

A Study on Mobile Personalized Healthcare Management System

Lee Nan Kyung[†] · Lee Jong Ok^{**}

ABSTRACT

Recent changes in health care environment including aging population and prevalence of chronic disease encourage the adoption of new innovative technological solutions including wearable vital sensors, wireless networks, and smart phone. In this paper, we present an effective at-home lifestyle monitoring system that can be used for self-management and health intervention of patient himself in the Management-by-Exception perspectives. We implemented the filtering and queuing algorithms as a preprocessor of monitoring system to enhance efficiency of proposed system, and the effective UX design for self-management of patients themselves. The 94,467 actual clinic data was used to test the efficiency of the proposed system. As a result, 64.8% of the incoming vital data was identified to be filtered out.

Keywords : Mobile Healthcare, Exceptional Monitoring, WBAN, Chronical Disease

모바일 개인건강관리시스템에 관한 연구

이 난 경[†] · 이 종 옥^{**}

요 약

고령화와 만성질환의 만연 등으로 인한 헬스케어환경의 급격한 변화는 착용형 인체센서, 무선네트워크 및 스마트폰이 결합한 새로운 적용영역을 창출하고 있다. 본 연구는 예외 관리적 관점에서 재택환자의 일상의 건강상태를 효과적으로 모니터링하며, 재택환자는 스마트폰을 활용한 건강모니터링을 통해 자기관리 및 적절한 건강 개입을 할 수 있는 시스템을 제공함으로써 새로운 의료서비스를 창출할 수 있는 기반을 제공하였다. 특히 기존 연구에서는 스마트폰이 단지 데이터 전달자로서의 역할에 그친 데 반하여, 본 연구에서는 스마트폰의 컴퓨팅 기능을 활용하여 의료인의 재택환자 일상생활 관리를 위한 데이터가공, 모니터링 시스템의 핵심인 필터링과 큐잉 등의 전처리과정을 구현함으로써 시스템의 효율성을 높였고, 환자 스스로의 자기관리를 위한 UX 디자인을 제시하였다. 제안 시스템의 성능을 검증하기 위해 총 94,467건의 실제 임상 데이터를 수집하여 제안시스템을 테스트한 결과 전체 대비 64.8%가 필터링 되는 등 높은 효율성이 검증되었다.

키워드 : 모바일 헬스케어, 예외모니터링, 인체통신망, 만성질환

1. 서 론

최근의 ICT 기술 발전과 적용영역 확대는 기존의 전통적 개념을 초과하는 서비스를 창출할 수 있는 가능성을 제공하며[19]. 스마트폰과 이동통신네트워크 및 기존의 ICT 기술의 결합은 유비쿼터스 편재형 컴퓨팅(ubiquitous pervasive computing)의 실현을 가시화하고 있다[1-3].

또한 최근의 의료기술의 발전과 사회경제적 풍요는 인간의 기대수명을 급격히 늘리고, 건강에 대한 관심을 증폭시키고 있다. 그러나 인구고령화와 이에 따른 노인병과 현대

적 생활습관에 기인한 만성질환의 만연은 건강관리비용의 급격한 증가와 더불어 사회적 생산성을 저하시키고 있는 상황이다[4]. 이에 따라 세계 각국에서 인구노령화와 의료비 증가에 따른 건강관련 재정에 대한 대비책이 시급한 국가적 과제도 대두되고 있는 실정이다[5].

유비쿼터스 편재형 컴퓨팅 기술의 보편화와 인구고령화와 만성질환의 만연이라는 보건사회 환경의 변화는 환자가 의료기관을 방문하였을 때 서비스가 제공되던 전통적인 병원 중심의 헬스케어(healthcare) 서비스의 범위를 뛰어넘어 재택환자의 개인별 일상생활의 관리[6]와 적절한 건강 개입[7, 8]을 통해 개별적 의료서비스를 언제 어디서나 제공할 수 있는 체제로 발전되고 있으며, 이와 같이 최신의 모바일 기술을 활용한 새로운 의료서비스 프랙티스를 mHealth라 한다[9, 10]. mHealth의 적용범위는 최근에 실용화가 가시적으로 대두된 WWBS(착용형 무선 생체의료 센서, Wearable Wireless

[†] 정 회 원 : 넥스그리드 헬스케어연구소 소장

^{**} 정 회 원 : 동국대학교 경영학부 교수

Manuscript Received: January 23, 2015

First Revision: April 21, 2015

Second Revision: May 19, 2015

Accepted: May 19, 2015

* Corresponding Author: Lee Jong Ok(jolee@dongguk.edu)

Biomedical Sensor)와 WBAN(무선인체 네트워크, Wireless Body Network)이 스마트폰과 이동통신과 결합함으로써 모바일폰이 환자들의 일상생활을 언제 어디서라도 모니터링할 수 있게 만들고 있으며[11, 12], 이로부터 의료인이 적절히 건강 개입을 할 수 있게 하는 등 만성질환 관리 및 환자의 일상 모니터링을 통한 건강 개입을 가능케 하는 중요한 플랫폼으로 인식되고 있다[3, 8, 13].

최근의 mHealth 분야 연구 동향은 스마트폰을 건강상태 모니터링을 위한 생체센서 플랫폼으로 활용하고[3, 14-16], 이를 통해 수집된 정보를 활용하여 노인병과 만성질환 환자의 생활습관을 관리하는 등의 건강 개입[7, 8]과 환자 스스로의 자기관리[13, 17]를 할 수 있는 시스템 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 즉, 스마트폰을 환자의 착용형 인체감지 센서와 HIS(병원정보시스템, Hospital Information System)를 연결하는 중계자로 활용하는 다계층(multi-tier) 아키텍처에 대한 연구[1, 2, 5, 11, 18-20, 23]가 활발히 진행되고 있으나 대부분의 선행연구들은 스마트폰은 단순히 취득된 정보를 전송하는 gateway 역할만 부여하기에 실용성이 떨어진다고 할 수 있다. 즉, 스마트폰을 단지 데이터전달자로만 활용한다면 환자의 모든 생체데이터가 의료인에게 전달되어지며, 이는 의료인들이 병원 밖의 환자들의 상태관리에 많은 시간을 할애하지 못하는 현실[24]에 부합하지 않는 시스템이라 할 수 있다.

이에 따라 본 연구는 재택환자건강관리를 위한 모니터링 시스템의 핵심이 의료인이 관찰할 필요가 없는 환자의 정상상태에 대한 생체데이터는 전달하지 않고 의료인이 필수적으로 개입해야 할 비정상 생체데이터만을 전달하는 mPHMs(모바일 개인건강관리시스템, mobile Personalized Healthcare Management System)의 아키텍처 및 컴포넌트 체계를 제시하고자 한다. 즉, mPHMs는 스마트폰을 강력한 컴퓨팅 기능을 가진 전처리기(pre-processor)의 역할을 부여하고, 수집된 생체데이터에 대해 전송할 필요가 없는 정상적 데이터는 필터링(filtering) 등의 전처리(pre-process)를 행하는 MBE(예외관리, Management By Exception) 관점의 모니터링 시스템을 제안한다.

mPHMs는 환자의 정상데이터는 거르고 비정상데이터만을 전송하는 시스템이기에 결과적으로 데이터 압축의 효과를 가져와 데이터 전송효율을 포함한 시스템의 효율성을 제고할 수 있으며, 의료인의 관점에서는 건강 개입이 필요한 시점에, 모니터링 해야 할 데이터만 시각적으로 관찰할 수 있기에 시스템의 효과성이 제고될 것으로 기대하고 있다.

이미 이종욱과 이난경(2014)은 본 연구의 선행연구를 통해 mPHMs 아키텍처 제시를 위한 이론적 배경 및 기술적 요소 선정, 시스템의 요건 정의 및 아키텍처 제시 등을 통해 프로토타입을 제시한 바가 있다. 그러나 선행연구는 센서디바이스, 스마트폰 및 병원정보시스템 간의 데이터 전송 등에 관한 기술적 검토와 프로토타입 설계만을 제시하였기에 실제 의료공간에서의 활용성을 제고할 수 있는 부분은 부족하였다.

이에 따라 본 연구는 실제 의료현장에서 의료진과 재택만

성질환자가 제안시스템을 활용하는 관점에서 필수적으로 구현되어야 할 시스템의 기능과 처리방안 및 유용한 사용자 인터페이스를 구현하여 제시하고자 한다.

따라서 본 연구에서 제시하는 mPHMs는 이론적 체계뿐만 아니라 의료현장에서 활용 가능한 실제 시스템을 구현하여 제시하기에 시스템의 활용성이 클 것으로 기대하고 있다.

2. 모바일 개인생활건강관리 시스템 구조설계

2.1 mPHMs 시스템 요건 및 서비스 정의

인구노령화 추세와 만성질환의 확산은 보건의료재정 약화에 지대한 영향을 미치고 있을 뿐만 아니라[25, 26], 우리나라를 포함한 전 세계적으로 주요사망원인으로 대두되고 있는 실정이다[4, 27-28]. 이러한 노인병과 만성질환에 대한 효과적인 진단과 치료를 위해서는 전통적인 의료서비스와 더불어, 환자 스스로 일상생활에서의 생활습관 관리(lifestyle management)[3, 7, 20]와 이 과정에서의 의료서비스 또는 건강 개입(healthcare intervention)[8, 17]이 요구되고 있다.

따라서 노인병과 만성질환을 관리하기 위한 시스템은 의료인이 환자의 일상생활을 관찰 또는 모니터링 할 수 있어야 하며[3, 15], 기존에 환자가 병원을 방문하였을 때 취득하던 종단적(縱斷的, latitudinal) 생체측정(biomedical sensing) 데이터뿐만 아니라 환자의 일상생활에서 발생하는 장기간 및 시간적 개념의 횡단적(橫斷的, longitudinal) 데이터를 취득할 수 있어야 된다[12, 23, 29]. 또한 환자 자신의 생활습관 관리를 위해서는 환자 또는 간병인에게도 건강 개입과 자기관리(self-management)를 위한 적절한 정보가 제공되어야 한다[7, 8, 17].

본 연구에서 제시하는 mPHMs는 Fig. 1의 예시와 같이 생체의료데이터 감지장치로부터 발생하는 RBHD(실시간 생체측정자료, Realtime Biomedical Health Data)를 수집 및 가공하여 HIS로 PLHI(개인생활건강정보, Personalized Lifestyle Healthcare Information)를 전달해주는 시스템이다. 이 시스템은 의료인이 MBE 관점으로 환자의 일상생활을 모니터링할 수 있도록 지원하며, 환자 또는 간병인은 환자의 스마트폰 앱이 제공하는 적절한 건강 개입 정보를 활용하여 자기관리를 할 수 있게 된다.

즉, mPHMs는 EMR(전자의무기록, Electronic Medical Record)을 기반으로 진단지향 업무를 수행하는 전통적인 HIS에 PLHI 기록을 제공함으로써 분석 지향적 의료서비스를 가능케 하며, 환자에게도 모바일 앱으로 PLHI를 제공하여 생활 지향적 활동을 지원하기에, 진단/치료-분석-생활관리 등의 3단계 관리체제를 형성할 수 있도록 한다. 또한 mPHMs는 별도의 장비 없이 환자의 스마트폰을 이용하기에 경제성과 편재성(pervasiveness)을 보장할 수 있다.

2.2 mPHMs 시스템 계층과 네트워크

최근의 헬스케어 영역의 추세는 모바일 헬스모니터링으로 나타나고 있다[14]. 즉, WWBS와 WBAN의 발달[11, 30-31]

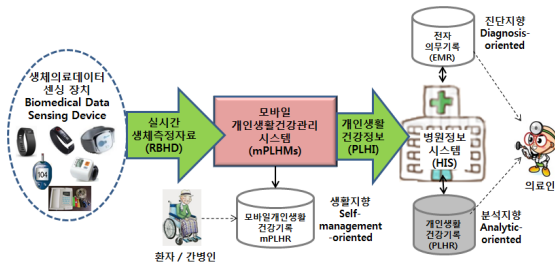


Fig. 1. The Service Concept of mPHMs (source : 이난경과 이종욱(2014), updated)

과, 스마트폰의 데이터 수집능력과 이동통신망을 이용한 데이터 전송능력을 결합하여[17], 만성질환자의 생활을 모니터링하고[3], 이로부터 건강 개입을 하는[1, 8, 32], 헬스 모니터링 영역에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

즉, 병원이라는 제한된 오프라인 환경에서 이루어지던 전통적 의료서비스에 유비쿼터스 네트워크(ubiquitous network)를 활용해 시공간의 제약을 초월해 의료서비스를 제공하는 u-헬스케어(ubiquitous Healthcare)가 대두되었고[33, 34], 최근에는 모바일 스마트폰을 플랫폼으로 한 편재형 의료서비스(pervasive healthcare) 형태로 발전되었으며 이를 mHealth라 한다[19]. 특히 mHealth는 WBAN을 이용한 모바일 건강모니터링에 대한 연구에 관심이 집중되고 있다[3, 8, 17].

최근 들어 WWBS에서 수집된 생체의료정보를 HIS에 전달하기 위한 mHealth 시스템의 다계층(multi-tier) 아키텍처에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나[3-4, 11, 23, 28, 35-36], 대부분의 선행연구 아키텍처들은 스마트폰을 단순히 데이터를 전달하는 gateway 역할로만 사용할 뿐, 스마트폰의 데이터 수집 및 처리 능력[15]을 간과하고 있는 실정이다. 다만 이난경과 이종욱(2014)의 선행연구에서 스마트폰 앱으로 수집된 생체측정 데이터를 가공하여 HIS에 전달하는 등 스마트폰의 컴퓨터 능력을 활용하는 아키텍처가 제시된 바 있으나, 건강모니터링 시스템의 필수 요건인 HIS 또는 의료인의 응급상황 감지능력[16]과 만성질환관리에 필수적인 환자의 자기관리를 위한 건강 개입(healthcare intervention) 기능[10, 17]이 결여되어있는 상황이다.

따라서 본 연구에서 제시하는 mPHIMs는 전술한 선행연구들의 아키텍처를 보완하기 위해 Fig. 2와 같은 3 계층 시스템을 제시한다. 즉, 첫 번째 계층인 'BDSU(생체의료 데이터 감지 영역, Biomedical Data Sensing Unit)'는 환자의 실시간 생리학적 데이터를 측정하는 기능을 제공하며, 두 번째 계층인 'PU(환자 영역, Patient Unit)'는 BDSU로부터 수신된 실시간 생체 데이터를 HIS에서 요구되는 MBE 관점의 모니터링을 통해 횡단적 정보로 가공하여 안정적으로 전달하는 기능뿐만 아니라 환자의 일상생활에 대한 건강 개입 기능을 제공하며, 'PCU(환자치료 영역, Patient Care Unit)'는 전통적인 치료영역 공간으로 역할을 분담하는 계층으로 설계하였다. 특히 PU는 단순히 BDSU의 생체데이터를 PCU에 전달하는 gateway 역할뿐만 아니라, BDSU로부터 감지한 데이터에서 응급상황을 인지한 즉시 PCU에 응급신호

(Alert Notification)를 우선처리(preemption)하는 기능[16]과, 네트워크 또는 PCU의 장애 상황을 해결하기 위한 지연전송(Differed Transfer) 기능도 제공한다.

최근 들어 신체적 활력징후(vital sign)는 환자의 건강상태를 감지할 수 있는 선행인자로 인식되기에[38] 이를 감지할 수 있는 WWBS 및 WBAN의 활용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[28, 35, 37]. WPAN 프로토콜인 IEEE 802.15.4의 지그비(ZigBee)는 라우팅 기능을 이용한 비동기네트워크를 형성할 수 있는 장점으로 인해 특정 지역인 병동 등에 WBAN을 형성할 수 있는 이점은 있으나[14, 30, 38], 본 연구가 대상으로 하는 환자의 거주 지역이 분산되어있으며 이동성이 강한 개별 환자의 경우 라우터 등의 기능과 설비의 부가가 어려운 점을 고려하여 본 연구에서는 채택하지 않았다. 본 제안시스템은 최근 대부분의 스마트폰이 지원하고 있는 BT-LE(저전력 블루투스, Bluetooth Low Energy)를 BDSU와 PU 간의 네트워크 프로토콜로 채택하였다.

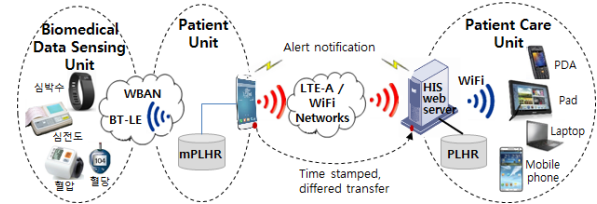


Fig. 2. The 3-tier Architecture of mPHMs (source : 이난경과 이종욱(2014), updated)

즉, BT-LE는 이난경과 이종욱(2014)의 연구에 따르면 최신 스마트폰에 내장되어 있기에 경제성(cost-effectiveness)이 있으며 사용자가 터치로 손쉽게 연결할 수 있기에 용이성(easiness)이 있으며 저전력형이기에 가용성(availability)이 있고 다수의 WWBS를 연결할 수 있는 확장성(scalability)이 있기 때문이다[39]. 또한 스마트폰과 병원정보시스템 간의 통신망을 최근의 모바일 네트워크 표준인 LTE-A 또는 WiFi 통신망을 사용하여 경제성, 신뢰성 및 편재성을 보장토록 한다[11, 28].

3. 모바일 개인건강관리 시스템 애플리케이션 설계와 구현

3.1 mPHMs의 애플리케이션 컴포넌트 설계

일반적으로 서비스 또는 소프트웨어 컴포넌트들은 재사용성(reusability)과 확장성(expandability)의 극대화를 위해 상호간 느슨하게 연결(loosely coupling)되어야 하며 각각의 컴포넌트는 최대한의 추상화(abstraction)와 자율성(autonomy) 및 무상태성(statelessness)을 유지해야 한다[1]. 이와 같은 일반적인 설계지침을 바탕으로 mPHMs의 헬스케어 모니터링 시스템의 요건을 반영하여 제안 시스템의 소프트웨어 구조를 Fig. 3과 같이 9개의 컴포넌트로 설계하였다.

즉, mPHMs의 애플리케이션 요구사항은 이난경과 이종욱

(2014)의 연구에서 정의한 모바일 헬스케어 모니터링 시스템의 요건인 1) 실시간 및 실생활(Real-time, real lifestyle) 모니터링 [3], 2) 장기간의 횡단적 자료(Time series longitudinal data) 수집[12, 23], 3) 독립형 및 분산형 애플리케이션 유형(Standalone, distributed app type) 동시 지원[15], 4) 네트워크 장애(Network disconnection) 대책[19], 5) 예외관리(Management by exception) 원칙 준수[9, 19] 등과 함께 6) 응급상황 인지(Alert Notification)[16], 7) 자기관리(Self-management)[36] 및 8) 건강 개입(Healthcare Intervention)[8] 등의 추가적인 요건을 반영하였다.

mPHMs 시스템의 기능 또는 서비스의 특징은 1) 건강모니터링(healthcare monitoring), 2) 건강정보 동기화(healthcare data synchronization), 3) 자기관리(self-management) 및 4) 건강 개입(healthcare intervention) 등의 4가지로 요약할 수 있다. 즉, mPHMs 시스템은 복수 개의 WWSD로부터 입력되는 BDSU를 바탕으로 원격지의 의료인이 환자의 일상생활을 관찰할 수 있는 건강모니터링 기능[8, 14]을 MBE적 관점에서 효율적으로 제공하며, 만성질환의 효과적인 치료를 위해 HIS 내에 모니터링 된 결과 데이터의 동기화[2, 15]를 신뢰성 있게 제공하고, 만성질환관리의 핵심 프로세스인 환자 스스로의 자기관리[7, 13]를 지원하며, 건강상태의 위험이 감지되는 즉시 의료인 또는 환자 자신이 건강 개입[8, 17]을 할 수 있는 효과적인 통로를 제공한다.

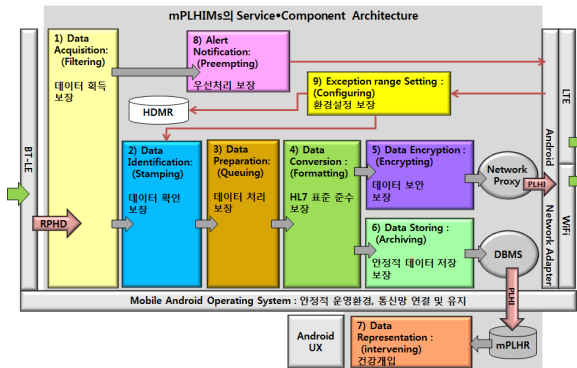


Fig. 3. The Architectural Diagram of mPHMs' components

이러한 서비스 특징을 제공하는 각 컴포넌트의 기능은 다음과 같다.

- 데이터 획득(data acquisition) - (압축, filtering) : MBE 원칙에 따라 의료인이 필요한 비정상 생체감지데이터만을 여과시킴으로써 결과적으로 데이터 압축을 행함.
- 데이터 식별(data identification) - (실시간 인증, time stamping) : 시간적 개념의 횡단적 데이터 관리를 지원하기 위해 입력 시각을 나타내는 타임스탬프를 부착함.
- 데이터 준비(data preparation) - (지연처리, deferrer queuing) : 네트워크 단절 등의 외부 환경적 요인 발생 대비를 위한 입력 데이터의 대기행렬(queueing)화와 지연처리(deferrer processing)를 행함.
- 데이터 변환(data conversion) - (형식변환, formatting) :

수집된 생체감지데이터표준(ISO/IEEE 11073 PHD) 데이터 형식을 HIS를 위한 의료정보표준(HL7)으로 변환함.

- 데이터 암호화(data encryption) - (암호화, encrypting)
- 데이터 축적(data archiving) - (데이터베이스화, archiving) : 건강 개입과 지연처리 등의 지원을 위해 가공된 PLHI를 스마트폰 내에 데이터베이스로 형성함.
- 데이터 출력(data representation) - (건강 개입, intervening) : 환자에게 환자 스스로 자기관리를 할 수 있는 정보를 제공하거나, 의료인의 권고 등을 출력하여 생활습관에 건강 개입을 행함.
- 응급통보(alert notification) - (우선처리, preempting) : 복수 개의 WWBS로부터 수신되는 자료 중 응급상태를 감지하면 우선적으로 HIS 또는 의료인에게 통보함.
- 예외관리범위 설정(exception range setting) - (환경설정, configuring) : 의료인이 HIS를 이용해 개별 환자의 생체 감지 데이터 유형 및 측정범위 등의 시스템 환경을 설정함.

3.2 mPHMs의 구현

지속적인 기술의 진화가 이루어지고 있는 모바일 헬스 분야 [47]와 같은 최신 분야의 애플리케이션은 편재성(pervasiveness), 경제성(cost-effectiveness), 및 용이성(easiness)이 강조되도록 구축되어 사용자들이 쉽게 수용하고 활용할 수 있도록 해야 하며, 이를 위해서는 일반적이고 보편화된 기술 또는 사실 표준(de facto standard)을 적극 사용하여 시스템의 개방성(openness)을 극대화해야 한다. 전술한 원칙에 입각하여 mPHMs의 프로토타입(prototype) 시스템의 운영체제는 2014년 4월 현재 세계시장 점유율이 77%인 안드로이드(Android) 운영체제[40]의 젤리빈(Jelly bean) 4.3.1 버전으로, 하드웨어 플랫폼은 BT-LTE가 지원되는 삼성 갤럭시 S4 LTE-A 모델을, 개발언어는 스마트폰 앱의 사실표준인 Ajax와 HTML 5를 사용하며, 관계형 데이터베이스 관리시스템은 안드로이드 운영체제에 내재된 SQLite를 사용하였다.

3.2.1 필터링과 예외 모니터링

만성질환관리를 위해 환자의 일상생활을 관찰하는 주목적은 생활습관으로부터 발생하는 정보를 수집-처리한 결과에 의료인이 반응하기 위함이다[15]. 통상적으로 실용성의 관점에서 수집된 모든 생체데이터 정보를 의료인에게 전달하고자 시도하였[24], 이러한 관점이 그간의 u-헬스케어가 활성화되지 못하였던 원인 중의 하나로 판단된다.

모니터링의 핵심은 적시(timely) 감시와 상시(always) 감시의 부담 경감을 위해 모니터링 데이터를 통제할 수 있어야 한다는 것이다. 즉, 예외모니터링(exceptional monitoring)이란 정상 범위를 초과하거나 특정 규약을 위반하는 경우에만 관찰자가 관찰할 수 있도록 하는 것을 의미한다[9, 41]. 대부분의 선행연구들은 관찰된 데이터를 모두 전송하거나[3, 15, 17], 일부와 같이 네트워크 부하 경감을 위해 압축된 데이터를 전송[42]하는 등의 방식만 사용하였지 본 연구와 같이 의료인의 모니터링 유용성과 효율성을 제고할 수 있는

예외모니터링 관점을 적용한 예는 없었다.

본 연구에서 구현한 예외모니터링 관점의 필터링(filtering) 개념은 Fig. 4와 같다. 즉, mPHMs는 실시간적으로 발생하는 생체감지 데이터 중에서 ‘위험상태’와 ‘관찰상태’는 HIS 또는 의료인에게 전달하나 ‘정상상태’는 관찰할 필요가 없기에 필터링을 통해 삭제(t2, t7, t8, t9, t10의 경우)한다. 다만 ‘정상상태’ 중에서 초기(t1), 정상이탈(t3, t11), 및 정상진입(t6, t17)은 상태전환인식(state transition contexts)을 위해 필터링 대상에서 제외하여 의료인에게 전달하는 데이터 수 자체를 축소하는 예외모니터링을 구현하였고, 실제 임상데이터에 실험한 결과 이완기혈압의 경우 72%의 필터링 효율을 보였다.

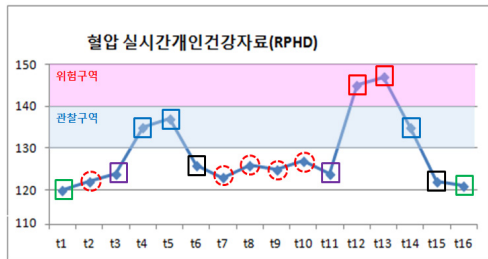


Fig. 4. The Concept of MBE in mPHMs

3.2.2 멀티스레딩과 비동기화

복수 개의 WWBS를 통해 mPHMs로 유입되는 RBHD는 실시간 스트림 데이터(realtime streaming data)라는 특성을 가진다. 즉, Fig. 3에서 제시한 컴포넌트 중 1)부터 6)까지 6개의 컴포넌트는 순차적으로 실행되어야 하는 사슬구조이기에 만약 어느 한 컴포넌트에서 지체상황이 발생된다면 이는 곧 유입되는 RBHD의 망실의 결과를 초래하기에 치명적이라 할 수 있다. 이와 같은 문제는 멀티스레드(multi-thread) 구조에 따른 컴포넌트의 비동기화(asynchronizing)[43]를 구현함으로써 그 피해를 최소화할 수 있다. 또한 mPHMs와 같은 다계층(multi-tier) 구조에서는 계층 간의 처리속도 차이와 일부 계층의 일시 기능정지에 대한 대책이 필수적이다. 일반적으로 속도가 서로 다른 두 개체의 협업은 큐잉(queuing)을 통한 메시징[44]과, 해결이 불가능한 상황이 개선될 때까지 처리를 미루는 지연처리(deferred processing) 방식[45]으로 해결할 수 있다.

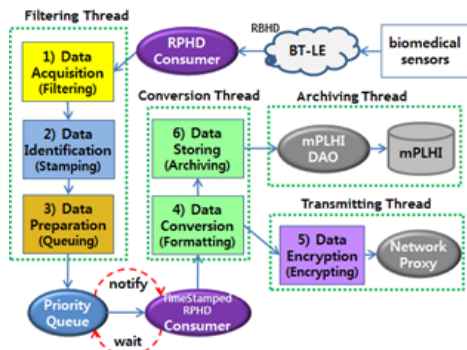


Fig. 5. The Conceptual Diagram of Multi-threaded Structure of mPHMs

4. mPHMs의 테스트

4.1 테스트 절차와 테스트 데이터

일반적으로 구축된 시스템을 테스트하는 절차는 시스템의 기능성을 테스트하는 검증(validation)과 유용성을 평가하는 확인(verification) 과정을 거친다[46]. 검증은 mPHMs의 구축 시행한 단위 및 통합 테스트를 통한 소프트웨어 기능평가인 내부적 검증과, 제안시스템의 주요 기능인 필터링 효율을 외부적 검증절차로 정의한다. 또한 제안 시스템에 대한 사용자 관점의 유용성을 평가하는 확인은 의료인 관점에서의 예외모니터링 효율과 환자 관점에서의 UI 효과성에 대해 확인하였다.

mPHMs 시스템의 기능성과 유효성을 평가하기 위해서는 대규모의 실제 임상데이터(환자의 장기간, 연속적인 활력스트림(vital stream) 데이터)가 필요하기에, 본 연구는 노인 및 만성질환 환자의 임상데이터 획득이 용이한 요양병원 3곳, 재활병원 2곳, 급성기 전문병원 2곳을 대상으로, 총 1,854명의 환자에 대한 수축기 혈압, 이완기 혈압, 및 체온 등 총 94,467건의 임상 데이터를 수집하였다.

Table 1. Result of Filtering

구분	수축기혈압	이완기혈압	체온
데이터 수 (a)	31,489 100%	31,489 100%	31,489 100%
필터링 된 정상 데이터 (b)	14,483 46%	22,727 72.2%	24,015 76.3%
획득된 정상 데이터 (c)	7,086 22.5%	5,096 16.2%	4,680 14.9%
획득된 비정상 데이터 (d)	9,920 31.5%	3,667 11.6%	2,794 8.9%
획득된 데이터 소계 (c)+(d)	17,006 54%	8,763 27.8%	7,474 23.7%

4.2 mPHMs의 기능성 평가

mPHMs의 소프트웨어 기능성 테스트는 구축 시 실시한 단위 및 통합 테스트 과정에서 내부적 검증으로 완료하였다. mPHMs의 외부적 검증은 제안시스템의 핵심기능 중의 하나인 필터링 효율로 검증하였다. 즉, 예외 필터링이란 관찰범위로 진입하는, 또는 이탈하는 정상 데이터(c)를 제외한 연속적인 정상 데이터(b)를 걸러내는 것을 말하며, 본 연구에서 제안한 필터링 알고리즘이 적용된 이후의 데이터인 ‘획득된 데이터 소계(c)+(d)’는 ‘획득된 비정상 데이터(d)’와 ‘획득된 정상 데이터(c)’의 합이며, 필터링 프로세스를 통해 연속적인 정상 데이터(b)만큼 축소되는 효과를 가져온다. 필터링 효과를 측정하기 위해 수축기 혈압, 이완기 혈압 및 체온의 각 31,489건의 실제 임상데이터에 대해 적용된 필터링 프로세스의 결과는 Table 1에 제시되었다. 즉, 3개의 생체데이터에 대한 총 입력데이터 94,467건(a) 중 61,225건(b)이 필터링(64.8%) 되었기에 제안 시스템의 필터링 효율은 매우 높은 것으로 나타났다.

4.3 mPHMs의 유용성 평가

mPHMs의 유용성 평가는 예외모니터링 효율과 UI의 효

과성에 대해 평가하였다. Table 2에 예시된 바와 같이 수축기 혈압의 경우, 정상-관찰-위험 범위 간 상태전이 횟수(e)는 13,641건(전체 대비 43.3%)이었고, 총 31,489건의 전체 데이터를 관찰하는 대신 이의 18%인 5,657건(m)만 관찰하기에 예외모니터링 효율이 매우 높은 것으로 나타났고, 더불어 전송 데이터 수의 축소에 따른 전송효율도 매우 높은 것으로 나타났다.

또한 사용자 UI는 Fig. 6과 같이 복수 개의 활력데이터를 동시에 비교, 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 필터링에 의해 데이터가 축소되었기에 x축이 길어져 관찰범위가 확대되고, 세부사항보다는 전체적인 추이를 용이하게 판단할 수 있는 등의 효과성이 있는 것으로 나타났다.

Table 2. The Efficiency of Monitoring with MBE,

구분	수축기 혈압	이완기 혈압	체온
데이터 전송 효율(t)	13,641 43.3%	7,193 22.8%	5,693 18.1%
예외 모니터링 효율(m)	5,657 18%	2,686 22.8%	1,977 6.3%

4.4 mPHMs의 UX

mPHMs의 주요 사용자 인터페이스(UX)는 Fig. 6에 예시된 바와 같다. 홈메뉴(6A)는 시스템의 8가지 주요서비스에 대한 메뉴를 제공하고, 대시보드는 복수 개의 센서로부터 mPHMs이 감지한 실시간 생체데이터, 즉 현재의 생체건강정보를 출력한다. Fig. 6(B)는 상승기와 하강기 혈압 및 체온의 현재 상태를 나타내며 Fig. 6(C)는 관심 가는 그래프 부분을 터치하면 실제 측정값을 출력해준다. 대시보드는 실제 측정된 데이터를 필터링 한 결과(전체 대비 35.2%만 출력)를 출력하기에 x축의 길이가 3배만큼 길어진 효과를 나타낸다.

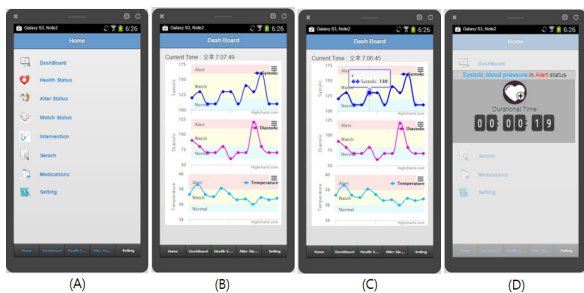


Fig. 6. Sample UI of mPHMs: (A) Home Menu, (B) Dashboard, (C) Dashboard with actual value when touched, (D) Alert Status

또한 대시보드는 측정되는 개개의 값보다는 전체적인 관점에서의 건강상태 전이(transition)를 파악할 수 있는 효과적인 출력형식으로 나타났다. 만약 건강상태가 정상이 아닌 ‘관찰’ 또는 ‘위험’ 수준에 지속성(예, 10초 이상)이 있으면 Fig. 6(D)의 ‘Alert Status’에서 지속상태시각과 함께 경고음을 발생시킴으로써 건강 개입을 할 수 있는 기회를 제공한다.



Fig. 7. Sample UI of Normalized Health Status

5. 결론

최근에 급격히 발달되고 있는 무선센서와 무선네트워크는 사물인터넷(IoT) 시대의 도래를 앞당기고 있다. 특히 스마트폰, WBAN 및 무선센서와 스마트폰의 이동통신망과 결합함으로써 이전에는 불가능하였던 개인 단위의 실시간 정보서비스를 가능케 하고 있으며, 이전에는 취득이 불가능하였던 개인 단위의 생활습관 데이터를 활용하는 편재형 의료서비스인 mHealth에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구는 최근 전 세계적으로 주목받고 있는 고령화와 만성질환의 관리에 있어서 효과적으로 대응할 수 있는 모바일 개인건강관리시스템(mPHMs)의 시스템 아키텍처와 컴포넌트 체계를 제시하였다. mPHMs는 단순히 정보기기로써 생체데이터를 감지하여 전달하는 gateway 역할만 제시하는 것이 아니라 스마트폰 자체에 필터링을 포함한 일부 컴퓨팅 기능을 부여함으로써 스마트폰을 병원정보시스템의 전처리기로 활용하여 의료인과 환자가 MBE 관점에 입각하여 효율적 및 효과적으로 건강상태를 모니터링 할 수 있는 서비스모델과 UX를 제시한 것에 연구의 의의가 있다.

제안 시스템의 테스트를 위해 수집된 실제 임상 데이터 94,467건을 제안시스템에 적용해본 결과 의료인은 전체 대비 10.9%의 데이터만 관찰하면 되기에 제안시스템은 효율성이 있는 것으로 평가되었다. 특히 본 연구에서는 Fig. 7에 예시된 바와 같이 서로 상이한 단위나 분포를 보이는 복수 개의 생체자료들을 의료진이 사전에 설정한 위험-관찰-정상 등의 관찰범위에 따라 정규화를 한 결과를 하나의 사용자 UI를 통해 제시함으로써 의료진은 데이터가 아닌 범위확인 관점에서 비교적 짧은 시간에 환자의 개략적 상태를 확인하고, 문제가 있을 경우 세부적인 자료를 확인하는 등의 데이터 소비자인 의료인의 편의 제공성을 제고하였기에 유용성을 확보하였다고 평가할 수 있다.

본 연구는 재택 외래 만성질환자의 일상생활 모니터링을 목표로 한다. 일반적으로 의료진이 환자의 상태를 집중 모니터링을 해야 하는 경우, 중환자실 또는 입원을 통해 병원 내에서 환자의 상태를 모니터링하나, 외래환자의 경우 병원 밖 환자에 대한 일상생활을 모니터링하는 데이터의 취득이 본 연구의 범위이며, 특히 재택 외래환자의 특성이 정상적인 상태를 지속하는 상태에서 일부의 관찰범위를 초과하는 데이터를 모니터링하는 것이 본 연구에서 제안하는 예외관리 모니터링 개념이다. 이러한 전제를 만족하기 위해 본 연구와 제안시스템은 스마트폰의 전처리기로서의 기능을 활용하여 병원정보시스템에 전송되는 데이터를 65% 이상 획기

적으로 줄이는 효율성을 나타냈지만 병원정보시스템에서 의료인에게 전달되는 데이터의 가공 부분은 연구하지 않았다. 즉, 향후 병원정보시스템은 본 제안시스템에서 수집된 필터링 된 개별 환자의 생체데이터를 이용하여 환자의 건강상태 또는 건강상태에 대한 상황인식(context aware)을 판단하여 의료인에게 보다 더 의미 있고 축소된 모니터링 결과를 제시할 수 있는 후속연구가 진행될 필요성이 제기된다. 의료인에게 최종적으로 원시데이터가 아닌 의미(context)를 전달할 수 있어야만 의료인이 다수의 재택환자를 관리할 수 있는 전제가 될 것이며, 후속연구를 통해 측정된 데이터로부터 상황인식까지 판단할 수 있는 알고리즘을 개발한다면 고령화와 만성질환에 대한 의료서비스 영역을 확대할 수 있는 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

References

- [1] ElHelw, M., Pansiot, J., McIlwraith, D., Ali, R., Lo, B., and Atallah, L., "An integrated multi-sensing framework for pervasive healthcare monitoring. In Pervasive Computing Technologies for Healthcare 2009," PervasiveHealth 2009. 3rd International Conference on, IEEE, pp.1-7, 2009.
- [2] Lomotey, R. K., and Deters, R., "Mobile-Based Medical Data Accessibility in mHealth," In Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud), 2014 2nd IEEE International Conference on, IEEE, pp.91-100, Apr., 2014.
- [3] Predic, B., Yan, Z., Eberle, J., Stojanovic, D., and Aberer, K., "Exposuresense: Integrating daily activities with air quality using mobile participatory sensing," In Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2013 IEEE International Conference on, IEEE, pp.303-305, Mar., 2013.
- [4] Mohammadzadeh, N., Safdari, R., "Patient Monitoring in Mobile Health: Opportunities and Challenges," *Med Arh*, Vol.68, No.1, pp.57-60, 2014.
- [5] Hommersom, A., Lucas, P. J., Velikova, M., Dal, G., Bastos, J., Rodriguez, J., Schwieter, H. et. al, "MoSHCA - My Mobile and Smart Health Care Assistant," 2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom 2013), pp.188-192. 2013.
- [6] Estrin, D., Sim, I. "Open mHealth architecture: an engine for health care innovation", *Science(Washington)*, Vol.300, No.6005, pp.759-760. 2010.
- [7] Klasnja, P., Consolvo, S., McDonald, D. W., Landay, J. A., and Pratt, W., "Using mobile & personal sensing technologies to support health behavior change in everyday life: lessons learned," *In AMIA Annual Symposium Proceedings*, American Medical Informatics Association, Vol.2009, pp.338, 2009.
- [8] Klasnja, P., Pratt, W., "Healthcare in the pocket: Mapping the space of mobile-phone health interventions," *Journal of biomedical informatics*, Vol.45, No.1, pp.184-198, 2012.
- [9] Liu, R. L., Shih, M. J., and Kao, Y. F., "Adaptive exception monitoring agents for management by exceptions," *Applied Artificial Intelligence*, Vol.15, No.4, pp.397-418, 2001.
- [10] Morak, J., Schwarz, M., Hayn, D., and Schreier, G., "Feasibility of mHealth and Near Field Communication technology based medication adherence monitoring," In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE, IEEE, pp.272-275, Aug., 2012.
- [11] Adibi, S., "Link technologies and BlackBerry mobile health (mHealth) solutions: a review," *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, Vol.16, No.4, pp.586-597, 2012.
- [12] Zhang, M., Raghunathan, A., and Jha, N. K., "Trustworthiness of Medical Devices and Body Area Networks," 2014.
- [13] Jeong, S., Kim, S., Kim, D., Youn, C. H., and Kim, Y. W., "A personalized healthcare system for chronic disease care in home-hospital cloud environments," In ICT Convergence (ICTC), 2013 International Conference on, IEEE, pp.371-376, 2013.
- [14] Rifat Shahriyar, R. S., Md. Faizul Bari, M. F. B., Gourab Kundu, G. K., Sheikh Iqbal Ahamed, S. I. A., and Md. Mostofa Akbar, M. M. A., "Intelligent mobile health monitoring system (IMHMS)," *International Journal of Control and Automation*, Vol.2, No.3, pp.13-28, 2009.
- [15] White, J., Pan, Y., and McCormick, Z., "Addressing the Challenges of HTTP-Based Mobile/Cloud Interaction. In Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud)," 2014 2nd IEEE International Conference on, IEEE, pp.200-209, Apr., 2014.
- [16] Yi, J., Koo, J., and Cha, H., "A localization technique for mobile sensor networks using archived anchor information. In Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks," 2008. SECON'08. 5th Annual IEEE Communications Society Conference on, IEEE, pp.64-72, Jun., 2008.
- [17] Clarke, A., Steele, R., "A smartphone-based system for population-scale anonymized public health data collection and intervention," In System Sciences (HICSS), 2014 47th Hawaii International Conference on, IEEE, pp.2908-2917, Jan., 2014.
- [18] Adibi, S., "Biomedical Sensing Analyzer (BSA) for Mobile-Health (mHealth)-LTE," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, Vol.18, No.1, pp.345-351. 2014.
- [19] Cubic, I., Markota, I., and Benc, I., "Application of session initiation protocol in mobile health systems," In MIPRO, 2010 Proceedings of the 33rd International Convention, pp. 367-371, 2010.
- [20] Huang, A., Chen, C., Bian, K., Duan, X., Chen, M., Gao, H., Xie, L. et. al, "WE-CARE: An Intelligent Mobile Telecardiology System to Enable mHealth Applications," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, Vol.18, No.2, pp.693-702, 2014.
- [21] Mettler, Tobias; Markus Eurich, "A "design-pattern"-based approach for analyzing e-health business models," *Health Policy and Technology*, Vol.1, Issue.2, pp.77-85, Jun., 2012.
- [22] Mouggiakakou, S. G., Kouris, I., Iliopoulou, D., Vazeou, A., and Koutsouris, D., "Mobile technology to empower people with diabetes mellitus: design and development of a mobile application," In Information Technology and Applications in Biomedicine, 2009. ITAB 2009. 9th International Conference on, IEEE, pp.1-4, 2009.

- [23] Xu, C. S., Anderson, B., Armer, J., and Shyu, C. R., "Improving disease management through a mobile application for lymphedema patients," In e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2012 IEEE 14th International Conference on, IEEE, pp.286-291, 2012.
- [24] Bosworth, A., York, C., Kotansky, H., and Berman, M. A., "An Inventor's Perspective on Consumer Health Informatics," *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 40, Issue.5, Supplement.2, pp.S241-S244, 2011.
- [25] Son, J., Park, G. H., Cha, J., and Par, K., "Requirements for the Security of Medical Information for U-healthcare Medical Devices," *Regulatory Research on Food, Durg and Cosmetic*, Vol.6, No.1 · 2, pp.59-78, 2011.
- [26] Lee, S, Lee D., "A study on Review and Consideration of Medical Industry Convergence Based on U-healthcare," *The Journal of Digital Policy & Management*, Vol.11, No.6, pp.193-197, 2013.
- [27] Hwang, B., "The Attitude of Medical Practitioners to the Chronic Disease Care System," *The Korean Journal of Health Service Management*, Vol.6, No.2, pp.193-200, 2012.
- [28] Suh, M. K., Chen, C. A., Woodbridge, J., Tu, M. K., Kim, J. I., Nahapetian, A., Sarrafzadeh, M. et. el, "A remote patient monitoring system for congestive heart failure," *Journal of medical systems*, Vol.35, No.5, pp. 165-1179, 2011.
- [29] Kukafka, R., Yasnoff, W. A., "Public health informatics," *Journal of Biomedical Informatics*, Vol.40, Issue.4, pp.365-369, Aug., 2007.
- [30] Chen, H., Wu W., and Lee, J., "A WBAN-based real-time electroencephalogram monitoring system: design and implementation," *Journal of medical systems*, Vol.34, No.3, pp.303-311, 2010.
- [31] Otto, C. A., Jovanov, E., and Milenkovic, A., "A WBAN-based system for health monitoring at home. In Medical Devices and Biosensors," 2006. 3rd IEEE/EMBS International Summer School on, IEEE, pp.20-23, 2006.
- [32] Postolache, O., Girão, P. S., Ribeiro, M., Guerra, M., Pincho, J., Santiago, F., and Pena, A., "Enabling telecare assessment with pervasive sensing and Android OS smartphone," In Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2011 IEEE International Workshop on, IEEE, pp.288-293, 2011.
- [33] Park, C., Y., Lim, J. H., Park, S., J., and Kim S., H., "Technical Trend of U-Healthcare Standardization," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.25, No.4, pp.48-59, 2010.
- [34] Lee, Y., T., Kim, S., Y., "Establish long-term comprehensive plan to activate u-Healthcare," *Korea Health Industry Development Institute*, 2008.
- [35] Khan, J. Y., Yuce, M. R., "Wireless body area network (WBAN) for medical applications. New Developments in Biomedical Engineering," INTECH, 2010.
- [36] Triantafyllidis, A. K., Koutkias, V. G., Chouvarda, I., and Maglaveras, N., "A pervasive health system integrating patient monitoring, status logging, and social sharing," *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, Vol.17, No.1, pp.30-37, 2014.
- [37] Khan, Z. A., Sivakumar, S., Phillips, W., and Aslam, N., "A new patient monitoring framework and Energy-aware Peering Routing Protocol (EPR) for Body Area Network communication," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol.5, No.3, pp.409-423, 2014.
- [38] Redondi, A., Chirico, M., Borsani, L., Cesana, M., and Tagliasacchi, M., "An integrated system based on wireless sensor networks for patient monitoring, localization and tracking," *Ad Hoc Networks*, Vol.11, No.1, pp.39-53, 2013.
- [39] Lee, K., Lee, J., "A Study on the Architecture of Mobile Bio Lifestyle Medical Information Monitoring System," *The e-Business Studies*, Vol.15, No.3, pp.97-123, 2014.
- [40] [Internet], <http://www.kantarworldpanel.com/global/News/Apple-regains-momentum-as-Windows-stutters>
- [41] Dekker, S. W., Woods, D. D., "To intervene or not to intervene: The dilemma of management by exception," *Cognition, Technology & Work*, Vol.1, No.2, pp.86-96, 1999.
- [42] Ibaida, A., Al-Shammery, D., and Khalil, I., "Cloud enabled fractal based ECG compression in wireless body sensor networks," *Future Generation Computer Systems*, Vol.35, pp.91-101, 2014.
- [43] Sundell, H., Tsigas, P., "Fast and lock-free concurrent priority queues for multi-thread systems," In Parallel and Distributed Processing Symposium, Proceedings. International, IEEE, pp.609-627, Apr., 2003.
- [44] Orfali, R., Harkey, D., and Edwards, J., "Client/server survival guide. 3rd Edition," John Wiley & Sons, pp.169-177, 1999.
- [45] Palma, D., Curado, M., "Onto scalable ad-hoc networks: deferred routing," *Computer Communications*, Vol.35, No.13, pp.1574-1589, 2012.
- [46] Pressman, R. S., "Software Engineering: a practitioner's approach," Pressman and Associates, pp.632-633, 2005.
- [47] Forsstrom, S., Kanter, T., and Johansson, O., "Real-time distributed sensor-assisted mhealth applications on the internet-of-things. In Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)," 2012 IEEE 11th International Conference on, IEEE, pp.1844-1849). 2012.



이 난 경

e-mail : lnkcap@hanmail.net

1997년 호서대학교 전자계산학과(학사)

2009년 동국대학교 정보보호학학(석사)

2014년 동국대학교 경영정보학과(박사)

2012년~현 재 넥스그리드 헬스케어연구소 소장

관심분야 : 클라우드, 헬스케어, 빅데이터



이 종 옥

e-mail : jolee@dongguk.edu

1978년 동국대학교 전자계산학과(학사)

1985년 캘리포니아주립대학교(석사)

1990년~현 재 동국대학교 경영학부 교수

관심분야 : Business Intelligence & Analytics, 빅데이터, 서비스 지향구조(SOA) 및 객체지향시스템 등