



## IoT 디바이스를 이용한 건강 평가 플랫폼

A Health Assessment Platform with IoT Devices

---

저자 (Authors)	라현정, 김문권, 김수동 Hyun Jung La, Moon Kwon Kim, Soo Dong Kim
출처 (Source)	<a href="#">정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지 22(5)</a> , 2016.5, 225-234 (10 pages) <a href="#">KIISE Transactions on Computing Practices 22(5)</a> , 2016.5, 225-234 (10 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국정보과학회</a> KOREA INFORMATION SCIENCE SOCIETY
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06668075">http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06668075</a>
APA Style	라현정, 김문권, 김수동 (2016). IoT 디바이스를 이용한 건강 평가 플랫폼. 정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지, 22(5), 225-234.
이용정보 (Accessed)	한국산업기술대학교 59.14.248.*** 2018/07/03 20:46 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

# IoT 디바이스를 이용한 건강 평가 플랫폼 (A Health Assessment Platform with IoT Devices)

라 현 정 <sup>†</sup>                      김 문 권 <sup>\*\*</sup>                      김 수 동 <sup>\*\*\*</sup>  
(Hyun Jung La)                      (Moon Kwon Kim)                      (Soo Dong Kim)

**요 약** 다양한 의료 IoT 디바이스들이 등장함에 따라 개인의 의료 데이터를 수집하고, 수집된 개인 의료 데이터로부터 개인 건강 상태를 분석할 수 있게 되었다. 그러나, 건강 평가 항목에 따라 하드웨어 및 소프트웨어 설계가 결정되어 개발 난이도가 높다. 본 논문에서는 의료 데이터를 수집하고 수집한 의료 데이터를 분석하여 건강 평가를 하는 다양한 시스템을 개발하는데, 범용적으로 활용될 수 있는 플랫폼 설계를 제안한다. 이를 위해, 먼저 범용 건강 평가 모델인 건강 인덱스 계산 메트릭을 정의한다. 그리고, 제시된 범용 건강 인덱스를 기반으로 다양한 측면에서 건강을 평가할 때 필요한 하드웨어 플랫폼 및 소프트웨어 플랫폼 설계 모델을 제안한다. 또한, 제안된 플랫폼을 이용하여 레인보우 변기 시스템을 개발한 사례를 통하여, 플랫폼의 실용적 적용성을 평가한다.

**키워드:** 의료 IoT 디바이스, 건강 평가, 건강 인덱스, 플랫폼

**Abstract** The emergence of diverse medical Internet of Things (IoT) devices has facilitated the collection and analysis of medical contexts to assess health conditions. However, the complexity of IoT-based systems for health assessment is quite high and it requires high development cost, since the designs of the systems highly depend on the health aspects to be evaluated. In this paper, we propose a design of the platform that provides generic functionalities to various health evaluation applications. We first define a metric for computing a health index, which is a generic health assessment model. And, based on the proposed generic health index, we propose a design of the platform to evaluate diverse aspects of the health including its hardware architecture, software architecture and database design. We describe the result of developing Rainbow Toilet System based on the proposed platform, and assess the practical applicability.

**Keywords:** medical IoT device, health assessment, health index, platform

· 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2015R1A2A2A01004078).

<sup>†</sup> 정 회 원 : (주)스마티랩 스마트서비스연구부 대표이사  
hyla80@gmail.com  
<sup>\*\*</sup> 학 생 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학부  
mkdmkk@gmail.com  
<sup>\*\*\*</sup> 종 신 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수(Soongsil Univ.)  
sdkim777@gmail.com  
(Corresponding author)

논문접수 : 2016년 3월 4일  
(Received 4 March 2016)  
논문수정 : 2016년 3월 16일  
(Revised 16 March 2016)  
심사완료 : 2016년 3월 17일  
(Accepted 17 March 2016)

Copyright©2016 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다. 정보과학회 컴퓨터의 실재 논문지 제22권 제5호(2016. 5)

## 1. 서 론

디지털 헬스케어 서비스 분야는 사물인터넷(Internet-of-Things, IoT) 컴퓨팅을 이용하는 핵심 애플리케이션 도메인으로 대두되고 있다[1]. 이 트렌드에 맞춰, 혈압, 맥박, 산소포화도, 체지방량, EEG, ECG, EMG 등 사람의 여러 신체 정보를 측정하는 다양한 의료 IoT 디바이스들이 출시되고 있다.

다양한 의료 IoT 디바이스들의 이용이 가능함에 따라 병원에 방문하지 않고 개인 건강 상태를 모니터링 하는 것이 가능해진다. 비전문가는 의료 정보 지식이 없는 경우가 많기 때문에, 다양한 장비로 개인 건강 상태를 측정한다고 하더라도, 이 측정치들을 활용하여 건강 상태를 나타내는 지표로 활용하기가 쉽지 않다.

본 논문에서는 보다 효과적, 효율적으로 IoT 기반의 건강 평가 시스템을 개발하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어

웨어 플랫폼을 제안한다. 플랫폼의 필요성과 개발 동기는 다음과 같다.

- 의료 IoT 디바이스들의 다양성과 가변성을 효과적으로 효과적으로 관리하기 위한
- 건강 평가 척도의 다양성, 가변성, 및 개인화를 위한 효과적으로 관리하기 위한
- 건강 평가 시스템 개발 비용과 기간을 크게 줄이며, 시스템의 품질은 높이기 위한

이러한 동기를 만족하는 건강 평가 플랫폼이 개발된다면, 의료 IoT 장비의 종류와 무관하게 다양한 형태의 개인 건강 평가 하드웨어, 소프트웨어, 클라우드로 이루어지는 시스템의 저비용 고효율 개발이 가능해 진다.

건강 평가 플랫폼의 핵심 요소로서 사람의 건강 정도를 숫자로 나타내는 건강 평가 모델이다. 건강 평가 모델은 사람 건강 정도를 한 가지 관점에서 표현하는 건강 인덱스(Health Index) 들로 구성된다. 하나의 건강 인덱스는 인체의 특정한 측면의 건강을 구체적으로 나타내는데, 예를 들면 심장 인덱스(Heart Index)는 심장과 관련된 일체의 건강 상태를 하나의 숫자로 표현한다. 건강 평가 모델은 집이나 사무실에서 개인의 건강 상태를 평가하는 보조 장치로 활용될 수 있다.

본 논문에서는 다양한 건강 평가 시스템을 개발하는데 효과적으로 사용될 수 있는 건강 평가를 위한 범용 플랫폼을 제시한다. 이 플랫폼의 주된 기능은 의료 IoT 장비로부터 건강 정보 획득, 건강 정보 저장, 개인 건강 정도 평가를 포함한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 3장에서는 개인 건강 정도를 평가하기 위한 품질 모델을 정의한다. 4장에서는 건강 평가 플랫폼의 하드웨어, 소프트웨어, 데이터베이스 측면의 설계 모델을 제시한다. 5장에서는 제시된 플랫폼을 이용한 응용 시스템의 구현 사례로 레인보우(Rainbow) 변기 시스템 개발 결과를 나타낸다. 6장에서 제안된 건강 평가 플랫폼 기반의 레인보우 변기 시스템을 기반으로 일련의 실험을 진행하고 그 결과를 통하여 제안된 플랫폼을 평가한다. 제시된 플랫폼은 향후 다양한 형태의 건강 평가 시스템 개발에 직접적으로 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 관련 연구

사물인터넷이 등장한 이후 사물인터넷 디바이스를 통해 사용자 건강 상태를 분석하는 일부 연구들이 존재한다.

Antonovici[2]의 연구는 혈압과 맥박을 고려하여 사용자의 건강 상태를 평가하는 안드로이드 앱을 제안한다. 이 앱은 혈압과 맥박으로부터 고혈압과 같은 사용자의 건강 문제를 파악하고 경고 메시지를 띄운다. 이 연구는 혈압과 맥박만을 고려하기 때문에 다양한 측면에

서 건강 상태를 파악하는데 한계가 있다.

Kand[3]의 연구는 건강 상태 예측으로 삶을 위협하는 상태를 분석하는 시스템을 제안한다. 이 연구는 데이터 수집 효율성을 높이기 위해 수집 양과 수집 주기를 줄인다. 그리고, 이 연구는 개인별 속성을 고려하여 기대 수명을 예측하는 방법을 소개한다. 그러나, 이 방법은 상세한 알고리즘과 함께 검증되어야 한다.

Forkan[4]의 연구는 연속적 모니터링을 통해 심장 질환을 조기 발견하는 확장 가능한 컨텍스트 인지 프레임워크를 제안한다. 이 프레임워크는 심장 질환 증상을 확인하기 위해 클라우드 저장소에 저장되어 있는 의사의 지식베이스를 활용한다. 이 연구는 ECG 측정치를 수집하고 심장 질병 발견에 한정되어 있다.

La[5]의 연구는 사물인터넷 디바이스를 이용하여 질병을 진단하는 클라우드 플랫폼을 제안한다. 이 연구는 사물인터넷 기반의 질병 진단을 위한 온톨로지 모델을 정의하고 온톨로지 기반의 분석 기법을 제시한다. 이 저자의 다른 연구[6]에서는 의료 사물인터넷 애플리케이션에 적용할 수 있는 의료 분석 기법을 제시한다. 그러나 이 연구들은 건강 정보를 수집하고 분석하는 하드웨어와 소프트웨어 종합 플랫폼을 제시하지는 않는다.

Hassanalieragh[7], Liu[8], Li[9]의 연구들은 연속적으로 사용자 건강 상태를 모니터링하는 시스템 또는 서비스를 제시한다.

요약하면, 대부분의 연구는 건강 정보 수집과 일부 측면에서 건강 상태를 평가하는 단일 애플리케이션을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 플랫폼은 다양한 관점에서 건강 상태를 평가하는데 활용될 수 있도록 범용 건강 평가 모델, 이를 지원하는 하드웨어 플랫폼 및 소프트웨어 플랫폼을 제안한다.

## 3. 건강 인덱스(Health Index) 품질 모델

### 3.1 건강 인덱스 정의

건강 인덱스(Health Index)는 사람의 건강한 정도를 나타내는 숫자 형태의 단위이며, 표준으로 사용되는 건강 인덱스 모델은 아직은 없다. 의사 등 전문 의료인들이 사용하는 전문적인 의료 용어, 의료 검사의 종류, 그 결과를 나타내는 수치 등은 의료인이 아닌 일반인들이 해석하고 사용하기에는 어려움이 있다. 건강 인덱스는 건강의 상태를 일반인들이 자신의 건강 상태를 직관적으로 이해하기 판단할 수 있는 유용한 척도가 된다.

건강 인덱스의 종류는 수집할 수 있는 의료 데이터, 분석 기술 등에 의해 달라질 수 있다. 그림 1은 건강 인덱스의 예를 보여준다.

심장 건강 인덱스(Heart Health Index)는 심장의 건강 상태를 반영하고, 혈액 건강 인덱스(Blood Health

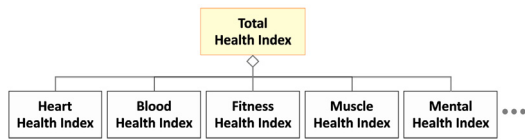


그림 1 건강 인덱스의 종류  
Fig. 1 Types of Health Indexes

Index)는 혈액, 혈관 등의 건강 상태를 반영하고, 피트니스 건강 인덱스(Fitness Health Index)는 체중, 지방량, 활동량 등을 기준으로 신체 균형 상태를 반영하고, 근육 건강 인덱스(Muscle Health Index)는 근육의 상태를 반영하고, 정신 건강 인덱스(Mental Health Index)는 스트레스, 집중력 등을 파악하여 정신 건강 상태를 반영하고, 이들 건강 인덱스들을 종합적으로 반영하여 종합 건강 인덱스를 도출한다.

### 3.2 건강 인덱스와 건강 컨텍스트

건강 인덱스는 건강 컨텍스트(Context)를 이용하여 계산된다. 그림 2는 컨텍스트와 그림 1에서 예로 설명한 다섯 가지 건강 인덱스 간의 관계를 보여준다. 이 매핑 관계는 의료 문헌을 기반으로 도출된 것이다.

예를 들어, 맥박(Pulse)은 심장 건강 인덱스와 혈액 건강 인덱스(Blood Health Index) 계산에 활용된다. 그리고, 심장 건강 인덱스는 맥박 이외에 혈압(Blood Pressure), BMI, ECG 신호를 이용하여 계산된다.

### 3.3 건강 인덱스 계산 메트릭

건강 인덱스를 계산하기 위해서는 그림 2와 같이 건강 컨텍스트가 필요하다. 그리고, 건강 컨텍스트는 여러 의료 센서로부터 획득된 건강 정보를 분석한 결과이다. 그러므로, 건강 인덱스의 메트릭은 다양한 건강 정보를 이용하여 계산될 수 있어야 한다.

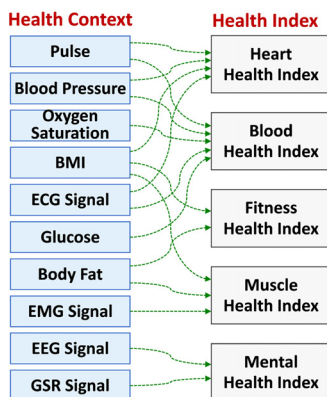


그림 2 컨텍스트와 건강 인덱스 매핑 관계  
Fig. 2 Mapping Relationship between Contexts and Health Indexes

본 연구에서는 건강 인덱스는 0에서 10 범위의 연속 수치로 정의 사용한다. 최상의 건강 상태를 10으로, 최저의 건강 상태를 0으로 정한다. 건강 인덱스를 계산하는 메트릭의 범용 함수로  $HealthIndex()$ 를 정의하기 위해서, 다음의 용어를 먼저 정의한다.

- $HI\_Type$ 은 건강 인덱스의 타입을 나타낸다.
- $CTX\_List(HI\_Type)$ 은  $HI\_Type$  건강 인덱스 산출에 사용되는 컨텍스트의 리스트이다. 즉,  $CTX\_List(HI\_Type) = (CTX_1, CTX_2, \dots, CTX_n)$ 이다.
- $W\_List(HI\_Type)$ 은  $CTX\_List(HI\_Type)$ 의 각 컨텍스트인  $CTX_i$ 의 가중치, 즉 Weight를 나타낸다. 따라서,  $W\_List(HI\_Type)$ 은  $CTX\_List(HI\_Type)$ 과 동일한 개수의 항목들을 가지고 있는 가중치 리스트이다. 그리고,  $W\_List()$ 로 반환된 가중치들의 합은 1이 된다.

위의 용어를 이용하여  $HealthIndex(HI\_Type)$ 은 다음의 메트릭을 사용하여 산출한다.

$$HealthIndex(HI\_Type) = \sum_{i=1}^{n=Size(CTX\_List(HI\_Type))} (CTX\_List(HI\_Type), i) \times Weight(W\_List(HI\_Type), i))$$

즉, 특정 건강 인덱스는 관련된 컨텍스트와 이들의 가중치들을 곱해서 계산된다. 위의 메트릭을 이용하면, 그림 1에서 예로 보인 다섯 가지 종류의 건강 인덱스 외에 다른 종류의 인덱스를 계산할 수 있다.

## 4. 건강 평가 플랫폼 설계

3장에서 정의한 건강 인덱스 메트릭은 다양한 종류의 건강 인덱스를 계산하는데 공통적으로 사용된다. 그러나, 특정 건강 인덱스에 따라 계산에 필요한 건강 정보가 다르다. 본 논문에서 제시하는 건강 평가 플랫폼은 다양한 종류의 건강 인덱스를 모두 계산할 수 있도록 설계가 되어야 한다. 다양한 종류의 건강 인덱스를 계산할 수 있는 건강 평가 플랫폼은 건강 인덱스에 맞게 건강 정보를 획득할 수 있는 하드웨어 플랫폼이 필요하며, 획득된 건강 정보를 저장할 수 있는 데이터베이스 설계 모델, 건강 정보를 이용하여 건강 인덱스를 계산할 수 있는 범용적인 소프트웨어 플랫폼 설계가 필요하다. 그러므로, 본 장에서는 건강 평가 플랫폼의 하드웨어, 소프트웨어, 및 데이터베이스 설계를 보여준다.

### 4.1 플랫폼의 하드웨어 아키텍처 설계

건강 인덱스 계산에 필요한 의료 데이터는 건강 인덱스에 의존적이기 때문에, 플랫폼은 다양한 종류의 의료 데이터를 수집하여야 하며, 이런 데이터를 수집하는 의료 센서들은 표 1과 같이 프로그래밍 언어, 데이터 교환 방식(Data Fetch Scheme), 네트워크 프로토콜, 인터페이스 측면에서 이질성을 보인다.

표 1 센서 디바이스의 이질성  
Table 1 Heterogeneity among Sensor Devices

Factor	P. Lang.	Data Fetch	Network Protocols
Device	Interface Scheme		
Pulse/SpO2 Sensor	C	Pull	Serial
	eHealth.readPulsioximeter() eHealth.getOxygenSaturation() eHealth.getBPM()		
Smart Body Analyzer	REST	Pull	Internet
	[GET] https://wbsapi.withings.net/measure?action=getmeas		
MindWave	Python	Push	Bluetooth
	NeuroPy.start() NeuroPy.stop()		
	...		
Fingerprint Scanner	Python	Pull	Serial
	FPSPy.enroll() FPSPy.identify()		

센서들은 C, Python 등의 프로그래밍 언어로 구현된 라이브러리를 통해 기능성을 제공하기도 하고, REST와 같은 클라우드 API로서 수집된 의료 데이터를 제공하기도 한다. 또한, 데이터 획득 방식에 있어 센서에 요청하여 데이터를 획득하는 풀링(Pulling) 방식과 센서가 새로운 데이터를 요청 없이도 전송해주는 푸싱(Pushing) 방식이 있다. 센서들을 연결하기 위한 네트워크 프로토콜 또한 유선 연결(Serial), 인터넷, 블루투스 등으로 다양하다.

이러한 이질성을 해결하는 것은 플랫폼 설계에 있어 적용성을 높이는데 중요하다. 여러 프로그래밍 언어로 작성된 센서 라이브러리를 사용하고 다양한 데이터 획득 방식을 구현할 수 있도록, 본 플랫폼은 범용적인 마이크로 컴퓨팅 보드인 Raspberry Pi 2 B[10]와 e-Health Sensor Kit[11]를 사용한다. 또한, 다양한 네트워크 프로토콜을 지원하기 위해 유선 연결 방식의 센서들을 연

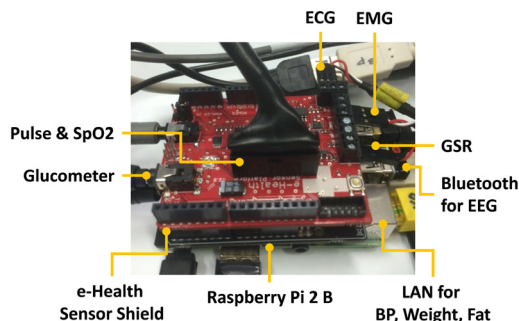


그림 3 플랫폼의 컴퓨팅 보드  
Fig. 3 Computing Board of the Platform



그림 4 플랫폼의 적용 사례  
Fig. 4 Applications of the Platform

결하는 e-Health Sensor Shield를 사용하고, 인터넷에 연결하며, 블루투스 커넥터를 장착한다. 그림 3은 본 시스템의 컴퓨팅 보드와 연결된 센서를 보여준다.

본 플랫폼은 그림 4와 같이 수집한 의료 데이터와 분석된 건강 상태를 활용하는 다양한 제품 개발에 적용될 수 있다. 예를 들어, Health Toilet은 변기 주변에 장착하는, 개발 중인 디바이스이다[12]. 발판에는 몸무게 체지방량을 측정할 수 있는 체중계, 팔걸이에는 Pulse, SpO2, GSR 등을 측정할 수 있는 각종 의료 센서들이 장착되어 있다.

#### 4.2 플랫폼의 소프트웨어 설계

건강 평가 플랫폼은 다양한 종류의 의료 장비로부터 건강 정보를 획득하고, 여러 건강 인덱스를 계산할 수 있도록 범용적으로 설계되어야 한다. 그림 5는 건강 평가 플랫폼의 다섯 개의 컴포넌트로 구성된 계층 구조 아키텍처를 보여준다.

건강 인덱스 서비스 계층(Health Index Service Layer)은 건강 인덱스 계산과 관련된 기능을 수행한다. 이 계층은 건강 컨텍스트를 저장하는 Health Context Manager, 건강 컨텍스트를 0과 1사이의 값으로 변환하는 Health Context Normalizer, 건강 인덱스 계산하는 Health

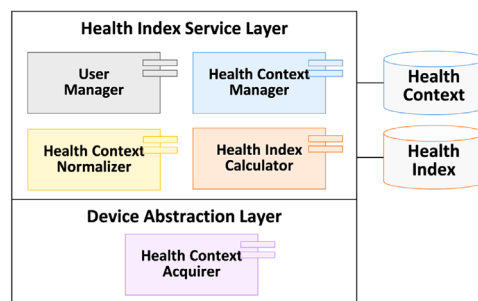


그림 5 개인 평가 플랫폼 아키텍처  
Fig. 5 Architecture of Health Assessment Platform

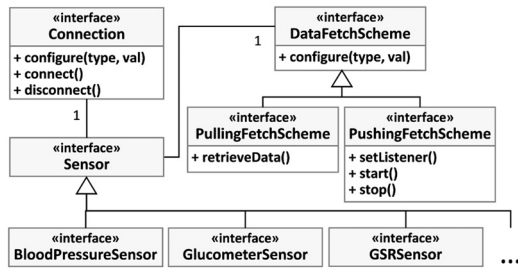


그림 6 Health Context Acquirer의 상세 설계  
Fig. 6 Detailed Design of Health Context Acquirer

Index Calculator로 구성된다. 디바이스 추상화 계층(Device Abstraction Layer)는 여러 종류의 디바이스로부터 건강 정보를 측정하는 컴포넌트 Health Context Acquirer로 구성된다.

이 중 범용성을 고려해서 설계해야 하는 컴포넌트는 Health Context Acquirer와 Health Index Calculator이다. 그림 6은 Health Context Acquirer의 상세 설계 모델을 보여준다.

의료 디바이스는 프로그래밍 언어와 데이터 획득 방식 관점에서 다양한 이질성을 보인다. 건강 평가 플랫폼은 이런 이질성을 보이는 여러 의료 디바이스로부터 건강 정보를 획득해야 하기 때문에, 범용적으로 설계되어야 한다. 이를 위해, 이 컴포넌트는 Sensor 인터페이스, 특정 네트워크 프로토콜을 통해 센서를 연결하기 위한 Connection 인터페이스, 풀링과 푸싱 데이터 획득 방식을 제공하기 위한 DataFetchScheme 인터페이스로 구

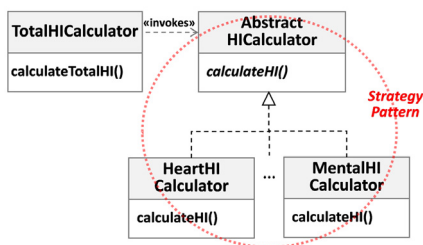


그림 7 Health Index Calculator의 상세 설계  
Fig. 7 Detailed Design of Health Index Calculator

표 2 건강 평가 플랫폼의 API  
Table 2 APIs of Health Assessment Platform

API	Description
startFpRegistration()	Registering user's fingerprint
startMeasure(type)	Starting to measure health data
calcHealthIndexes(type)	Calculating a health index
getHealthIndexes(type)	Getting a computed health index
...	...

성된다. 이 인터페이스는 특정 디바이스로부터 값을 획득하는 클래스들이 반드시 구현해야 하는 것으로, 표준 API를 정의하고 있기 때문에 다양한 종류의 디바이스로부터 값을 획득할 수 있다.

또 다른 범용성을 요구하는 컴포넌트는 Health Index Calculator이다. 그림 7은 Health Index Calculator의 상세 설계 모델을 보여준다.

이 컴포넌트는 전략(Strategy) 패턴[13]을 적용하여 설계하였다. 전략 패턴은 알고리즘의 다양성이 존재할 때 잘 적용할 수 있는 패턴으로, 건강 인덱스 계산은 관련된 컨텍스트 종류에 따라 다르므로, 이 패턴을 적용하여 설계한다.

건강 평가 플랫폼이 제공하는 기능성은 서버에서 API를 통해 제공되며, 레인보우 변기 시스템은 로컬 네트워크를 통해 API를 호출하여 기능성을 제공받는다. 건강 평가 플랫폼의 서버는 12개의 Python 모듈에서 26개의 API를 제공한다. 표 2는 주요 API를 보여준다.

#### 4.3 플랫폼의 데이터베이스 설계

이질성이 높은 의료 센서로부터 획득된 다양한 건강 정보를 저장하기 위해 데이터베이스 역시 이 정보를 저장할 수 있도록 범용성을 고려하여 설계되어야 한다. 본 플랫폼은 로컬 데이터베이스에 사용자 정보, 센서 정보, 수집된 의료 데이터 정보, 평가된 건강 상태 정보를 저장하며, 범용성을 고려하여 그림 8과 같이 10개의 테이블을 정의하였다.

데이터베이스 스키마 설계에서도 디바이스의 이질성을 고려하여, DeviceModel, DeviceItem, Sensor 테이블을 통해 디바이스 공통 정보, 디바이스 개체에 종속적인 정보, 센서 디바이스 정보를 분리하여 저장한다.

이질성을 고려하여 데이터베이스 스키마를 설계함으로써, 디바이스를 변경하더라도 디바이스의 메타 데이터를 데이터베이스에서 변경하면 되므로, 데이터베이스 스키마에는 변경이 없다.

### 5. 플랫폼 기반 레인보우 변기 시스템 구현

#### 5.1 레인보우 변기 시스템의 개요

레인보우 변기 시스템은 화장실 변기에 설치되어, 심장과 비만 관점에서 개인 건강을 평가하는 하드웨어 및 소프트웨어 종합 시스템으로, 건강 평가 플랫폼을 기반으로 한다. 이 시스템의 주요 기능은 다음과 같다.

- 지문을 통한 개인 인증
- 맥박, 혈압, BMI, ECG 등의 건강 정보 측정 및 저장
- 심장 및 비만 건강 인덱스 계산
- 건강 측정치 및 건강 인덱스 히스토리 조회

#### 5.2 레인보우 변기 시스템에 특화된 건강 인덱스

그림 2에서 나타냈듯이, 심장 및 비만 건강 인덱스



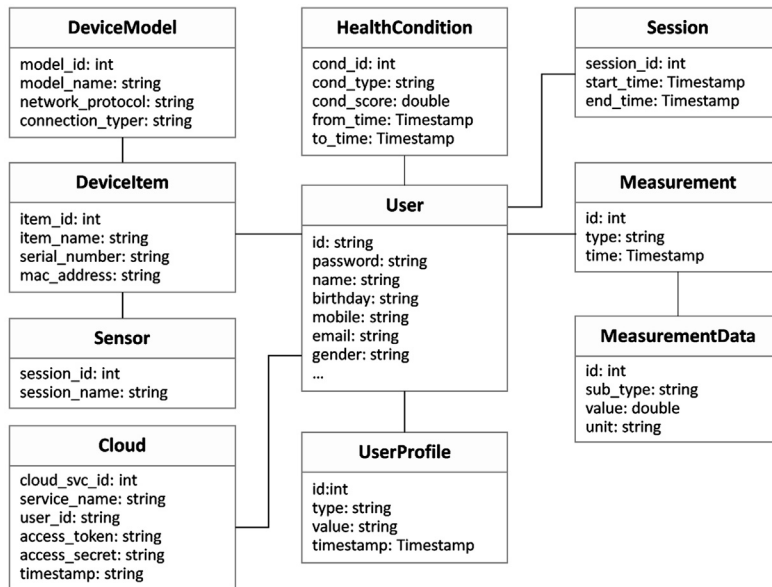


그림 8 플랫폼의 데이터베이스 스키마

Fig. 8 Database Schema of the Platform

를 계산하기 위해서는 맥박, 혈압, BMI, ECG, 체지방량을 포함한 5가지 건강 컨텍스트가 필요하다. 그리고, 3.3장에서 정의한 범용 메트릭은 심장 및 비만 인덱스를 계산할 수 있도록 특화되었다. 먼저 범용 메트릭에서 사용되는  $CTX\_List()$ 와  $W\_List()$ 는 다음의 값을 가진다.

$$CTX\_List(HI\_Type) = \{BP, BMI, Pulse, HeartActivity\}$$

$$W\_List(HI\_Type) = \{W\_BP, W\_BMI, W\_Pulse, W\_HeartActivity\}$$

그리고, 이 값을 이용하여 다음의 심장 건강 인덱스 메트릭을 정의할 수 있었다.

$$\begin{aligned}
 HealthIndex(HeartHI) \\
 = & CTX(BP) \times Weight(W\_BP) + CTX(BMI) \times Weight(W\_BMI) \\
 & + CTX(Pulse) \times Weight(W\_Pulse) \\
 & + CTX(HeartActivity) \times Weight(W\_HeartActivity)
 \end{aligned}$$

### 5.3 레인보우 변기 시스템의 하드웨어 설계

심장 및 비만 건강 인덱스 계산에 필요한 건강 컨텍스트를 획득하기 위해서는 표 3과 같은 의료 센서가 필요하다.

레인보우 변기 시스템의 하드웨어는 그림 9와 같이 4개의 의료 센서, 지문 센서, 터치 스크린을 장착한 건강 평가 플랫폼을 사용하는 종합 장비이다. 이 센서들은 건강 평가 플랫폼의 컴퓨팅 보드에 연결되어 사용자의 건강 정보를 수집한다.

4.1장에서 설명한 하드웨어 플랫폼에 맥박 및 혈압 건강 인덱스를 계산하는데 필요한 혈압 센서, 맥박 센서, ECG 센서, 체중계를 부착하였다.

표 3 레인보우변기 시스템의 의료 IoT 디바이스 목록  
Table 3 List of Medical IoT Devices for Rainbow System

Medical Contexts	IoT Device
Pulse, Oxygen Saturation	Pulse & Oxygen Sensor
Blood Pressure	Blood Pressure Sensor
Weight, BMI, Body Fat	Smarty Body Analyzer
ECG Signal	ECG Sensor

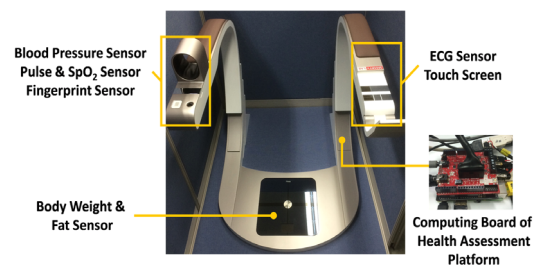


그림 9 건강 평가 플랫폼 기반 레인보우 변기 시스템  
Fig. 9 Rainbow Toilet System Based on the Platform

건강 평가 플랫폼에서 제공하는 센서들과 컴퓨팅 보드를 레인보우 변기 시스템의 하드웨어 설계에 적용하여, 건강 정보 수집 및 건강 평가를 위한 종합 하드웨어 솔루션을 적은 비용으로 사용할 수 있었다.

### 5.4 레인보우 변기 시스템의 소프트웨어 설계

레인보우 변기 시스템의 기능성은 대부분 건강 평가 플랫폼에서 제공되기 때문에, 사용자 인터페이스 설계

및 구현이 레인보우 변기 시스템의 소프트웨어 설계에 상당 부분을 차지한다. 그리고, 건강 인덱스 계산 클래스를 목적에 맞게 특화해야 한다.

먼저, 사용자로부터 입력을 받아 건강 평가 플랫폼의 각 필요한 기능을 호출하는 페이지를 그림 10과 같이 구성하였다.

로그인(Login) 페이지에서 지문 인식을 통해 시스템에 접속할 수 있다. 등록된 지문이 없다면 가입(Signup) 페이지에서 사용자의 지문을 등록할 수 있다. 대시보드(Dashboard) 페이지에서 계산된 최근 건강 인덱스를 보여준다. 건강 인덱스 히스토리(History of Health Indexes) 페이지와 건강 측정치 히스토리(History of Measurements) 페이지에서 계산된 건강 인덱스와 건강 측정치들을 그래프로 확인할 수 있다.

그림 11은 레인보우 변기 시스템 사용자 인터페이스의 대시보드 페이지와 건강 측정치 히스토리 페이지를 보여준다.

그리고, 그림 7에서와 같이 심장 및 비만 건강 인덱스를 계산할 수 있도록 AbstractHICalculator 인터페이스를 구현한 HealthHICalculator 클래스와 FitnessHICalculator

클래스를 추가하였다. 그리고, *calculateHI()* 오퍼레이션의 로직은 5.2장에서 유도한 건강 인덱스 메트릭을 계산할 수 있도록 작성하였다.

### 5.5 레인보우 변기 시스템의 구현 결과

건강 평가 플랫폼은 Raspberry Pi 2 B 모델을 컴퓨팅 보드로 사용하고, 32GB Micro SD 카드를 장착하였으며, Raspberry Pi 보드에 최적화된 OS인 Raspbian을 사용한다. 그림 12와 같이 레인보우 변기 시스템은 건강 평가 플랫폼에 배치되어 있다.

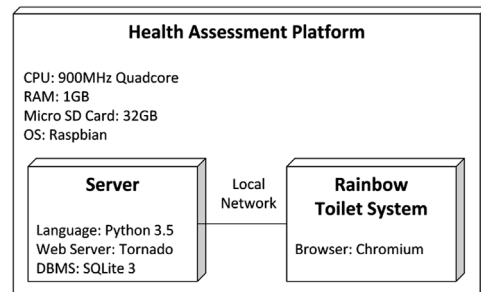


그림 12 개인 건강 측정 및 평가 시스템의 배치도  
Fig. 12 Deployment Diagram of the System

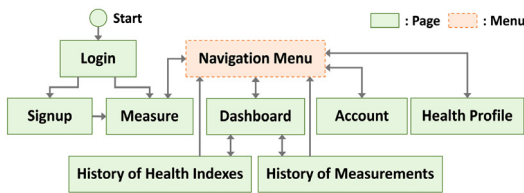
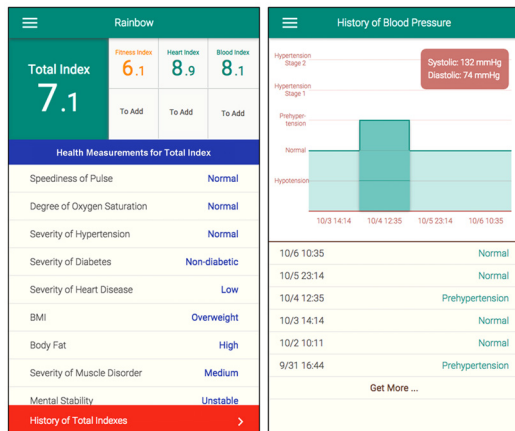


그림 10 레인보우 변기 시스템의 사용자 인터페이스  
Fig. 10 User Interface of Rainbow Toilet System



Dashboard

History of Meas.

그림 11 사용자 인터페이스의 주요 페이지  
Fig. 11 Main Pages of the User Interface

데이터 수집 프로세스, 데이터 관리, 건강 평가 등을 수행하는 건강 평가 플랫폼의 서버는 Python 언어로 개발되었으며, 대표적인 Python 웹 소켓 서버인 Tornado, 데이터베이스 관리 시스템으로 경량 로컬 데이터베이스인 SQLite3를 사용한다.

## 6. 실험 및 평가

### 6.1 실험 환경 및 데이터

본 실험은 건강 평가 플랫폼 기반의 레인보우 변기 시스템으로부터 사용자의 맥박, 혈압, BMI, ECG를 측정하고 심장 건강 인덱스를 계산한다. 연구실의 교원 및 학생으로 구성된 10명의 사용자가 한 달간 실험에 참가했다. 실험 참가자들의 총 시스템 사용 횟수는 882번으로, 한 명의 실험 참가자가 하루 평균 약 3번 시스템을 사용하였다.

본 시스템의 건강 평가 결과의 신뢰성을 평가하기 위해 3명의 의료 전문가에게 수집된 의료 데이터를 보여주었고, 각 의료 전문가들은 그들의 기준에 따라 데이터를 분석하고 건강 상태를 0~10 사이의 수치로 평가했다. 건강 평가 플랫폼의 건강 평가 결과와 의료 전문가들의 건강 평가 결과를 비교함으로써 건강 평가 플랫폼의 신뢰성을 확인한다.

### 6.2 실험 결과

건강 평가 플랫폼을 사용하여 레인보우 변기 시스템



개발의 비용과 노력을 크게 줄였다. 하드웨어 설계에서 센서 연결부분과 핵심 컴퓨팅 보드를 건강 평가 플랫폼을 활용하여 레인보우 변기 시스템 외형 설계에 초점을 맞출 수 있었다. 소프트웨어 설계에서 건강 평가 플랫폼의 26개 API를 통해 레인보우 변기 시스템의 주요 기능성을 구현함으로써, 사용자 인터페이스 설계 및 개발에 초점을 맞추었다. 건강 평가 플랫폼에서 활용된 소스코드 라인 수는 약 10,000줄이며 레인보우 변기 플랫폼의 사용자 인터페이스를 위한 HTML, CSS, JavaScript 파일들의 라인 수는 약 6,000줄이다.

건강 평가 플랫폼 없이 레인보우 변기 시스템을 개발할 경우 예상되는 비용은 16 Man/Month로 시스템 외형 설계, 센서 연결, 건강 정보 수집, 건강 인덱스 계산, 사용자 인터페이스 구현 비용이 포함된다. 건강 평가 플랫폼을 사용함으로써 시스템 외형 설계와 사용자 인터페이스 구현에 인력을 집중할 수 있었으며, 그 결과 시스템 개발 비용은 6 Man/Month로, 약 62.5%의 비용을 줄일 수 있었다.

10명의 실험 참가자는 68,082개에 달하는 건강 측정치를 수집했다. 모든 건강 측정치는 건강 평가 플랫폼의 로컬 데이터베이스에 오류 없이 저장되었다.

본 플랫폼은 수집된 건강 측정치로부터 심장 건강 인덱스를 계산한다. 그림 13은 사용자 1이 수집한 건강 측정치를 가시화한 그래프다.

건강 평가 플랫폼의 신뢰성을 검증하기 위해 3명의 의료 전문가 또한 심장 건강 인덱스를 계산했다. 사용자 1

표 4 건강 평가 플랫폼과 의료 전문가의 심장 건강 인덱스 계산 결과

Table 4 Computation Result of Heart Index by Health Assessment Platform and Medical Experts

User	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
Result by the System	7.1	8.2	8.1	8.3	6.2	7.6	9.1	5.6	6.4	7.1
Result by Expert 1	7.7	8.2	8.2	8.2	7.2	7.7	8.7	6.2	7.7	8.2
Result by Expert 2	7	8	8	8	6	8	9	6	7	8
Result by Expert 3	7.5	8.2	8.2	8	7	7.5	9	5.5	7.5	8.2

의 건강 측정치에 대해 의료 전문가들의 일반적인 의견은 맥박이 약간 높고, 일부 측정치가 고혈압 전 단계에 포함되며, BMI가 정상범위이긴 하지만 높은 편이며, ECG 패턴에서 심근경색이 의심되는 특징이 있다는 것이다.

표 4는 건강 평가 플랫폼과 의료 전문가들이 계산한 사용자 1의 심장 건강인덱스를 보여준다.

건강 평가 플랫폼과 각 의료 전문가가 계산한 심장 건강 인덱스의 차이가 각각 3.2%, 0.3%, 3.8%으로, 그 차이가 5% 미만이다. 본 실험에 의하면 건강 평가 플랫폼의 건강 인덱스 계산 결과가 95% 이상의 신뢰를 가진다고 볼 수 있다.

### 6.3 플랫폼의 평가

본 논문에서 제안한 건강 평가 플랫폼 기반의 레인보

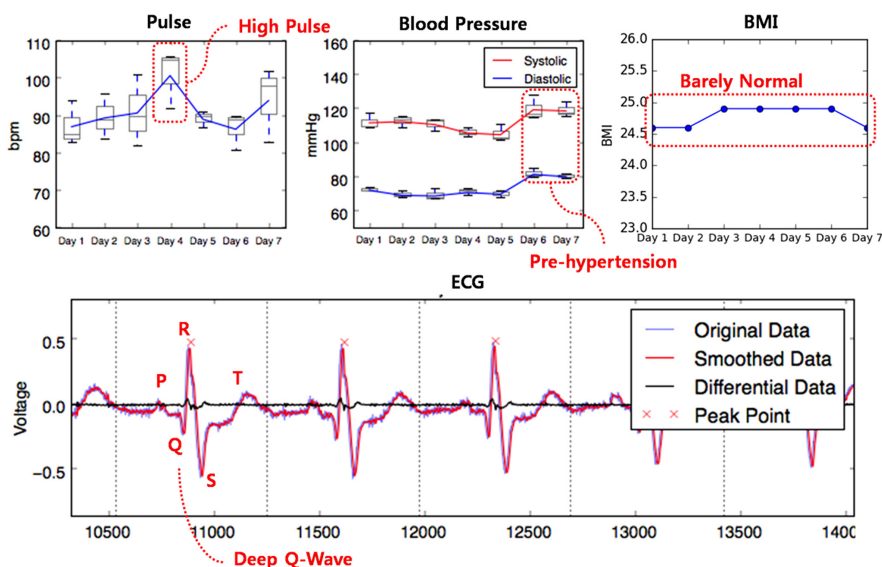


그림 13 심장 건강 인덱스 관련 건강 측정치

Fig. 13 Measurements Related to Heart Health Indexes

우 시스템을 이용한 실험 결과를 바탕으로 플랫폼을 평가한다.

- 플랫폼의 범용성 관점: 하드웨어 관점에서, 제안된 플랫폼은 범용 마이크로 컴퓨팅 보드인 Raspberry Pi와 아두이노 보드에 장착될 수 있는 범용 건강 측정 플랫폼인 e-Health Sensor Kit을 기반으로 하고 있으므로 아두이노 보드에 호환될 수 있는 건강 센서가 쉽게 부착될 수 있다. 레인보우 시스템 역시 제안된 하드웨어 플랫폼과 상용 센서들을 이용하여 번기에 부착되어 개인 정보를 측정할 수 있도록 개발하였다.

소프트웨어 관점에서, 제안된 플랫폼은 범용 디바이스 인터페이스와 범용 건강 평가 메트릭 계산 컴포넌트 등을 제공한다. 그러므로, 레인보우 시스템을 개발할 때 소스코드 양도 많이 줄었으며, 약 62.5%의 개발 비용을 줄일 수 있었다.

- 플랫폼의 확장성 관점: 레인보우 시스템은 3.1장에서 설명한 5종의 건강 인덱스를 평가하는 기능을 제공한다. 제안된 플랫폼은 건강 평가를 위한 범용 메트릭만 제공하고 있으므로, 레인보우 시스템 개발시 이를 5종 건강 인덱스 계산에 특화될 수 있도록 추가 개발이 필요했다. Health Context Acquirer와 Health Context Calculator가 범용 인터페이스로 구현되어 있기 때문에, 이들을 확장해서 용이하게 5가지 건강 인덱스를 계산할 수 있도록 특화할 수 있었다.
- 건강 메트릭의 신뢰성 관점: 플랫폼에서 제안한 범용 메트릭을 기반으로 계산한 5종 건강 인덱스 결과와 동일한 건강 인덱스를 전문가가 계산한 결과를 비교하니, 95% 이상의 일치도를 볼 수 있었다. 이 결과 본 논문에서 제안한 건강 메트릭의 신뢰도가 높다고 판단할 수 있다. 그리고, 관련 연구와 본 논문에서 제시한 플랫폼을 표 5와 같이 3가지 항목 관점에서 비교하였다.

‘고려한 건강 평가 항목’은 각 논문에서 주 목적으로

하고 있는 건강 평가 항목을 의미하며, ‘사용한 건강 정보’는 건강 상태를 평가하기 위해 사용한 건강 정보 종류를 의미한다. ‘확장성’은 제시된 설계 모델이 다른 종류의 건강 평가 항목 측정에 활용될 수 있는지 여부에 대한 것이다. 비교표에서 보듯이, 3가지 연구는 특정 평가 항목에 국한된 애플리케이션 설계 모델을 제시한 반면에, 본 논문에서는 다양한 측면의 건강 상태를 평가하기 위한 범용적 건강 인덱스 모델 및 이를 지원하는 플랫폼 설계 모델을 제안하였다.

## 7. 결 론

IoT 기반의 디지털 헬스케어 시스템 및 서비스는 야는 IT 분야의 트렌드와 급성장하는 산업계 분야이다. 그러나, IoT 기반의 헬스케어 시스템 개발은 그 복잡성과 난이도가 높다. 본 논문에서는 효과적, 효율적으로 IoT 기반의 건강 평가 시스템을 개발하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼을 제안하였다.

건강 평가 모델은 사람 건강 정도를 한 가지 관점에서 표현하는 건강 인덱스들로 구성된다. 본 논문에서는 개인 건강 정도를 평가하기 위한 품질 모델을 제안하였고, 건강 평가 플랫폼의 하드웨어, 소프트웨어, 데이터베이스 측면의 설계 모델을 제시하였다. 또한, 제시된 플랫폼을 이용한 응용 시스템의 구현 사례로 레인보우 번기 시스템을 개발하였고, 이를 이용하여 일련의 실험을 진행하고 그 결과를 통하여 제안된 플랫폼을 평가하였다.

이러한 동기를 만족하는 건강 평가 플랫폼이 개발된다면, 의료 IoT 장비의 종류와 무관하게 다양한 형태의 개인 건강 평가 하드웨어, 소프트웨어, 클라우드로 이루어지는 시스템의 저비용 고효율 개발이 가능해진다.

## References

- [1] S. Hiremath, et. al., "Wearable Internet of Things:

표 5 관련 연구와 비교표

Table 5 Comparison Table

	Health Assessment Items	Used Health Measurements	Scalability
Antonovici's Work[2]	Risk of Hypertension	Blood Pressure and Pulse	Not Considered
Kand's Work[3]	Life Expectancy and Risk Factors of Healthiness	Blood Pressure, Pulse, Body Temperature, Breath	Not Addressed Explicitly
Forkan's Work[4]	Risk of Cardiac Diseases	ECG, Pulse, SpO2, Body Temperature, Breath, Blood Pressure	Considering Scalability with Limited Details of Methods
Proposed Platform	Heart Health, Blood Health, Muscle Health, Mental Health, Obesity, etc.	Pulse, Blood Pressure, SpO2, BMI, EEG, ECG, EMG, Body Fat, Glucose, etc.	To propose scalable health index metrics; To propose a scalable platform for calculating health index metrics with several health measurements;

- Concept, Architectural Components, and Promises for Person-Centered Healthcare," *Proc. of 2014 EAI 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth 2014)*, pp. 304-307, 2014.
- [2] D.A. Antonovici, et. al., "Acquisition and Management of Biomedical Data using Internet of Things Concepts," *Proc. of 2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE 2014)*, pp. 1-4, 2014.
- [3] J.J. Kand, et. al., "Predictive Data Mining for Converged Internet of Things: A Mobile Health Perspective," *Proc. of 2015 International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC 2015)*, pp. 5-10, Nov. 2015.
- [4] A. Forkan, et. al., "Context aware Cardiac Monitoring for Early Detection of Heart Diseases," *Proc. of 2013 Computing in Cardiology Conference (CinC 2013)*, pp. 277-280, 2013.
- [5] H.J.La, et. al., "Extensible Disease Diagnosis Cloud Platform with Medical Sensors and IoT Devices," *Proc. of 2015 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud 2015)*, pp. 371-378, Aug. 2015.
- [6] H. J. La, "A Conceptual Framework for Trajectory-based Medical Analytics with IoT Contexts," *Journal of Computer and System Sciences*, Dec. 2015.
- [7] M. Hassanaliagh, et. al., "Health Monitoring and Management Using Internet-of-Things (IoT) Sensing with Cloud-based Processing: Opportunities and Challenges," *Proc. of 2015 International Conference on Services Computing (SCC 2015)*, pp. 285-292, Jun. 2015.
- [8] J. Liu, F. et. al., "A Wearable Health Monitoring System with Multi-parameters," *Proc. of 2013 6th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI 2013)*, pp. 332-336, Dec. 2013.
- [9] Y. Li, et. al., "Enabling Health Monitoring as a Service in the Cloud," *Proc. of 2014 IEEE/ACM 7th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC 2014)*, pp. 127-136, Dec. 2014.
- [10] Raspberry Pi, <https://www.raspberrypi.org> (accessed by Oct. 23, 2015)
- [11] e-Health Sensor Kit, Cooking Hacks, <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/ehealth-biometric-sensor-platform-arduino-raspberry-pi-medical> (accessed by Oct. 23, 2015)
- [12] H. La et. al., "A Personal Healthcare System with Inference-as-a-Service," *Proc. of 12th IEEE International Conference on Services Computing (SCC 2015)*, pp. 249-255, Jun. 2015.
- [13] E. Gamma, et. al., *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Modeling and Simulation Design*, Addison-Wesley Professional, 1994.



라 현 정

2003년 경희대학교 전자정보학부(학사)  
2006년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)  
2011년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학박사)  
2011년~2013년 숭실대학교 모바일 서비스 소프트웨어공학 센터 연구교수. 2013년~현재 (주)스마티랩 대표. 관심분야는 소프트웨어 아키텍처(Software Architecture), 모바일 클라우드 컴퓨팅(Mobile Cloud Computing), 사물 인터넷 컴퓨팅(Internet of Things Computing)



김 문 권

2012년 숭실대학교 컴퓨터학부(학사). 2013년 숭실대학교 컴퓨터학과(석사). 2013년~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정  
관심분야는 소프트웨어 공학(Software Engineering), 데이터 과학(Data Science), 사물인터넷 컴퓨팅(Internet of Things Computing)



김 수 동

1984년 Northeast Missouri State University 전산학(학사). 1988년/1991년 The University of Iowa 전산학 (석사/박사)  
1991년~1993년 한국통신 연구개발단 선임연구원. 1994년~1995년 현대전자 소프트웨어연구소 책임연구원. 1995년 9월~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수. 관심분야는 객체지향 모델링(Object-Oriented Modeling), 소프트웨어 아키텍처(Software Architecture), 사물 인터넷 컴퓨팅(Internet of Things Computing), 머신러닝 기반 e 헬스케어(Machine Learning-based eHealthcare)