

정전용량 센서와 아날로그 멀티플렉서를 이용한 엘리베이터용 비접촉 버튼

Touchless Buttons for Elevators using a Capacitance Sensor and Analog Multiplexers

이 지 영*, 정 광 현**, 김 주 성***, 이 동 호*★

Ji-Young Lee*, Gwanghyeon Jeong, Jusung Kim, Dong-Ho Lee*★

Abstract

Due to the recent COVID-19 pandemic, various methods have been devised to prevent infections caused by physical contact. Among them, a non-contact button was developed to prevent infections in elevators, where many contacts occur in daily life. In this study, an active shield type capacitance sensor is used to detect changes in capacitance when a finger approaches. There is no static power consumption, and the relatively expensive ADC and MCU are reduced to one by sensing buttons every time using analog switches. In addition to the elevator buttons, this technology is expected to replace push-type buttons that many people contact in everyday life.

요 약

근래의 코로나 시대로 인해 접촉에 의한 감염을 방지하기 위해 다양한 방법들을 강구하고 있다. 그중 생활 속에서 많은 접촉이 일어나고 있는 엘리베이터에서의 감염 방지를 위해 비접촉 버튼을 개발하였다. 본 연구에서는 능동 차폐(active shield) 방식의 정전용량(capacitance) 센서를 이용하여 손가락이 접근했을 때의 커패시턴스 변화를 감지한다. 정전 전력 소모(static power consumption)가 없으며, 아날로그 멀티플렉서를 사용하여 일정 시간마다 돌아가면서 버튼을 센싱 하는 방식을 사용하여 상대적으로 가격이 비싼 센서칩을 하나만 사용하였다. 엘리베이터 버튼뿐만 아니라 터치 버튼, 자동문 등 일상에서 많은 사람들이 접촉하는 버튼을 높은 비용 추가 없이 대체 가능하다.

Key words : Active shielding, analog multiplexer, capacitance sensor, contactless buttons, touchless buttons

1. 서론

비접촉식 엘리베이터 버튼을 상용화하기 위해 많은 노력이 이루어졌지만, 기존 버튼과 비교해 높은 단가 문제로 인해 대중화되지는 못했다. 국내에서는 현대엘리베이

터가 자체 엘리베이터에 세 가지 방식의 비접촉 버튼을 상용화하였다[1]. 첫 번째는 모션인식센서 방식이다. 사람의 손동작을 인식할 수 있는 센서를 이용해 엘리베이터의 상하 버튼을 조작할 수 있다. 손동작은 제한적이기 때문에 많은 버튼 기능을 적용하기 어렵고, 모션 센서의

* Dept. of Mobile Convergence Engineering, Hanbat National University

** Dept. of Semiconductor Systems Engineering, Hanbat National University

*** Dept. of Electronic Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : dhlee@hanbat.ac.kr, Tel : 042-821-1748

Manuscript received Jun 17, 2024; revised Jun 25, 2024; accepted Jun. 26, 2024.

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.

가격이 비싼 문제와 상시 전원 공급이 이루어져야 된다는 단점이 있다. 두 번째는 풋버튼이다. 엘리베이터 이용자가 무거운 짐을 들고 있을 때 발을 이용하여 엘리베이터를 동작한다. 이 역시 발의 동작이 제한적이기 때문에 간단한 기능 동작만 가능하고, 발을 비출 조명이 필요하기 때문에 상시 전력 소모가 발생한다. 세 번째는 적외선 방식 버튼이다. 이 역시 상시 전력 소모가 발생한다. 기존에 상용화가 이루어진 비접촉 버튼들을 봤을 때, 높은 단가, 상시 전력 소모, 제한적인 기능 등의 문제가 있다. 탑승자가 엘리베이터를 이용할 때 사용하는 버튼은 다양하다. 엘리베이터를 이용하기 전에 상하 버튼을 먼저 누르고, 엘리베이터 문이 열리면 목적 층수를 누른다. 이후 상황에 따라서 문 열림, 닫힘 버튼을 누르기도 한다. 모션인식센서를 이용하여 상하 버튼을 조작했다 하더라도 층 버튼을 조작하는 것까지 모션을 이용할 수 없기 때문에, 엘리베이터에 탑승하고 나서는 층 버튼을 눌러야 한다. 결국 버튼을 직접 접촉해야 된다면 상하 버튼을 비접촉으로 조작한 것은 감염을 예방하는 것에 대해 큰 의미가 없다. 이러한 문제점들은 정전용량(capacitance) 센서를 이용한 비접촉 버튼으로 해결할 수 있다[2]. 엘리베이터를 이용하는 동안 인체와 버튼 간에 접촉은 일어나지 않기 때문에 오염이나 감염을 효과적으로 방지할 수 있다. 그뿐만 아니라 상시 전력 소모가 필요 없고 저렴한 비용으로 상용화가 가능하다.

II. 본론

1. 능동 차폐(Active Shielding) 정전용량 근접 센서

정전용량 센서는 물체가 접근했을 때 커패시턴스 변화를 측정하여 물체를 감지한다(그림 1). 이 때 주변에서 발생하는 노이즈 또는 온도, 입력상의 외란들로 인해 측정의 정확도가 크게 저하될 수 있다. 본 연구에 사용한 정전용량 센서(TI사 FDC1004)는 능동 차폐 기술을 이용해 이러한 방해 요소로부터 센서가 민감하게 반응하지 않고 정확한 커패시턴스 값을 측정할 수 있도록 도와준다[3]-[4]. 접지에 대한 센서의 기생 커패시턴스를 제거하기 위해 쉴드에 센서와 동일한 신호를 가하여 접지와 센서 사이의 커패시턴스가 보이지 않게 만든다. 그림 2와 같이 쉴드 신호의 출력은 입력 신호와 동일한 파형이며 동일한 전압으로 구동된다. 따라서 입력 신호와 쉴드 신호 사이에는 전류가 흐르지 않으며 두 신호 사이의 커패시턴스는 전하 이동에 영향을 주지 않는다. 이렇게 하면 감지 범위는 줄어들지만, 접지에서 센서가 효과적

로 분리되어 정전용량 부하가 감소하고 EMI(Electro Magnetic Interference)에 전기적 차폐를 제공하여 센서의 성능이 크게 개선된다. 그림 3은 쉴드에 의해 주변의 접지를 사라지게 하여 기본 커패시턴스를 줄이고, 손가락이 유일한 접지가 되어 커패시턴스 변화량을 최대화시키는 것을 나타내고 있다.

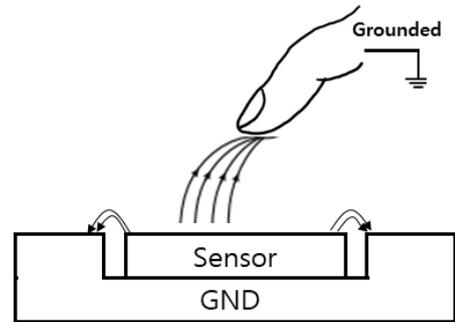


Fig. 1. A capacitive sensor without shields.
그림 1. 쉴드가 없는 커패시턴스 센서

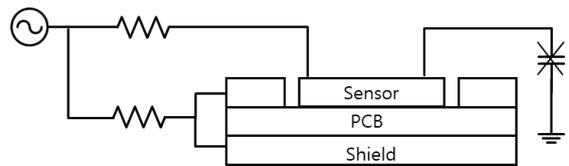


Fig. 2. Ground effect with shields.
그림 2. 쉴드가 있을 때 접지 효과

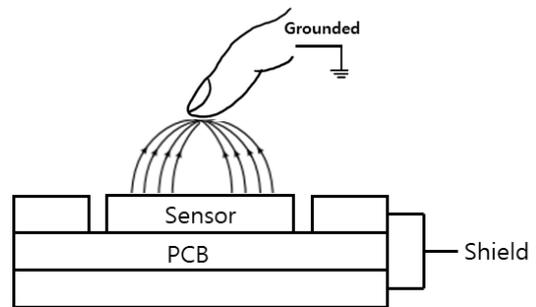


Fig. 3. A capacitive sensor with shields.
그림 3. 쉴드가 있는 커패시턴스 센서

2. 아날로그 멀티플렉서

저비용으로 버튼을 구현하기 위해서 고가의 센서칩(FDC1004)은 하나만 사용하고, 아날로그 멀티플렉서를 이용해 고속으로 여러 버튼을 옮겨다니면서 센싱하는 구조를 제안하였다. 하나의 센서와 16개의 버튼 사이에 아날로그 멀티플렉서가 들어가며, 빠른 속도로 채널을 이동하면서 커패시턴스 값을 읽게 된다. 이때 센서와 멀티플렉서의 직접적인 연결로 인해 멀티플렉서 내부의 기본 커패시턴스가 센서의 커패시턴스 측정에 영향을 주게 된

다. 따라서 버튼에 손가락이 근접했을 때 정확한 커패시턴스 변화량을 측정하려면 센서에 영향을 주지 않도록 자체적으로 기본 커패시턴스가 낮은 멀티플렉서를 사용해야 된다. 하지만 낮은 커패시턴스를 갖는 멀티플렉서는 내부 트랜지스터의 크기가 작아서 ON 동작시 저항이 큰 단점이 있기 때문에, ON 저항과 OFF 커패시턴스 사이의 트레이드오프를 고려하여 멀티플렉서를 선택해야 한다.

3. 아날로그 멀티플렉서 선정

표 1은 아날로그 멀티플렉서 ADG706, ADG1207, TMUX4051의 C_{OFF} (OFF시 입력에서 보이는 셉트 커패시턴스)과 R_{ON} (ON시 입력에서 보이는 직렬 저항)을 비교한 표이다[5]-[7].

Table 1. COFF and RON on the analog multiplexer.

표 1. 아날로그 멀티플렉서의 COFF, RON

Multiplexer	COFF	RON
ADG706	200 pF	2.5 Ω
ADG1207	8 pF	120 Ω
TMUX4051	11 pF	60 Ω

설계에 사용한 센서인 FDC1004의 최대 측정 가능 커패시턴스는 100 pF이다. ADG706의 경우, 켜졌을 때 멀티플렉서의 자체 커패시턴스는 200 pF가 된다. 이미 센서의 최대 측정 범위인 100 pF를 넘기 때문에 ADG706은 측정에 사용할 수 없다. ADG1207와 TMUX4051의 켜졌을 때의 커패시턴스는 각각 8 pF, 11 pF이다. 두 개의 커패시턴스 값은 비슷한 수치이지만, 저항 값을 비교했을 때 ADG1207은 120 Ω, TMUX4051은 60 Ω로 TMUX4051의 ON 저항이 더 낮다. 커패시턴스는 ADG706이 3 pF 더 낮지만, 저항 값은 2배의 차이가 나기 때문에 TMUX4051을 사용하였다.

4. 비접촉 엘리베이터 버튼 구현

가. 구성

비접촉 엘리베이터 버튼 시스템은 그림 4와 같이 버튼, 아날로그 멀티플렉서, 정전용량 센서, 아두이노[8]로 이루어져 있다. 센서는 채널당 신호 입력 하나와 실드 입력 하나, 총 두 개의 입력 연결이 필요하다. 따라서, 한 채널당 두 개의 멀티플렉서를 이용하여 신호 입력과 실드 입력을 각각 연결하였고, 버튼을 0-7번, 8-15번으로 나누어 두 쌍의 멀티플렉서에 각각 8개의 버튼을 연결하

였다. 아두이노는 정전용량 센서를 제어하고 측정된 값을 분석하여 각 버튼의 LED를 점등한다. 아두이노는 빠른 처리 속도와 16개의 버튼 LED를 켜기 위해 디지털 I/O가 많은 Due를 사용하였다.

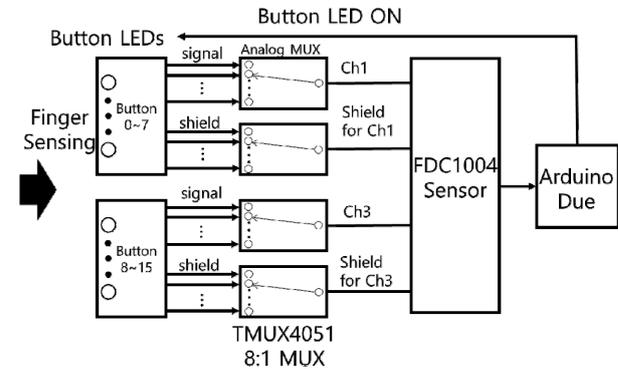


Fig. 4. Touchless Button block diagram.

그림 4. 비접촉 버튼 블록도

나. 버튼 설계

버튼의 성능은 센서와 실드의 크기, 간격, 모양에 따라 결정되기 때문에, 본 연구에서는 센서의 크기와 구조가 다른 네 종류의 버튼을 디자인하여 성능을 실험하였다. 버튼의 기본 모양은 그림 5와 같다. 네 종류의 버튼을 그림 6에 나타냈다. 그림 6에서 1번과 2번 버튼은 각각 윗면 실드 폭 0.25 mm, 0.5 mm에 센서와 밑면 실드의 크기가 같게 하였고, 3번 버튼은 윗면 실드 폭 0.25 mm에 밑면 전체를 실드로 덮었다. 4번 버튼의 센서 면적은 버튼 전체 내에서 LED를 부착하기 위한 구멍과 접지 부분을 제외한 최대 면적으로 하고, 윗면 실드 폭 0.25 mm, 밑면 실드의 크기는 센서 크기와 같게 하였다(표 2). 윗면의 실드와 센서 사이의 간격은 4개의 버튼 모두 0.5 mm이다. 각버튼의 크기는 일반 엘리베이터에서 사용하는 버튼과 동일한 크기인 지름 38 mm로 정하였다.

Table 2. Areas of the sensors and the shields by buttons.

표 2. 버튼 별 센서와 실드의 면적

	Button 1	Button 2	Button 3	Button 4
Sensor size	464 mm ²	464 mm ²	464 mm ²	742 mm ²
Top shield width	0.25 mm	0.5 mm	0.25 mm	0.25 mm
Gap between sensor and shield	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
Bottom shield size	540 mm ²	540 mm ²	897 mm ²	813 mm ²

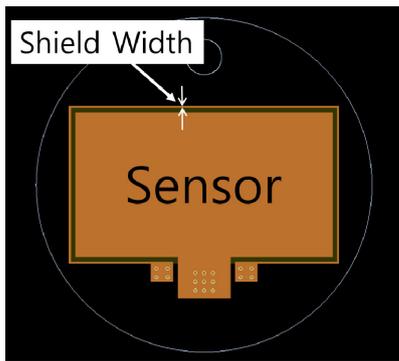


Fig. 5. Button Pattern.
그림 5. 버튼 패턴

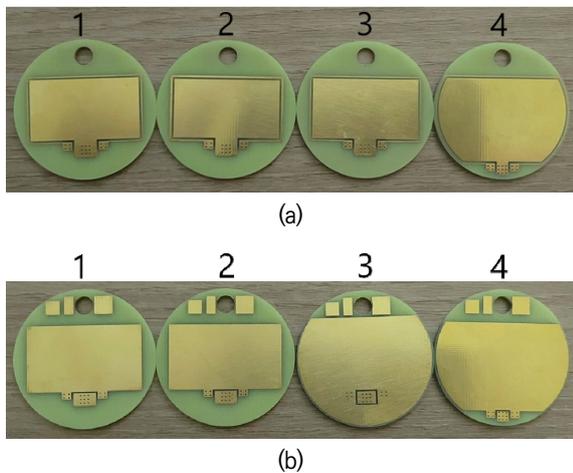


Fig. 6. PCB of button (a) top, (b) bottom.
그림 6. 버튼 PCB (a) 윗면, (b) 밑면.

네 종류의 버튼을 센서와 연결하여 위에 아무것도 없을 때(open), 7 mm 두께의 스티로폼을 올려놨을 때(styroform), 그 스티로폼 위에 손가락을 얹었을 때(styroform + finger), 세 가지 경우로 나누어서 커패시턴스 변화량을 측정하였다(표 3). 스티로폼의 경우 공기와 유전율이 같기 때문에 버튼에 올려놓아도 영향이 없으며, 버튼과 손가락 사이의 거리를 일정하게 유지할 목적으로 7 mm 두께의 스티로폼을 사용하였다. 측정 결과 쉴드의 면적이 좁은 1, 2번 버튼은 손가락이 없을 때 커패시턴스가 각각 57624 fF, 57292 fF 이었고, 상대적으로 쉴드 면적이 넓은 3, 4번 버튼은 각각 31022 fF, 30930 fF 이었다. 버튼 위에 스티로폼을 올린 상태에서 손가락을 그 위에 얹었을 때의 커패시턴스 변화량 또한 1, 2번 버튼보다 3, 4번 버튼의 변화량이 더 컸다. 3번과 4번을 비교했을 때 센서의 면적이 더 넓은 4번 버튼의 커패시턴스 변화량이 가장 크게 나타났다. 따라서, 손가락 접근 유무에 따라 커패시턴스 변화가 가장 큰 4번 버튼을 사용하기로 결정하였다.

Table 3. Measurement results in three button conditions.

표 3. 버튼 조건별 측정 결과

	Button 1	Button 2	Button 3	Button 4
Open(fF)	57624	57292	31022	30930
Styrofoam(fF)	57648	57333	30947	31018
Styrofoam + Finger(fF)	57780	57459	31240	31321
amount of change	132	126	293	303
(%)	0.23%	0.22%	0.95%	0.98%

다. 동작 원리

손가락이 버튼에 접근했을 때 센서는 버튼으로부터 커패시턴스 값을 읽는다. 0에서부터 15까지의 버튼을 빠른 속도로 각 채널을 이동하면서 커패시턴스를 인식한다. 버튼별 커패시턴스 측정과 데이터 전송을 위해 한 버튼 당 머무는 시간은 15 ms 이다. 각 버튼에서 매 순간의 커패시턴스 값을 읽어 들인 후 각 버튼의 커패시턴스 값을 저장해 둔다. 그리고 다음 순서에 읽어 들인 커패시턴스 값과 비교해 현재 커패시턴스와 이전 커패시턴스의 차이를 이용하여 손가락을 감지하게 된다. 각 버튼에는 동작하는 것을 직관적으로 확인하기 위해 LED를 부착하였다. 손가락이 접근하면 커패시턴스가 올라가기 때문에 커패시턴스의 변화가 존재할 때만 버튼이 동작하도록 하였다. 손가락이 멀어질 때도 커패시턴스의 변화가 발생하여 오작동 하는 것을 방지하기 위해 커패시턴스의 변화가 양수일 때만 동작하도록 설정하였다.

버튼 0은 비상통화, 1-13은 각 층, 14, 15는 각각 열림, 닫힘 버튼으로 정하였다. 층 버튼은 손가락이 처음 접근했을 때 LED가 켜지면서 그 상태를 유지한다. 한 번 더 접근시에는 취소되므로 버튼이 꺼진다. 그래서 비상통화 버튼과 숫자 버튼인 1-13은 이전과 현재 커패시턴스 사이에 증가하는 변화가 발생했을 때 LED가 꺼져있는 상태면 스위치를 ON으로, 다시 증가하는 변화가 발생했을 때 LED가 켜져 있는 상태면 OFF로 토글(toggle) 동작을 하도록 하였다. 14, 15번 버튼인 열림, 닫힘 버튼의 경우, 이용자가 누르고 있는 상태일 때만 동작해야 된다. 두 버튼은 아무것도 접근하지 않은 상태의 기본 커패시턴스에서 손가락이 접근해 커패시턴스 값이 더 높아졌을 때만 LED가 켜지고, 손가락이 멀어져 기본 커패시턴스 값으로 돌아왔을 때 LED가 꺼지도록 문턱값(threshold)를 설정하여 문턱값이 넘으면 ON이 되고, 이하이면 OFF가 되도록 설정하였다.



Fig. 7. 16 Buttons installed on the elevator panel.
그림 7. 엘리베이터 패널에 16개의 버튼을 부착한 모습

5. 실험 결과

16개의 엘리베이터 버튼을 그림 7과 같이 패널에 직접 붙인 후, 그림 8과 같이 실험을 진행하였다. 버튼에 손가락이 약 1 cm 정도 접근했을 때 LED에 불이 켜지는 것을 확인하였다. 0-13번 버튼은 꺼져있을 때 접근하면 ON, 켜져 있을 때 접근하면 OFF가 되는 것을 확인하였다. 14, 15번 버튼은 손가락이 접근한 상태일 때 LED가 ON, 멀어지면 OFF가 되는 것을 확인했다.

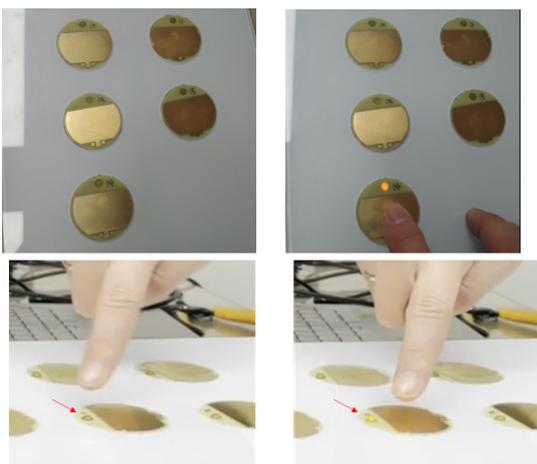


Fig. 8. Operation of the elevator buttons.
그림 8. 엘리베이터 버튼의 동작 모습

동작시 버튼의 기본 커패시턴스는 약 40000 fF으로 측정됐다. 손가락이 접근했을 때 커패시턴스는 접근하지 않았을 때에 비해 700 fF 정도 증가했다. 그림 9는 전원

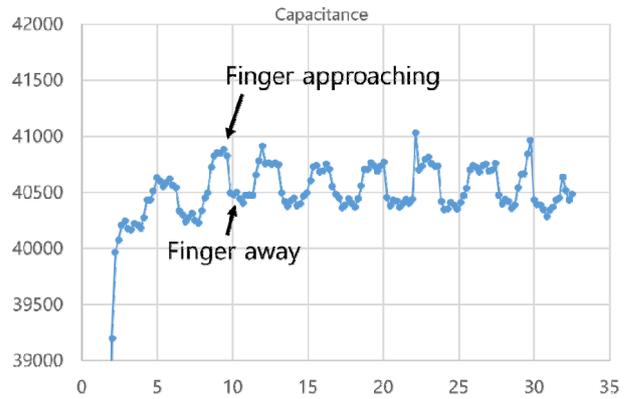


Fig. 9. The change in capacitance when the finger is approaching to the button.

그림 9. 손가락이 버튼에 주기적으로 접근했을 때의 커패시턴스 변화

이 켜진 뒤 약 2초 간격으로 반복적으로 손가락을 접근했다 멀리했다 했을 때, 시간에 따른 커패시턴스 변화를 보여준다.

III. 결론

공공장소의 엘리베이터는 불특정 다수의 사람이 이용하며, 이동을 위해 반드시 버튼을 누르게 된다. 이때 손가락을 통한 물리적 접촉에 의해 감염병을 일으키는 바이러스들에 쉽게 노출된다. 본 논문에서 제안한 커패시턴스 센서와 아날로그 멀티플렉서를 이용해 엘리베이터 버튼을 만들 수 있으며, 비접촉이므로 감염을 예방할 수 있다. PCB를 이용한 버튼과 아날로그 멀티플렉서는 저렴하며, 고가의 커패시턴스 스위치는 하나만 사용하기 때문에, 전체 시스템 단가를 낮게 개발할 수 있다.

References

[1] Hyundai Elevator, "Clean Moving Solutions," <https://www.hyundaelevator.co.kr/ko/technology/smart/clean-moving>

[2] G. W. Bang, "The Contactless Elevator Button using the Electrostatic Capacity," *Journal of Industrial Convergence*, vol.19, no.6, pp.67-72, 2021. DOI: 10.22678/JIC.2021.19.6.067

[3] Texas Instruments, "FDC1004 4-Channel Capacitance-to-Digital Converter for Capacitive Sensing Solutions," <https://www.ti.com>

[4] F. Reverter, X. Li and G. C. M. Meijer, "Stability and Accuracy of Active Shielding for Grounded Capacitive Sensors," *Measurement Science and Technology*, vol.17, pp.2884-2890, 2006.

DOI: 10.1088/0957-0233/17/11/004

[5] Analog Devices, "ADG706 16-Channel Multiplexer," <https://www.analog.com>

[6] Analog Devices, "ADG1207 16-Channel Multiplexer," <https://www.analog.com>

[7] Texas Instruments, "TMUX4051 8-Channel Multiplexer," <https://www.analog.com>

[8] Arduino, "Arduino Due," <https://store.arduino.cc/products/arduino-due>

BIOGRAPHY

Ji-Young Lee (Member)



2021 : BS degree in Information and Communication Engineering, Hanbat National University.

2022~Present : MS degree in Mobile Convergence Engineering, Hanbat National University.

Gwang-Hyeon Jeong (Member)



2012 : BS degree in Electrical Engineering, KAIST.

2014 : MS degree in Electrical Engineering, KAIST.

2018 : PhD degree in Electrical Engineering, KAIST.

2018~2021 : Senior Researcher, Agency for Defense Development(ADD).

2021~2024 : Assistant Professor, Hannam University.

2024~Present : Assistant Professor, Hanbat National University.

⟨Main Interest⟩ RF Circuits and Systems

Jusung Kim (Member)



2006 : BS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.

2011 : PhD degree in Electrical Engineering, Texas A&M University.

2011~2015 : Staff Engineer, Qualcomm Technologies Inc.

2015~Present : Associate Professor, Hanbat National University.

⟨Main Interest⟩ Low-Power Integrated Circuits

Dong-Ho Lee (Member)



2000 : BS degree in Electrical Engineering, KAIST.

2002 : MS degree in Electrical Engineering, KAIST.

2007 : PhD degree in Electrical Engineering, KAIST.

2007~2009 : Postdoctoral Fellow, Georgia Institute of Technology.

2009~2010 : Senior Engineer, Skyworks Solutions.

2010~Present : Professor, Hanbat National University.

⟨Main Interest⟩ RF Power Amplifiers