
M2M 기반의 글로벌 헬스케어 시스템 플랫폼

정상중* · 정완영**

M2M Technology based Global Healthcare Platform

Sang-Joong Jung* · Wan-Young Chung**

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0016212).

요 약

본 논문에서는 M2M 기반의 글로벌 헬스케어 모니터링 시스템을 구축하여 헬스케어 분야에 있어 기존의 센서네트워크의 확장성과 이동성을 보완하여 더욱 더 안정적이고 신뢰성 있는 건강상태 정보를 제공하고자 하였다. 센서노드는 웨어러블 심전도 및 맥파 센서와 결합되어 있으며, 각각의 생체신호를 수집하여 IEEE 802.15.4 표준 프로토콜과 6LoWPAN 프로토콜을 통해 외부 인터넷 망을 거쳐 서버로 전송한다. 또한 서버 프로그램은 측정된 생체신호를 통해 HRV 신호를 검출하였으며, HRV 신호를 이용한 시간 영역 및 주파수 영역 분석을 통해 환자의 스트레스 상태를 판단하도록 하였다. 이로써 제안된 시스템은 기존의 네트워크 인프라를 최대한 활용할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 각각의 센서노드에 IP를 부여하여 헬스케어 서비스의 적용 범위가 좁은 지역을 벗어나 범국가적으로 확대될 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

A global healthcare system based on M2M technology is proposed to support a good mobility, flexibility and scalability to the patients in 6LoWPAN. Sensor nodes integrated with wearable sensors are linked to gateway with IEEE 802.15.4 protocol and 6LoWPAN protocol for data acquisition and transmission purpose via external network. In the server, heart rate variability signals are obtained by signal processing and used for time and frequency domain performance analysis to evaluate the patient's health status. Our approach for global healthcare system with non-invasive and continuous IP-based communication is managed to process large amount of biomedical signals in the large scale of service range accurately.

키워드

사물지능통신, 글로벌 헬스케어 시스템, 웨어러블 센서, 6LoWPAN, 스트레스

Key word

M2M, Global Healthcare System, Wearable Sensor, 6LoWPAN, Stress

* 부경대학교 전자공학과

** 부경대학교 전자공학과 (교신저자, wychung@pknu.ac.kr)

I. 서론

차세대 정보기술(IT) 분야의 핵심 서비스로 사물지능통신(Machine to Machine, M2M)이 주목을 받고 있다. 사물지능통신이란 모든 사물에 센서와 통신 기능을 부과해 지능적으로 정보를 수집하고 상호 전달하는 네트워크를 의미한다. 즉, 사물 간의 통신 및 사람이 동작하는 디바이스와 사물 간의 통신을 의미하며 원격지의 사물의 상태나 상황정보를 확인할 수 있는 솔루션이다. 오늘날 전 세계는 글로벌 금융 위기, 사회적 양극화, 일자리 창출, 기후 변화, 에너지 절감, 안전한 사회구축 등 당면한 사회·경제적 과제 및 국가 주요정책 과제에 대한 해결책으로서 차세대 ICT (Information & Communication Technology) 인프라에 주목하고 있으며, 그 결과 그림 1과 같이 통신 패러다임에 큰 변화가 일어나고 있다. 그동안 정보의 수집·활용이 사람 중심의 통신을 기반으로 기술이 개발되고 서비스되어 왔었던 반면, 이제는 방송, 통신, 인터넷 등 개별 미디어간 융합을 기반으로 사람뿐만 아니라 사람 대 사람, 사람 대 사물까지 통신의 영역이 확장되고 있으며 이를 활용한 다양한 능동적, 지능형 융합 서비스들이 출현하고 있다. 최근에는 사물정보를 활용한 사물지능통신으로 상황인식, 위치정보 파악, 원격제어 및 모니터링이 가능한 지능형 융합 서비스가 확산되고 있다[1-2]. 최근 Morgan Keegan에서 2010년 3월 발표한 사물지능통신 관련 시장동향을 살펴보면, 지능화된 디지털 기기의 보급 확산에 따라 사물정보의 이용이 폭발적으로 증가하고 있으며 안전하고 보편적인 네트워크의 수요가 확대되고 있다. 또한 칩/모듈 시장이 30억\$, 서비스 시장이 265억\$, 단말 시장은 1억 개의 시장이 형성될 것으로 전망하고 있다. 이에 본 연구에서는 웨어러블 센서, 지

능적 생체신호 분석 및 건강정보 제공 등과 같이 사람 중심의 통신의 한계를 벗어나 동작의 주체가 사물이 되는 M2M 기술을 이용하여 신뢰성과 접근성이 우수한 새로운 형태의 IPv6 (Internet-Protocol version 6) 기반 글로벌 헬스케어 시스템을 제공하고자 한다.

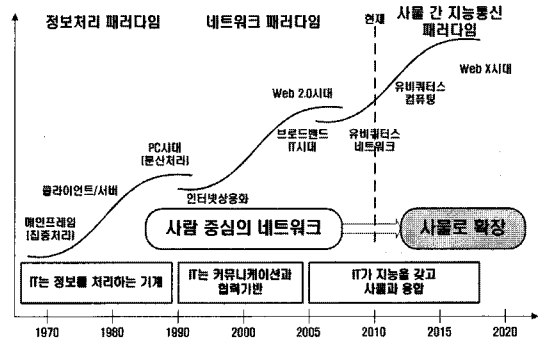


그림 1. 네트워크 패러다임의 변화.
Fig. 1 Changes of network paradigm.

II. M2M 기술

지능형 사물들이 안정적으로 서비스하기 위해서는 운영체제의 도움이 필수적이다. 운영체제를 통해서 통신 모듈, 센서 및 액추에이터 등 하드웨어 장치들을 다양한 태스크들에게 효율적으로 분배하고 안전하게 사용할 수 있기 때문이다. 또한 운영체제가 제공하는 IPv6 프로토콜을 사용하면 손쉽게 인터넷과 연결할 수 있는 장점도 있다. 표 2와 같이 지능형 단말기에 사용되는 운영체제에는 다양한 종류가 있는데 지능형 사물들은 대체로 프로세서 파워와 메모리가 매우 작은 컴퓨터들이 대부분이므로 리눅스 같은 범용 운영체제는 알맞지 않다

표 1. M2M 기술의 세계 시장
Table. 1 World scale market of M2M technology (출처: Morgan Leegan, 2010)

(단위: 백만달러)

구분	칩/모듈 시장			단말기 시장			서비스 시장		
	2009년	2013년	CAGR	2009년	2013년	CAGR	2009년	2013년	CAGR
소비시장	2,000	3,500	15.0 %	50	180	37.7 %	25,000	37,000	10.3 %
기업시장	1,080	1,976	16.3 %	60	240	41.4 %	1,500	5,998	41.4 %
합계	3,080	5,476	15.5 %	110	420	39.8 %	26,500	42,998	12.9 %

[3-5]. 그에 반해 센서네트워크용 운영체제들은 가벼우면서도 여러 대학 과 연구기관들의 많은 노력을 통해 다소 무거운 응용에도 안정적으로 동작하는 등 고도화 상태에 진입하고 있어 지능형 사물에 적용하기에 적합하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 센서네트워크에서 사용되는 운영체제 중 컴포넌트를 기반으로 사용하고 저전력 모드에 맞는 TinyOS를 적용한 센서노드를 사용하여 IPv6 환경을 구축하는데 사용하였다.

표 2. M2M 장비의 주요 운영체제 비교
Table. 2 Comparison of operating system for M2M devices

구분	TinyOS	Contiki	NanoQplus
단체	UC Berkeley	SICS	ETRI
Version	2.1.1	2.4	2.4.2
언어	nesC	C 언어	C 언어
커널	Event-driven TOS-thread	Event-driven Photo-thread	Multi-thread
저전력	○	○	○
IPv6	○	○	○

무선통신 및 데이터 수집을 위해 사용되는 센서노드는 지금까지의 IEEE 802.15.4 프로토콜 기반의 통신과는 달리 IETF (Internet Engineering Task Force) WG에서 제안된 IPv6 기술을 적용한 6LoWPAN (IPv6 Low-power Wireless Personal Area Networks)을 구축하여 각각의 센서노드에 고유의 IP를 할당하였다[6]. 또한 IP 계층과 MAC 계층 사이에 적응계층 (Adaptation Layer)을 적용하여 패킷의 단편화와 재조합 과정을 수행하도록 하였다.

이로써 IEEE 802.15.4 MAC/PHY 상위 계층에 IP와 TCP/UDP 등 기존 인터넷에서 사용하는 통신 프로토콜을 그대로 사용할 수 있다[7]. 센서노드들은 게이트웨이로부터 IPv6 주소를 부여 받기 때문에, 외부에 있는 IP 네트워크의 호스트가 6LoWPAN 내의 센서노드에 직접 접근해 통신할 수 있다. 6LoWPAN 내의 센서노드 또한 외부 IP 네트워크에 있는 호스트와 통신이 가능하기 때문에 인터넷과 센서네트워크 간의 능동적 연계에 적합한 구조이다.

III. M2M 기반 글로벌 헬스케어 시스템

그림 2는 제안된 M2M 기반의 글로벌 헬스케어 시스템 플랫폼의 구성도를 보여주고 있다. 제안된 헬스케어 시스템은 기존의 유선이나 무선으로 구축된 센서를 IP 기반의 무선네트워크로 대체 하는 기술로서 심전도 및 맥파 신호추정을 위한 웨어러블 센서, IP 기반의 센서노드, 이종의 네트워크 및 인터넷과의 연동을 위한 게이트웨이, 그리고 서버 PC로 구성된다. 먼저 심전도 신호를 측정하기 위하여 셔츠의 가슴부분에 부착된 2개 전극으로부터 소신호를 유도하고 유도된 2개의 신호의 전위차를 차동 증폭함으로써 100 Hz의 심전도 신호를 획득하였다. 반면에 맥파 센서는 맥파 신호추정의 기본 원리에 따라 LED (Infrared: 940 nm)와 포토다이오드로 손목형으로 제작하였으며, 잡음제거를 위한 필터와 신호의 증폭을 위한 회로를 구성하여 75 Hz의 맥파 신호를 획득하였다[8-9]. 센서노드에서 수집된 생체신호의 전송은 6LoWPAN 환경에서 사용되는 LOAD

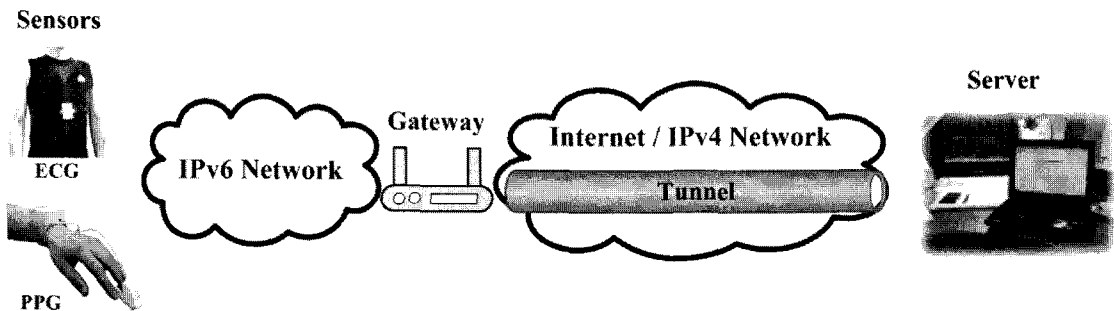


그림 2. M2M 기반 글로벌 헬스케어 시스템 구성도.
Fig. 2 Overall architecture of global healthcare system based on M2M.

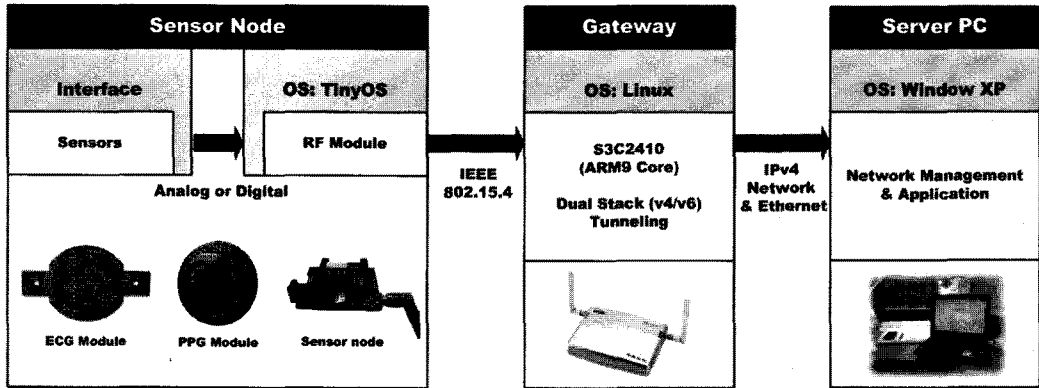


그림 3. 데이터 전송 하드웨어 블록도.
Fig. 3 Block diagram of data transmission hardware.

(6LoWPAN Ad Hoc On-Demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜을 사용하여 게이트웨이로 전송되는 방식으로 IP 기반의 네트워크를 형성하게 된다. 특히 게이트웨이는 각각의 센서노드에 IPv6 주소를 할당하며, IEEE 802.15.4 표준 프로토콜과 6LoWPAN 프로토콜을 이용한 인터넷 연동을 통해서 서로 다른 지역에서의 생체 신호 측정, 분석 및 모니터링을 가능하게 하였다. 따라서 그림 3과 같이 6LoWPAN 환경에서 발생된 데이터는 센서네트워크에서 이종의 네트워크 혹은 IP 기반의 네트워크로 게이트웨이를 통해 전송되며, 게이트웨이는 다른 네트워크와 센서네트워크의 통로 역할을 담당한다.

IV. 실험 및 결과

인터넷을 연동한 지역간 네트워크 통신을 위한 테스트를 위해 그림 4와 같이 공인 아이피 (IPv4)가 허용된 서로 다른 지역에서 6LoWPAN 환경을 구축하여 제작된 웨어러블 심전도 및 맥파 센서를 착용하여 정상 상태와 스트레스 상태를 측정하였다.

그림 4에서 보는 바와 같이 실험 환경은 단일 PAN과 멀티 PAN 환경인 2가지의 시나리오에 따라 이루어졌으며, 부경대학교의 2개의 캠퍼스에 (용당캠퍼스, 대연캠퍼스) PAN 환경과 서버 PC를 따로 설치하여 테스트 하였다.

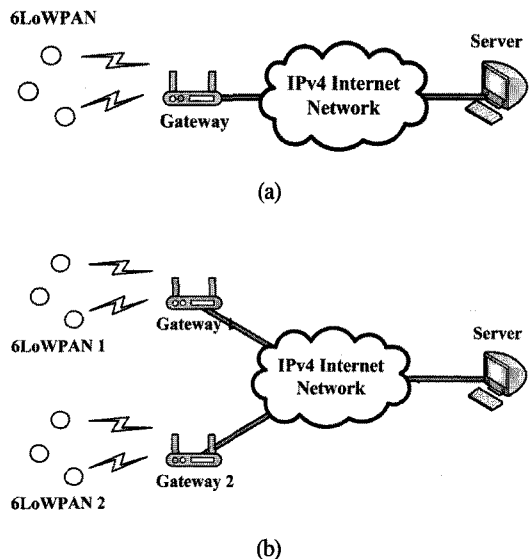


그림 4. 지역간 네트워크 통신을 위한 테스트 환경: (a) 단일 6LoWPAN 시나리오, (b) 멀티 6LoWPAN 시나리오.

Fig. 4 Test environment for inter-local networks: (a) Single 6LoWPAN scenario, (b) Multiple 6LoWPAN scenario.

멀티 PAN의 경우 서로 다른 게이트웨이가 설치된 지역에 할당된 공인 IP를 이용하여 글로벌 주소를 추출하여 인터넷을 통한 접속을 가능하게 하였다. 그림 5에서 설명하는 바와 같이 서버 PC에 설정된 IPv6 주소는 2002:cbfa:79d2::cbfa:79d2 (203.250.121.210 - 대연캠퍼

스)를 사용하여 게이트웨이의 주소인 2002:d262:2434::1 (210.98.36.52 - 용당캠퍼스)와 원활한 UDP 통신이 이루어지도록 하였다. 6LoWPAN을 내의 센서노드들은 게이트웨이로부터 2002:d262:2434::100:22:ff:fe00:ffff:000a를 시작으로 하위 주소의 IP를 각각 할당받게 된다.

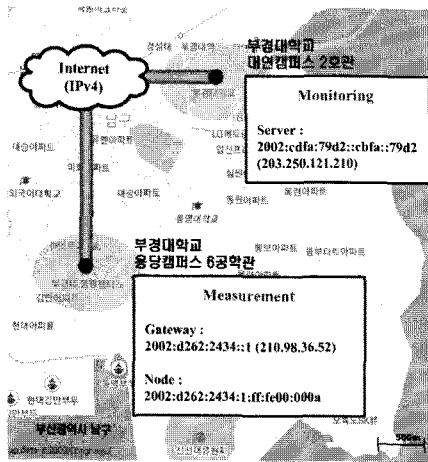
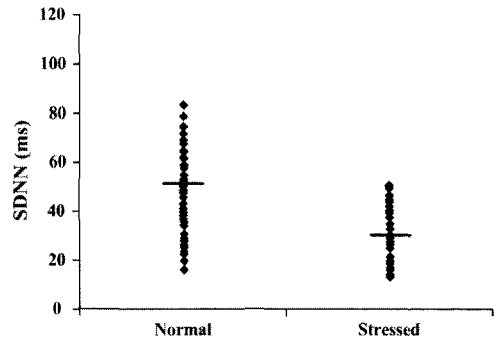


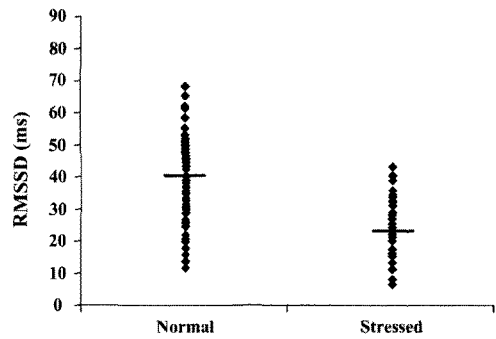
그림 5. 실제 테스트를 위한 M2M 환경 구축.
Fig. 5 Construction of M2M environment for testing.

테스트는 센서노드와 게이트웨이가 구성된 6LoWPAN 환경에서 제작된 웨어러블 심전도 및 맥파 센서를 착용하여 생체신호를 측정하였다. 생체신호의 측정은 20대에서 30대의 건강한 성인 남녀로 본 논문의 저자와 9명의 연구실원이 실험에 참여하였으며, 정상 상태와 스트레스 상태를 주야간 상황으로 나누어 3일 동안 하루에 5차례씩 약 3분여간 측정하여 평균하였다. 정상 상태의 경우는 졸리거나 피곤하지 않고 컨디션이 좋은 상태의 조건에서 측정하였으며, 스트레스 상태의 경우는 졸음, 피로, 스트레스와 같은 조건에서 측정하였다. 서버 PC에 구축된 모니터링 및 분석 프로그램은 측정된 생체신호의 HRV (Heart Rate Variability, 심박변이도) 분석을 통해 건강상태에 대한 객관적인 정보를 제공하도록 하였다[10]. 그 결과 그림 6과 같이 정상 상태와 스트레스 상태에 대한 HRV 신호의 시간 영역 및 주파수 영역 분석을 시행하였으며, 그림 6 (a)와 그림 6 (b)는 시간 영역에서의 SDNN 지수와 RMSSD 지수를 보여주는데 정상 상태의 SDNN 지수와 RMSSD 지수는 평균값이 각각 47.2ms와 38.3ms를 보여주는 반면 스트레스 상태의 SDNN 지수와 RMSSD 지수는 33.5ms와 23.9ms를 기록

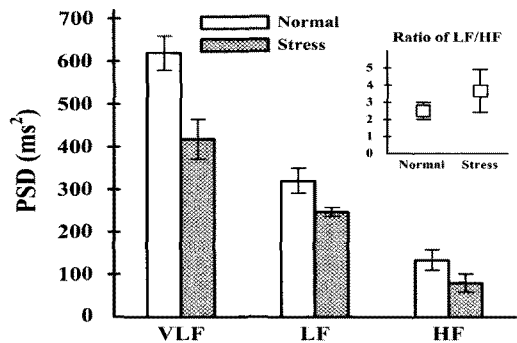
하여 스트레스 상태의 경우 정상 상태에 비해 비교적 낮은 수치를 기록하는 것을 확인하였다[11].



(a)



(b)



(c)

그림 6. 시간 및 주파수 영역에서의 HRV 분석: (a) 시간 영역에서의 SDNN 지수, (b) 시간 영역에서의 RMSSD 지수, (c) 주파수 영역에서의 PSD 분석.

Fig. 6 HRV signals analysis in time and frequency domain: (a) SDNN index in time domain, (b) RMSSD index in time domain, (c) PSD analysis in frequency domain.

표 3. 스트레스 판단 기준
Table. 3 Stress decision criteria

지수	최저	판단 기준	최고
SDNN(ms)	20	스트레스	40
	40	정상	60
RMSSD(ms)	14	스트레스	32
	32	정상	50
Ratio of LF/HF	3.1	스트레스	4.3
	1.9	정상	3.1

그림 12는 VLF (Very Low Frequency), LF (Low Frequency), 그리고 HF (High Frequency) 대역에서의 PSD (Power Spectrum Density) 값들을 비교하여 분석하였다[12]. VLF (0.003 ~ 0.04 Hz) 영역에서 정상 상태의 평균 PSD 값은 616.42ms²인데 반해 스트레스 상태의 경우 409.96ms²를 나타내어 스트레스 상태에서의 PSD 값이 정상 상태에 비해 낮은 수치를 기록하는 것을 확인하였다. 이와 마찬가지로 LF (0.05 ~ 0.15 Hz)와 HF (0.15 ~ 0.45 Hz) 영역의 경우 정상 상태의 PSD 값은 각각 319.98ms²와 128.43ms²인데 반해 스트레스 상태의 PSD 값은 각각 246.42ms²와 70.72ms²로 그 값이 낮은 수치로 기록되는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 환자의 상태에 따라 두드러지게 변화하는 LF와 HF 영역에서의 LF/HF 비의 평균값을 통해 표 3 과 같이 정상 상태와 스트레스 상태의 판단을 가능하게 하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 헬스케어 분야에 있어 새로운 개념의 M2M 기술을 도입하기 위해 IEEE 802.15.4 표준 프로토콜에 IPv6 기술을 적용한 6LoWPAN 환경을 구축하였다. 또한 6LoWPAN 환경에 제안된 플랫폼을 적용하여 기존의 무선센서네트워크에서 제한이 되었던 신뢰성, 확장성과 이동성을 보완하여 헬스케어 서비스 영역을 획기적으로 확장하였다. 실제 서로 다른 지역에서의 테스트를 통해 외부에서의 구조적 접근과 인터넷이 연결된 어디에서나 사용가능한 상호운용성을 보완하고자 하였으며, 서버 프로그램을 통한 환자의 건강 상태를 객관적으로 판단할 수 있었다. 따라서 이러한 결과

를 바탕으로 유비쿼터스 헬스케어 서비스 분야에서의 의료비 절감 및 인프라 구축에 대한 비용 절감뿐만 아니라 모든 사회 계층에 양질의 의료 서비스가 제공될 것이며, 국내 지자체 규모나 국가적 규모의 u-헬스케어 서비스 기반 기술이 확보되어 IT, 통신, 의료 솔루션의 융합 관련 산업의 비즈니스 영역으로 크게 확대될 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] 사물지능통신 포럼, <http://seri.org/>
 [2] G. Lawton, "Machine-to-Machine Technology Gears Up for Growth", *In Computer*, vol. 37, pp. 12-15, 2004.
 [3] TinyOS, <http://www.tinyos.net/>
 [4] The Contiki Operating System, <http://www.sics.se/contiki/>
 [5] S. M. Park, J. W. Kim, K. Y. Shin, and D. Y. Kim, "A Nano Operating System for Wireless Sensor Networks", *Proceedings of International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 345-348, Feb 2006.
 [6] Internet Engineering Task Force, <http://www.ietf.org/>
 [7] N. K. Nagar, G. Montenegro, C. Schumacher, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks", *IETF Network Working Group, RFC 4944*, pp. 1-30, Sep 2007.
 [8] S. J. Jung and W. Y. Chung, "A Flexible and Scalable Patient's Health Monitoring System in 6LoWPAN", *Proceedings of the 13th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS-13)*, pp. 188, 2010.
 [9] 신홍섭, 정상중, 서용수, 정완영, "실시간 지능형 운전자 건강 및 주의 모니터링 시스템", 한국해양정보통신학회논문지, 제14권, 제5호, pp. 1303-1310, 2010.
 [10] Task Force of the European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, "Guidelines - Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use", *European Heart Journal*, vol. 17, pp. 354-381, 1996.

- [11] G. C. Butler, Y. Yamamoto, R. L. Hughson, "Heart Rate Variability to Monitor Autonomic Nervous System Activity During Orthostatic Stress", *The Journal of Clinical Pharmacology*, vol. 34, pp. 558-562, 1994.
- [12] A. Malliani, F. Lombardi, M. Pagani, "Power spectrum analysis of heart rate variability: a tool to explore neural regulatory mechanisms", *British Heart Journal*, vol. 71, pp. 1-2, 1994.

저자소개



정상중(Sang-Joong Jung)

2007년 동서대학교
전자공학과(공학사)
2009년 동서대학교 유비쿼터스
IT학과(공학석사)

2009년~현재 부경대학교 일반대학원 전자공학과
박사과정

※관심분야: u-헬스케어, 무선센서네트워크, 아날로그
회로, M2M & IoT 기술



정완영(Wan-Young Chung)

1987년 경북대학교
전자공학과(공학사)
1989년 동 대학원
전자공학과(공학석사)

2009년 University of Oulu, Finland,
전기정보공학과(Dr. of Sci. in Technology)

1999년~2008년 동서대학교 컴퓨터정보공학부
부교수

2008년~현재 부경대학교 전자공학과 교수

※관심분야: 유비쿼터스 센서네트워크, 자동차
안전편의부품, 마이크로센서, u-헬스케어