

사물인터넷 기반의 다중채널 생체신호 측정

Acquisition of Multi-channel Biomedical Signals Based on Internet of Things

김정환* · 정겨운* · 이준우* · 김경섭†
(Jeong-Hwan Kim · Gyeo-Wun Jeung · Jun-Woo Lee · Kyeong-Seop Kim)

Abstract - Internet of Things(IoT)-devices are now expanding inter-connecting networking technologies to invent healthcare monitoring system especially for assessing physiological conditions of the chronically-ill patients those with cardiovascular diseases. Hence, IoT system is expected to be utilized for home healthcare by dedicating the original usage of IoT devices to collect the biomedical data such as electrocardiogram(ECG) and photoplethysmography(PPG) signal. The aim of this work is to implement health monitoring system by integrating IoT devices with Raspberry-pi components to measure and analyze ECG and the multi-channel PPG signals. The acquired data and fiducial features from our system can be transmitted to mobile devices via wireless networking technology to support the concept of tele-monitoring services based on IoT devices.

Key Words : Internet of things, IoT, Single-board computer, Raspberry-pi, ECG, PPG, PTT, Multi-channel system

1. 서 론

현재 무선통신 기술의 발달로 인하여 사용자가 언제, 어디서나 네트워크를 통하여 모든 사물을 제어할 목적으로 일상생활의 모든 사물을 네트워크로 연결한 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 개념이 널리 확산되고 있다[1]. 특히 사물인터넷을 접목한 헬스케어는 질병을 진단하고 치료의 목적이 아닌 만성질환의 관리 및 질병의 예방에 초점을 맞추고 있다. 이에 따라서 한국을 비롯한 선진국들에서 고령화 사회가 빠르게 진행되고 있으며 이로 인하여 만성질환자의 환자수가 급격히 증가하고 있는 실정에서, 사물인터넷 기반의 헬스케어가 원격진료를 포함하는 새로운 개념의 패러다임을 제공할 것으로 기대되고 있다[2, 3].

모바일 디바이스(스마트폰, 태블릿, PDA)를 이용하여 건강에 관련된 정보를 송수신하는 서비스인 모바일 헬스케어 서비스는 사물인터넷 헬스케어의 가장 기본적인 모델을 제공하고 현재 스마트폰의 보급률의 국내 80%를 넘어서고 있어서 이를 이용한 건강관리 앱 프로그램들이 개발되고 있다[4].

또한 싱글보드 컴퓨터(single-board computer)를 이용하여 다양한 사물인터넷 환경의 시스템을 구현할 수 있다. 이 컴퓨터는 한 장의 PCB보드 위에 중앙처리 장치, 그래픽처리장치 메모리, 입출력 장치를 모두 장착한 작은 컴퓨터로써 라즈베리파이(Raspberry-pi), 아두이노, 비글보드, 큐비보드 등 다양한 제품들

이 개발되어 있다. 특히, 라즈베리파이는 낮은 가격에 비해 우수한 성능 때문에 가장 많이 사용되는 제품이며 오픈소스를 지향하기 때문에 생체신호 측정 센서와 라즈베리파이를 이용한 사물인터넷 개념의 헬스케어 모니터링 시스템 구축에 활용이 기대되고 있다[5, 6].

따라서 사물인터넷 환경의 헬스케어 시스템을 구현하기 위해서 본 연구에서는 심전도 모듈과 다수의 광용적맥파(PPG: Photoplethysmography)센서를 라즈베리파이에 연결하여 결합하여 무선 네트워크를 통한 심장건강 모니터링 시스템 구현하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 심전도 및 PPG 생체신호

심전도와 PPG는 측정이 간단하면서도 파형의 뚜렷한 특징을 갖는 대표적인 생체신호로 심장 박동과 관련이 있다. 심전도는 심근의 활동 전류를 기록한 신호로써 파형의 특징을 포함하는 값들로서, P, Q, R, S, T와 RR 간격, QRS Complex 등의 파라미터로 정의된다[7]. 또한 광용적맥파는 심장의 수축, 이완작용으로 인해 혈관에 흐르는 혈류량의 변화를 광학적 특성으로 획득하는 신호이고 파형의 특징점을 Pulse Peak과 Pulse Foot으로 정의된다[8].

두 생체신호 사이의 맥파전달시간(PTT: Pulse Transit Time)은 심장에서 방출되는 혈액이 말초부위까지 전달되는 시간을 의미하며 심전도 신호의 R 피크 지점에서 광용적맥파의 Pulse Peak, Pulse Foot 지점의 시간으로 계산한다[9]. 이 두 신호의

† Corresponding Author : School of Biomedical Eng., Research Institute of Biomedical Eng., Konkuk University, Korea.
E-mail: kyeong@kku.ac.kr

* School of Biomedical Eng., Konkuk University, Korea.
Received : June 1, 2016; Accepted : June 10, 2016

특징 값과 파라미터들의 관계를 분석하여 심근경색, 협심증, 부정맥, 혈관의 경직도 등의 심혈관 이상상태 진단에 참조하게 된다.

그림 1은 심전도와 PPG 신호의 특징 값들을 보여준다.

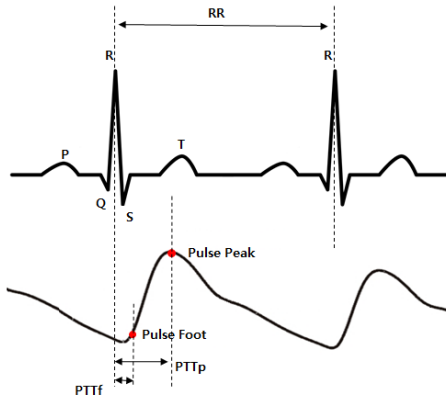


그림 1 심전도와 PPG 신호의 특징 값
Fig. 1 Fiducial features in ECG and PPG signals

2.2 다중채널 생체신호 측정 시스템 구성

싱글보드 컴퓨터인 라즈베리파이를 활용한 생체신호 측정 시스템의 구성은 그림 2와 같다. 심전도 및 멀티채널 PPG신호의 측정을 위해 사용한 센서는 사자유도 aVL 측정이 가능한 심전도 모듈 AD8232(SparkFun, USA) 제품과 피부조직에 빛을 인가하여 혈류를 투과 빛의 양으로 신호를 추정하는 이어클립형 광용적맥파 센서 EP520(LAXTHA, 대한민국)을 활용하였다.

라즈베리파이는 외부 하드웨어의 연결을 위한 GPIO (General Purpose Input/Output), USB(Universal Serial Bus), 인터넷 연결을 위한 이더넷(Ethernet), 모니터 연결을 위한 HDMI (High-Definition Multimedia Interface) 등의 다양한 포트를 지원하고 오픈소스 기반인 리눅스 운영체제를 사용한다[6].

라즈베리파이는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜주는 A/D 컨버터(Analog to Digital Converter) 기능을 지원하지 않는다. 따라서 외부 A/D 컨버터를 사용하여 측정된 아날로그 생체

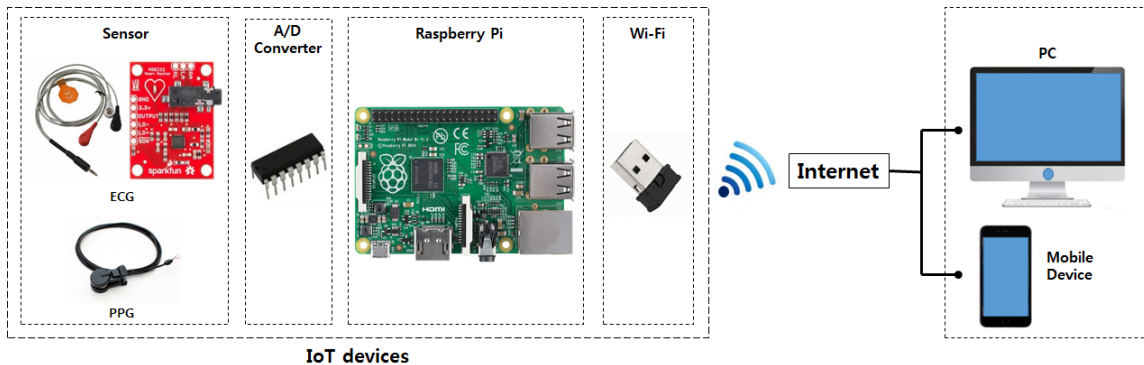


그림 2 사물인터넷 기반의 생체신호 측정 시스템 구성도
Fig. 2 A schematic diagram of biomedical signals acquisition system

신호를 디지털 신호로 변환해 줘야한다. 생체신호 측정 시스템에서 사용한 MCP3208 A/D 컨버터는 8채널 포트와 12비트의 분해능을 지원하고 SPI(Serial Peripheral Interface) 통신으로 데이터를 송수신하며 최대 100kbps 속도로 데이터를 샘플링이 가능하다. 즉, 8 채널의 신호를 거의 동시에 측정이 가능하게 해준다.

라즈베리파이는 USB 타입의 Wi-Fi 또는 블루투스 동글을 활용하며 인터넷이나 무선통신 장비와 연동으로 PC 또는 모바일 기기와 데이터를 송수신할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 심전도와 5 채널의 광혈류맥파 생체신호를 동시에 측정하고 라즈베리파이는 A/D 컨버터 모듈과 SPI 통신으로 디지털 신호를 수신한다. 그리고 6 채널의 각각의 데이터에 헤더를 붙여 하나의 통신 프로토콜 패키지를 구성하여 TCP/IP 소켓 통신 활용한 PC와 모바일기반의 생체신호 모니터링을 구현하였다. 그림 3은 6 채널의 데이터로 구성된 통신 프로토콜 포맷을 보여준다.

Data Package

Head (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	Head (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte
a	d ₁₁	d ₂₂	d ₃₃	d ₄₄	b	d ₂₁	d ₂₂	d ₂₃	d ₂₄
Head (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	Head (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte
c	d ₃₁	d ₃₂	d ₃₃	d ₃₄	f	d ₄₁	d ₄₂	d ₄₃	d ₄₄
Head (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	Head (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte
d	d ₅₁	d ₅₂	d ₅₃	d ₅₄	e	d ₆₁	d ₆₂	d ₆₃	d ₆₄

그림 3 6 채널 신호 데이터로 구성된 통신 프로토콜 포맷
Fig. 3 Data format for transmitting multi-channel signals

그림 3에서 d_{ij} 의 i 는 시스템의 해당 채널을 뜻하며 j 는 디지털 신호로 변화된 12비트의 디지털 값에 해당하는 자릿수를 의미한다.

2.3 다중채널 기반의 생체신호 측정

사지의 심혈관 상태를 파악하기 위해서 심전도 모듈과 다수의 광용적맥파 센서를 활용하여 다중채널 시스템을 구현하였다. 심전도 신호의 측정방법은 aVL 사자유도 방식으로 전극을 오른팔,

왼팔, 오른다리에 부착하고 PPG 신호는 왼쪽 귓볼, 오른쪽 두 번째 손가락, 왼쪽 두 번째 손가락, 오른쪽 두 번째 발가락, 왼쪽 두 번째 발가락에서 측정하였다. 그림 4는 다중채널의 생체 신호를 측정위치의 예를 보여주고 있다.

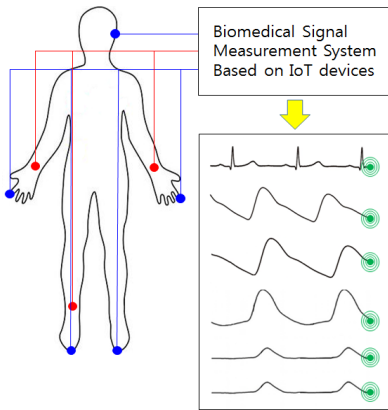


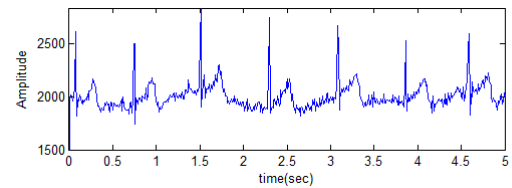
그림 4 다중채널의 생체신호 수집을 위한 측정 부위
Fig. 4 Measurement of multi-channel ECG and PPG signals

심전도와 PPG 센서 내부에는 아날로그 증폭회로와 잡음 제거 필터가 내장되어 있고 아날로그 신호를 출력한다. 라즈베리파이는 내장 A/D 컨버터 기능이 없으므로 외부 A/D 컨버터를 사용하여 디지털 신호로 변환해 주어야 한다. A/D 컨버터를 제어하기 위해서 라즈베리파이는 SPI 통신으로 신호를 샘플링 주기를 설정하고 디지털 데이터를 수신한다. 피험자로부터 측정된 데이터는 그림 5와 같은 결과와 같다. 광용적맥파 신호 측정과정에서 이어클립 PPG 센서는 발가락 측정에 최적화되지 않아 작은 움직임에도 민감하게 반응하는 동잡음이 관찰되고 있다.

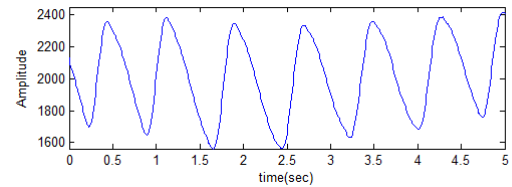
2.4 다중채널 생체신호 기반의 모니터링 시스템

사물인터넷 환경의 생체신호 모니터링 시스템을 구축하기 위해서 인터넷 환경을 구축해야 한다. 리눅스 기반 운영체제는 GUI(Graphical User Interface) 윈도우 환경을 지원하면서 CUI(Characteristic User Interface)보다 간단하게 외부 모듈을 사용할 수 있게 되었고, 특히 USB 타입의 Wi-Fi 모듈을 결합하여 무선 인터넷 환경 구축할 수 있는 장점을 갖는다. 그리고 다양한 프로그램 언어 C, C++, Java, Python 등으로 프로그램을 개발할 수 있기에 익숙한 프로그램 언어를 사용할 수 있다. 본 연구에서는 라즈베리파이에서는 Python 언어를 사용하여 A/D 컨버터의 통신, 통신프로토콜을 재구성, TCP/IP 소켓 프로그램을 구성하여 외부 디바이스로 데이터는 송신한다.

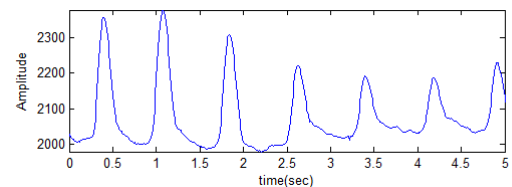
일반적인 PC에서 모니터링 시스템을 확인하기 위해서 Visual C++로 프로그램을 제작하였다. TCP/IP 소켓 통신으로 데이터를 수신하여 통신 프로토콜에 의해서 데이터를 분할하여 그래프로 가시화해주고 특징 값 검출 알고리즘[10, 11]을 이용하여 심전도의 R 피크와 PPG의 Pulse Peak, Pulse Foot을 검출하였다. 또한 검출된 특징 값들을 이용하여 PTT 파라미터를 계산하였다. 그림



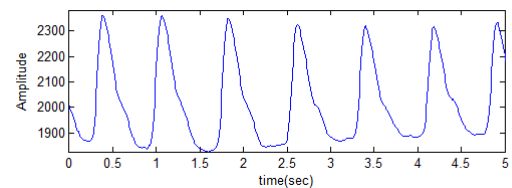
(a) 심전도 신호(channel 1)



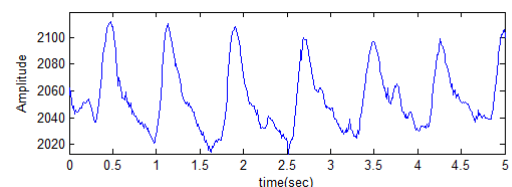
(b) 왼쪽 귀에서 측정된 PPG 신호(channel 2)



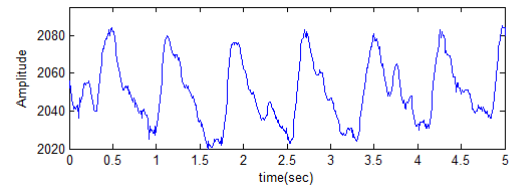
(c) 왼쪽 손가락에서 측정된 PPG 신호(channel 3)



(d) 오른쪽 손가락에서 측정된 PPG 신호(channel 4)



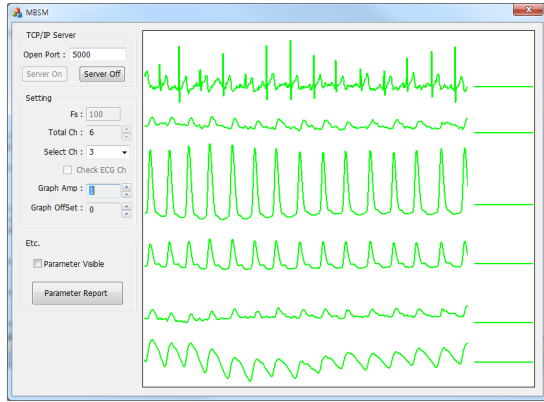
(e) 왼쪽 발가락에서 측정된 PPG 신호(channel 5)



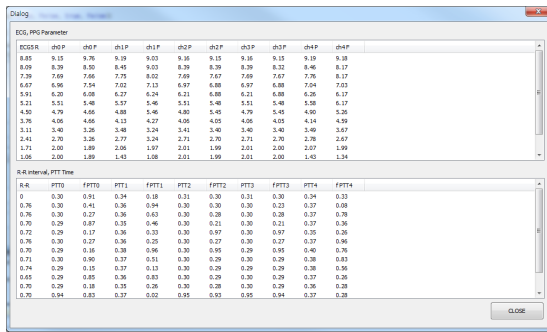
(f) 오른쪽 발가락에서 측정된 PPG 신호(channel 6)

그림 5 다중채널 기반의 생체신호 측정 결과
Fig. 5 The results of measuring ECG and multi-channel PPG signals

6은 Visual C++로 구성된 다중채널 생체신호 가시화 화면 및 검출된 특징 값들을 보여준다.



(a) 수신된 다중채널 생체신호 화면



(b) 검출된 다중채널 생체신호의 특징값

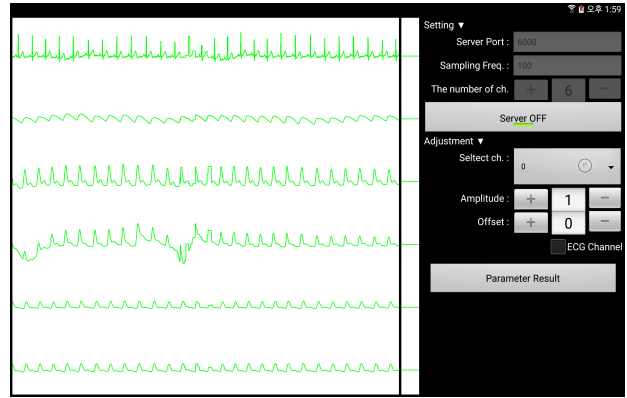
그림 6 Visual C++ 기반의 다중채널 생체신호 모니터링 결과
Fig. 6 Multi-channel biomedical signals monitoring system implemented by Visual C++ GUI I/F

현재 일반 PC보다는 모바일 기기 또는 태블릿 PC의 사용비중이 증가함에 따라서 안드로이드 운영체제의 환경의 디바이스에서도 생체신호 모니터링이 가능한 시스템을 구축하였다. 이 프로그램은 Java, XML 언어로 개발하고 갤럭시 노트프로 태블릿 PC에서 모니터링 시스템을 테스트하였다. 그림 7은 태블릿 PC에서의 생체신호 가시화와 검출된 특징점 파라미터를 보여주고 있다.

3. 결론

기존의 마이크로컨트롤러를 사용하는 하드웨어 구성에서 오픈 소스 기반과 다양한 개발 언어를 선택 가능한 싱글보드 컴퓨터를 사용하여 쉽고 편리하게 응용프로그램을 구현이 가능하게 되었다. 특히 라즈베리파이는 가격대비 성능이 우수한 싱글보드 컴퓨터의 한 종류로서 사물인터넷 기반의 다양한 응용이 가능하다. 따라서 헬스케어 분야에 적용의 예로 본 연구에서 다중채널의 생체신호 모니터링 시스템을 구성하였다.

라즈베리파이는 내부 A/D 컨버터를 지원하지 않지만 외부 A/D 컨버터를 사용하여 기능을 보완하고 거의 동시각의 생체신호를 측정한다. 즉, 심전도와 광용적맥파 뿐만 아니라 다양한 생



(a) 수신된 다중채널 생체신호



(b) 검출된 다중채널 생체신호의 특징 값

그림 7 안드로이드 OS 환경의 다중채널 생체신호 모니터링 화면
Fig. 7 Multi-channel biomedical signals monitoring system implemented by Android platform

체신호 센서들을 조합하여 복합적인 생체신호 측정 패키지도 구성이 가능하다.

본 연구에서 싱글보드 컴퓨터를 이용한 다중채널 측정 시스템의 구현 가능성과 심전도, 사지 PPG 신호의 관계 파라미터를 도출하여 심혈관 건강상태를 확인하고자 하였다. 추후로 최적화된 측정 센서의 사용과 실시간 디지털 필터를 활용하여 잡음을 제거하고 특징 값 검출 알고리즘의 오류를 최소화하는 과정을 수행하면 심혈관 건강상태를 판별할 수 있는 응용시스템으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업임. (과제번호: NRF-2013R1A1A2012393)

References

- [1] A. M. Ortiz, D. Hussein, S. C. Par, S. N. Han, "The Cluster Between Internet of Things and Social Networks Review and Research Challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, No. 3, pp. 206-215, 2014.
- [2] L. M. R. Tarouco, L. M. Bertholdo, L. Z. Granville, "Internet of Things in Healthcare: Interoperability and Security Issues," *IEEE International Conference on Communications*, pp. 6121-6125, 2012.
- [3] S. P. Heo, D. H. Noh, C. B. Moon, D. S. Kim, "Trend of IoT-based Healthcare Service," *Journal of Institute of Embedded Engineering of Korea*, vol. 10, No. 4, 2015.
- [4] W. D. Cho, *Smart Mobile Healthcare Service Trend*, Jinhan M&B, 2012.
- [5] C. T. Kasundra, A. S. Shirsat, "Raspberry-Pi Based Health Monitoring System," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 4, No. 8, pp. 7147-7154, 2015.
- [6] F. Abrahi, B. Aslami, I. Boujabir, F. Seoane, K. Lindecrantz, "An Affordable ECG and Respiration Monitoring System Based on Raspberry PI and ADAS1000: First Step towards Homecare Applications," *Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering*, vol 28, pp. 5-8, 2015.
- [7] U. R. Acharya, J. S. Suri, J. A. E. Spaan, S. M. Krishnan, *Advances in Cardiac Signal Processing*, Springer, 2007.
- [8] J. Allen, "Photoplethysmography and its Application in Clinical Physiological Measurement," *Physio. Meas*, vol 28, No. 3, pp. R1-R39, 2007.
- [9] R. A. Payne, C. N. Symeonides, D. J. Webb, S. R. J. Maxwell, "Pulse Transit Time Measured from the ECG: an Unreliable Marker of Beat-to-beat Blood Pressure," *Journal of Applied Physiology*, vol. 100, pp. 136-141, 2006.
- [10] S. E. Park, J. H. Kim, G. W. Jeung, K. S. Kim, "Estimation of Fiducial Points of PPG Signal by Utilizing ECG R-Peaks," *Information and Control Symposium*, pp. 182-183, 2014.
- [11] M. C. Hemon, J. P. Phillips, "Comparison of Foot Finding Methods for Deriving Instantaneous Pulse Rates from Photoplethysmographic Signals," *Journal of Clinic Monitoring and Computing*, vol. 30 No. 2, pp. 157-168, 2016.



김정환 (Jeong-Hwan Kim)

2011년 건국대학교 의학공학부 졸업. 동대학원 석사 (2013). 2013년~현재 동대학원 박사과정 재학 중.



정겨운 (Gyeo-Wun Jeung)

2015년 건국대학교 의학공학부 졸업. 2015년~현재 동대학원 석사과정 재학 중.



이준우 (Jun-Woo Lee)

2016년 건국대학교 의학공학부 졸업. 2016년~현재 동대학원 석사과정 재학 중.



김경섭 (Kyeong-Seop Kim)

1979년 연세대학교 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1981). The University of Alabama in Huntsville, Ph.D.(1994). 1995년~2001년 삼성종합기술원 전문연구원. 2001년~현재 건국대학교 의학공학부 교수.