

드론 영상 전송용 하이브리드 통신 구조의 설계

김원
우송대학교 IT융합학부 교수

Design of Hybrid Communication Structure for Video Transmission in Drone Systems

Won Kim
Professor, Division of IT Convergence, Woosong University

요 약 현대사회에서 드론은 보안, 국방, 농업, 통신 등의 분야에서 활발하게 사용되고 있다. 스마트 기술, 인공지능 소프트웨어가 융합되어 발전하면서 그 활용 분야는 더 넓어질 것으로 예상된다. 드론이 공중에서 촬영한 영상 스트리밍을 지상 설비에서 수신하는 무선 통신은 드론의 우수한 역할 수행에 있어 필수적인 기술 중에 하나이다. 이 연구에서는 영상 전송을 위하여 WiFi 통신의 저고도 영역과, LTE 통신의 고고도 영역을 모두 다룰 수 있는 통신 영역 개념을 제안한다. 또한 이 개념에 부합하는 하이브리드 통신 구조를 설계하고 제안된 시스템을 소형 드론에 탑재할 수 있는 소형 크기의 통신 시스템으로 구현하였다. 구현된 시스템은 실험을 통하여 HD급 고화질 영상 스트리밍을 500미터 거리까지 성공적으로 전송할 수 있고, 두 개의 다른 통신 시스템간의 전환시간이 200ms임을 보여 제안된 시스템의 효과성을 확인하였다.

주제어 : 융합, 하이브리드 통신, 와이파이, LTE, 영상 스트리밍, 영상 전송

Abstract In modern society drones are actively utilized in the fields of security, defense, agriculture, communication and so on. Smart technology and artificial intelligence software have been developed with convergence, and the field of use is expected to expand further. On the point of the excellent performance of drones one of the essential technologies is the wireless communication that make the ground facility receive the video streaming obtained by the drones in the air. In the research the concept of communication region is proposed to cover the both the low altitude region for Wi-Fi communication and the high altitude region for LTE communication for the sake of video transmission. Also the hybrid communication structure is designed along the proposed concept and the proposed system is implemented as a communication system in the small size which can be mounted in a small size of drone. It is confirmed that the proposed system contains the effectiveness by showing the ability to successfully transmit HD video streaming in the range of 500 meters and the transfer time between two different communication systems is measured in 200msec by the experiments.

Key Words : Convergence, Hybrid Communication, WiFi, LTE, Video Streaming, Video Transmission

*This work (Grants No. S2660612) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2018.

*Corresponding Author : Won Kim(kimwon@wsu.ac.kr)

Received October 2, 2019

Accepted November 20, 2019

Revised October 24, 2019

Published November 28, 2019

1. 서론

드론 시스템은 현대화 농업, 능동적 물리 보안, 물류 배송, 스마트 통신, 재난 분야 등의 발전에 기여할 핵심 기술로서 기대가 모아지고 있는 추세이다. 현대 농업에서 수확량을 늘리기 위한 많은 정밀한 농법들이 개발되는 가운데, 전염이 가능한 곡식의 질병을 예방하고자 넓은 면적을 자동으로 관찰하면서 방제가 필요한 부분을 스스로 구분하여 살충제를 살포할 수 있는 기능의 드론 시스템 연구[1], 관개 농업과 관계가 깊은 하천의 환경 유지 및 관리를 위하여 드론에 영상 카메라를 장착하고 강물의 여러 주요한 지점으로 이동시켜 세밀하게 유속을 측정하고자, 영상의 형태 정합법을 적용하여 안정적인 유속 계산 연구가 이루어지고 있다[2]. 무인으로 운용이 가능한 드론의 기능적 특성은 사전에 철저한 임무 계획이 수립되어야 하며, 최근에는 드론 비행 단순 임무 계획의 한계를 넘어서 시뮬레이션을 통해 사전에 안전성을 판단할 수 있는 자동화 경로 계획 시스템에 대한 연구 및 고도 정보를 측정하여 디지털 지형도를 구축하려는 연구를 하고 있다[3,4]. 또한 물류 분야에서는 배송 시간 제약 없이 상황에 맞게 경로 계획을 최적화하는 시스템에 관한 연구[5] 및 국내 물류기업에 드론 배송 서비스를 도입하는 방안에 관한 연구가 이루어지고 있으며[6], 보안 분야에서는 국가 경계선을 자동으로 감시하고자 지상의 운용 차량에서 해상도가 높은 카메라를 장착한 무인 비행체의 위치 추적 및 제어하는 시스템에 대한 연구[7], 군 내부에 새로운 위협으로 작용할 수 있는 영향과 보안 위협에 대한 방지 대책에 관한 연구[7]와 무인기 군집 비행에 대한 보안 요구사항 및 보안 위협에 관한 연구[9], 무인 경비에 적용하고자 CAM-Shift 기술을 장착한 카메라 영상 추적 시스템에 의한 능동적, 물리적 보안시스템에 관한 연구[10], 범죄 현장의 디지털 영상물 증거 확보 능력을 향상시키는 연구가 진행되고 있다[11]. 재난 분야에서는 재난 발생시 원활한 통신을 위하여 공중의 드론을 이동 기지국으로 사용하여 통신망을 구성하려는 연구 및 통신 속도의 향상을 위하여 드론의 최적 위치를 산출하는 알고리즘에 관한 연구가 이루어지고 있다[12,13]. 드론은 인간의 능력으로 수행하기 어려운 작업, 오염 등으로 접근이 어렵고, 오랜 시간 임무를 수행하는데 있어 안전한 업무 수행이 가능하다는 장점으로 인하여 급속하게 발전하고 있다[14]. 이러한 드론 시스템에서 촬영된 영상을 지상으로 송출할 경우, 통신망 사용에 따른 많은 비용이 발생하게 된다. 이에 본 논문에서는 농업, 보안, 통신, 공공

안전등의 목적으로 공중에서 사용하고 있는 드론이 저고도에서는 WiFi 통신으로 고고도에서는 LTE 통신으로 촬영된 영상을 지상으로 전송하는 하이브리드 통신 시스템을 통하여 LTE 통신 등의 유료화 네트워크 사용 시간을 최소화하는 가운데, 특정한 목적을 가지고 운용되는 드론에서 촬영한 영상을 지상의 관제 장치로 효율적인 전송이 가능한 영상 전송 시스템의 설계를 목적으로 하고 있다. 제안 시스템을 통하여 드론 이용자는 경제적인 비용으로 고화질 영상을 안정적으로 지상에서 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 선행 연구

2.1 통신 시스템

공중에서 운용되는 이동 기지국 기능의 드론은 일정한 고도와 위치를 유지하는 고정형과 움직이며 유효 통신 영역을 최대화하려는 이동형 등이 있다. 기간 네트워크에 연결될 때 공중에 떠있는 UAV(Unmanned aerial vehicle) 간의 연결 방법과 UAV와 지상의 사용자간의 연결 방법을 UAV 위치 최적화를 통해 통신 체계를 구축하려는 연구[15], 드론을 이용한 소형 통신 셀 구축에 있어서 부품의 특성을 포함한 설계가 될 수 있도록 송신 안테나 이득의 패턴과 무선 통신 채널의 다중 경로를 고려하여 최적의 드론 위치의 배치 방법에 대한 연구 [16] 및 지상의 사용자들은 서로 다른 데이터 전송 속도로 이 네트워크를 이용할 수가 있는데, 이러한 경우에 국부적으로 데이터의 흐름이 일정 드론의 통신 중계기에 물리는 경우를 해결할 수 있도록 라우팅 프로토콜에 기반하는 QDTD(Queuing Delay and Transmission Delay) 기법을 사용하여 실시간으로 라우팅의 제어가 가능한 통신 시스템을 설계하는 연구가 있었다[17].

2.2 통신 방식

드론에서 사용할 수 있는 표준 데이터 링크로서는 Zigbee, Bluetooth, LTE, WiFi 등을 사용할 수 있으나 [18], Zigbee와 Bluetooth는 전송 거리 및 데이터 전송 용량의 한계를 가지고 있어 영상을 전송하기에는 어려운 상황이다. 또한 WiFi는 HD급 영상의 전송은 가능하나 출력의 제한을 가지고 있어 전송 거리의 한계가 있으며, 동일한 채널을 활용하는 다른 기기의 간섭이 있을 수 있고, LTE는 전송 거리에 제약이 없으나 사용량에 따른 요

금이 발생한다[18,19]. 다음의 Table 1은 드론에 적용 가능한 통신 방식을 비교한 것이다.

Table 1. Comparison of communication methods

Method	Merits	Demerits
Bluetooth	·Low power ·simple control	·Low transmission rate ·Not suitable to video transmission
Wi-Fi	·high rate transmission ·Interface capability for mobile devices	·Limitation of transmitting power ·Vulnerable to interference due to ISM band
Satellite	·Independent to ground communication facilities ·Usable even in war, disasters etc	·High cost in using satellite communication ·Delay time problem in drone control
LTE	·Wide area of infra structure ·Supporting high altitude in drone operation ·Supporting real-time video streaming	·Requiring operation costs ·Vulnerable to hacking drone communication network
5G	·Next generation of communication standard ·Very fast and supporting IOT system	·Currently setting communication standard ·High cost in usage

3. 제안 모델

3.1 제안 모델 통신 구조

다음의 Fig. 1은 제안 모델의 통신 구조도이다.

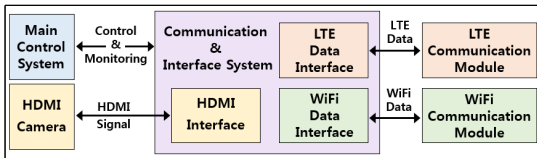


Fig. 1. Proposed Model Communication Structure

저고도에서는 WiFi 통신이 작동하고, 고고도에서는 LTE 통신이 가능하도록 하려면 드론 내부에 두 개의 혼종 통신이 설계되어 장착되어야 한다. 드론에 장착되는 HD 해상도의 카메라를 연결하여 실시간으로 영상 정보를 획득하고, 획득된 영상을 WiFi 통신이 가능한 영역에서는 비용이 발생하지 않는 WiFi 통신 모듈을, 그렇지 않은 영역에서는 LTE 통신 모듈을 통하여 지상의 기지국으로 전송하는 역할을 수행한다.

3.2 하이브리드 통신 시스템 구현

다음의 Fig. 2는 제안 모델인 하이브리드 통신 시스템

을 구현한 구조로서, 각 모듈간의 연결을 통하여 기능적 구성을 확인할 수 있다.

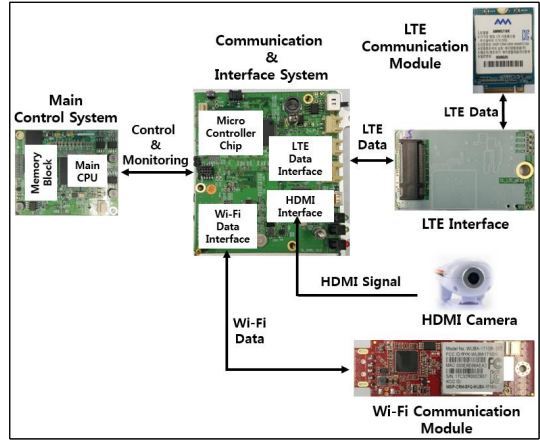


Fig. 2. Hybrid Communication System

중앙에 배치된 통신 및 인터페이스 시스템은 HD급 카메라의 인터페이스를 내장하고, LTE 통신 모듈 및 WiFi 통신 모듈과 인터페이스를 위하여 각각 LTE 데이터 인터페이스와 Wifi 데이터 인터페이스를 보유하고 있다. 메인 제어 시스템 하부 시스템을 통제하고 모니터링 하며 전체 시스템의 효율적인 운영이 가능하도록 설계하였다. 다음의 Table 2는 제안 모델에 사용된 핵심 부품을 요약하여 정리한 것이다.

Table 2. Description of essential components

Subsystem	Component	Model	Description
Main Control System	CPU	ARM Core	Operation Speed : 600MHz
	NAND Flash	Samsung Chip	256Mbytes
	RAM	Samsung Chip	512Mbytes DDR3 DRAM 400MHz
Communication & Interface System	HDMI Interface	Analog Device 7611	2HD digital inputs, HDMI 1.3a compatible, 1080p60
LTE Comm. Module	LTE module	Qualcomm Series	Power 23dBm, RF band 880-915(UL), 925-960(DL)
Wi-Fi Comm. Module	Wi-Fi module	Atheros Series	Antenna 1X, Speed up to 150Mbps, WEP, WPA

메인 제어 시스템, 통신 및 인터페이스 시스템, LTE 통신 모듈, WiFi 통신 모듈 등의 구분에 따라 사용된 핵심 부품을 파악할 수 있다.

제안 모델은 하우징 내부에 개발된 전자 기관과 부품

들을 실장하여, 다음의 Fig. 3과 같이 드론의 상부에 장착이 가능하도록 설계하였으며, 내부의 부품에서 발생한 열이 금속 하우징을 통하여 드론의 몸체로 전달되어 방출할 수 있도록 하였다.

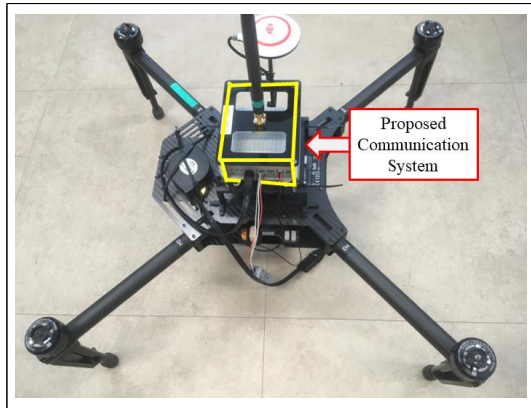


Fig. 3. Mount Hybrid Communication Module

4. 실험 및 고찰

다음의 Fig. 4는 실험을 위한 시스템 구성도이다.

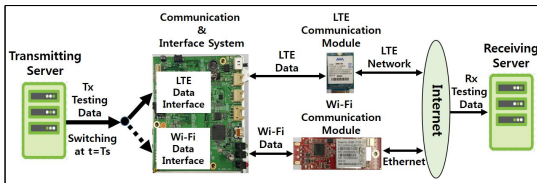


Fig. 4. Configuration Diagram of the System

본 논문에서 제안하는 모델의 주요 특성 중 하나가 WiFi와 LTE 통신 사이에 전환되는 시간이 중요한 성능 변수 중에 하나라 할 수 있다. 실험을 위한 시스템 구성에서는 송신 서버가 UDP 데이터에 시간 정보(Time stamp)를 담아 실제 탑재되는 WiFi 통신 모듈로 전송한다. 특정한 전환 시간(Switching time) $t = ts$ 에서 WiFi 통신을 단절하고, LTE 통신으로 전환했을 때 수신 서버에 전송되는 데이터 패킷을 분석하여 통신 방식간의 전환 시간을 측정하는 것이다.

다음의 Fig. 5는 전환 시간 측정 개념이다.

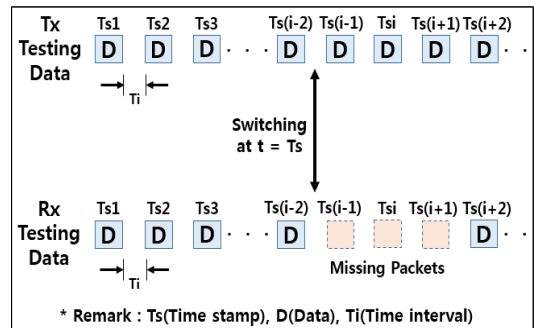


Fig. 5. Switching Time Measurement

송신되는 시험 데이터에는 i 번째 시간 정보 Ts_i 가 전송된다. 통신 전환 시간 $t = ts$ 에 통신 방식의 전환이 일어나면 물리적으로 디지털 통신이 전환되는 과정에서 통신이 일시적으로 정지되어, 손실되는 패킷이 발생하게 된다. 실험 데이터는 일정한 시간 간격 Ti 가 있으므로, 통신 전환시간은 $Ti \times N$ 으로 계산할 수 있다. 여기서 N 은 손실 패킷의 수이다.

본 실험에서는 Ti 는 20ms이고, 손실 패킷은 10개로 측정이 되어 통신 전환시간이 200ms로 측정되었다. 현재까지는 선행연구에서 하이브리드 통신 방식의 드론 시스템 중에서 비교 가능한 통신 전환시간 측정 결과를 찾아보기가 어렵다.

다음의 Table 3은 제안 모델의 성능을 정리한 것이다.

Table 3. Performance Specification

Performance Indices	Proposed System	Comparison system (Company/Nation)
Transfer time in communications	200msec	Unavailable
Size of on-board communication system	100mm x 70mm	120mm x 80mm (Qualcomm/USA)
Communication distance	500 meters	450 meters (DJI/China)
Video resolution	1080p/60 frames	1080p/60 frames (DJI/China)

주요 성능 지수로는 탑재 통신 시스템의 물리적 크기, 통신 거리, 영상 해상도 등을 선정할 수가 있다. 탑재 통신 시스템의 크기는 드론에 장착할 수 있는 공간상 제약을 고려해볼 때 중요하며 당연하게도 그 크기가 작을수록 유리하다. 제안된 시스템은 100 X 70 mm의 면적 안에 들어오도록 소형으로 구현하였다. 통신 거리는 500m로서, 지상의 기지국과 비행 중의 드론 사이에 통신 방해

물체가 없는 상황에서의 통신 조건하에 실험을 통해 측정된 결과이다. 이때 1080p/60Hz 수준의 고화질 비디오 스트리밍이 안정적으로 전송되었다. 측정된 전반적인 성능지수는 세계적인 드론 회사의 제품과 비교해볼 때 유사하거나 우수한 수준으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

현대 사회에서 드론이 여러 분야에서 활용되는 가운데, 드론에서 촬영되는 영상을 저렴한 비용으로 효과적으로 전송하는 기술 발전이 필요하다. 본 논문에서는 WiFi 통신이 가능한 저고도에서는 WiFi 통신 모듈을 사용하고, WiFi 통달 거리를 넘어서는 고도에서는, LTE 통신 모듈을 사용하는 하이브리드 영상 전송 구조를 설계하여 제안하였다. WiFi 통신이 단절되는 시점에 LTE 통신으로 전환하는 기능을 내장하였으며, 반대 방향으로 LTE 통신 영역에서 WiFi 영역으로 드론이 진입하면 자동으로 WiFi 통신을 수행하도록 구현함으로써, LTE 네트워크를 사용하는 시간을 최소화하여 저렴한 통신비용으로 드론이 운용되도록 설계하였다.

제안 모델을 구현하여 드론에 장착된 상태로 실험하였으며, 구현된 통신 모듈은 100 X 70 mm 이내의 면적에 들어가는 소형 크기로서 통신 전환시간은 200ms의 성능이다. 또한 무선 통신 거리는 최대 500m로서, 이 범위 안에서는 드론이 1080p의 비디오 해상도의 영상 스트림(Stream)을 지상으로 전송할 수 있다. 제안 모델은 통신 전환 구간 부근에서 WiFi 통신의 신호 세기의 변화 특성을 파악하여, 이 정보를 기반으로 드론 내장 소프트웨어의 전환 동작이 가능하도록 설계한 것으로, 드론에 장착하여 영상 정보의 송신이 수월할 것으로 기대된다. 향후 연구 방향으로는 WiFi 통신과 LTE 통신 사이에서 드론이 통신 모드 전환을 할 때, 통신 전환 시점에 영상의 끊김 현상을 줄이는데 필수적인 전환 시간을 최소화하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] U. M. RaoMogili & B. B. V. L. Deepak. (2018). Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502-509. DOI : 10.1016/j.procs.2018.07.063
- [2] K. Yu & J. G. Hwang. (2017). Measurement of Surface Velocity in Open Channels Using Cameras on a Drone. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 17(2), 403-413. DOI : 10.9798/KOSHAM.2017.17.2.403
- [3] J. A. Besada, L. Bergesio, I. Campaña, D. Vaquero-Melchor, J. López-Araquistain, A. M. Bernardos & J. R. Casar. (2018). Drone Mission Definition and Implementation for Automated Infrastructure Inspection Using Airborne Sensors. *Sensors*, 18(4), 1170-1184. DOI : 10.3390/s18041170
- [4] W. Metzler, D. Pinson, A. Hendrickson, R. Xu & J. Henriques. (2018, April). Low-cost drone system for analyzing elevation. *IEEE Symposium on Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, (pp. 182-184). Charlottesville : IEEE. DOI : 10.1109/SIEDS.2018.8374732
- [5] K. Dorling, J. Heinrichs, G. G. Messier & S. Magierowski. (2017). Vehicle Routing Problems for Drone Delivery. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(1), 70-85. DOI : 10.1109/TSMC.2016.2582745
- [6] H. T. Yoo, H. S. You & Y. S. Jeong. (2018). Study on measures to introduce Drone Delivery Service for domestic logistics. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(5), 243-249. DOI : 10.22156/CS4SMB.2018.8.5.243
- [7] S. Minaeian, J. Liu & Y. J. Son. (2016). Vision-Based Target Detection and Localization via a Team of Cooperative UAV and UGVs. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 46(7), 1005-1016. DOI : 10.1109/TSMC.2015.2491878
- [8] D. H. Kim & Y. H. Lee. (2018). A Study on the countermeasures and drones's threats in Military security. *Journal of Digital Convergence*, 16(10), 223-233. DOI : 10.14400/JDC.2018.16.10.223
- [9] M. S. Kim, J. H. Kang & M. S. Jun. (2017). A study on the security threat and security requirements for multi unmanned aerial vehicles. *Journal of Digital Convergence*, 15(8), 195-202. DOI : 10.14400/JDC.2017.15.8.195
- [10] J. P. Lee, J. W. Lee & K. H. Lee. (2016). A Scheme of Security Drone Convergence Service using Cam-Shift Algorithm. *Journal of the Korea Convergence Society*, 7(5), 29-34. DOI : 10.15207/JKCS.2016.7.5.029
- [11] Y. J. Kim, J. K. Song & G. A. Lee. (2018). How to Acquire the Evidence Capability of Video Images Taken by Drone. *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, 13(1), 163-168. DOI: 10.13067/JKIECS.2018.13.1.163
- [12] X. Li, D. Guo, H. Yin & G. Wei. (2015, March). Drone-assisted public safety wireless broadband network. *IEEE Wireless Communications and*

Networking Conference Workshops (WCNCW), New Orleans, IEEE, 323-328.
 DOI : 10.1109/WCNCW.2015.7122575

- [13] A. Alnoman & A. Anpalagan. (2017, July). On D2D communications for public safety applications. *IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference(IHTC), Toronto, IEEE, 124-127.*
 DOI : 10.1109/IHTC.2017.8058172
- [14] H. M. Cho. (2018). Exploratory Research of Possibilities and Limitation of Drone Journalism. *Journal of Digital Convergence, 16(8), 71-79.*
 DOI : 10.14400/JDC.2018.16.8.071
- [15] P. Li & J. Xu. (2018). Placement Optimization for UAV-Enabled Wireless Networks with Multi-Hop Backhauls. *Journal of Communications and Information Networks, 3(4), 64-73.*
 DOI : 10.1007/s41650-018-0040-3
- [16] A. M. Hayajneh, S. A. R. Zaidi, D. C. McLernon & M. Ghogho. (2016, December). Optimal Dimensioning and Performance Analysis of Drone-Based Wireless Communications. *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Washington, IEEE, 1-6.*
 DOI : 10.1109/GLOCOMW.2016.7848992
- [17] P. Yang, X. Cao, C. Yin, Z. Xiao, X. Xi & D. Wu. (2017, May). Routing protocol design for drone-cell communication networks. *IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, IEEE, 1-6.*
 DOI : 10.1109/ICC.2017.7996484
- [18] S. Hayat, E. Yanmaz & R. Muzaffar. (2016). Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: A communications viewpoint. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(4), 2624-2661.*
- [19] S. H. Son, J. H. Kang & K. J. Park. (2016). Overview and Issues of Drone Wireless Communication. *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences, 33(2), 93-99.*

김 원(Won Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과(공학사)
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과(공학석사)
- 2007년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
- 1990년 3월 ~ 1997년 2월 : 국방과학연구소 연구원
- 2000년 3월 ~ 2007년 7월 : 우송공업대학 디지털전자정보계열 교수
- 2007년 8월 ~ 현재 : 우송대학교 IT융합학부 교수
- 관심분야 : 비전 시스템, 무선통신, 로보틱스, 유전자 알고리즘
- E-Mail : kimwon@wsu.ac.kr