

## 생활패턴 인지가 가능한 스마트 레이더 시스템

정상중

동서대학교 인공지능응용학과

### Smart Radar System for Life Pattern Recognition

Sang-Joong Jung

Department of Applied Artificial Intelligence, Dongseo University

**요약** 현재 카메라 기반 기술 수준으로는 센서 기반 기본 생활패턴 인지 기술은 정확한 데이터를 얻기 위해서는 불편함을 감수해야 하고, 상용화 밴드 제품은 정확한 데이터 수집이 어려우며, 행동의 동기와 원인 및 심리적 영향 등을 고려하지 못하는 실정이다. 본 논문에서는 생활패턴 인지를 위한 레이더 기술은 일상생활에서 주변의 사람이나 물체를 탐지하기 위해 고안된 파형을 전송하여 반사되어 오는 수신 신호를 신호 처리함으로써 물체와의 거리, 속도, 각도를 측정하는 기술을 적용하여 기존 영상 기반의 서비스에서의 사생활 보호와 같은 이슈를 보완할 수 있도록 고안하였다. 제안 시스템의 구현을 위해 TI IWR1642 칩을 기반으로 60GHz 대역 밀리미터파 FMCW 송신/수신을 위한 RF 칩셋제어, 거리/속도/각도 검출을 위한 모듈의 개발 및 신호처리 소프트웨어를 포함한 기술을 구현하였다. 생활 정보에 대한 메타 분석으로 생활패턴의 정량적 분석을 통해 개인별 맞춤형 생활패턴 추출을 통해 자기 관리 및 행동 시퀀스를 산출하여 개인별 생활패턴의 분석이 보안 및 안전 응용서비스로 가능할 것으로 기대된다.

• 주제어 : 레이더 시스템, FMCW, 생활패턴 인지, 데이터 정형화, 보안/안전 가드

**Abstract** At the current camera-based technology level, sensor-based basic life pattern recognition technology has to suffer inconvenience to obtain accurate data, and commercial band products are difficult to collect accurate data, and cannot take into account the motive, cause, and psychological effect of behavior. the current situation. In this paper, radar technology for life pattern recognition is a technology that measures the distance, speed, and angle with an object by transmitting a waveform designed to detect nearby people or objects in daily life and processing the reflected received signal. It was designed to supplement issues such as privacy protection in the existing image-based service by applying it. For the implementation of the proposed system, based on TI IWR1642 chip, RF chipset control for 60GHz band millimeter wave FMCW transmission/reception, module development for distance/speed/angle detection, and technology including signal processing software were implemented. It is expected that analysis of individual life patterns will be possible by calculating self-management and behavior sequences by extracting personalized life patterns through quantitative analysis of life patterns as meta-analysis of living information in security and safe guards application.

• Key Words : Radar system, FConvergence, Life pattern recognition, Data normalization, Security and safety guards

Received 19 June 2022, Revised 28 June 2022, Accepted 30 June 2022

\* Corresponding Author Sang-Joong Jung, Department of Applied Artificial Intelligence, Dongseo University, 47, Jurye-ro, Sasang-gu, Busan, Korea. E-mail: sjjung@dongseo.ac.kr

## I. 서론

국내 레이더 센서 시장은 국내 대기업 일부를 제외하면 대부분이 초기 수준으로 아직 세계적인 기술의 동향에 따라가기에는 턱없이 부족한 실정이며, 레이더 센서 제품은 초고주파수 대역 신호를 이용한 무선통신 기술과 레이더 알고리즘 기술이 적용된 기술인데 최근 들어 반도체가 발전하면서 레이더 센서의 대량생산이 가능한 구조를 만들어가고 있다. 그 시장도 폭발적으로 큰 시장이 아니라 대기업 위주보다 전문 업체 위주로 발전되고 있어 자율주행 관련하여 시장이 급격히 커질 것으로 예상하지만, 특히 다른 다양한 분야시장도 레이더 센서가 크게 활성화될 것으로 기대된다[1].

이에 최근 4D의 개념으로 거리, 높이, 깊이, 속도의 4가지 차원에서 환경을 감지하는 레이더의 능력이 최근의 자율주행차 사고의 요인을 해결하는 높은 분해능, 높이에 의한 구분, 잘못된 경보 제거를 통해 첨단 안전을 가능하도록 발전하고 있다. 4D 이미지 레이더는 자동차 산업에 매우 이상적인 기술로 활용되고 있으며, 넓은 시야각에서 환경에 대해 매우 상세한 이미지를 제공하므로 도로 측면의 장애물을 감지하여 점군(point cloud) 또는 사물 리스트로 이미지를 제공한다[2].

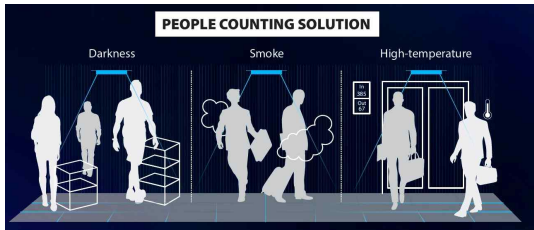


Fig. 1. Object recognition in radar technology

따라서 본 연구에서는 다양한 레이더 기술 분야 중 사람의 카운트와 추적 기술을 통해 생활인지가 가능한 시스템을 개발하여 감시, 보안, 모니터링이 필요한 환경에 적용하는 것을 목표로 최종적으로 일상생활에 레이더 기술이 적용 가능한 생활인지 판별이 가능한 통합 레이더 시스템 개발에 관한 연구를 진행하였다. 현재 카메라 기반 기술 수준으로는 센서 기반 기본 생활 패턴 인지 기술은 정확한 데이터를 얻기 위해서는 불편함을 감수해야 하고, 상용화 밴드 제품은 정확한 데이터 수집이 어려우며, 행동의 동기와 원인 및 심리적 영향 등을 고려하지 못하는 실정이다. 본 기술을 통한

생활정보의 메타 분석으로 정량적 패턴 분석을 통해 개인별 맞춤형 생활패턴 추출을 통해 자기 관리 및 행동 시퀀스를 산출하여 환자의 행동 패턴을 수집 및 분석으로 낙상, 자해, 이탈 등의 응급돌발 상황 감지 등에 활용할 수 있는 개인별 생활패턴 분석이 가능하다. 제안 기술을 통해 다양한 분야에 카메라 기반의 영상 인식 기술이 적용하기 힘든 틈새시장을 고려하여 접근한다면 독거노인 거주지, 농촌 농작지, 병원, 재해재난 환경 등 제안 기술을 통한 안전과 보안에서 생활에서 꼭 필요한 서비스로 발전할 것으로 기대한다[3-4].

## II. 관련연구

### 2.1 레이더 기술을 적용한 시스템 구현

레이더 기술은 크게 송신 변조 방식에 따라 펄스 도플러(Pulse Doppler) 레이더와 주파수 변조 연속파(Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW) 레이더로 구분된다. 펄스 레이더는 레이더의 송수신에 펄스 신호를 이용하는 방식으로 대략 1ms 이내의 매우 짧은 신호의 전자파 폭을 송수신하는 방식이며, 주파수 변조 연속파 레이더는 송신신호가 시간에 대해 끊임 없이 연속적으로 출력되며 동시에 수신이 이뤄지는 방식으로 구동된다. 본 연구에 사용될 레이더 모듈은 시간에 따라 선형적으로 변하는 삼각파 혹은 톱니파 신호를 송신해 목표물로부터 반사되는 신호를 수신하여 거리를 측정하고 추적하도록 유도하는 FMCW 기반의 mmWave 센서를 활용하였다. FMCW 레이더 송신 신호는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 이용해 선형적인 레이더 송신 신호를 중심 주파수에 맞는 신호로 발생시킨 후, 송신 안테나를 지난 신호는 목표물로 향해 송신하도록 설계되었으며, 레이더와 목표물의 거리에 따라 시간적으로 지연된 반사 신호가 수신 안테나를 통해서 수신한다[5-8].

신호는 디처핑(Dechirping) 기술을 통해 비트 주파수 성분의 사인파를 발생하는 특성을 가진다. FMCW 레이더에서 수신 신호와 송신 신호를 서로 곱셈을 해 주는 디처핑 기술은 레이더와 상대 물체 사이의 거리에 따라 주파수가 비례하는 사인파를 발생시키고 중심중파수보다 훨씬 낮은 대략 수백Hz에서 수십 MHz 대역의 중간 주파수 대역을 획득한다. 생성된 비트 신호는 장애물로부터 반사된 수신 신호와 송신 신호를 곱(Mix)하

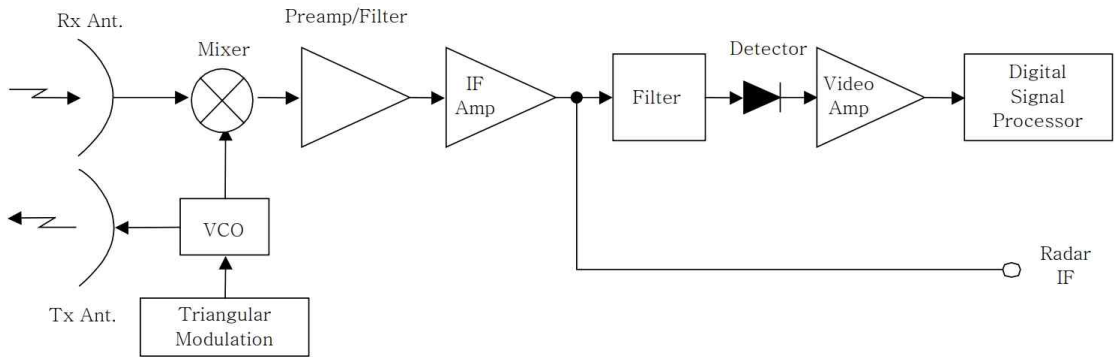


Fig. 2. Block Diagram of FMCW radar function

는 방식을 사용해 추출하고 곱해진 신호는 저대역 주파수 통과 필터를 지나게 되면 원하는 대역인 비트 신호 발생하여 대략 60~70dB의 이득의 다단증폭기와 수십MHz 대역의 저대역 주파수 통과 필터를 통과하고 아날로그-디지털 변환기를 통해서 샘플링해 디지털 수신 신호로 변환한다. 변환된 디지털 신호는 스펙트럼 분석 알고리즘을 통해 주파수 성분이 추출되고, 추출된 주파수를 통해서 반사된 신호와 레이더간의 상대거리를 알 수 있으며, 그리고 각 수신 신호간의 위상 차이를 통해 목표물의 속도, 각도도 추출할 수 있다. 생성된 비트 신호는 장애물로부터 반사된 수신 신호와 송신 신호를 곱(Mix)하는 방식을 사용해 추출하고 곱해진 신호는 저대역 주파수 통과 필터를 지나게 되면 원하는 대역인 비트 신호 발생하여 대략 60~70dB의 이득의 다단증폭기와 수십MHz 대역의 저대역 주파수 통과 필터를 통과하고 아날로그-디지털 변환기를 통해서 샘플링해 디지털 수신 신호로 변환한다.

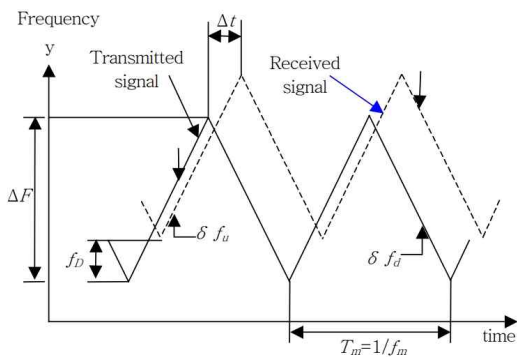


Fig. 3. Subject tracking based on delay time

## 2.2 60GHz 대역 mmWave 센서

본 논문에서는 그림 4에서 보는 바와 같이 TI사에서 제공하는 IWR6843칩을 활용한 주변 회로 구성과 60GHz 대역에서의 mmWave 센서를 통해 제안 레이더 시스템의 구현이 가능하도록 하였다. 주파수 변조 연속파 레이더의 특성상 펄스 도플러 레이더와 달리 주파수 대역폭만큼 샘플링을 하지 않고 비트 신호 대역폭만큼만 샘플링하게 되어 있어 활용 면에서 뛰어나다. 제안한 FMCW 레이더 시스템에서 중요한 부분은 FMCW 신호를 발생시키는 부분과 이 신호를 샘플링하여 시스템을 구현하는 알고리즘이 중요하므로 이를 위한 스마트 레이더 시스템 개발에 중점적으로 연구하였다.

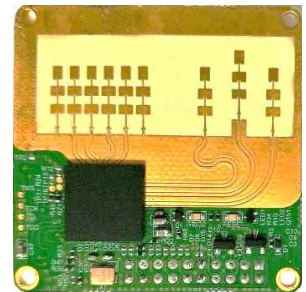


Fig. 4. IWR6843 sensor by TI

Table 1. Specification of IWR6843 mmWave

Function	IWR6843
Number of receivers	4
Number of transmitters	3
RF frequency range	60 to 64 GHz
On-chip memory	1.75MB
Max real sampling rate (Msps)	25
SPI port	2

### III. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 생활패턴 인지가 가능한 스마트 레이더 시스템 구현을 위해 객체를 인지할 수 있는 레이더 모듈을 개발하였다. 레이더 신호 측정을 위한 IWR6843 mmWave 센서를 부착할 수 있도록 레이더 모듈을 설계하였으며, 수신된 신호를 처리할 수 있도록 C67x 코어 DSP 컨트롤러와 ARM Cortex R4F 코어 MCU를 탑재하였다. 그림 5는 60GHz 안테나 분석 결과를 적용할 수 있는 제안 레이더 모듈의 회로 설계와 제작된 보드를 보여준다.

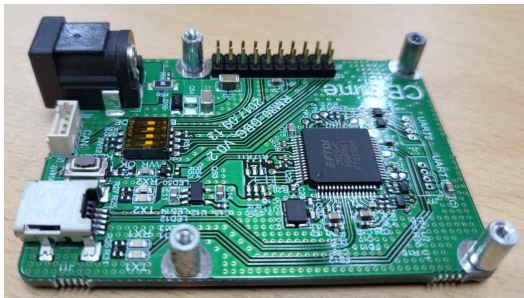
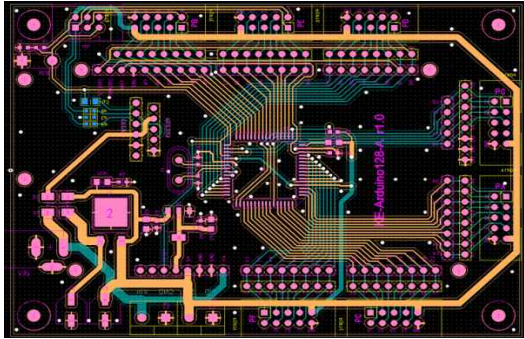


Fig. 5. Circuit verification and prototype of radar module

개발된 모듈의 점유 대역폭, 중심 주파수 및 오프셋 등 테스트를 통한 검증은 그림 6과 같이 진행하였으며, 모든 전력 측정은 스펙트럼 모드 및 시간 도메인 전력 측정 또는 전력계의 신호 및 스펙트럼 분석기로 수행하여 레이더 사양에 따른 작동 주파수 및 통신 테스트를 시행하여 송신 신호 및 감지에 대한 테스트를 완료하였다. 기본적으로 90° 방사형에서의 통신이 이루어지며, 측정 범위내에서 객체의 움직임에 따른 인지가 가능한지를 판단하여 제안 시스템으로의 적용이 가능한지를 객관적으로 판단하였다.

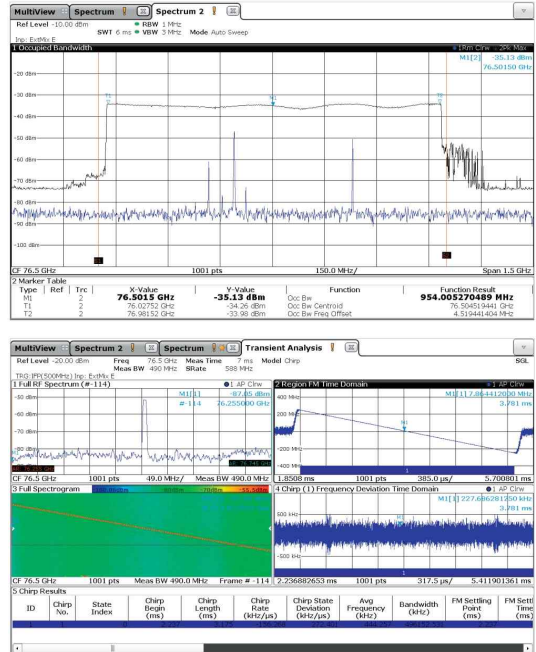


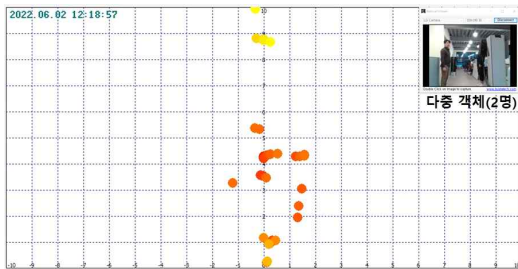
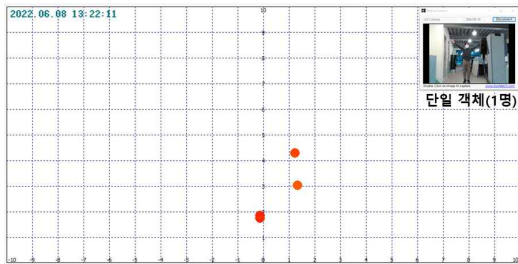
Fig. 6. Radar communication test for transmission signal detection

Table 2. Specification of radar module

Parameters		Specification	Notes
Freq.	Range	60~64 GHz	-
	BW	Max 4 GHz	-
Max. Transmitted Power (EIRP)		-- dBm	Less than 25 dBm
Main Power Supply		Typ. 5V	-
Power Consumption		Ave.:2W, Peak.: 4.5W	Ave.:1.5W, Peak.: 5W
Protection Rating		-	TBD

제안 시스템에서의 적용을 위한 실험 환경은 연구실에서 사람을 이동시키면서 테스트한 결과, 6m 이내에서는 단일 객체에 대해서는 잘 감지되는 것을 확인하였다. 그림 7과 같이 5미터의 거리에서 피실험자(1명, 2명)의 움직임을 측정하였으며, 센싱 데이터는 수신 로그값에 따라 색상이 있는 점인 적색-주황색-황색-초록색 순서로 신호의 강도가 표시되도록 모니터링 화면을 구성하였다. 실험을 통해 객체의 움직임에 대한 데이터를 지속적으로 기록할 수 있었으며, 10m 정

도의 범위 내에서 2인 이상의 다중 객체에 대하여 신호감도 10 ~ 25dBm 사이에서 확인 가능하였다. 수신 데이터는 TLV(Type, Kength, Value) 프로토콜을 적용하여 x, y, z 3축에 대한 값과 SNR값(dB), Noise(dB), Power(SNR + Noise)(dB) 값으로 구성하여 송수신하였다. 산업 서비스로의 적용을 위해 거치형 케이스를 적용하여 다양한 환경에 적용할 수 있도록 설계하였으며, 1대의 모듈을 사용하여 하나의 사무실, 거실 등을 커버하여 사용할 수 있도록 제안하였다.



Log								
22	32.2	124.8	0.0	0.0	128	16.4	79.4	95.8
23	159.5	435.8	0.0	0.0	464	13.4	84.3	97.7
24	112.8	62.4	0.0	0.0	128	16.4	79.4	95.8
25	-16.7	532.6	0.0	0.0	532	13.2	84.4	97.6
26	158.1	431.8	0.0	0.0	459	11.3	84.4	95.7
27	-16.8	536.9	0.0	0.0	537	12.4	84.3	96.7
28	40.3	99.6	0.0	0.0	187	15.8	79.4	95.2
29	11.3	368.8	0.0	0.0	368	12.8	83.8	95.8
30	27.3	121.6	0.0	0.0	124	16.6	77.4	94.8
31	-27.5	880.5	0.0	0.0	888	11.3	73.7	85.8
32	-27.4	876.2	0.0	0.0	876	10.9	74.8	84.9

Fig. 7. Monitoring screen for test

Table 3. Experimental reliability evaluation

Reliability Evaluation	Recognition	Tracking
Single Object	98%	97%
Multiple Objects (2 people)	96%	95%

표 3에서 보는 바와 같이 방사형 공간을 감안한 실험 환경에서의 단일/다중 객체 인지와 추적이 95% 이상으로 판별되는 것을 확인할 수 있었다. 정확한 실험 데이터의 수집을 위해 신호 기준값(Threshold, dB)을 25dB로 높여 노이즈 신호의 감도를 최소화하였다. 또한, 정지한 상태에서는 데이터를 수신하지 않으므로 객체의 인지 이후 정확한 패턴분석을 위한 좀 더 다양한 시나리오에서의 테스트가 필요하다고 판단된다. 실험을 통해 다중 객체에 대한 신호 감지, 바닥 면에서 반사된 신호, 원거리에 대한 범위 확보, 이상 신호가 튀는 현상 등에 대한 보정 작업을 진행하고 있으며, 현재까지는 기초연구를 위한 샘플 데이터를 활용한 단순 거리측정 및 객체 감지에 대한 수준이지만 생활 인지를 판별할 수 있는 파라미터들의 적용과 카운팅 기술을 확보하여 일상생활에 대한 추적 및 패턴 분석에 관한 확장된 연구로 진행 가능할 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 생활패턴 인지가 가능한 스마트 레이더 시스템 구현을 위한 레이더 모듈의 개발과 실험을 통한 모니터링 결과를 보여주고 있으며, 시나리오에 따른 실험의 결과에서 확인되는 바와 같이 레이더 모듈은 10m 이내의 객체 움직임(앞뒤, 좌우)에 대한 감지는 최적화되어있는 것으로 확인하였다.

향후 제안 레이더 모듈을 통해 낙상에 관한 판단도 충분히 가능할 것으로 판단되며, 무인 침입 감시 시스템(보안업체 물체 감지 센서), 스마트 가전의 모션 감지 센서(스마트TV의 물체 감지 센서), 차량 충돌 방지 감시 시스템(차량 전, 후방센서), 절전용 전등 자동 제어 시스템(절전용 센서 조명), 로봇 및 산업용 물체 감지 제어 시스템(로봇, 의료용, 군용 및 물체 측위) 등 다양한 산업 분야에서 확장된 응용서비스로 적용 가능할 것으로 기대된다.

#### ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 2020년 동서대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 이루어진 것임. (DSU-20200032)

REFERENCES

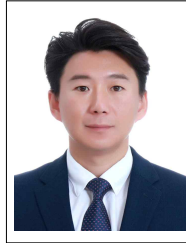
- [1] S. Haykin, "Adaptive Radar Signal Processing," Wiley, 2007.
- [2] G. T. Kim, "Next-generation intelligent radar development plan," The Proceeding of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 30, Iss. 2, pp. 3-9, 2019.
- [3] K. W. Kang and S. Y. Park, "The Modified Fall Detection Algorithm based on YOLO-KCF for Elderly Living Alone Care," Journal of the Institute of Convergence Signal Processing, Vol. 21, No. 2, pp. 86-91, 2020.
- [4] H. H. Park, "A Review of 3D Object Tracking Methods Using Deep Learning," Journal of the Institute of Convergence Signal Processing, Vol. 22, No. 1, pp. 30-37, 2021.
- [5] S. J. Ko and J. H. Lee, "Performance Analysis of Detector in Automobile Pulse Radar with Considering Interference," IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol. 14, Iss. 1, pp. 11-18, 2019.
- [6] S. J. Moon and H. K. Kim, "A Precise Location Tracking System with Smart Context-Awareness Based-on Doppler Radar Sensors," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 16, No. 12, pp. 1159-1166, 2010.
- [7] C. Gu, Z. Peng, and C. Li, "High-precision motion detection using low complexity Doppler radar with digital post-distortion technique," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., Vol. 64, No. 3, pp. 961-971, Mar. 2016.
- [8] K. W. Yoo, J. H. Chun, C. H. Ryu, "Multi-Target Position Estimation Technique Using Micro Doppler in FMCW Radar System," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 27, No. 11, pp. 996-1003, 2016.

---

저자 소개

---

정 상 중 (Sang-Joong Jung)



2007년 2월 : 동서대학교  
전자공학과(공학사)  
2009년 2월 : 동서대학교  
유비쿼터스IT학과(공학석사)  
2013년 2월 : 부경대학교  
전자공학과(공학박사)  
2013년 12월 : University of Oulu  
정보통신공학과(공학박사)

2020년 6월~현재 : 동서대학교 인공지능융합학과 조교수  
관심 분야 : 스마트 레이더 시스템, 모바일 응용,  
헬스케어, 스마트 양식, 사물인터넷, 시기능 훈련  
시스템