

# 인공지능 기반 드론 목표물 추적 시스템의 설계 및 구현

김 대 우\*, 강 완 주\*, 구 윤 표\*, 방 지 환\*, 손 경 환\*, David Hostallero\*,  
윤 세 은\*, 여 현 호\*, 하 재 형\*, 서 난 술\*\*, 한 동 수\*, 이 융°

## AI-Based Drone Object Tracking System: Design and Implementation

Daewoo Kim\*, Wan Ju Kang\*, Yoon-pyo Koo\*, Jihwan Bang\*,  
Kyung-hwan Son\*, David Hostallero\*, Se-eun Yoon\*, Hyun-ho Yeo\*,  
Jae-hyeong Ha\*, Nansol Seo\*\*, Dongsu Han\*, Yung Yi°

### 요 약

본 논문에서는 인공지능을 활용하여 드론(무인 항공기)이 목표물을 추적하는 시스템의 설계, 구현, 성능 평가를 소개한다. 목표물 추적하기 위해서는 드론에서 촬영한 영상에서 목표물을 인지해야 하며 이를 기반으로 드론의 움직임을 결정해야 한다. 인공지능 작업이 요구되는 곳은 정확한 목표물 인지를 위해서 신경망 기반의 인공지능 알고리즘의 적용과 불규칙적으로 움직이는 목표물을 놓치지 않으면서 동시에 드론의 에너지 소모를 최소화 하는 드론의 움직임을 결정하기 위해서 강화학습에 기반한 알고리즘의 적용이다. 사용자의 명령 전달 및 추적 결과를 확인하기 위하여 지상관제센터(GCS)와 드론간의 네트워크 연결 또한 필수적인 요소이다. 이러한 작업들을 효과적으로 수행하기 위한 플랫폼이 필요하며, 이러한 드론 플랫폼은 네트워킹, 인공지능 연산, 강화학습을 통한 드론 조종 기능 지원, 드론의 다양성 지원을 제공해야 한다. 본 논문에서는 이런 기능을 수행하기 위한 요구사항을 정리하였으며, 이를 기반으로 목표물 추적을 위한 인공지능 기반 플랫폼을 제시하고, 실험과 시뮬레이션을 통하여 이를 검증하였다.

**Key Words** : Drone(UAV), Machine learning, Reinforcement learning, Target tracking, Communication

### ABSTRACT

We present an object tracking system utilizing artificial intelligence on Unmanned Aerial Vehicles (drones). Such a tracking mission requires that (i) the target be correctly detected from the visual data obtained from the camera and (ii) the drone be controlled accordingly to keep track of the target. In light of these requirements, we make use of a neural network-based AI algorithm for object detection and a reinforcement learning-based algorithm for robust and energy-efficient drone control in the tracking of objects following irregular, arbitrary paths. In addition, the need to deliver user commands to the drones and to obtain tracking results from them has led to our development of a GCS (Ground Control Station) and the networking between the drones and the GCS. We believe that all the aforementioned tasks call for the design and implementation of a comprehensive platform, providing basic functionalities including networking, AI job processing, drone control with reinforcement

※ 본 연구는 국방과학연구소 “통합운용 무인기 조종통제 데이터링크 표준기술 연구 (UD160006ED)”의 지원을 받아 수행됨

• First Author : School of Electrical Engineering, KAIST, daewookim@kaist.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : School of Electrical Engineering, KAIST, yiyung@kaist.edu, 종신회원

\* School of Electrical Engineering, KAIST, {soarhigh, ypkoo, jhbang1422, kevinson9473, ddhostallero, granelle, pkpk5958, thundershower, dongsu\_han}@kaist.ac.kr

\*\* Agency for Defense Development, solbb@add.re.kr

논문번호 : KICS2018-10-316, Received October 20, 2017; Revised December 8, 2017; Accepted December 11, 2017

learning, and expandability to different brands and types of drones. This paper thus (i) defines the specific requirements of such a platform, (ii) introduces an AI-based object tracking platform built on the said specifics, and (iii) verifies the platform functionalities with field experiments and simulations.

## I. 서 론

최근 드론(무인항공기) 개발과 보급이 가속화되고 있으며, 글로벌 기업인 구글, 아마존 등이 드론의 상업적 활용을 선언하는 등, 드론 산업의 시장 규모는 지속적으로 성장하여 2021년에 약 1조 3000억원에 이를 것으로 전망된다<sup>[1]</sup>. 이런 드론시장의 성장은 드론 컨트롤 기술, 드론 통신 기술, 컴퓨팅 기술, 센서 기술 등의 핵심 기술의 발전과 함께 이루어지고 있다. 이러한 기술을 바탕으로 다양한 응용들에서 드론을 적극적으로 활용하고 있다. 예를 들어 드론은 감시, 탐색 및 구조, 야생 환경 보호 등의 다양한 분야에 사용되고 있으며, 관련 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 위와 같은 응용에서 요구되는 핵심 기능은 임의의 목표물을 인지하고 추적하는 기술이다. 이러한 기술은 앞서 제시한 응용들뿐만 아니라 여러 민용, 상용, 군용 서비스를 실현시킬 것으로 기대된다. 따라서 드론 추적시스템의 구현이 다각도에서 시도되고 있다<sup>[2]</sup>.

하지만 목표물 추적 시스템을 드론에서 구현하기에는 다음과 같은 제약사항이 존재한다. 첫째, 드론의 연산 능력의 제약이다. 드론에 있는 연산장치는 드론 조종 기능에 맞추어 디자인이 되어 있어 추적을 위한 복잡한 연산을 수행하기에 적합하지 않으며 드론에 추가할 수 있는 연산장치 또한 그 무게 때문에 그 기능이 제한되어 있다. 따라서 드론의 제한된 연산장치를 고려하여 추적 시스템을 디자인 하여야 한다. 둘째, 드론에는 에너지 제약이 존재한다. 따라서 에너지 효율적으로 목표물을 추적해야 더 오랜 시간동안 목표

물 추적이 가능하다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 임의의 목표물을 추적하기 위하여 영상을 기반으로 드론이 목표물을 추적하는 시스템을 설계, 구현 및 성능 검증을 하고자한다. 영상 기반 추적 시스템을 위해서는 다음의 두 가지 핵심 기능이 필요하며, 이 기능들은 인공지능 기술에 의해서 정교화 될 수 있다. 첫째 기능은 드론의 카메라 센서로 부터 받은 영상에서 목표물을 찾아내는 것이다. 제안하는 시스템에서는 신경망 구조 기반의 인공지능 알고리즘을 이용하여 목표물의 위치 및 사이즈를 찾아낸다. 이 과정에서 연산량을 효율적으로 줄이면서 목표물을 추적하는 방법을 제안한다. 둘째 기능은 목표물을 추적하기 위해 드론을 제어하는 기능이다. 목표물을 지속적으로 카메라 화면 내에 위치시키면서 적절한 거리를 유지하고, 또한 드론의 소모 에너지 또한 적게 들 수 있도록 드론이 움직여야 한다. 이를 위하여 제안하는 시스템에서는 강화학습 기반의 목표물 추적 알고리즘을 제안한다.

드론이 목표물 추적 미션을 잘 수행하기 위해서는 위의 다양한 작업들이 서로 맞물려 잘 실행될 수 있도록 기본 기술들을 제공하는 플랫폼이 필요하다. 이러한 드론 플랫폼은 드론과 지상관제센터와의 네트워킹, 인공지능 연산, 강화학습을 통한 드론 조종 기능 지원 및 API 정립을 통한 드론의 다양성 지원을 제공해야 한다. 따라서 본 연구에서는 드론이 인공지능을 활용하여 목표물을 추적할 수 있도록 기본 기능을 지원하는 플랫폼을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 드론 추적 시스템과 관련된 연구를 조사하며, 3장에서는 드론 목표물 추적 시스템의 요구사항 정리 및 요구사항을 만족시키기 위한 디자인을 제시한다. 4장에서는 구체적인 구현 방법에 대해 알아보고 구현된 시스템의 성능을 측정, 분석한 후, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

본 논문에서는 드론 목표물 추적 시스템을 제안하고자 한다. 드론 목표물 추적 시스템은 크게 목표물을 인지하는 과정과 드론의 움직임을 결정하는 과정으로 나누어져서 진행된다.

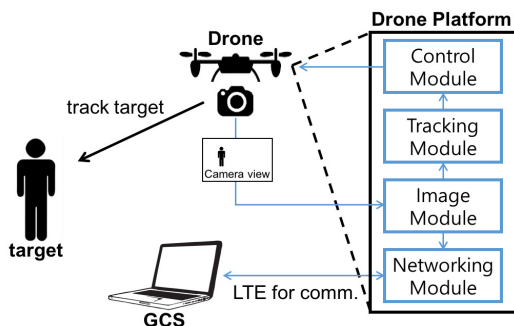


그림 1. 드론 기반 목표물 추적 시스템 개요  
Fig. 1. Outline of the drone-based target tracking system

기존 관련 연구에서 목표물을 인지하기 위한 방법은 크게 (1) 위치 (GPS) 기반, (2) 기타 센서 기반, (3) 영상 기반 시스템으로 구분할 수 있다. GPS기반 시스템이 가장 보편화되어 있으며 수 미터 수준까지 거리를 유지하며 추적이 가능하다<sup>3)</sup>. 그러나 목표물에도 GPS 수신기가 장착되어야 한다는 점 때문에 활용에 제약이 있다. 이 외에 RF 신호<sup>4,5)</sup> 또는 음파<sup>6,7)</sup>에 기반을 둔 목표물 추적 시스템이 연구되었다. 하지만 잡음에 취약하다는 점이 해당 방법론의 한계점으로 알려져 있다. 영상 기반 추적시스템은 영상으로부터 목표물을 인지하여 추적한다. 드론에 장착된 카메라로부터 획득한 2차원 이미지를 참조해, 드론과 목표물의 상대적 위치 및 속도를 계산하고 이에 맞추어 드론을 움직이는 방식으로 알고리즘이 동작한다<sup>8,9)</sup>. 더 나아가 한 연구에서는 드론이 목표물을 놓치는 상황을 고려하였으며, 목표물이 화각에 다시 들어올 때까지 현재 위치를 고수하는 방식을 제안하였다<sup>10)</sup>. 하지만 이러한 연구들은 드론이라는 임베디드 하드웨어의 부족한 계산처리능력을 고려하지 않고 설계하였다.

목표물을 인지한 결과를 바탕으로 드론의 움직임을 결정하기 위한 다양한 연구들 또한 진행되었다. 이를 위하여 가장 기본적인 알고리즘인 PID 제어를 통하여 드론을 조종하여 목표물을 추적하는 연구가 진행되었다<sup>11)</sup>. 또한 Model Predictive Control 및 강화학습을 통하여 드론이 정해진 경로를 따라 가도록 하는 연구 또한 진행되었으며<sup>12)</sup>, 신경망 강화학습을 통하여 드론의 대형을 제어하려는 시도가 있었다<sup>13)</sup>.

본 연구에서는 앞서 소개된 선례들을 바탕으로 (1) 효율적인 영상 기반 인지를 제공하는 영상 기반 추적 시스템을 설계, (2) 학습을 통해 드론의 추적 방식을 동적으로 수정 및 보완할 수 있고, (3) 나아가 강화학습 알고리즘을 활용하여 드론의 에너지 자원을 효율적으로 활용하는 추적 시스템을 설계하는 것을 목표로 한다.

### III. 드론 플랫폼 디자인

#### 3.1 디자인 요구 사항

본 장에서는 목표물 추적 시스템이 필요로 하는 디자인 요구사항을 정리하고, 각 요구사항을 충족하기 위하여 어떠한 디자인 구성요소가 선택, 설계, 구현되었는지 알아본다.

**(가) 효과적인 목표물 추적 :** 추적 시스템의 핵심 기능은 드론이 목표물을 따라가도록 하는 것이다. 효과적인 추적은 다음 두 가지를 만족해야 한다. 첫번째

는, 카메라로부터 얻은 영상 정보에서 목표물을 빠르고 정확하게 인식하는 것이고, 두 번째로는 인식한 목표물을 드론이 정확하게 그리고 에너지 효율적으로 추적하는 것이다. 효과적인 추적을 이루는 두 축을 담당하는 모듈들의 구조는 3.4와 3.5 에서 설명한다.

**(나) 지상 관계 센터(GCS)와 드론의 안정적인 연결 :** 사용자의 명령을 드론에게 전달하고, 드론의 상태를 사용자에게 보여주는 GCS는 드론과 항상 안정적으로 연결되어야 한다. 드론에게 전달되는 명령은 추적 시작 및 종료하는 등의 간단한 명령도 있지만 드론의 미세한 움직임을 조종하거나 위급상황에 대처하는 등 복잡하고 짧은 시간 내에 이루어 져야하는 명령도 존재한다. 이러한 명령들은 드론에서 전달되는 속도, 위치 등의 상태 보고에 기반하고 있다. 따라서 GCS와 드론의 연결이 불안정 할 경우 추적 성능 저하 뿐만 아니라 안전에 문제가 생길 수도 있기 때문에 드론과 GCS간의 연결은 매우 중요하다. 3.7에서는 이러한 통신에 적합한 프로토콜 후보군을 정리하고, 각 프로토콜의 장단점을 파악, 분석을 통하여 본 시스템 디자인의 이유를 설명한다.

**(다) 다양한 인공지능 알고리즘 적용을 위한 유연한 플랫폼 구조 :** 목표물 인지 또는 목표물의 움직임을 인식하는 데에는 여러 가지 인공지능 알고리즘이 사용될 수 있으며, 목표물 추적을 위한 드론의 움직임을 결정하는 데에도 강화학습에 기반한 다양한 알고리즘이 존재한다. 사용되는 알고리즘은 추적하는 목표물, 드론의 특성 등 다양한 요소에 따라 유동적으로 달라 질 수 있다. 이를 위하여 플랫폼은 다양한 알고리즘을 적용하여 사용할 수 있는 유연한 구조를 가져야 하며 3.3에서 이를 위한 디자인을 설명한다.

**(라) 다양한 드론에 대한 확장성 제공 :** 목표물 추적 시스템은 다양한 드론에서 동작 할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 DJI Matrice 100, DJI Matrice 600 드론이 실험에 사용되었으며, 본 시스템에 대한 테스트를 위하여 V-REP<sup>18)</sup> 시뮬레이터 드론 모델이 사용되었다. 이와 같이 드론의 종류에 구애받지 않고 목표물 추적을 하기 위해서는 다양성을 지원하기 위한 드론의 추상화가 필요하며, 3.6에서는 이를 위한 설계에 고려된 점들을 알아본다.

**(마) 사용의 편리성 :** 드론 추적 시스템을 사용자가 편리하게 사용할 수 있어야 하며, 이를 위해 다음의 기능이 필요하다. 첫 번째로 직관적인 드론 통제를 위해서는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)가 요구된다. GUI에서는 각각의 드론으로부터 실시간 영상 정보를 제공 받아 출력하고, 드론의 위치를 지도 상에

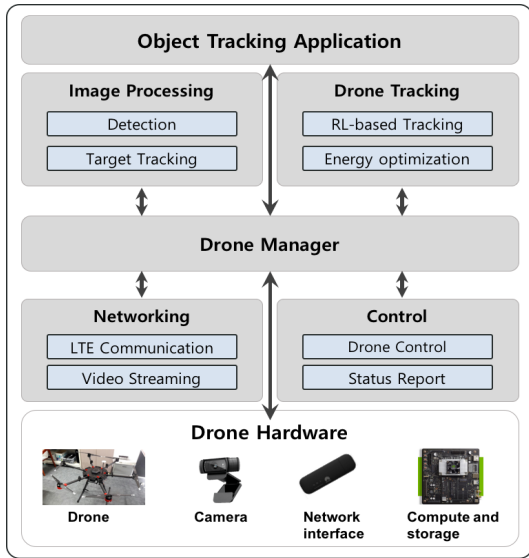


그림 2. 목표물 추적 시스템의 모듈 구성  
Fig. 2. The modular composition of the target tracking system

표시하는 등의 작업을 수행한다. 두 번째로 드론이 목표물을 추적하면서 찍은 영상을 사용자가 직접 실시간으로 확인할 수 있어야 한다. 이를 위해 드론이 촬영하는 영상의 스트리밍 서비스가 요구된다. 마지막으로 본 연구에서는 편리성을 극대화하기 위해 음성인식을 통한 명령 하달이 가능하도록 구현하였고, 이에 대한 설명은 3.8에서 한다.

### 3.2 전체 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 시스템은 크게 드론상에서 수행되는 작업을 담당하는 드론 플랫폼 부분 (그림 2), 그리고 사용자가 드론을 관리할 수 있는 지상관제센터(GCS) 부분으로 나누어진다. 드론상에서 수행하는 일은 크게 4가지로 나누어지며 각각의 작업을 모듈화하여 설계하였다. 각 모듈의 역할은 다음과 같다.

**(가) 이미지 처리 모듈:** 드론에 장착된 카메라로부터 주기적으로 영상 정보를 제공받아 사진 상에서 목표물을 인식 및 크기를 알아내는 역할을 담당한다. 예를 들어 목표물을 사람으로 지정할 경우, 사진에서 사람으로 인식되는 물체를 사각형으로 표시하고, 위치 및 크기 정보를 추적 알고리즘 모듈에 메시지 형식으로 전달한다.

**(나) 드론 추적 알고리즘 모듈 :** 목표물을 쫓아가기 위하여 드론이 어떻게 움직여야 하는지 결정하는 역할을 한다. 이미지 처리 모듈로부터 연속적으로 전달 받은 목표물의 이미지 상 위치를 바탕으로 목표물

의 움직임과 현재 드론의 위치와 방향 정보를 참조하여 드론이 취해야 할 운동 방향을 결정한다.

**(다) 드론 조종 모듈 :** 목표물 추적 알고리즘 모듈로부터 얻은 드론의 움직임을 실제로 수행하는 역할을 담당한다. 실제로 드론에게 명령을 전달하여 움직이고, 또한 드론으로부터 정보를 받아와 GCS 및 드론 추적 알고리즘으로 전달하는 작업을 수행한다.

**(마) 네트워킹 모듈 :** 드론과 GCS 통신을 담당한다. json 형식으로 메시지를 주고 받으면서 드론의 주기적인 상태를 보고하고, 실시간으로 영상을 스트리밍하며, GCS로부터 명령을 전송하는 모듈이다.

드론 플랫폼에서는 위의 4가지 모듈들이 유기적으로 연결되어 동작되며 드론 매니저는 각각의 모듈간의 연결 및 각 모듈의 작업을 관리하는 역할을 수행하게 된다.

지상 관제 센터(GCS)는 다수의 드론 통제를 편리하고 직관적으로 수행하기 위하여 고안되었다. 음성인식 기반 드론 통제, GUI 상에서의 명령 전달, 위성지도 상 실시간 드론의 위치 표시 등을 수행하는 GCS는 드론과 지속적인 연결을 유지하며 각종 메시지를 주고받는다. 드론의 이/착륙부터 목표물 추적, 특정 대형 형성 등의 명령을 수행할 수 있도록 설계되었다.

이후의 소단원들은 앞서 소개된 각 모듈과 지상 관제 센터의 기능을 설계하는 데 있어 고려된 사안들을 정리하고, 시스템 설계 관점에서 어떠한 결정이 내려졌는지 분석한다.

### 3.3 드론 매니저 및 기본 모듈 구조

드론 매니저는 위에서 설명한 4가지 모듈이 유기적으로 동작할 수 있도록 관리하는 역할을 해준다. 각 모듈들은 다양한 이벤트를 발생시키는데, 예를 들어 GCS로부터의 명령 전달, 이미지 작업 수행 완료, 드론 추적 결과 도출, 드론의 이상현상 보고 등이 있다. 따라서 드론 매니저는 이러한 다양한 이벤트들을 효율적으로 관리할 수 있어야 한다. 또한 상황에 따라 다양한 인공지능 알고리즘을 적용하기 위하여 드론 매니저는 다음의 두 가지 역할을 수행도록 디자인 하였다.

**(가) 모듈간 연결을 위한 중재자 (broker) 역할 :** 다양한 모듈에서 발생한 이벤트를 효율적으로 관리하고 모듈 내의 알고리즘의 변화에도 유연하게 동작하기 위하여 각 모듈의 이벤트 전달 방식은 pub/sub 구조를 가지며 드론매니저는 pub/sub 중재자 (broker)의 역할을 수행한다. 이를 위하여 각 모듈들은 공통적으로 ‘메세지’를 publish 및 subscribe 기능을 수행할 수

있도록 설계하였다. 이벤트가 발생하면 각 모듈은 토픽을 포함하고 있는 '메세지'를 만들어 publish하게 되며 드론매니저는 해당 토픽을 구독하는 모듈에게 메세지를 전달하는 형태로 모듈간의 연결을 형성해 준다.

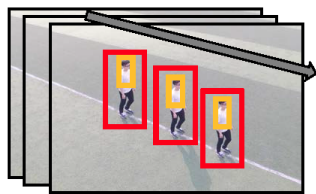
**(나) 작업 간 스케줄링 :** 각 모듈의 발생시키는 메시지는 서로 다른 중요도를 갖게 된다. 예를 들어 사용자로부터 전달된 명령은 매우 높은 우선순위를 가지게 되며, 주기적으로 이루어지는 드론의 상태 보고는 지연 시간 없이 사용자에게 전달되어야 한다. 이를 위하여 우선순위에 따라 두 개의 큐를 두어 이벤트를 처리함으로써 중요한 작업을 우선적으로 수행할 수 있도록 하였다.

### 3.4 인공지능 기반 이미지 처리 모듈

이미지 처리 모듈은 드론에 장착된 카메라로부터 주기적으로 영상 정보를 제공받아 사진 상에서 목표물을 인지하고 위치 및 크기를 표시한다. 이는 크게 목표물을 찾는 '인지' 기능, 그리고 목표물의 화면상 움직임을 쫓아가는 '이미지 추적' 기능 이렇게 두 단계 이루어져있다. '인지' 기능을 위해서는 합성곱 신경망(CNN)인 SSD<sup>[14]</sup> 기반의 인공지능 알고리즘을 활용하였다. 그리고 '이미지 추적'을 위해서는 KCF<sup>[15]</sup>를 활용하였다. 하지만 드론이 갖고 있는 컴퓨팅 자원의 한계로 인하여 복잡한 이미지 처리를 수행하는데 너무 오랜 시간이 걸리게 되고 이로 인하여 드론의 목표물 추적 성능이 저하되게 된다.

**(가) 탐색영역 감소를 통한 계산량 감소 :** 한번 목표물을 인지한 뒤에는 이미지 추적 기능을 반복적으로 수행하며 물체를 쫓아가게 되므로, 이미지 추적 기능의 연산 속도가 드론의 목표물 추적 성능에 주요한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 이로 인해 소모되

[1st, 2nd, 3rd, ...] Frames



  : Full Area      : Restricted Area

그림 3. 연속된 이미지에서 탐색영역 감소를 통한 목표물 추적  
Fig. 3. Target tracking in a restricted area from continuous video frames

는 시간을 줄이기 위하여 이미지 추적 영역을 물체의 일부분으로 좁힘으로 처리 속도 향상을 달성 하였다. 예를 들어, 그림 3과 같이 사람을 추적할 때, 사람의 전체 영역이 아니라 이에 대한 일부 영역인 얼굴만을 추적하는게 본 연구에서 제안하는 방법이다. 하지만 처리속도와 이미지 추적의 정확도 사이에 트레이드 오프 관계가 있기 때문에 적절한 영역의 선택이 필요하다. 평가 부분에서 영역 넓이와 목표물 추적 성능 간의 관계를 살펴본다.

### 3.5 드론 추적 알고리즘 모듈

목표물 추적 알고리즘 모듈은 이미지 처리 모듈로부터 연속적으로 전달 받은 정보를 바탕으로 최소한의 에너지를 소모하며 목표물을 쫓아가기 위한 드론의 움직임을 계산한다. 드론의 에너지 소모 모델은 매우 복잡하며 드론의 특성, 주변 상황에 따라 달라질 수 있기 때문에 드론의 에너지를 고려한 추적 알고리즘 직접 만들기는 매우 어려운 일이다. 따라서 드론의 소모 에너지를 고려한 강화학습을 통하여 효율적으로 목표물을 추적하는 방법을 제안한다.

**(가) 강화학습 기반 드론 추적 알고리즘 :** 강화학습은 주어진 환경에서 어떤 행동을 해야 결과적으로 가장 큰 보상을 얻을 수 있을지를 연속적인 행동의 선택을 통해 학습하는 과정이다. 본 연구에서는 로봇의 움직임 제어에 잘 동작한다고 알려져 있는 DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient)<sup>[16]</sup> 기법을 이용하였으며, 상태, 행동 및 보상을 다음과 같이 정의하였다 (그림 4 참조).

- 상태 :** 목표물의 상태(화면상 위치 및 크기)와 드론의 상태(속도 및 높이) 히스토리
- 행동 :** 드론의 움직임 (앞뒤, 좌우, 상하, 보는 방향)
- 보상 :** 추적 정확도 (화면 상의 목표물 위치, 사이즈) 및 에너지 효율

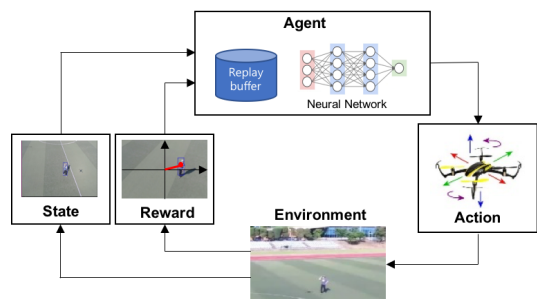


그림 4. DDPG 강화학습 알고리즘의 적용  
Fig. 4. Application of the DDPG RL algorithm

목표물의 움직임 변화를 고려하기 위해 한 순간의 상태 정보가 아닌 몇 초 동안의 상태 정보를 저장하여 사용하였으며, 이 환경을 통해서 우리는 물체의 다음 속도, 회전 방향 등의 행동을 정확하게 된다. 이 행동에 의해 드론이 물체를 놓치지 않을수록, 물체가 화면 중앙에 가까울수록, 물체의 크기가 적당할수록, 드론의 소모에너지가 적을수록 큰 보상을 받는다. DDPG 알고리즘을 V-REP 시뮬레이터를 사용하여 학습하여 동작을 확인하였다. 이에 대한 성능 평가는 4장에서 다루도록 한다.

### 3.6 드론 조종 모듈

본 연구에서 제안하는 목표물 추적 시스템은 드론 추상화를 통하여 프로그래밍이 가능한 다양한 드론에서 동작하도록 하는 것을 목표로 한다. 드론을 조종하기 위한 이착륙 및 이동 등 공통적인 기능들이 존재한다. 이를 위하여 본 연구에서는 다양한 드론을 통합하여 관리 및 조종할 수 있는 상위 수준의 드론 조종 함수를 정의하였다. 이러한 함수는 드론의 종류에 상관없이 드론의 하드웨어 통제를 담당하는 부분으로 명령을 전달하여 드론의 위치와 방향을 통제한다. 본 연구에서 제안하는 시스템을 DJI Matrice 100, DJI Matrice 600, V-REP 시뮬레이터의 드론 모델에 적용하여 다양한 드론에서 동작함을 검증하였다.

### 3.7 네트워크 모듈

드론과 GCS 또는 드론간의 안정적인 연결은 매우 중요하다. 본 시스템에서는 이들 간의 연결을 유지하기 위해 LTE 망을 활용하였다. Bluetooth와 Zigbee 등의 저비용, 저전력 통신 방식도 고려할 수 있으나, 짧은 통신 거리와 낮은 데이터 전송률로 인해 후보군에서 제외되었다. 802.11 Wi-Fi의 경우 충분한 데이터 전송률을 제공하지만, 드론이 움직일 경우 연결 상태가 불안정한 것이 실험을 통해 확인되어 적합하지 않은 것으로 판단하였다. 반면 LTE는 (1) 움직이는 상황에서도 안정적인 처리율을 보장하며 또한 (2) 거리에 상관없이 연결이 가능하기 때문에 최종적으로 본 연구에서 제안하는 시스템의 통신 프로토콜로 채택하였다.

GCS 프로그램이 실행되는 호스트에서는 LTE라우터를 설치하여 각 드론에 장착되어있는 LTE모뎀과 소켓통신 연결을 맺었다. 하지만 LTE를 사용하여 드론간 통신을 수행하면 NAT (Network address translator)로 인한 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 GCS에 공인 IP 주소를 부여하고, 드론간 통신은



그림 5. GCS GUI의 구동 중 모습  
Fig. 5. A snapshot of the GCS GUI at work

GCS가 릴레이를 해주는 방식으로 위의 문제를 해결하였다. 또한 LTE 사용에는 비용이 발생한다는 단점이 있지만 드론의 안전성을 위하여 LTE를 선택하여 설계하였다.

### 3.8 지상 관제 센터 (GCS)

지상 통제 시스템 (Ground Control Station, GCS)은 지상에서 드론의 상태를 모니터링하고 통제하는 소프트웨어이다. 그림 5와 같이 본 시스템에서는 드론의 편리한 제어를 위해 PyQt, Googlemaps API를 이용하여 그래픽 사용자 인터페이스 (Graphic User Interface, GUI)의 형태로 GCS를 개발하였다. GCS는 여러 대의 드론과 동시에 연결되어 각 드론의 정보 (GPS 좌표, 잔여 배터리 양 등)를 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 또한 소프트웨어 상의 버튼을 클릭하여 각 드론에게 명령을 전달 할 수 있다.

보다 용이한 접근성을 위해 버튼을 통한 명령 전달 외에 음성 인식 기반 명령 시스템을 구현하였다.(그림 6 참조) Amazon 사의 음성 제어 스피커 Amazon Echo와 Amazon의 클라우드 서비스를 이용하여 구현하였고, Amazon Echo를 통해 음성으로 명령을 내리

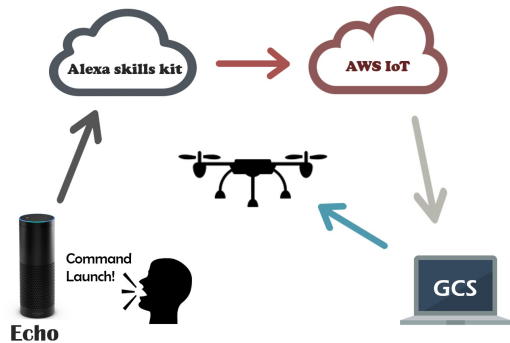


그림 6. 음성인식을 통한 드론으로 명령 전달  
Fig. 6. Voice-triggered command delivery to drones

면 해당 명령이 GCS 서버로 전달되고 GCS를 통해 다시 각 드론에게 전달된다<sup>17)</sup>.

마지막으로 GStreamer 소프트웨어를 이용하여 실시간 스트리밍 기능을 구현하였다. GCS에서 특정 드론에게 스트리밍 명령을 내리면 해당 드론이 촬영하고 있는 영상의 실시간 스트리밍을 볼 수 있다.

#### IV. 구현 및 성능평가

##### 4.1 시스템 구현 및 성능 평가 기준

**(가) 시스템 구현 :** 본 연구에서 제안한 드론 목표물 추적 시스템을 그림 7과 같이 구성한 드론 테스트 베드에 구현하여 실험을 진행하였다. 온보드 프로그래밍이 가능한 드론인 DJI Matrice 100 드론 위에 NVIDIA Jetson TX2 보드를 탑재하여 복잡한 인공지능 연산을 수행하였다. 드론에 카메라(Logitech c920)를 부착하였으며 짐벌(모텔링)을 이용하여 카메라를 설치하여 드론의 흔들림이 카메라 영상에 영향을 미치지 않도록 하였다. 드론과 GCS간의 연결을 위하여 드론에는 LTE 모듈(Huawei E3372)을 장착하였고, GCS로 사용한 컴퓨터에는 LGU+ LTE 라우터를 설치하였다. 실제 실험에서 수행하기 힘든 성능 검증을 위하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션은 V-REP 시뮬레이터에 드론 모델을 사용하여 진행하였다.

**(나) 평가 기준 :** 제안하는 시스템의 성능 평가 기준은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째로는 드론의 목표물 추적 정확도이다. 이를 위해 드론이 목표물을 놓치는 횟수를 측정하거나 또는 목표물이 카메라 화면 중앙에서 평균적으로 얼마나 벗어나는지를 측정하여 추적 에러로 정의하고 이를 평가하였다. 두 번째로는 드론의 소모 에너지이다. 본 시스템에서 에너지는 드론을 움직이게 하는 모터에 의해 가장 많이 소모된다. 실제 드론에서는 측정을 통해 에너지 소모를 확인할 수 있으며, 시뮬레이션에서는 기존연구의 드론 에너지

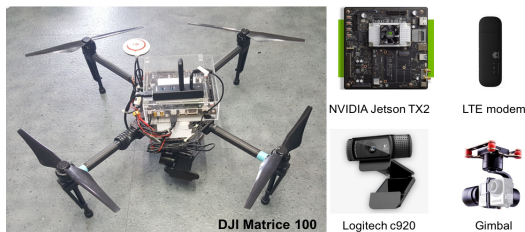


그림 7. 실험에 사용된 주요 부품 구성  
Fig. 7. Main hardware components used in the field experiment

측정 결과<sup>18)</sup>를 바탕으로 드론의 에너지 소모를 드론의 속도에 대한 1차 함수로 모델링 하여 평가 기준으로 정하였다.

##### 4.2 실험 결과

이미지 처리 모듈에서는 처리속도와 인식 정확도 사이에 트레이드-오프 관계가 있다. 실험을 통해 이러한 관계를 알아보고 최적의 변수를 설정한다. 이렇게 설정된 변수를 바탕으로 시뮬레이션에서 드론 목표물 추적을 위한 강화학습의 성능을 정확도와 소모 에너지 관점에서 분석한다. 마지막으로 실제 드론에서 간단한 모델 기반 추적 알고리즘을 적용하여 물체를 추적하는 시스템 동작을 검증한다.

###### 4.2.1 이미지 처리 모듈의 속도 및 정확도 성능

그림 8은 이미지 추적 알고리즘에서 추적 영역의 크기에 따른 속도 및 정확도를 나타낸다. 추적 영역의 크기는 물체의 원본 크기를 기준으로 작게 변경한다. 또한 23fps 영상에서 10초 동안 총 230 프레임을 추적하는데 소모된 시간을 측정하였으며, 실제 물체의 위치와 추적 알고리즘의 결과와의 거리를 알고리즘의 정확도로 계산하였다.

그림 8을 통해서 추적 영역을 원본 크기대비 20%로 줄였을 경우, 추적 알고리즘의 속도가 43% 상승하였고 정확도는 52% 감소한다. 이후 영역을 더 줄일수록 속도는 증가하는 경향을 보이지만, 정확도는 감소한다. 추적 영역 크기와 추적 알고리즘의 속도 및 정확도 간의 트레이드-오프는 추적하는 물체의 종류 및 영상에 따라 달라지지만, 이 실험을 통해 원본 크기를 줄였을 때 최적의 성능을 내는 지점이 확인하였다. 이후 시뮬레이션에서는 이 실험을 찾은 값을 기반으로 환경을 구성한다.

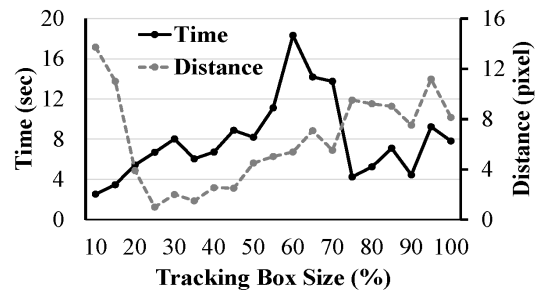


그림 8. 추적 영역의 크기에 따른 처리 시간 및 정확도  
Fig. 8. Processing time and tracking accuracy for varying tracking block size

4.2.2 강화학습 적용을 목표물 추적 결과

그림 9는 본 논문에서 구현한 DDPG 강화학습 기반 알고리즘(DDPG-Track)의 추적 정확도 성능을 나타내고 있다. DDPG-Track 알고리즘의 경우 드론이 대략 5시간동안 랜덤하게 움직이는 목표물에 대하여 학습을 진행한 후 실험한 결과이다. 비교를 위하여 가장 단순한 형태의 추적 알고리즘인 비례 제어 기반 알고리즘(P-Track)의 결과를 함께 표시하였다. 두 알고리즘 모두에서 목표물의 움직임 속도가 증가할수록 추적 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 강화학습을 통한 목표물 추적 알고리즘의 경우 목표물의 이동 속도 또는 패턴 등의 상황의 영향을 상대적으로 적게 받는 것을 확인할 수 있는데, 이는 목표물이 다양한 형태로 동작하는 실험 샘플 표본으로 학습하였기 때문이다. 위 실험을 통하여, 강화학습 기반 추적 알고리즘의 기본적인 동작 여부를 확인할 수 있었으며 아래에서 강화학습을 활용한 에너지 효율 향상에 대해 알아본다.

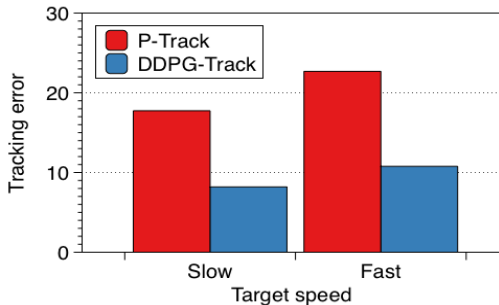


그림 9. 목표물 이동 속도에 따른 추적 성능  
Fig. 9. Tracking performance for varying target speed

4.2.3 강화학습을 통한 에너지 효율적 추적

강화학습의 목표 중 하나는 드론의 에너지를 최소로 소모하며 목표물을 추적하는 것이다. 에너지 효율과 추적의 정확도 사이에는 트레이드-오프 관계가 있으며 그 정도는 보상(reward)을 적절하게 정의함에 따라 다르게 설정할 수 있다. 본 논문에서는 다음과 같이 DDPG 강화학습에서의 보상을 정의 하였다.

$$R = (\text{tracking accuracy}) + a * (\text{energy efficiency})$$

여기서 상수 a는 추적 정확도와 에너지 효율간의 중요도를 결정하는 변수이다. 그림 10은 a값을 변화시키면서 에너지효율 및 추적 정확도를 측정한 그래프이다. a값이 큰 경우 에너지 효율에 집중하여 더 적은 에너지를 소모하지만 추적의 정확도는 상대적으로 떨어

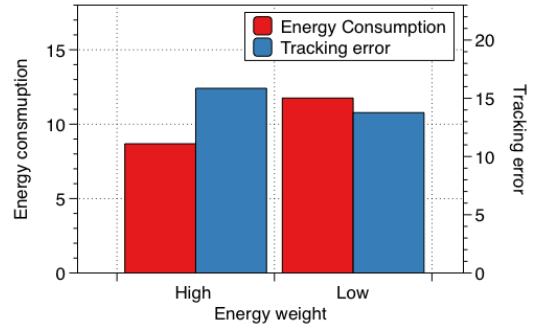


그림 10. 에너지 중요도에 따른 에너지 소모 및 추적 성능  
Fig. 10. Energy consumption and tracking performance for varying weight for energy in reward

어지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 사용자가 적절한 a 값을 선정하여 드론을 학습시킴으로써, 원하는 에너지 효율을 달성할 수 있다.



그림 11. 세 개의 드론이 목표물을 추적하여 비행한 경로  
Fig. 11. Flight trajectories of the target and three target-tracking drones

4.2.4 드론 테스트베드 실험 결과

마지막으로 드론 목표물 추적 시스템을 실제 드론 적용하여 제안하는 플랫폼의 기능 동작을 확인하였다. KAIST 캠퍼스 내부에서 실험을 진행하였으며 3대의

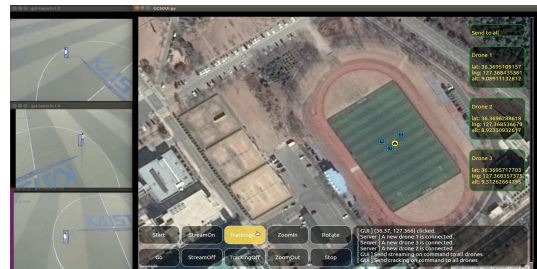


그림 12. GCS GUI에 출력되는 실시간 추적 동영상  
Fig. 12. GCS GUI displaying the live video streams from the tracking drones



드론(DJI Matrice 100)이 한명의 사람을 추적하는 시나리오를 수행하였다. 실제 드론에서는 간단한 모델 기반 추적 알고리즘을 적용하였으며 그림 11과 같이 드론이 목표물을 잘 쫓아가는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그림 12와 같이 3대의 드론으로부터 스트리밍 서비스를 받으며 드론의 위치 및 상태정보를 실시간으로 보고받는 것을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 인공지능을 활용한 목표물 추적 시스템을 제안하였으며 이를 위한 플랫폼을 설계 및 구현 하였다. 해당 플랫폼은 네트워킹, 드론 컨트롤, 인공지능 연산, 센싱 정보 획득 등의 기본적인 기능을 수행해주며 목표물 추적 응용을 지원해준다. 추적 시스템은 크게 영상으로 부터 목표물을 인지하는 과정과 추적의 정확도 및 드론의 에너지 소모를 고려하여 실제 드론의 움직임을 결정하는 과정으로 나누어진다. 본 논문에서는 추적 성능 향상을 위하여 처리속도가 빠른 목표물 인지 방법을 제안하며 또한 강화학습 기반 에너지 효율을 고려하나 드론 추적 알고리즘을 제시한다. 따라서 정확하며 에너지 효율이 높은 드론 목표물 추적 알고리즘은 다양한 응용에서 활용 될 수 있을 것이라 생각된다.

## References

[1] BI Intelligence, *The drones report: market forecasts, regulatory barriers, top vendors, and leading commercial applications (2016)*, Retrieved Dec., 26, 2017, from <http://www.businessinsider.com/uav-or-commercial-drone-market-forecast-2015-2>.

[2] *Top 10 drones with follow me mode in 2017 (2017)*, Retrieved Dec., 26, 2017, from <http://www.top10drone.com/top-10-drones-follow-me-mode/>.

[3] Fintan Corrigan, *12 best follow me drones and follow me technology reviewed (2017)*, Retrieved Dec., 26, 2017, from <https://www.dronezone.com/drone-reviews/best-follow-me-gps-mode-drone-technology-reviewed/>.

[4] T. Wei and X. Zhang, "mTrack: high precision passive tracking using millimeter wave radios," in *Proc. ACM MobiCom*, 2015,

pp. 117-129, Paris, France Sep 2015.

[5] F. Adib, Z. Kabelac, and D. Katabi. "Multi-person localization via RF body reflections," in *Proc. USENIX Symp. NSDI*, 2015, pp. 279-292, Oakland, USA May 2015.

[6] W. Mao, J. He, and L. Qiu, "CAT: high-precision acoustic motion tracking," in *Proc. ACM MobiCom*, 2016, pp. 69-81, New York, USA, Oct 2016.

[7] W. Wang, A. X. Liu, and K. Sun, "Device-free gesture tracking using acoustic signals," in *Proc. ACM Int. Conf. Mob. Comput. and Netw.*, 2016, pp. 82-94, New York, USA, Oct 2016.

[8] J.-E. Gomez-Balderas, G. Flores, L. G. Carrillo, and R. Lozano, "Tracking a ground moving target with a quadrotor using switching control," *J. Intelligent & Robotic Syst.*, vol. 70, pp. 65-78, 2013.

[9] J. Kim and D. H. Shim, "A vision-based target tracking control system of a quadrotor by using a tablet computer," in *Proc. ICUAS*, pp. 1165-1172, 2013, Atlanta, USA, May 2013.

[10] J. Pestana, J. L. Sanchez-Lopez, S. Saripalli, and P. Campoy, "Computer vision based general object following for GPS-denied multirotor unmanned vehicles," in *Proc. IEEE Am. Control Conf.*, pp. 1886-1891, 2014.

[11] R. Barták and A. Vykovský, "Any object tracking and following by a flying drone," in *Proc. IEEE MICAI*, pp. 35-41, 2015.

[12] N. Imanberdiyev, et al., "Autonomous navigation of UAV by using real-time model-based reinforcement learning," in *Proc. ICARCV*, pp. 1-6, 2016.

[13] R. Conde, J. R. Llata, and C. Torre-Ferrero, "Time-varying formation controllers for unmanned aerial vehicles using deep reinforcement learning," arXiv preprint arXiv:1706.01384, 2017.

[14] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, and S. Reed, "SSD: Single shot multibox detector," in *Proc. ECCV 2016*, pp. 21-37, Amsterdam, Netherlands, 2016.

- [15] J. F. Henriques, R. Caseiro, P. Martins, and J. Batista, "High-speed tracking with kernelized correlation filters," in *Proc. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, pp. 583-59, 2015.
- [16] T. P. Lillicrap, et al., "Continuous control with deep reinforcement learning," arXiv preprint arXiv: 1509.02971, 2015.
- [17] Y. Koo, et al., "A cloud-based implementation of a voice control system for drones," in *Proc. Symp. KICS 2016*, pp. 84-85, Korea, Nov. 2016.
- [18] C. Di Franco and G. Buttazzo, "Energy-aware coverage path planning of UAVs," in *Proc. IEEE ICARSC, 2015*, pp. 111-117 Vila Real, Portugal Apr 2015.
- [19] E. Rohmer, Surya P. N. Singh, and M. Freese, "V-REP: A versatile and scalable robot simulation framework," in *Proc. IEEE IROS, 2013*, pp. 1321-1326, Tokyo, Japan, 2013.

구 윤 표 (Yoon-pyo Koo)



2016년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업  
 2016년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사 <관심분야> 강화학습, 딥러닝, 다중 UAV 시스템

방 지 환 (Jihwan Bang)



2017년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업  
 2017년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사 <관심분야> 강화학습, 딥러닝, UAV 시스템, 네트워크, 클라우드

김 대 우 (Daewoo Kim)



2013년 2월 : 연세대학교 전기 전자공학과 졸업  
 2013년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 석박사 통합 과정 <관심분야> 강화학습, 딥러닝, IoT

손 경 환 (Kyung-hwan Son)



2017년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 졸업  
 2017년 2월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 석사과정 <관심분야> 강화학습, 딥러닝, 드론, 클라우드

강 완 주 (Wan Ju Kang)



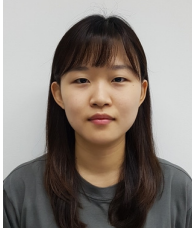
2017년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업  
 2017년 9월~현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사 <관심분야> 강화학습, 딥러닝, 네트워킹, IoT

David Hostallero



2016년 6월 : University of the Philippines Diliman (BS Computer Science) 졸업 <관심분야> 강화학습, 컴퓨터 비전, 데이터 마이닝

윤 세 은 (Se-eun Yoon)



2014년 3월~현재 : 한국과학기술원  
술원 전기 및 전자공학과  
학사  
<관심분야> 강화학습, 딥러닝,  
네트워킹, IoT

한 등 수 (Dongsu Han)



2004년 2월 : KAIST 전산학부  
(학사)  
2010년 12월 : Carnegie Mellon  
University. 전산학부 (석사  
- 석박연계)  
2012년 12월 : Carnegie Mellon  
University. 전산학부 (박사  
- 석박연계)

여 현 호 (Hyun-ho Yeo)



2017년 2월 : 한국과학기술원  
전기 및 전자 공학부 학사  
졸업  
2017년 3월~현재 : 한국과학기술  
술원 전기 및 전자공학부  
석사 과정  
<관심분야> 컴퓨터 네트워크,  
딥러닝

2013년 1월~2013년 5월 : Carnegie Mellon  
University. 전산학부 (박사 후 연구원)

2013년 6월~현재 : KAIST 전기전자공학부 교수

2013년 10월~현재 : KAIST 정보보호대학원 겸임교수  
<관심분야> 네트워크 시스템 디자인, 인터넷/시스템  
보안

하 재 형 (Jae-hyeong Ha)



2017년 2월 : 한국과학기술원 전  
기 및 전자 공학부 학사 졸업  
2017년 3월~현재 : 한국과학기술  
술원 전기 및 전자공학부 석사  
과정  
<관심분야> 컴퓨터 네트워크,  
블록체인

이 용 (Yung Yi)



1997년 2월 : 서울대 컴퓨터공  
학부 (학사)  
1999년 2월 : 서울대 컴퓨터공  
학부 (석사)  
2006년 8월 : University of  
Texas at Austin, USA 전  
기컴퓨터공학부 (박사)

2008년 8월~현재 : KAIST 전기전자공학부 교수

2009년 3월~2014년 8월 : KAIST 전산학부 겸임교  
수

2006년 8월~2008년 8월 : Princeton Univ. 전기전  
자공학부(박사 후 연구원)

<관심분야>무선통신네트워크, 머신러닝

서 난 솔 (Nansol Seo)



2006년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학부 학사졸업  
2008년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학부 석사졸업  
2008년 2월~현재 : 국방과학연  
구소 통신네트워크기술부 선  
임연구원

<관심분야> 무선통신네트워크, MANET, 무인기데  
이터링크