JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 23, No. 8: 936~942, Aug. 2019

실내 복도환경에서의 컨벌루션 신경망을 이용한 드론의 자율주행 연구

조정원[1] · 이민혜[2] · 남광우[3] · 이창우[3*]

Autonomous Drone Navigation in the hallway using Convolution Neural Network

Jeong Won Jo[1] · Min Hye Lee[2] · Kwang Woo Nam[3] · Chang Woo Lee[3*]

[1]Undergraduate, School of Computer Inf. & Comm., Kunsan National University, Gunsan, 54150 Korea
[2]Postdoc, School of Computer Inf. & Comm., Kunsan National University, Gunsan, 54150 Korea
[3*]Professor, School of Computer Inf. & Comm., Kunsan National University, Gunsan, 54150 Korea

요 약

실내 자율 주행은 실외 환경에서의 자율 주행과는 다른 환경적인 요소가 주어진다. 폐쇄된 환경에서 좁은 길을 따라 주행해야 하며, 불규칙한 조명, 계단과 같은 지형의 특성, 바닥에 산재한 장애물 등 실외 환경과 다른 요소를 극복해야 한다. 또한 실내 복도에서의 주행은 텍스처가 유사하거나 다양성이 적은 환경의 경우 복잡한 환경에 비해 인식에 어려움이 있다. 본 논문에서는 다양성이 적은 실내 복도환경에서의 컨벌루션 신경망(CNN)을 이용한 자율 주행 드론을 연구한다. 설계한 신경망은 드론의 전면 카메라로부터 이미지를 받아온 후, 그 이미지를 바탕으로 다음 경로를 예측하여 드론을 조향한다. 총 38번의 주행 테스트 결과, 복도 주변의 벽이나 문에 부딪히지 않고 직선 구간을 완주하여 다양성이 적은 실내 환경에서의 주행 성능을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Autonomous driving of drone indoor must move along a narrow path and overcome other factors such as lighting, topographic characteristics, obstacles. In addition, it is difficult to operate the drone in the hallway because of insufficient texture and the lack of its diversity comparing with the complicated environment. In this paper, we study an autonomous drone navigation using Convolution Neural Network(CNN) in indoor environment. The proposed method receives an image from the front camera of the drone and then steers the drone by predicting the next path based on the image. As a result of a total of 38 autonomous drone navigation tests, it was confirmed that a drone was successfully navigating in the indoor environment by the proposed method without hitting the walls or doors in the hallway.

키워드 : 자율주행, 드론, 조향, 컨벌루션 신경망

Keywords : Autonomous Driving, Drone, Steering, Convolution Neural Network

Received 11 June 2019, **Revised** 23 June 2019, **Accepted** 8 July 2019

*** Corresponding Author** Chang Woo Lee (E-mail : leecw@kunsan.ac.kr, Tel:+82-63-469-4861)
Professor, School of Computer Inf. & Comm., Kunsan National University, Gunsan, 54150 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.8.936 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/li-censes/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

4차 산업의 핵심 이슈인 무인 자동차, 자율 주행 드론은 인공지능의 발전과 더불어 유례없는 연구 성과를 보이고 있다. 도로 상황에 한정적인 자동차와 달리 드론은 지상의 상황에 얽매이지 않기 때문에 범용성이 높다. 해외에서는 간단한 배달 서비스부터 접근이 어려운 지역이나 건물에서의 인명 수색에 대한 연구가 진행되고 있다[1-3]. 드론을 자율적으로 조향하기 위해서는 신경망을 이용하여 충돌을 학습하는 방법과 비전 시스템을 이용한 경로 중심 학습법이 많이 사용된다. 실외 환경에서는 넓은 지역 범위, 다양한 경로, 장애물 등이 주행 장애의 원인이 된다. 이러한 단점을 해결하고자 두터운 심층 신경망과 다양한 환경에서의 복잡하고 방대한 데이터셋을 필요로 한다[3-7]. 드론은 실외 환경에 국한되지 않고 실내에서의 야간 경비, 화재 시 내부 탐색, 인명 수색 등에 사용할 수 있다. 실내 환경에서의 자율 주행 시스템은 광원, 장애물, 제한된 공간에서의 인식 문제에 쉽게 직면한다. 실시간으로 위치를 인식하고 판단해야 하는 자율 주행에서의 가장 중요한 문제는 주변의 텍스처 유무이다. 비전 시스템을 이용하는 자율주행은 입력 영상에서 텍스처 특징에 따라 주변 환경을 판단하게 된다[8, 9]. 다양한 텍스처 검출이 가능한 상황에서의 인식은 쉬우나, 복도와 같이 텍스처의 다양성이 적은 환경의 경우에는 현재 상황에 대한 인식에 어려움이 있다.

본 논문에서는 텍스처의 다양성이 적은 복도에서 신경망 학습을 통해 자율 주행이 가능한 드론 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 텍스처 유무에 따른 주행 성능을 확인하기 위해 드론에 내장된 카메라를 이용하고 경로를 중심으로 학습을 진행한다. 드론을 조향하기 위한 신경망 구조로 컨벌루션 신경망(Convolution Neural Network, CNN)을 사용한다. 논문에서 제안하는 CNN은 드론의 카메라로부터 이미지를 받아와 지속적으로 기체를 조향한다. 이러한 비전 기반 시스템은 드론이 장애물과 충돌하지 않고 주행할 수 있도록 도와준다.

Ⅱ. 제안된 시스템

2.1. 전체 구성도

제안한 실내 복도환경에서의 자율 주행 드론 시스템의 구조는 그림 1 블록도와 같다. 드론에 장착된 카메라를 통해 획득한 영상은 노트북에서 OpenCV 기반의 영상으로 사용자에게 제공된다. 수신 영상을 바탕으로 데스크톱 환경에서 학습시킨 컨벌루션 신경망을 통해 드론 기체를 조향하게 된다. 드론의 부족한 연산 성능을 보완하고 학습된 신경망을 통해 조향 방향을 판단하여 명령을 내리는 컨트롤러 역할은 노트북에서 하게 된다.

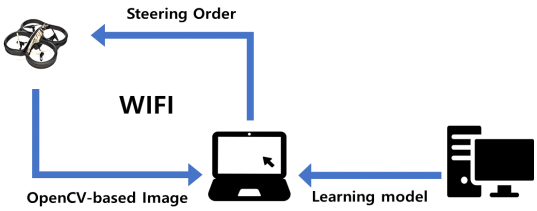


Fig. 1 System architecture

2.2. 시스템 환경 및 제안 신경망 구조

신경망 학습에는 많은 연산 성능이 요구되며, 연산 성능이 높을수록 학습속도도 빨라진다. 따라서 학습시간의 절감을 위해 별도의 데스크톱 환경을 구축하여 신경망 학습을 진행한다. 학습을 위한 환경 사양은 I7 8700k, 48GB RAM, GTX 1060 3GB으로 학습시간은 0.5시간 소요된다. 본 논문에서는 객체 분류 분야에서 많이 사용되고 있는 컨벌루션 신경망을 이용하여 학습 모델을 설계하였다. 컨벌루션 신경망은 공간 정보를 소실하지 않기 때문에 이미지 학습에 있어서 이점이 있다[10].

드론을 통해 수집되는 이미지 크기는 1280×720으로 축소 없이 학습과 예측을 진행하면 시스템에 많은 연산 부담을 주게 된다. 따라서 이미지는 신경망 입력 전에 224×224 크기로 축소한다. 또한, 신경망이 입력데이터로부터 많은 정보를 학습할 수 있도록 4장의 이미지가 중첩되어 입력된다. 입력 데이터는 3개의 컨벌루션 계층과 완전연결 신경망 계층(Fully connected layer)을 거치게 된다. 각 컨벌루션 계층들의 필터 크기는 3×3이다. 필터의 개수는 16, 32, 64로 2배수로 증가되도록 설계한다. 필터를 거치면서 이미지 데이터는 특징 맵으로 변환되며, 각 특징 맵에는 필터가 검출한 특징이 표시된다. 컨벌루션 계층마다 다음 계층으로 넘어가기 전 특징 맵을 압축하는 Max-Pooling 계층이 존재하며, 신경망의 마지막 단에는 완전 연결 신경망 계층이 존재한다. 완전 연결 신경망 계층의 노드 수는 각각 1024, 512개이며,

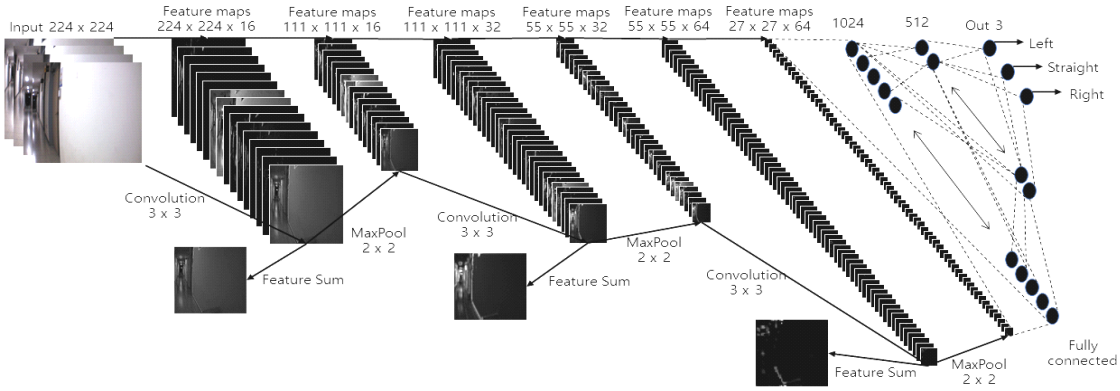


Fig. 2 CNN model for drone self driving

이 계층을 통과하여 3개의 출력을 얻게 된다. 대량의 이미지 데이터를 처리하는 ResNet과는 달리 본 연구에서는 적은 이미지 데이터를 학습하기 때문에 신경망 구조를 작게 설계한다[6]. 또한, 드론의 조향은 드론의 전면 카메라에서 촬영한 이미지를 해석하여 진행되기 때문에 이미지 처리에 강점을 보이는 컨벌루션 신경망으로 설계한다. 제안하는 신경망 구조를 그림 2에 도식화하여 나타내었다.

2.3. 소프트웨어 처리

제안된 컨벌루션 신경망은 이미지 데이터를 받아서 조향 명령을 내리는 역할을 수행한다. 만약 잘못된 조향 명령으로 인해 드론이 장애물로 진행할 경우 사용자가 원격으로 강제착륙을 시킬 수 있다. 이 강제착륙 명령은 신경망의 조향 명령에 간섭받지 않는다.

전체적인 프로그램 언어는 Python을 사용한다. 개발 IDE는 Pycharm을 이용했으며, 드론을 제어하기 위한 소프트웨어 모듈로는 pyardrone을 사용한다[11]. 이미지 처리의 편의를 위해 영상처리 오픈소스 라이브러리인 OpenCV를 사용하였으며 신경망 프레임워크로는 구글(google)에서 개발한 기계학습용 오픈 소프트웨어인 Tensorflow에 있는 keras API를 이용한다[12, 13].

2.4. 학습된 신경망을 이용한 드론 조향

그림 3에 드론 조향을 위한 시스템 흐름도를 나타내었다. 드론과 통신을 하고 이미지를 수신하기 위해서는 첫 번째 단과 같이 조향 시스템과 드론이 Wi-Fi로 연결이 되어있어야 한다.

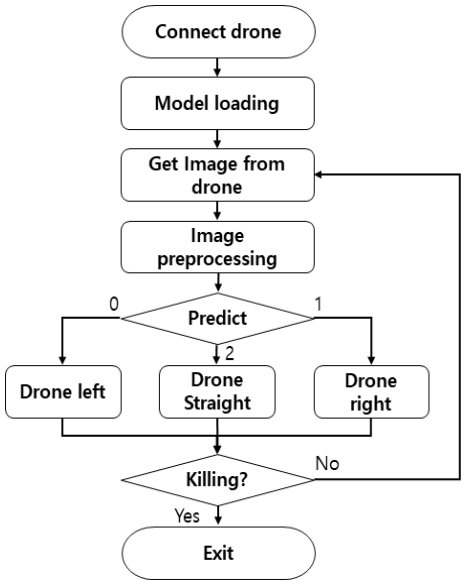


Fig. 3 System flowchart for drone direction control

드론과 조향시스템의 연결이 완료되면 학습 모델을 불러온다. 학습모델을 바탕으로 드론의 정면 카메라로부터 입력된 영상을 이용하여 조향 방향을 예측한다. 수신된 이미지는 크기를 줄이는 전처리 과정을 거친 후에 설계된 컨벌루션 신경망으로 입력된다. 컨벌루션 신경망은 입력된 이미지를 분석하여 정면, 왼쪽, 오른쪽 중 하나를 선택해서 조향한다. 이 과정은 드론으로부터 이미지를 얻는 과정부터 무한 반복된다. 중간에 대기하고 있던 킬 스위치 쓰레드에서 신호가 발동될 경우 시스템을 종료한다. 신경망 출력은 0, 1, 2로 나뉘며 각각 왼쪽,

오른쪽, 정면을 뜻하는 신호이다. 출력 후 해당 신호의 제어 명령에 따라 드론을 조향하게 된다.

Ⅲ. 실험 및 결과 고찰

3.1. 드론의 제원 및 조향 컨트롤러 시스템 사양

복도 환경을 주행하는 데 있어서 드론이 벽면과 충돌하면 프로펠러 또는 모터가 쉽게 망가지는 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 가격이 저렴하며 실내용 보호대를 제공하는 AR Drone 2.0을 사용하였다[14]. 사용된 드론에는 3축 가속도 센서, 초음파 센서, 3축 자이로스코프 및 720p 30fps HD로 영상 촬영이 가능한 전면 카메라가 내장되어있다. 모든 통신 및 센서 데이터처리는 드론 내부 CPU에서 처리된다.

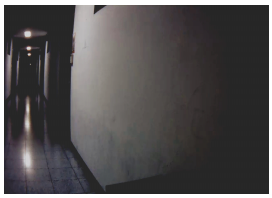
드론에게서 이미지 데이터를 수신 받아 설계한 신경망을 통해 조향 명령을 내릴 시스템으로 DELL의 모델명 XPS 노트북을 사용하였다. 또한 노트북의 특성상 Wi-Fi를 사용하기 때문에 드론의 부족한 연산 성능 대신하여 신경망을 탑재해 조향 명령을 내리는 역할을 한다.

3.2. 신경망 학습을 위한 데이터셋

본 논문에서의 실험환경은 실내 복도환경을 대상으로 한다. 데이터셋은 1280×720 jpeg 이미지 전면 5,594장, 좌측 10,283장 우측 10,282장을 사용하였다. 신경망 학습 전 모든 이미지를 224×224 크기로 축소 후, Tensorflow에서 지원하는 이진형식의 .tfrecord 포맷의 파일로 변환하여 저장하였다. 학습 전 과적합을 방지하기 위해 신경망에서 밝기, 임의의 RGB 변환, 반전 등 효과를 그림 4의 (a)~(c)와 같이 적용하여 학습을 진행하였다. 이러한 효과는 신경망의 학습에 다양한 환경을 제공한다. 해당 데이터셋을 이용한 신경망 학습은 전체 데이터셋을 10번 반복하여 진행하였다.

(a) Brightness

(b) Random RGB color



(c) Inversion effect

Fig. 4 Data argumentation

신경망 학습결과 별도로 준비한 실험 데이터에서는 96%의 정확도를 기록하였으며, 총 epoch는 8로 설정하였고, epoch에 따른 학습 데이터와 검증 데이터의 정확도 및 손실을 그림 5에 그래프로 표시하였다.

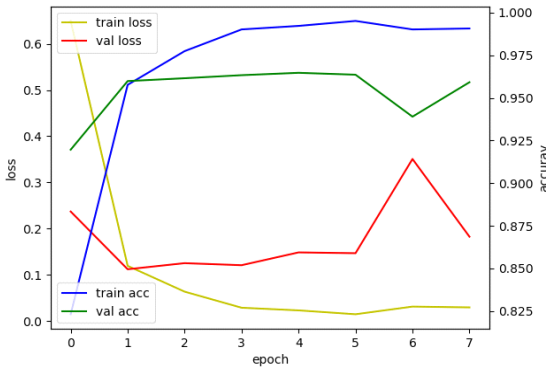


Fig. 5 Model accuracy

3.3. 자율 주행 테스트

데스크톱에서 학습이 끝난 학습모델은 노트북에 있는 컨트롤 모듈로 이식하였으며, 실험 목표를 그림 6과 같이 직선 구간의 복도에서 드론의 완주 여부로 설정하고 자율 주행을 테스트하였다.

Fig. 6 Realtime test in the indoor corridor environment

입력 이미지와 추출 된 특징 맵의 관계성을 확인하기 위해 컨벌루션 신경망에 임의의 이미지를 입력하여 각 컨벌루션 계층을 거쳐 추출된 특징 맵의 결과를 얻을 수 있다. 이러한 특징 맵의 출력은 학습 이미지가 신경망에 오류 없이 입력되고 있음을 확인할 수 있으며 신경망이 학습하고 있는 특징을 시각적으로 표현할 수 있는 장점이 있다. 확인을 위해 임의로 선택한 복도 우측 이미지 원본을 학습된 컨벌루션 신경망에 입력하고 추출된 특징 맵의 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에 나타낸 이미지들은 신경망의 첫 번째 컨벌루션 레이어단에서 출력한 16개의 특징 맵을 이미지화한 것이다. 각각의 특징 맵에 나타난 특징들은 주로 복도의 소실점에 산재하는 것을 확인할 수 있었다.

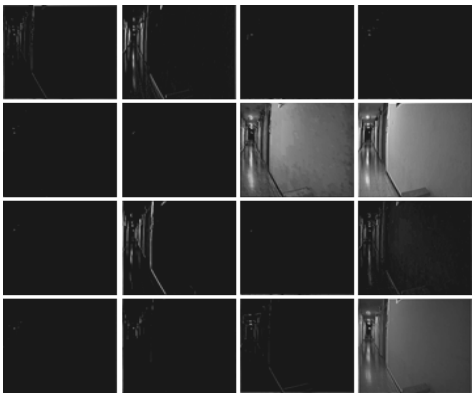
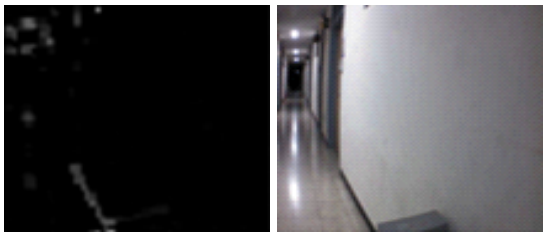


Fig. 7 Convolution layer weight feature images

추출된 그림 7의 특징 맵들을 합산하면 그림 8의 (a)~(c)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림 8의 (a)~(c)는 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 컨벌루션 계층에서 추출된 특징 맵의 합이며, 그림 8의 (d)는 컨벌루션 신경망에 입력된 원본 이미지이다. 그림 8의 (a)~(c) 이미지를 통해 신경망이 소실점 부근에서 특징을 찾는다는 사실을 확인할 수 있었다.

(a) 1conv layer sum (b) 2conv layer sum



(c) 3conv layer sum (d) original

Fig. 8 Weight of combined feature images

3.4. 자율 주행 테스트 결과

제안된 방법으로 실내공간에서 드론의 자율주행을 총 38회 실험한 결과, 신경망은 평균적으로 초당 60 ~ 65번 조향 명령을 내렸다. 실험 과정을 거치면서 신경망이 주어진 상황에 대해 옳은 결정을 내렸는지 알아보기 위해 정확도 및 각 명령의 비율을 조사하였다. 정확도의 판단 기준은 드론이 벽면에 접촉 또는 충돌이 발생한 상황에서 내린 명령으로 정하였다. 실험은 신경망에서 결정한 조향 명령과 명령을 내리는데 바탕이 된 이미지를 중심으로 진행하였다.

표 1에 나타낸 바와 같이, 총 38회의 실험 결과에서 텍스처의 다양성이 적은 복도 환경에서의 주행 정확도는 100%로 도출되었다. 방향별 조향 명령의 비율은 좌측 13%, 우측 4%, 정면 83%로 도출되었다. 직선 구간의 복도 특성상 신경망은 주로 직진 조향 명령을 내린 것으로 확인된다.

Table. 1 Accuracy by direction

Direction	Accuracy(%)	Percent(%)
Left	100	13
Right	100	4
Straight	100	83

앞서 언급한 실험 환경에서 컨벌루션 신경망을 이용한 자율주행 드론은 표 2에서와 같이 복도 구간 전체의 완전 주행에 성공하였다. 총 주행 시도 횟수는 38회이며 드론의 고도를 1m로 유지하여 복도 구간을 1회 완주하는데 평균 19초가 소요됨을 확인하였다.

Table. 2 Result of drone navigate

	Result(average)
Driving count	38
Time	19s
Height of drone	1m
Accident per one try	0
Steering per second	63

Ⅳ. 결 론

본 논문은 자체 설계한 컨벌루션 신경망을 이용하여 다양성이 적은 복도 환경에서 자율 주행이 가능한 드론 시스템을 제안하였다. 설계한 신경망을 이용하여 학습을 마친 드론은 다양성이 적은 복도 환경에서도 부딪힘과 파손 없이 주행할 수 있었다. 본 연구의 목적인 단조로운 복도 환경에서의 주행 테스트를 위해 텍스처의 다양성을 배제하고 장애물이 없는 공간에서 진행하였다. 향후 연구에서는 창문을 통해 광원에 영향을 받는 실내 환경에서의 주행 가능성을 확인하여 설계한 시스템의 정확성을 더 높이고자 한다. 또한, 복도를 주행 중 마주칠 수 있는 사람과 같은 장애물을 인식해 회피할 수 있는 시스템으로 확장을 계획하고 있다. 추가 연구를 통해 점진적으로 드론을 이용한 실내 자율 주행의 신뢰성을 높일 수 있다면, 화재 현장에서의 대피나 안내, 건물 내부 순찰 및 감시 부분에서 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) grant funded by the Korea Government(MOTIE)(N0002428, The Competency Development Program for Industry specialist) and Grant (14NSIP-B080144 -01) from National Land Space Information Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government

REFERENCES

[1] S. W. Lim, S. M. Cho, G. M. Park, “Integrated Video Analytics for Drone Captured Video”, *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 24, no. 2, March, 2019.

[2] H. D. Yoo, “Drone-delivery Using Autonomous Mobility: An Innovative Approach to Future Last-mile Delivery Problems”, in Proceeding of *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Thailand, 2018

[3] N. Smolyanskiy, A. Kamenev, J. Smith, S. Birchfield, “Toward Low-Flying Autonomous MAV Trail Navigation using Deep Neural Networks for Environmental Awareness”, in Proceeding of *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS)*, pp.4241-4247, 2017

[4] A. Giusti, J. Guzzi, D. C. Cires¸an, F.- L. He, J. P. Rodr´ıguez, F. Fontana, M. Faessler, C. Forster, J. Schmidhuber, G. Di Caro, D. Scaramuzza, L. M. Gambardella. “A machine learning approach to visual perception of forest trails for mobile robot”, 2015

[5] Dhiraj Gandhi, Lerrel Pinto and Abhinav Gupta, “Learning to Fly by Crashing”, in Proceeding of *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Canada, 2017

[6] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition”, in Proceeding of *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, USA, 2016

[7] D. W. Kim, W. J. Kang, Y. P. Koo, J. H. Bang, K. H. Son, Hostallero David,, S. E. Yoon, H. H. Yeo, J. H. Ha, N. S. Seo, D. S. Han, Y. Yi, “AI-Based Drone Object Tracking System: Design and Implementation”, *Journal of Korea Institute of Communication and Information Sciences*, vol. 42, No. 12, pp. 2391-2401, December, 2017

[8] H. J. Lee, S. S. Hwang, “Obstacle Avoidance Algorithm for Indoor Autonomous Drone Using IR Sensor and Forward Image Information”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol.23, no. 9, pp. 803-809, September, 2017

[9] J. Y. Yang, “Development of Reinforcement Learning-based Obstacle Avoidance toward Autonomous Mobile Robots for an Industrial Environment”, *Journal of the Korea Contents Association*, vol. 19, no. 3, pp. 72-79, March, 2019.

[10] A. R. Song, Y. G. Kim, “Deep Learning-based Hyper -spectral Image Classification with Application to Environmental Geographic Information Systems”, *Journal*

of the Korean Society of Remote Sensing, vol. 33, no. 6-2, pp. 1061-1073, December, 2017.
[11] pypi, afg984 [Internet], Available: https://pypi.org/project/pyardrone
[12] OpenCV [Internet], Available: https://opencv.org/
[13] tensorflow [Internet], Available: https://www.tensorflow.org/?hl=ko
[14] Parrot [Internet], Available https://www.parrot.com/global/drones/parrot-ardrone-20-elite-edition#parrot-ardrone-20-elite-edition

조정원(Jeong Won Jo)
군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 학부생
※ 관심분야 : 머신러닝, 컴퓨터비전

이민혜(Min Hye Lee)
군산대학교 컴퓨터정보공학과(공학사)
원광대학교 전자공학과(공학석사)
원광대학교 전자공학과(공학박사)
군산대학교 박사 후 연구원
※ 관심분야 : 딥러닝, 영상처리, 헬스케어

남광우(Kwang Woo Nam)
충북대학교 전자계산학과 이학사
충북대학교 전자계산학과 이학석사
충북대학교 전자계산학과 이학박사
군산대학교 공과대학 컴퓨터정보통신공학부 정교수
※ 관심분야 : 공간데이터베이스, 데이터마이닝

이창우(Chang Woo Lee)
경일대학교 컴퓨터공학과 공학사
경북대학교 컴퓨터공학과 공학석사
경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
군산대학교 공과대학 컴퓨터정보통신공학부 정교수
※ 관심분야 : 컴퓨터비전, 머신러닝, 패턴인식