생산성을 높일 뿐만 아니라 의료사고 감소에 기여한 것으로 판단된다.

프로스트 앤 설리반이 제시한 시스템 도입의 장애요소인 투자 예산 문제는 다른 시각으로 접근 가능한 것으로 판단된다. 만약 환자 모니터링 시스템만을 위해서 병원 전체 무선 네트워크를 구축한다면 투자비가 막대한 관계로 사업 진행이 어려울 것이다. 그러나 Baker(2008)가 언급한 바와 같이 최근 무선 정보통신 기술의 발달로 대부분의 병원에서 무선 LAN을 구축하여 전자의무기록, 투약 바코드시스템, 무선 IP 전화기, 고가 장비 추적시스템, 의료진 및 환자 동선 파악 등 다양한 용도로 활용하고 있어 활용도 대비 투자비는 저렴한 것으로 판단된다. 본 연구를 진행한 병원에서도 기존 인프라로 무선 네트워크를 이미 구비하고 있어서 본 시스템 구축 시에는 트랜스미터와 CMS 애플리케이션 개발 관련 투자비만 소요되었다. 따라서 병원에서 무선 네트워크를 위한 투자는 더 이상 장애 요소가 아닌 것으로 판단할 수 있다. 이와 같이 무선 네트워크 기반의 실시간 환자 모니터링 시스템은 점진적으로 장애 요소는 감소하는 반면 그 혜택은 증가할 것으로 판단되어 향후 지속적으로 확산이 될 것으로 판단된다.

본 논문에서 소개된 사례는 환자 생체정보의 실시간 모니터링이라는 본연의 기능에 충실하였다. 그러나 환자정보를 CMS에서 간호사가 직접 등록하는 등 의료정보 통합 관점에서는 병원의 기간 의료정보시스템과의 유기적인 정보 공유가 제대로 이루어지지 않았다. 따라서 향후 보다 효율적인 환자 모니터링 시스템이 구축되기 위해서는 측정된 생체 신호가 병원의 전자의무기록에 자동으로 기록되는 등 병원의 기간 의료정보시스템과의 유기적 연계를 달성하는 방안에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 구축 후 운영과정에서 발생하는 문제점들에 대한 지속적인 분석 및 연구를 통한 시스템 고도화 작업이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Al-Ali, A-R., Al-Rousan, M., and Ozkul, T. (2006), Implementation of experimental communication protocol for health monitoring of patients, *Computer Standards & Interfaces*, 28(5), 523-530, doi : 10.1016/j.csi.2005.01.021.
- Baker, S. D. and Hoglund, D. H. (2008), Medical-grade, mission-critical wireless networks, *IEEE Eng Med Biol Mag*, 27(2), 86-95, PMID : 18463024.
- Choi, J-W., Kim, Y-H., Lee, S-G., Lee, J-O., Oh, B-H., and Cho, H-I. (1997), A Telemedicine System Using B-ISDN, *Journal of Korean Society of Medical Informatics*, 3(2), 141-146.
- Do, H-H. and Kim, I-K. (2007), The Remote Health System utilizing Wireless Communication of Personal Health Information, *Journal of Korean Society of Medical Informatics*, 13(4), 403-416.
- Inderscience Publishers (2009), Ubiquitous health: Enabling telemedicine to cut hospital visits, save money, *ScienceDaily*, Retrieved January 23, 2010, from <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/12/091209134644.htm>.
- Ji, K-Y. (2007), The innovative marketing of Hospital in the ubiquitous environment, *Journal of the Korean Hospital Association*, Sep-Oct, 63-73.
- Jung, W-S. and Oh, Y-H. (2008), Patient Monitoring System Base on U-Healthcare, *Journal of Korea Information and Communication Society*, 33(7), 575-582.
- Kundu, S., Mukherjee, J., and Majumdar, A. K. (2005), Patient's data browsing in wireless LAN in TELEMEDIK, *ICPWC, New Delhi*, 272-275, DOI : 10.1109/ICPWC.2005.1431347.
- Lee, J-H., Kim, K-K., Kim, H-S., Jeong, P-S., Jung, W-S., and Oh, Y-H. (2008), Implementation of U-Healthcare Monitoring System based on USN, *Journal of Korea Information and Communication Society*, 33(2), 75-81.
- Lee, M-H. (2006), The national technical trend at e(u)-Healthcare industry, *u-Healthcare seminar based on wearable computer*.
- Loh, P. K. K. and Allan, L. (2005), Medical Informatics System with Wireless Sensor Network-enabled for Hospitals, *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, 2005. Proceedings of the 2005 International Conference on*, 265-270.
- Moron, M. J., Casilari, E., Luque, R., and Gazquez, J. A. (2005), A wireless monitoring system for pulse-oximetry sensors, *Wireless Technologies/High Speed Networks/Multimedia Communications Systems/Sensor Networks, International Conference on*, 79-84, DOI : 10.1109/ICW.2005.20.
- Pollard, J. K., Rohman, S., and Fry, M. E. J. (2001), A web-based mobile medical monitoring system, *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems : Technology and Applications, International Workshop on*, 32-35.
- Rashvand, H. F. et al. (2008), "Ubiquitous wireless telemedicine," *Special Issue on TELEMEDICINE AND E-HEALTH COMMUNICATION SYSTEMS*, IET Com., 2(2).
- Reddy, M. C., McDonald, D. W., Pratt, W., and Shabot, M. M. (2005), Technology, work, and information flows : Lessons from the implementation of a wireless alert pager system, *Journal of Biomedical Informatics*, 38(3), 229-238, doi : 10.1016/j.jbi.2004.11.010.
- redOrbit.com (2006), Wireless Patient Monitoring Promises Reduced Hospital Costs By Freeing Expensive Critical Care Areas, *redOrbit*, Retrieved January 23, 2010, from http://www.redorbit.com/news/health/407062/wireless_patient_monitoring_promises_reduced_hospital_costs_by_freeing_expensive/index.html.
- Sneha, S. and Varshney, U. (2009), Enabling ubiquitous patient monitoring: Model, decision protocols, opportunities and challenges, *Decision Support Systems*, 46(3), 606-619, doi : DOI : 10.1016/j.dss.2008.11.014.
- Straka, K. (2008), Wireless Telephone Systems and the Impact on Patient Satisfaction Scores : A Pilot Study, *Journal of Pediatric Nursing*, 25(1), 33-34, doi : 10.1016/j.pedn.2008.06.002.
- Varshney, U. (2006), Patient monitoring using infrastructure-oriented wireless LANs, *International Journal of Electronic Healthcare*, 2(2), 149-163.
- Varshney, U. (2008), A framework for supporting emergency messages in wireless patient monitoring, *Decis. Support Syst.*, 45(4), 981-996, doi : 10.1016/j.dss.2008.03.006.



최 중 수

삼성서울병원 정보전략팀 정보기획파트장
현재 : 숭실대학교 산업정보시스템공학과 박사과정
관심분야 : 의료정보, u-Healthcare,
wireless solution



김 동 수

2001년 서울대학교 산업공학과 공학박사
현재 : 숭실대학교 산업·정보시스템공학과
부교수
관심분야 : u-서비스, BPM, 의료정보시스템