

Blood Oxygen Level Sensor를 이용한 대뇌혈류증가 장치

임정현¹ · 조인희¹ · 김영길^{1*}

Cerebral blood flow enhancement device using Blood Oxygen Level Sensor

Jung-hyun Lim¹ · In-Hee Joh¹ · Young-kil Kim^{1*}

¹Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

요 약

대뇌혈류를 증가 시키는 수술은 뇌경색의 치료방법중 하나이다. 이러한 침습적인 방법을 보완하기 위해 사람의 혈압을 이용해, 사지에 압박을 가하여 대뇌 혈류를 증가 시키는 비 침습적인 장치도 등장하였다. 그러나 속도와 정확성이 떨어지는 문제점이 제기되었다. 본 논문에서는, 정확한 측정과 측정하는 데에 걸리는 시간을 기존의 장치보다 개선하기 위해, Blood Oxygen Level Sensor를 이용하여, 양팔에 압력을 주면서 각 팔의 Perfusion Index를 측정하여, Perfusion Index가 일정 값 이하로 떨어지는 순간의 75% 압력을 팔에 가하고, 다리에는 팔에서 구해진 압력 값을 이용해 계산하여 얻은 압력을 가한다. 기존의 혈압 측정식 대뇌혈류증가 장치와 같이, 혈류량을 20%이상 증가 시킬 수 있고, 또한 측정 시간도 단축한 결과를 얻어 뇌경색 환자에게 선택적으로 사용할 수 있다.

ABSTRACT

Surgery to increase cerebral blood flow is one of the treatment methods of cerebral infarction. In order to supplement this invasive method, non-invasive devices have been introduced that use human blood pressure to pressurize the extremities to increase cerebral blood flow. However, the problem of poor speed and accuracy was raised. In this paper, the perfusion index of each arm is measured by applying pressure to both arms using Blood Oxygen Level Sensor to improve the accuracy of measurement and measurement time. The pressure applied to the arm is calculated by using the pressure value obtained from the arm. Like the existing blood pressure measuring cerebral blood flow increasing device, the blood flow can be increased by more than 20% and the measurement time can be shortened, so that it can be selectively used for the patient with cerebral infarction.

키워드: 혈류 지수, 혈류량, 뇌경색, 비침습적

Keywords: Perfusion Index, Blood flow rate, Cerebral infarction, Non-invasive

Received 18 June 2018, Revised 22 June 2018, Accepted 2 July 2018

* Corresponding Author Young-kil Kim (E-mail: ykkim@ajou.ac.kr, Tel:82-31-219-2378)

Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.8.1083>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

인구의 노령화와 더불어 그 중요성이 커지는 질환 중 하나인 뇌졸중(Stroke)의 원인은 80%정도가 대뇌혈류, 즉 뇌로 흐르는 혈류량 즉 대뇌혈류량(Cerebral Blood Flow)이 줄어드는 것이 원인으로 거론되고 있다. 이러한 뇌졸중의 가장 대표적인 예방법과 치료법중 하나가 대뇌혈류를 증가시키는 것이다. 특히 허혈성 뇌출혈(Ischemic Stroke) 같은 증상에서는 손상된 대뇌 부위(Stroke size)가 시간이 지날수록 확대되기 때문에 빠른 시간 안에 대뇌로 가는 혈류를 증가시켜 주어야 한다[1].

현재 이러한 혈류 증가 방법으로 사용되는 것에는 약물에 의한 방법과 수술적인 방법[2] 그리고 NeuroFlo[3]와 같은 방법 등이 있다. 하지만 기존의 대뇌 혈류 증강 방식은 약물에 의한 치료방법과 수술적인 치료 또는 침습적인(Invasive) 방법으로 행해져 왔기 때문에 다수의 합병증을 유발한다는 문제점이 지적되었다[4]. 또한 이러한 방법들은 환자에게 큰 부담이 될 수 있다. 이와 관련하여 현재 아주대학교 병원의 홍지만 박사에 의해 출원된 특허가 등록 되어 있다. 다음은 특허의 요약이다.

출원번호 : 10-2013-0046870

등록번호: 1014569380000

발명자 : 홍지만

요약 : 본 발명은 환자의 각 사지 혈압을 정확하게 측정하여 측정된 혈압을 기준으로 사용자가 원하는 설정으로 사지압박을 실시, 사지로 가는 혈류를 막아 우회적으로 대뇌 관류를 증가시키는 것을 특징으로 하는, 비침습적 대뇌 관류 증강 장치를 제공한다[5].

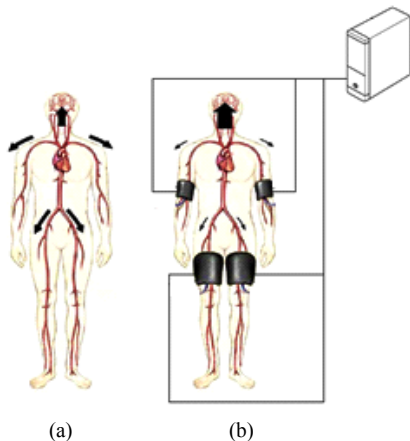


Fig. 1 Principle of cerebral perfusion

위의 그림1은 대뇌혈류증가 장치를 도식화한 그림이다. 등록된 특허의 요구조건으로는 정확한 혈압측정, 측정시간의 단축 그리고 압력제어로 인한 대뇌 혈류량의 증가이다.

기존에 구현된 비침습적(Non-Invasive) 대뇌 혈류 증가장치는 환자의 사지 평균동맥압을 측정하여 평균동맥압 만큼의 사지압박을 통해 대뇌 혈류를 우회증가시키는 방법으로 구현되었다. 하지만 기존에 구현된 장치의 혈압 측정 속도는 특허에서 요구하는 측정시간 단축과 정확한 측정을 충족하기에 어려움이 있었다.

따라서 본 논문에서는 기존의 혈압측정을 이용한 방법이 아닌 Blood Oxygen Level Sensor를 이용한 비침습적 대뇌 혈류 증가장치를 구현함으로써 기존의 측정시간과 정확성의 문제점을 보완하여 사지압박을 실시하는 System을 구현하였다.

구현한 System은 사지의 Cuff를 착용하고 압력을 서서히 가함과 동시에 양손가락에 착용한 Blood Oxygen Level Sensor를 이용하여 Perfusion Index(Perfusion Index)를 측정한다. Cuff 내부의 압력이 증가함에 따라 압박에 의해 양 팔의 Perfusion Index는 반비례하여 감소하게 된다. 가압 도중에 Perfusion Index가 1% 이하로 감소하는 순간 가압을 중지하고 해당압력의 75%만큼 팔 압박을 실시하고, 다리에는 팔에 가해지는 압력 값을 이용해 계산하여 얻은 압력을 가하여 대뇌혈류량을 우회적으로 증가시킨다. 이와 같이 대뇌혈류증가 치료를 할 경우 기존의 구현되었던 감압식, 가압식 대뇌혈류증가 System의 측정시간과 비교하여 약 4배, 2배 빠르게 측정이 가능하며 기존의 System 보다 낮거나 같은 최대 압박치를 가진다. 최대 압박치는 System이 측정을 할 때 환자에게 가해질 수 있는 최대 압력으로 이 수치가 낮고 측정시간이 적게 걸린다는 것은 가해지는 압력이 낮아도 정확하게 측정이 가능하고 빠르게 측정이 가능하다는 의미로 System 정확도에 척도가 된다. 아래 표1은 기존에 구현된 감압식, 가압식 System과 제안하는 System의 측정시간과 최대 압박치를 비교한 것이다.

Table. 1 Measurement time & maximum pressure value of each system

Measuring time & Maximum pressure value		
System	Measuring time(sec)	Maximum pressure value(mmHg)
Pressure-sensitive type	44	200
Pressurized type	25	150
Suggested System	11	150

II. 관련 연구

2.1. Perfusion Index 측정법

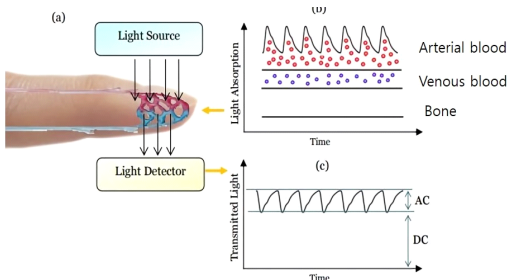


Fig. 2 Measurement of Perfusion Index on Blood oxygen level sensor

위의 그림 2 은 Blood Oxygen Level Sensor 장치에서의 Perfusion Index 측정을 도식화한 그림이다.[6]

장치의 Light Source 에서 빛을 조사하면 혈액, 뼈, 조직에서 빛의 흡수가 발생하고 일부 광은 투과하여 Light Detector에 도달한다,

빛이 흡수되는 정도는 지나가는 경로에 있는 피부, 조직, 동맥혈의 양에만 비례하며 심박박동의 변화에만 변하는 성분이기 때문에 흡수되는 광량변화는 동맥 혈류 변화에만 반응한다.

광량변화가 일어나는 부분을 AC(동맥혈) 변화가 없는 부분을 DC(비박동성 혈액 및 조직)로 정의한다. 즉 AC(동맥혈)의 값이 크다는 것은 동맥혈에서 흡수되고 통과하여, 광수신부에 도착한 빛의 변화가 강한 맥박(많은 혈류 량)때문에 크다는 것을 의미한다.

Perfusion Index는 AC(동맥혈)과 DC(비박동성 혈액 및 조직)를 $(AC \cdot 100 / DC)(\%)$ 로 계산하여 전체 빛에서 AC(동맥혈)이 차지하는 비율을 값으로 나타낸 것이다. 즉 Perfusion Index가 높을수록 측정 부위에 흐르는 혈류량이 높다는 것을 의미한다.

2.2. 다리 압력 추정

다리에서의 수축기 혈압은 보통 위팔 동맥(상완동맥, brachial artery)에서보다 10에서 40 mm Hg 높다.

이에 따라 다리에 가해지는 압력은 팔에서의 Perfusion Index를 이용해 팔에 가압할 적절한 압력을 찾아 그 압력에 10~40mmHg를 더하여 다리에 가압한다.

III. 제안하는 System

3.1. System의 개요

제안하는 System은 사지압박을 통하여 대뇌혈류를 우회적으로 증가시키는 System이다. 환자는 사지에 Cuff를 착용하고 서서히 압박을 실시한다. 압박과 동시에 혈류의 흐름을 나타내는 Perfusion Index를 손가락부위에서 측정하게 되는데, 팔의 압박이 진행 될수록 혈액은 압박에 의해 팔로 흐르지 못하게 되므로 손가락에서 측정하고 있는 Perfusion Index는 점점 감소하게 된다. Perfusion Index가 1% 미만이 되는 순간 Cuff에 가압을 중지하고 해당압력의 75%만큼 팔에 가압하고 다리는 팔에 가해지는 75% 압력에 10~40mmHg를 더하여 가압한다.

기존 감압식, 가압식 System과 비교하였을 때 측정시간이 단축되고 최대압박치가 같거나 낮아 적절한 압력을 찾는 정확성 또한 높아졌다.

3.2. Pressure Interval Algorithm

Cuff를 pump를 이용하여 가압 시 가압속도가 너무 빠를 경우 Perfusion Index가 1% 미만이 되는 압력을 정확히 측정하기가 힘들다. 따라서 본 system은 정확히 Perfusion Index가 1% 미만이 되는 압력을 정확하게 측정하기 위하여 Cuff를 0.5초의 Pressure Interval을 주어 단계적으로 가압하면서 측정하게 된다. Cuff의 내부압력이 80mmHg 미만일 경우 Cuff의 가압을 0.5초의 Pressure Interval 없이 가압하여 측정 시간을 단축한다. 사람들마다 차이가 있지만 보통 사람들이 Perfusion Index가 1% 미만이 되는 압력은 대략 100mmHg 넘어서이기 때문에 초반에 가압하는 시점의 Perfusion Index 측정은 무의미하여 80mmHg 전까지는 Pressure Interval 없이 가압하고 Cuff 내부의 압력 80mmHg 이후부터 0.5초의 Pressure Interval 주어 단계적으로 가압한다. 다음 그림 3은 시간에 따른 Cuff의 압력 변화를 그래프로 나타내었다.

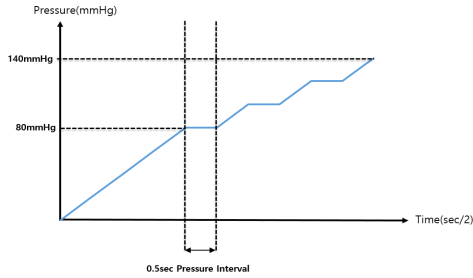


Fig. 3 Graph of pressure over time

3.3. System의 동작원리

아래 그림 4는 system 동작 시나리오이다.

시스템이 동작하면서의 Cuff의 내부압력과 Perfusion Index를 그래프이다. Cuff를 착용 후 양팔을 80mmHg 까지 가압한 뒤 0.5초의 Pressure Interval 주면서 단계적으로 가압한다. 양팔의 Perfusion Index가 1% 미만이 되는 순간 pump의 가압을 중지한다. 팔은 해당 압력의 75%만큼의 압력을 가하고 다리는 팔에 가해지는 압력에 10~40mmHg을 더하여 가압하여 대뇌혈류증가 치료를 실시한다. 가압기 3분을 마치게 되면 Cuff의 내부공기를 모두 배출하고 사지압박을 중단하고 2분의 휴지기를 갖게 된다. 2분의 휴지기가 종료되면 다시 가압기 3분을 진행하면서 가압기와 휴지기를 반복적으로 실행하여 대뇌혈류증가 치료를 실시한다.

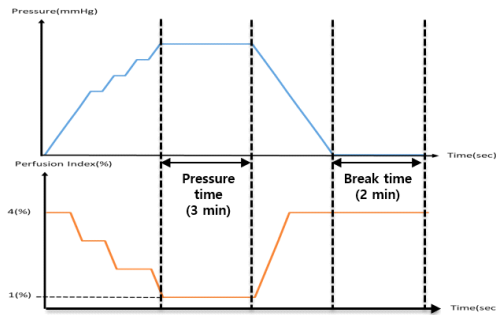


Fig. 4 System Operation Scenario

3.4. System의 구성

System은 Perfusion Index를 측정하기 위한 Blood Oxygen Level Sensor, Cuff의 내부압력을 측정하기 위한 pressure sensor와 sensor에서 측정한 신호를 처리하기 위한 analog filter, Cuff의 공기를 주입하고 배출하기 위한 pump, solenoid valve 그리고 이들을 제어하는

MCU로 구성되어 있다. 아래 그림 5는 system의 구성도이다.

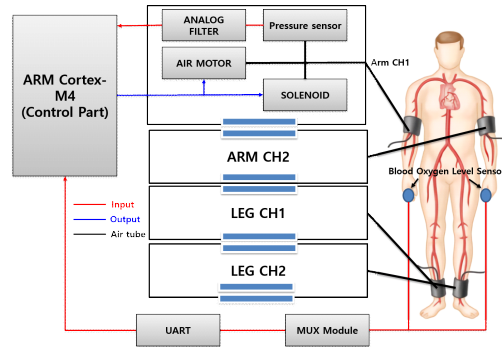


Fig. 5 System Block Diagram

본 연구를 위한 system 제작 시 analog-digital 변환 (ADC)와 디지털 필터 및 핵심 알고리즘의 프로세싱을 위해 사용된 MCU는 ARM Cortex-M4이다. MCU 선정 기준은 CPU speed 120MHz 이상, memory 256KB SRAM, 12-bit ADC를 기준으로 선정하였다. 그 외에 부가적인 기능으로 LCD module, Systick Timer를 포함한 TI 사의 tm4c129x 로 선정하였다.

커프를 가압하여 사지압박을 진행하기 위해 사용된 pump(KPM27D)는 정격전압 6V, 필요전류 220mA로 가압속도가 분당 1500cc이며 최대압력은 90KPa로 혈압을 측정하고 사지압박을 하기 위해 충분한 스펙이다[7].

커프 내부의 공기를 배출하기 위해 사용된 solenoid valve(KSV05B)는 정격전압 6V, 필요전류 60mA로 최대 배기 속도는 50cc 탱크 기준 300mmHg에서 14mmHg까지 배기되는 수준으로 사지압박 이후에 급속배기가 가능하대[8]. 그림6은 사용된 pump와 solenoid valve의 사진이다.

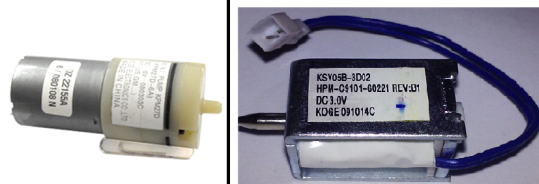


Fig. 6 Pump and Solenoid valve

커프 내부의 압력을 측정하기 위해 사용된 pressure

sensor (mpxv5050gp) 는 측정 압력 범위가 최대 375mmHg로 본 system에 사용하기 적합하다[9]. 그림 7은 사용되는 pressure sensor이다.

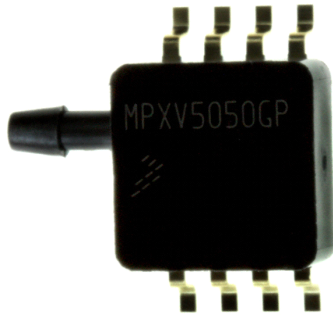


Fig. 7 Pressure sensor

커패시터의 내부압력을 측정하기 위해서는 맥동에 의해 발생하는 잡음을 제거해야한다. 본 system에서 잡음 제거를 위해 Low Pass Filter를 적용하여 잡음을 제거하였다. LPF는 잡음으로 작용하는 맥파 신호를 줄이되 선형 감압되는 신호에는 영향이 없게 하기 위하여 차단주파수를 1.2Hz로 1차로 설정하였다. 차단하고자 하는 대역의 주파수 성분 값을 빠르게 차단할 필요는 없기에 1차로 설계하였다[10]. 아래 그림8는 LPF의 회로이다.

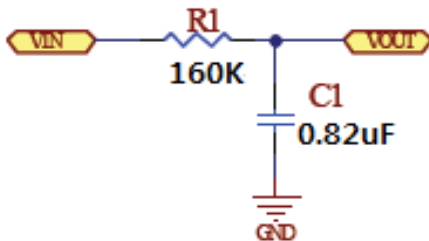


Fig. 8 Low Pass filter

환자의 혈류지수를 측정하기 위해 사용된 PPG센서는 LAXTHA사의 ubpulse320을 사용하였다. 아래 그림 9는 PPG센서 ubpulse320이다. 해당 모듈은 PPG파형, 분당 심박수, 심박시 간격, 혈류지수 측정이 가능하며 UART통신이 가능하기에 혈류지수를 측정하고 UART 통신을 통해 data를 MCU로 전송하여 본 연구의 system을 구현하기 위해 적합하다[11].



Fig. 9 PPG sensor

IV. 실험결과 및 분석

4.1. 측정시간 실험결과 및 분석

본 실험에서는 구현한 혈류 증가 장치의 사지 압박을 하기 전까지의 측정시간을 측정하는 실험을 통하여 기존의 구현되었던 혈류 증가 장치와 비교하여 어느 정도의 시간이 단축되었는지 확인하기 위해 실시하였다. 실험은 정상지원자 5명을 대상으로 장치를 작동하고 측정이 완료되어 사지압박을 시작하기 전까지 시간을 측정하는 방식으로 실험을 진행하였다. 아래 표2 는 측정시간 실험 결과이다.

Table. 2 Measurement time experiment result

No	Measuring time (s)		
	Pressure-sensitive type	Pressurized type	Suggested System
1	41	30	10
2	48	24	12
3	42	27	11
4	51	28	13
5	40	25	11
Average	44.2	25.8	11.4

실험 측정결과 피험자에 따라 조금씩 차이가 있지만 대체로 편차가 적은 실험 결과를 확인할 수 있었다. 5명의 평균 측정시간은 11.4초로 기존의 구현된 대뇌혈류증가 장치의 평균 측정시간인 44.2초, 25.8초보다 약 4 배, 2배의 측정시간을 단축함을 확인하였다.

4.2. 대뇌혈류 증가 실험결과 및 분석

구현한 system의 목표는 등록된 특허를 기반으로 하여 비침습적으로 대뇌혈류증가 시키는 것이다. 이를 검증하기 위해 5명의 기존의 대뇌혈류 증가 장치에서 사용하는 최고혈압(SYS), 최저혈압(DIA), 평균동맥압(MAP) 과 Perfusion Index가 1% 미만이 되는 순간의 75% 압력 (SET)을 비교 하여 실험을 진행하였다. 아래 표3은 기존의 System과 제안하는 System 비교 실험 결과이다.

Table. 3 System comparison experiment result

No	Blood pressure measurement(mmHg)				
	SYS	DIA	MAP	1%	SET
1	136	91	106	135	101
2	121	83	96	137	102
3	132	80	97	133	99
4	135	86	102	142	106
5	131	98	109	143	107
Average	131	87.6	102	138	103

실험결과 기존의 대뇌혈류 증가장치[12]에서 사용하는 평균동맥압과 Perfusion Index가 1% 미만이 되는 순간의 75% 압력이 102, 103 mmHg로 차이가 없으므로 구현한 대뇌혈류증가장치를 통해 환자들 대상으로 대 뇌혈류증가 효과를 기대할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 기존의 출원된 특허를 기반을 두어 system 을 제안하고 구현하였다. 기존의 구현되었던 대뇌혈류 증가 장치는 특허의 요구조건인 빠른 측정시간을 충족 하지 못하였다. 이에 본 논문에서는 기존의 대뇌혈류증 가 장치의 단점을 보완하고 특허의 요구조건을 충족하 는 대뇌혈류증가 장치를 새로운 방법으로 재구성하여 구현하였다. 기존의 감압식, 가압식 대뇌혈류 증가 장치 와 비교하여 측정시간이 약4배,2배 단축 되었으며 기존 의 감압식, 가압식 장치가 사용하는 평균동맥압과 제안 하는 System이 환자에게 가압하는 압력이 같아 대뇌혈 류 증가 효과 역시 기대할 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is as study made by the support of Ajou University research Year 2017, thanks to the university headquarters.

REFERENCES

[1] J. W. Kim, "The Effects of Acupuncture at the Wijung (BL40) and Chok-Samni(ST36) on the Cerebral Blood Flow and Blood Pressure," M.S. thesis Donsin University, Junlanam-do, 2014.

[2] J. D. Yu, S. I. Lee, S. J. Oh and K. Y. Sim, "Histologic Study on Sleeve Microvascular Anastomosis," Journal of the Korean Society of Plastic and Reconstructive Surgeons Vol. 10, No.2, pp.141-150, Apr. 1983.

[3] NeuroFlo.[Internet] <http://www.medscape.com/viewarticle/776830>.

[4] M. S. Park, "Presence of asymptomatic lacune predicts neurologic deterioration after acute cerebral infarction," M.S. thesis, Jungang University, Seoul, 2016.

[5] J.M.Honget al, Noninvasive cerebral perfusion enhancing device, KR patent 10-1456938, Ajou University, Suwon, 2013.

[6] Perfusion Index[Internet] www.laxtha.kr/LXD/LXD23_ubpulse3_CommunicationSpec.pdf

[7] KPM27D. [Internet. Available: [http://www.yujinelectric.com/img/pdf/KPM27D\(U\).pdf](http://www.yujinelectric.com/img/pdf/KPM27D(U).pdf).

[8] KSV05B. [Internet]. Avasilable: <http://www.yujinelectric.com/img/pdf/KSV05B.pdf>.

[9] MPXV5050gp. [Internet]. Available: <http://farnell.com/datasheets/673750.pdf>.

[10] J. K. Seo, "Study on Implementation of Cerebral Blood Flow Increasing System," Ph D. dissertation, Ajou University, Suwon, 2017.

[11] B. L. Lee, "Design of Motion artifacts Filter of PPG Signal based on Kalm an filter and Adaptive filter," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 04, pp. 986-991, April 2014.

[12] S. T. Kwon, "Implementation of Non-Invasive Cerebral Perfusion Platform," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.21, no.5, pp. 1016-1026, May 2017.



임정현(Jung-hyun Lim)

2016년 백석대학교 컴퓨터공학 학사
2016~ 현재 아주대학교 전자공학과 석사과정
※관심분야: 임베디드 시스템, Mobile 의료정보 시스템



조인희(In-Hee Joh)

2018년 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
2018~ 현재 아주대학교 전자공학과 석사과정
※관심분야: 임베디드 시스템, Mobile 의료정보 시스템



김영길(Young-kil Kim)

1978년 고려대학교 전자공학과 학사
1980년 한국과학기술원 석사
1984년 ENST(프랑스)박사
1984~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수
※관심분야: 임베디드 시스템, 초음파 의료기기, Mobile 의료정보 시스템, RFID Platform