

압전센서를 이용한 인원계수 시스템의 설계 및 구현

장시웅^{1*} · 정동훈²

Design and Implementation of a People Counting System using Piezoelectric Sensors

Si-woong Jang^{1*} · Dong-hun Jung²

^{1*}Department of Computer Engineering, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

²Department of SW Convergence, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

요 약

최근 통로를 지나가는 사람을 계수하거나 특정 공간 내 사람이 몇 명 있는지를 계수하는 시스템에 관한 연구가 활발하게 진행 중이다. 기존의 인원 계수 시스템은 기둥 혹은 벽 주변에만 설치 가능한 적외선, 초음파, 카메라 등을 이용하여 인원을 계수하였다. 적외선, 초음파의 경우, 가격은 싸지만 다수의 보행자가 동시에 들어오는 상황이 발생할 경우 출입을 감지하기에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 압전 센서를 이용하여 센서 매트릭스를 설계하였다. 또한, 보행자의 진행방향을 파악하고, 방향에 따라 인원을 계수할 수 있는 시스템을 구현하였다. 센서 매트는 보행자가 센서 매트 위를 걸어 갈 때 센서에 감지된 압력과 시간을 통해 방향성을 파악하고 지나가는 보행자의 수를 파악하여 준다.

ABSTRACT

In recent, the studies on the systems have been progressing that count the number of people passing through passageway or count people who exist in specific space. The existing people counting systems count the number of people using ultrared sensors, ultrasonic sensors or camera sensors, which can be installed only on pillar or around wall. Though ultrared sensors and ultrasonic sensors is low cost, they are inadequate to detect incoming/outgoing when several pedestrians pass through passageway concurrently. In this paper, we designed a sensor mat using piezoelectric sensors to complement the above-mentioned disadvantage. Also, we implemented the system that detects direction of progress and counts the number of people. The sensor mat detects direction of progress using pressure given on sensors and timing information and counts the number of people when pedestrians pass through on a sensor mat.

키워드 : 압전 센서, 보행자, 인원 계수, 이동 방향

Key word : Piezoelectric sensor, Pedestrian, People Counting, Direction of progress

Received 30 May 2017, Revised 05 June 2017, Accepted 16 June 2017

* Corresponding Author Si-woong Jang(E-mail:swjang@deu.ac.kr, Tel:+82-51-890-2354)

Department of Computer Engineering, Dong-EUI University, Busan 47340, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.7.1441>

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. 서 론

최근 통로를 지나가는 사람을 계수하거나 특정 공간 내 사람이 몇 명 있는지를 계수하는 연구가 활발하게 진행 중이다. 인원 계수를 위해 사용되는 센서는 적외선, 초음파, 카메라 등 여러 가지가 있다. 영상 처리 방식에 따라 객체를 검출하고 추적하는 것이 가능하다. 하지만, 영상처리는 정확도가 높으려면 고 해상도의 이미지가 필요하며, 이러한 이미지를 얻기 위해서는 고 해상도의 카메라가 필요하다[1-4]. 이러한 장비는 대부분 가격대가 높고 데이터의 저장 용량도 커지게 된다. 또한, 날씨의 영향을 많이 받아 날씨가 좋지 않으면 정확도가 떨어지게 되는 한계가 존재하며, 설치의 복잡성도 따른다. 초음파 센서, 레이더 센서, 키넥트 센서의 경우 인원 계수를 위해서는 센서들의 설치가 가능한 기둥이나 벽 등의 물체가 있어야 하는 단점이 있다[5-7]. 따라서 본 논문에서는 이러한 초음파 센서, 레이더 센서, 키넥트 센서 등의 센서들보다 가격이 저렴하고, 설치에 제약이 적은 압전센서를 이용한 인원 계수 시스템을 설계하고 구현하였다.

II. 관련연구

통로 혹은 특정 공간 내부 인원 계수 방법에는 카메라, 초음파, 적외선 등의 센서를 이용하는 방법이 있다.

2.1. 컴퓨터 비전을 이용한 방식

컴퓨터 비전은 움직임이 발생한 객체를 검출, 추적, 해석하는 단계로 이루어져 있다. 객체의 검출은 배경과 현재 프레임의 차 영상 혹은 이전과 현재 프레임의 차 영상을 일반적으로 사용한다. 객체의 추적은 검출단계에서 추출된 다중 객체 사이의 최소거리 정합법에 의해 수행한다. 객체의 해석은 객체의 크기를 고려하여 기법을 사용한다[1]. 이러한 방법으로 보행자의 이동방향을 파악 할 때, 주변 밝기, 붙어서 가는 보행자 등 다양한 문제가 발생한다.

2.2. 초음파 센서를 이용한 방식

초음파 센서는 사람 귀에 들리지 않는 높은 주파수의 소리를 발산하여 측정함으로써 물체까지의 거리를 측

정한다. 초음파 센서는 초음파가 특정한 사물에 부딪혀 돌아오는 시간을 측정하여 거리를 계산한다. 이때, 인원이 동시에 들어올 경우 이를 한 명으로 판단한다는 문제점이 있다[6].

III. 인원계수 시스템 설계 및 구현

3.1. 시스템 개요

인원계수 시스템은 사람의 이동 방향을 이용하여 특정 공간의 인원을 계수할 수 있는 시스템이다. 특정 통로 혹은 공간의 바닥에 센서 발판을 설치하고, 발판에서 나오는 데이터를 받고 처리하는 센서 보드에 연결하여 데이터 정보를 수집한다. 센서 발판에서 생성된 데이터들의 정보는 센서 보드에서 알고리즘을 거쳐 정보를 서버 혹은 스마트폰에 제공한다.

본 시스템은 크게 여러 사람의 이동방향을 감지하는 센서부, 감지된 데이터를 처리하는 처리부, 데이터를 전송하는 전송부로 구성되어 있다.

3.2. 인원계수 시스템 센서부 설계

3.2.1. 보조 프레임을 이용한 센서 매트 설계

보행자가 센서 매트를 지나 갈 때, 압전 센서 사이의 빈 공간을 밟을 경우 센서가 감지를 못하는 예외 상황이 발생한다. 이러한 상황을 방지하고자 센서의 위에 보조 프레임을 두어 힘을 받도록 하였다.

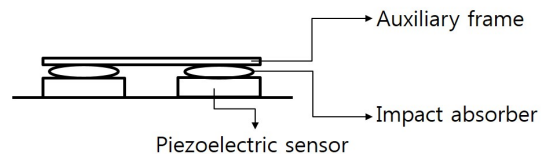


Fig. 1 Sensor mat with auxiliary frame

그림 1에서 보행자가 Frame을 밟을 경우 Frame 전체에 힘이 가해져 아래에 있는 완충체를 통해 압전 센서에 도달하게 된다. 이것에 대한 센서 데이터는 그림 2와 같다. 그림 2의 경우 sensor 1의 크기는 작고 sensor 2의 크기는 큰 현상이 발생하였다. 이는 보행자가 sensor 1의 위치에서 sensor 2의 위치로 이동하는 현상을 뜻한다. 하지만 이러한 현상은 보행자가 그림 1의 Frame 중앙에 정확히 밟아 이동하였을 때 나타나는 그래프이다.

보행자가 Frame의 어느 부분을 밟느냐에 따라 sensor 1과 sensor 2의 크기는 달라지며, 상황에 따라선 크기가 역전되기도 한다.

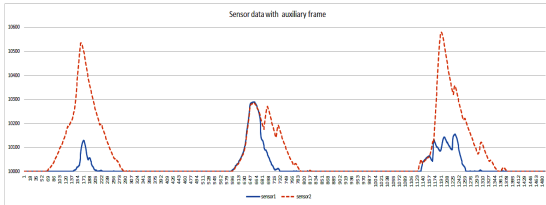


Fig. 2 Sensor data with auxiliary frame

이러한 현상을 보완하고자 각 sensor 1과 2에 대한 값을 공식 1을 통해 값의 변화를 보고자 한다. 공식 1에서 α 는 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 점에 대한 기울기를 뜻하며, 공식 1을 그림 2의 그래프에 대입하면 그림 3, 4와 같다.

$$\alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

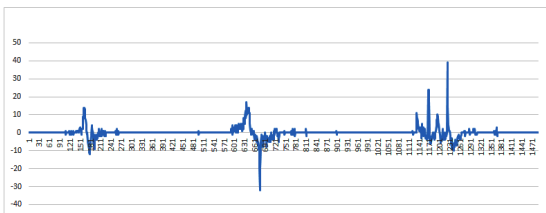


Fig. 3 Sensor data with frame for sensor 1

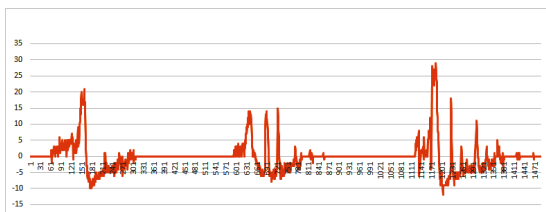


Fig. 4 Sensor data with frame for sensor 2

그림 3은 sensor 1에 대한 값을 공식 1에 대입하여 나타낸 그래프이고, 그림 4는 sensor 2에 대한 값을 공식 1에 대입하여 나타낸 그래프이다. 그림 2를 기준으로 그래프를 서로 비교하여 보면 센서 값의 변동이 크면 클수록 그림 3과 4에서 최고 높이가 높아지는 현상이 발생한다. 또한, 그림 3과 4에서 값이 (+)에서 (-)로

변하는 구간이 발생하는데 이 구간은 센서의 값이 떨어지는 현상이 발생하는 구간으로 이 값을 이용하여 센서 데이터의 최고점을 찾을 수 있다. 그러나, 이러한 특징만 가지고 보행자의 방향성을 판단하는 기준을 잡을 수 없다.

3.2.2. 기본 전압을 높혀 이용한 센서 매트 설계

압전 센서의 경우 (-) 방향은 접지를 하는데 (-)에 접지 대신 전압을 걸어 기본 데이터 값을 높혀 준다. 기본 데이터를 높일 경우 압전 센서의 기본 전압 값이 높아지고, 압전 센서에 가하는 압력에 따라 센서의 값이 낮아지고 높아진다.

그림 5는 접지 대신 3.3v의 전압을 걸어 주고, 센서에 압력을 가했을 경우 나타나는 그래프이다.

기본 전압을 높혀서 사용할 경우 전체적인 데이터의 변동은 크게 변하지만, 보행자가 걸을 때 나타나는 기준을 잡을 수 없다.

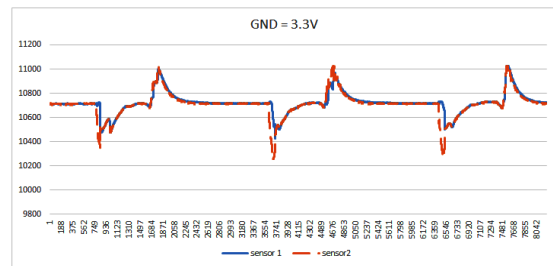


Fig. 5 Graph with GND of 3.3V

3.3. 인원계수 시스템 설계 및 구현

센서부에서 각각의 압전 센서들은 센서에 압력을 가한 순간부터 압력이 없어질 때까지 전압을 발생시킨다. 이러한 특징을 이용하여 2개의 센서를 바닥에 설치하여 사람이 걷는 상황과 동일하게 압력을 주었다가 없앨 경우 그림 6와 같은 그래프가 나온다.

그림 6에서 sensor 1은 처음 압력을 가한 센서이고 sensor 2는 두 번째로 압력을 가한 센서이다. 각각의 센서에는 다이오드, 커패시터, 저항 등을 직·병렬로 구성하여 센서를 누를 때 값이 실시간으로 올라 오는 것이 아니고, 센서를 눌렀다 떼 때 값이 올라오도록 하였다. 인원계수 시스템의 센서 발판은 압전 센서를 2차원의 배열로 대입하여 각 센서별로 x, y 좌표를 이름으로 가지게 된다.

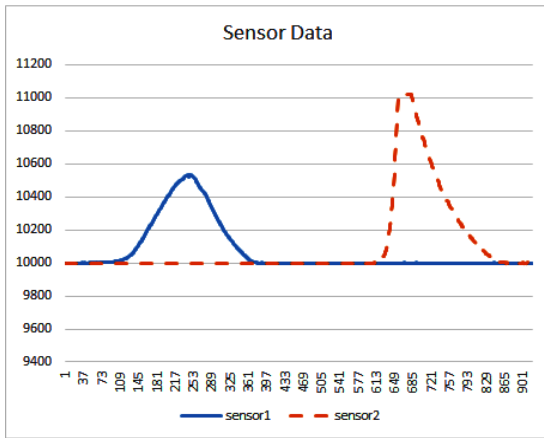


Fig. 6 Sensor data when stepped

각 압전 센서 사이의 상하 거리는 성인 평균 발 직선 길이의 약 65%에 해당하는 길이(150mm)로 구성하였다. 이와 같은 길이로 할 경우 발이 작은 여성부터 발이 큰 남성 까지 인식이 가능하도록 하였다. 또한, 압전 센서 사이의 좌우 거리는 성인 평균 발 너비에 해당하는 길이(90mm)로 설계하였다. 이때, 센서 사이의 상하 거리를 70% 이상 혹은, 60% 미만으로 거리를 구성할 경우 70% 이상에서는 신발의 앞굽이 들려있는 경우가 많아 힘을 받지 못하는 경우가 많이 있으며, 60% 미만으로 할 경우 발바닥의 중간 부분인 아치부분으로 인해 힘을 받지 못하는 경우가 발생하였다. 이렇게 구성된 센서 발판의 모습은 다음 그림 7과 같다.

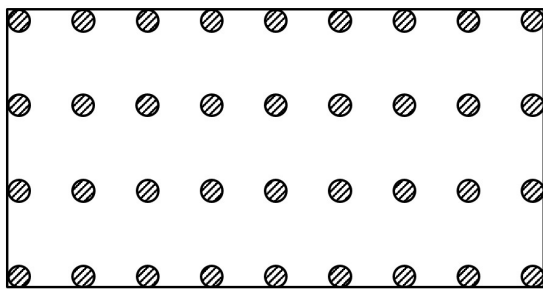


Fig. 7 Sensor mat

3.4. 인원계수 시스템 알고리즘

압전 센서에서 발생하는 값을 처리하는 과정은 그림 8과 같이 알고리즘 형태로 제작하였다. 시스템이 시작되면 데이터 처리부에서 센서 발판의 데이터 값을 읽어

들인다. 읽은 데이터 값을 보행자가 센서를 밟았다고 판단하는 임계값과 비교하여 센서의 값이 임계값 보다 높으면 시간을 획득하여 저장한다.

또한, 주변 압전 센서의 값을 획득하여 그 값이 임계값보다 높으면 그 센서 값에 대한 시간을 획득하여 저장한다. 연속된 센서에서 시간 값이 저장되어 있는지 확인하여 저장이 되어 있다면, 저장된 시간 값을 빼서 그 값의 차이의 절대 값이 0.8초 이내일 경우 보행자가 지나갔다고 판단하여 방향을 확인한다. 예를 들어 두 센서의 시간 값 차이가 양수 일 경우에 A 방향, 음수일 경우 B 방향으로 지정하여 각 방향에 대한 변수의 값을 1씩 증가시켜 준다.

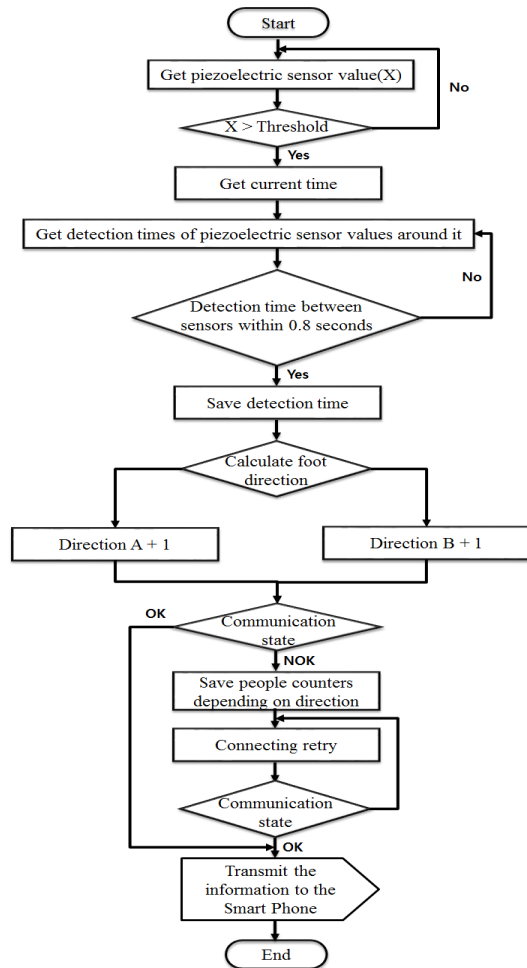


Fig. 8 People counting system algorithm

이렇게 저장된 각 방향에 대한 데이터들은 서버 혹은 스마트폰에 연결 되었을 때 전송하여 준다.

방향의 정확도는 98.75%가 나왔다.

IV. 실험 및 결과

4.1. 실험 방법

앞 장에서 소개한 시스템의 정확성을 검증하기 위해 그림 9와 같은 시나리오를 구성하여 테스트를 진행한다. 실험 시나리오는 특정 공간에 센서 발판을 설치하고, 그림 9와 같이 상황을 주고 각 상황에 대한 데이터를 수집하였다. 또한 스마트폰 어플리케이션을 이용하여 데이터가 제대로 수신되는지 확인하는 테스트도 함께 진행하였다. 이때, 스마트폰의 어플리케이션에 전송하는 방식은 블루투스를 이용하여 전송하였다.

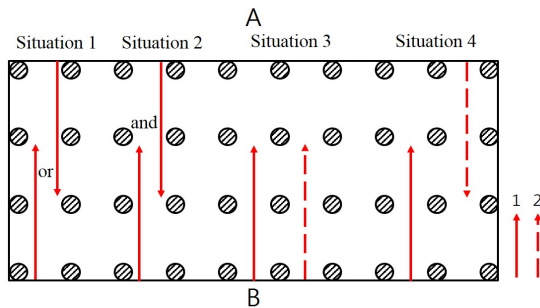


Fig. 9 Experiment method according to situations

실험에서 가정은 센서 발판을 지나가는 사람들은 센서 발판의 압전 센서를 2개 밟는다. 또한, 한 사람이 발판을 2번 밟지 않는다는 가정을 한다. 상황은 그림 9와 같이 크게 4가지로 나뉜다. 첫 번째는 한 명의 인원이 A 혹은 B 방향으로 이동, 두 번째는 한 명의 인원이 A 방향으로 이동한 뒤 B 방향으로 이동, 세 번째 상황은 두 명의 인원이 A 혹은 B 방향으로 동시에 이동, 네 번째 상황은 두 명의 인원 중 한 명은 A 방향, 나머지 한 명은 B 방향으로 교차하여 이동하는 상황이다. 각 상황별, 인원별로 100번 씩 반복하여 진행하였다.

4.2. 실험 결과

본 논문에서 설계한 인원계수 시스템의 정확성을 검증하기 위한 실험 결과는 표 1과 같다. 전체적인 정확도는 97.5%가 나왔으며, A 방향의 정확도는 96.25%, B

Table. 1 People counting experiment by situation

	Situation				Average (%)
	1	2	3	4	
Direction A (%)	96	96	95	98	96.25
Direction B (%)	95	100	100	100	98.75
Average (%)	95.5	98	97.5	99	97.5

상황 1의 실험 중 그림 10과 같이 B 방향으로 가는 도중 A 방향의 인원 값이 올라가는 현상이 발생하여 데이터와 걸음 습관을 관찰하여 보니 신발을 신는 습관이나 걸음걸이 때문에 값이 반대로 올라가는 현상이 발생하였다. 이러한 현상은 일반적인 걸음걸이가 아니라 특이한 걸음걸이로 판단이 된다.

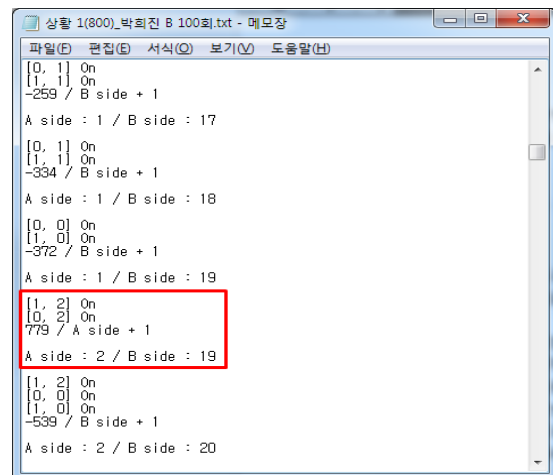


Fig. 10 Execution results of people counting system

V. 결론

실험 중 상황별로 실제 보행자가 걷는 방향과 센서가 감지하는 방향이 다르게 나오는 경우가 발생하였다. 이는 보행자의 걸음 습관에 따라 오차가 발생하는 것으로 파악이 되었다. 이는 좀더 다양한 걸음 패턴을 연구하여 측정 모듈에 추가해 정확도를 높일 수 있을 것으로 보인다. 본 논문에서는 압전센서를 이용하여 기존에 사용하고 있는 적외선 혹은 초음파 센서, 컴퓨터 비전을 이용한 방식의 한계를 보완하는 시스템을 설계 및 구현

하였다. 그러나, 일반적인 성인 걸음걸이와 다수의 인원
원에 대해서는 측정이 비교적 정확하다는 장점이 있지
만, 발의 길이가 비정상적으로 길거나 짧을 경우 방향
성을 확인하지 못하는 경우가 존재하였다. 또한, 센서
발판 위에서 여러 방향으로 움직이거나, 센서가 위치하
지 않은 부분을 밟고 지나가는 단점이 발견되었다. 이
러한 단점을 보완하기 위해 압전 센서의 간격을 조정하
여 2개 이상의 압전 센서에서 값을 받아와 이동 방향을
측정하는 것과 예외 공간 발생을 최소화 하는 것이 반
영된다면, 측정값이 더 정확하게 되어 인원 계수가 필
요한 지점에 응용이 가능할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Dong-eui University
Grant.(201702960001) and the Brain Busan 21
Project in 2017.

REFERENCES

[1] C. Y. Kim, and S. R. Choi, "A Camera-Based System for
Counting People in Real Time," *The Journal of Korean*

Institute of Communications and Information Sciences,
vol.2002, no.11, pp.503-506, Nov. 2002.
[2] T.S Chen, C.H Chen, D.J Wang, Y.L Kuo, "A People
Counting System Based on Face-Detection," *2010 Fourth
International Conference on Genetic and Evolutionary
Computing*, pp.699-702, 2010.
[3] S.D Pore, B.F Momin, "Bidirectional People Counting
System in Video Surveillance," *IEEE International
Conference On Recent Trends In Electronics Information
Communication Technology*, pp.724-727, May 2016.
[4] J.W Perng, T.Y Wang, Y.W Hsu and B.F Wu, "The Design
and Implementation of a Vision-based People Counting
System in Buses," *2016 International Conference on System
Science and Engineering*, pp.1-3, July 2016.
[5] E. H. Lee, "A Research on Performance Enhancement of
Multi-human Detection Algorithm Using IR-UWB Radar
Sensor," Hanyang University master's thesis, Korea, Feb.
2017.
[6] S. M. Yang, Y. S. Kim, S. H. Cho, and J. H Choi, "A
Real-Time People Counting Algorithm using Ultrasonic
Sensors," *Journal of Korean Institute of Information
Scientists and Engineers*, vol.2016, no.12, pp.1596-1598,
Dec. 2016.
[7] Aylin Coskun, Anil Kara, Mustafa Parlaktuna, Metin Ozkan,
"People counting system by using kinect sensor," *2015
International Symposium on Innovations in Intelligent
SysTems and Applications*, pp.1-7, 2015.



장시웅(Si-Woong Jang)

1984년 부산대학교 계산통계학과 이학사
1993년 부산대학교 전자계산학과 이학석사
1996년 부산대학교 전자계산학과 이학박사
1986년 ~ 1993년 대우통신(주) 종합연구소
2004년 ~ 2005년 University of Texas at Dallas 객원교수
1996년 ~ 현재 동의대학교 컴퓨터과학과 교수
※관심분야 : IT융합, 차량용 네트워크, 데이터베이스



정동훈(Dong-Hun Jung)

2017년 2월 동의대학교 컴퓨터과학과 공학사
2017년 3월 ~ 현재 동의대학교 소프트웨어융합학과 석사 과정
※관심분야 : 영상처리, 모바일 소프트웨어, 스마트 자동차, 데이터베이스