The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 19, No. 6, pp.41-46, Dec. 31, 2019. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.6.41
JIIBC 2019-6-7

멀티드론 통신을 위한 라우팅 프로토콜 연구

A Study on Routing Protocol for Multi-Drone Communication

김종권*, 정영지**

Jongkwon Kim*, Yeongjee Chung**

요 약 본 논문에서는 드론을 이용한 영상 촬영이 대두되고 있는 현재에 효율적으로 영상을 전송하기 위한 대역폭이나 네트워크 시스템을 연구해야할 필요성이 있으며 2대 이상의 멀티 드론을 둥기화 및 군집화 시키기 위한 라우팅 프로토콜을 설계하려 한다. 우선 멀티드론을 제어하기 위해 Ad-hoc 네트워크를 구성하려 한다. 드론의 군집화를 위해 여러 연구가 진행되고 있다. 비행체 애드혹 네트워크(FANET)은 이러한 연구를 진행하는데 중요한 기반이 된다. FANET을 설계하기 위해 다수의 라우팅 프로토콜이 제시되고 있으며 이러한 라우팅 프로토콜은 다양한 상황과 환경에 따라 다른 성능을 보여준다. FANET을 설계하는데 사용할 라우팅 프로토콜을 결정하는데는 기존에 있던 모바일 애드혹 네트워크(MANET)에서 사용하였던 라우팅 프로토콜을 이용해 테스트를 진행한다. 따라서, MANET을 이용하여 FANET에서 사용할 라우팅 프로토콜을 시뮬레이션하여 향후 FANET을 설계하는데 최적의 라우팅 프로토콜을 선택하는데 도움을 줄 것이다. 끝으로 본 논문에서는 MANET에서 주로 사용되었으며 FANET에 적합할 라우팅 프로토콜을 설명하며 그 중 FANET을 설계하는데 주로 사용되는 라우팅 프로토콜의 성능비교를 기술하였다.

Abstract In this paper, it is necessary to study the bandwidth and network system for efficient image transmission in the current era of drone imaging, and to design routing protocols to round out and cluster two or more multi-drones. First, we want to construct an ad hoc network to control the multidrone. Several studies are underway for the clustering of drones. The aircraft ad hoc network (FANET) is an important foundation for this research. A number of routing protocols have been proposed to design a FANET, and these routing protocols show different performances in various situations and environments. The routing protocol used to design the FANET is tested using the routing protocol used in the existing mobile ad hoc network (MANET). Therefore, we will use MANET to simulate the routing protocol to be used in the FANET, helping to select the optimal routing protocol for future FANET design. Finally, this paper describes the routing protocols that are mainly used in MANET and suitable for FANET, and the performance comparison of routing protocols, which are mainly used in FANET design.

Key Words : Drone, Protocol, Routing, Ad-hoc

*정회원, 원광대학교 대학원 컴퓨터공학과학교
**정회원, 교신저자, 원광대학교 컴퓨터.소프트웨어공학과
접수일자 2019년 10월 31일, 수정완료 2019년 11월 30일
게재확정일자 2019년 12월 6일

Received: 31 October, 2019 / Revised: 30 November, 2019 / Accepted: 6 December, 2019
**Corresponding Author: yeongjee@gmail.com
Dept. of Computer and Software Eng., Wonkwang Univ., Iksan Korea

Ⅰ. 서 론

최근 들어 드론에 의한 영상 촬영은 다양하게 산업적으로 활용되고 있다. 이 때 촬영된 드론 영상은 대부분 메모리에 저장하고, 회수된 드론의 메모리로부터 영상을 다운로드하여 확인하는 방식이다. 하지만 최근에는 셀룰러 네트워크을 통해 촬영된 영상을 바로 전송하는 방식이 연구되고 있으나 셀룰러 네트워크의 비용 및 셀룰러 네트워크의 연결성 문제로 실시간으로 촬영 영상을 모니터링 하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 멀티드론의 군집화를 위해 Ad-hoc 네트워크를 구성하기 위한 프로토콜을 비교하여 최적의 라우팅 프로토콜을 알아내고자 한다.

Ⅱ. 관련 연구

본 장에서는 관련연구로 크게 기반시설 멀티 드론 군집화 시스템과 멀티 드론 간 통신 시스템에 대한 대표적인 연구를 서술한다.

2.1 기반시설 멀티 드론 군집화 시스템

기반시설 멀티 드론 군집화 시스템은 군집화한 모든 드론으로부터 원격 측정 정보를 수신하고 각 드론에 개별적으로 명령을 보내는 지상 제어 스테이션(GCS)으로 구성된다. 경우에 따라 지상 제어 스테이션은 실시간으로 개별 드론과 다시 통신하여 각 드론 보드의 비행 컨트롤러에 명령을 보낸다. 다른 경우에는 비행 작업은 각 드론에 미리 프로그램되어 있으며 각 드론의 개별 비행 계획은 동시에 운영되는 반면 지상 제어 스테이션은 단순히 시스템을 관찰하는데 사용된다. 이러한 드론 군집화 시스템은 할당된 작업을 완료하기 위해 중앙 제어의 지시가 여전히 필요하기 때문에 반 자율적인 것으로 간주한다[1].

기반시설 멀티 드론 군집화 시스템은 드론 군집화 중 가장 일반적인 시스템이다[1]. 지상 제어 스테이션 소프트웨어에는 이미 기본 기반시설 멀티 드론 군집화 기능이 포함되어 있다. 기반시설 멀티 드론 군집화 시스템의 장점 중 하나는 고성능 컴퓨터를 통해 지상 제어 스테이션이 실시간으로 최적화 및 계산을 수행할 수 있다는 것이다. 또한, 드론 간의 네트워크가 불필요하다[1].

기반시설 멀티 드론 군집화 시스템은 모든 드론의 조정을 위해 지상 제어 스테이션에 의존한다. 이 종속성으로 인해 시스템 중복성이 부족하다. 지상 제어 스테이션 작동에 대한 공격 또는 통신 실패시 전체 군집화의 작동성이 손상된다. 또한, 기반시설 방식을 사용하려면 모든 드론이 지상 제어 스테이션의 전파 범위 내에 있어야 한다. 또한, 비승인 RF 통신이 인터페이스에 간섭하기 쉽다는 점도 있다[2].

드론의 가벼운 페이로드 용량으로 인해 기반시설과 안정적인 통신을 설정하는데 필요한 하드웨어가 기반시설 군집화 시스템의 유틸리티를 제한할 수 있다. 또 다른 단점은 분산 의사 결정의 부족이다. 기반시설 군집화 시스템에서 지상 제어 스테이션이 미리 계산된 알고리즘을 기반으로 모든 드론의 의사 결정을 조정한다.

2.2 M2M(Machine-to-Machine) 통신 시스템

M2M 통신은 지능형 센서와 액추에이터 간에 자율적인 통신을 제공한다. 따라서 M2M 트래픽 특성은 트래픽 밀도, 패킷 크기 및 서비스 품질(QoS) 요구 사항 측면에서 기존의 모바일 트래픽과 다르다[3]. [4]에서 수행 된 실험 연구에 따르면 M2M 트래픽은 다양한 측면에서 기존 모바일 트래픽과는 상당히 다른 동작을 나타낸다. M2M 장치는 공동 지역의 네트워크 리소스를 위해 모바일과 경쟁한다. 따라서 M2M 트래픽이 있을 때 스펙트럼 효율 향상, 지연 시간 제어 및 네트워크 혼잡 제한과 같은 많은 장치 및 문제를 지원하는데 주의를 기울여야 한다. 이러한 M2M 트래픽 특성 외에도 M2M 디바이스 볼륨 증가, 작은 페이로드 전송, 다양한 이동성 프로파일에 대한 요구, 제어 및 지연 허용 및 버스트 트래픽과 같은 고유한 특성을 지닌다. 따라서 기존 모바일 트래픽에 대해 원래 표준화된 기존 모바일 표준을 최적화하는 것이 매우 중요하다. 다양한 M2M 애플리케이션간에 글로벌 연결을 가능하게하기 위해 여러 표준화 기구가 모바일 네트워크를 통한 M2M 통신을 지원하기 위해 새롭고 최적화된 아키텍처를 설계하고 있다. ETSI는 다양한 M2M 서비스 요구 사항을 고려하기 위해 M2M 통신을 위한 E2E 네트워크 아키텍처를 설계하고 표준화했다. M2M 디바이스는 일반적으로 M2M 애플리케이션 도메인(서버 도메인)과 데이터를 송수신하기 위해 서브넷이라고하는 소규모 로컬 네트워크에 연결된다[5]. M2M 영역 네트워크는 M2M 장치와 M2M 게이트웨이 사이의 통신 경로를 설정한다. 이러한 네트워크를 일반적으로 M2M 장치에서 M2M 게이트웨이로 정보를 수집하고 라우팅하는 서브넷이라고 한다. 일반적으로 서브넷 사용은 네트워크 기술에 따라 다르다. 완전히 분산된 네트워크에서 모든 M2M 장치는 네트워크의 피어로 연결된다. 유선 또는 무

선 연결을 통해 네트워크에 연결된 노드 중 하나가 라우터 역할을 한다. 클라이언트-서버 네트워크에서 모든 노드 또는 장치는 서버와 직접 통신한다. 협업 네트워크에서 모든 노드는 일부 중간 게이트웨이를 사용하여 서로 통신한다.

M2M 게이트웨이 정보를 수집하기 위해 배치된 지능형 센서는 M2M 게이트웨이를 통해 통신 네트워크와 통신한다. 따라서 M2M 게이트웨이는 센서와 통신 네트워크 간의 브릿지 역할을 한다. 통신 네트워크의 주요 역할은 유선 또는 무선 통신 네트워크를 통해 M2M 장치와 응용 프로그램 서버 간에 통신 경로를 만드는 것이다.

Ⅲ. 본론

본 장에서는 멀티 드론 통신 네트워크 구성에 대해 기술한다. 특히, 물리적인 환경과 시스템의 소프트웨어 환경에 중점을 둔다.

3.1 멀티 드론 통신 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 멀티 드론 통신 시스템을 설명하려 한다. 현재 주로 사용되는 멀티 드론 통신 시스템은 인프라가 구축된 구조가 대부분이다. 다수의 드론과 해당 드론들을 제어하는 메인 컨트롤 시스템이 존재한다. 드론들은 메인 컨트롤 시스템에서 주어지는 정보들을 바탕으로 군집화하며 입력된 제어정보를 토대로 기동된다.

본 논문에서 제안하는 방식은 멀티 드론이 서로 통신하여 Ad-hoc 네트워크를 구축하여 제어정보를 받아 이웃 노드(드론)과 통신하여 마스터 노드를 중심으로 군집화를 이루는 구조이다. 각각의 드론은 장착된 Zigbee를 통해 컨트롤러에서 받아온 제어정보와 GPS정보를 주고받아 Ad-hoc 네트워크를 구성하여 기동하는 형태이다.

드론의 편대 대형 유지 및 변경 방법은 3가지가 있는데, Unit center, Neighbor, Leader 방식이 있다. Unit center 방식은 각 드론들의 평균좌표에 있는 점을 중심으로 선정 한 후 각 드론들은 이 중심을 기준으로하여 자신의 위치를 계산한다. Neighbor 방식은 각 드론들이 자신과 이웃하고 있는 드론을 기준으로 하여 자신의 위치를 계산한다. Leader 방식은 대형을 이루고 있는 하나의 드론이 리더가 되어 다른 드론들은 리더를 기준으로 하여 위치를 계산한다.

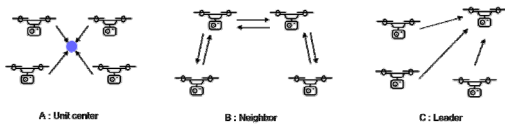

그림 1. 편대 대형 유지 및 변경 방법
Fig. 1. Method to maintain and change drone formation

본 논문에서 사용할 편대 대형 유지 및 변경 방법은 Neighbor 방식이 주가 된다. 컨트롤러로 Master node에게 제어정보를 보내면 Master node는 Slave node 노드들과 통신하여 제어정보와 위치정보를 주고받아 서로의 위치와 이동 경로를 공유한다. 전체적인 시스템 구조는 다음 그림과 같다.

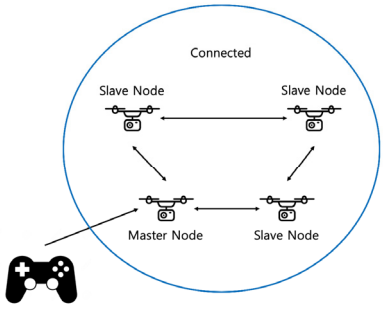

그림 2. 멀티 드론 애드혹 네트워크 시스템 구성
Fig. 2. Multi-Drone Ad-hoc Network Configuration

시스템 구조는 컨트롤러가 Master Node에게 제어정보를 송신하면 Master Node는 제어정보를 각각의 Slave Node들과 통신하여 제어정보를 공유하게 된다. 제어정보를 전송받은 Slave Node들은 제어정보를 토대로 이동하게 된다. 또한, 각 드론들은 GPS를 이용해 자신의 위치정보를 공유하여 편대 대형을 유지 및 변경하여 군집화를 하여 비행하게 된다.

멀티 드론이 통신하기 위해 Ad-hoc 네트워크를 형성하여 각 드론들은 데이터를 공유하도록 한다. 드론 간에 Ad-hoc 네트워크를 구성하기 위해서는 모바일 Ad-hoc 네트워크를 사용하여야 한다. 그러기 위해서 3가지의 모바일 Ad-hoc 네트워크를 고려하였다. DSDV, OLSR, AODV 3가지 모바일 Ad-hoc 라우팅 프로토콜을 사용하여 드론 Ad-hoc 네트워크를 구성한다. 3가지의 Ad-hoc 라우팅 프로토콜을 비교하여 멀티 드론의 군집화를 구성하는데 최적의 Ad-hoc 라우팅 프로토콜을 적용한다.

Ⅳ. 실험 및 결과

4.1 Ad-hoc 네트워크 시뮬레이션 환경

라우팅 프로토콜을 시뮬레이션하기 위해 Network Simulator 3(NS-3)를 사용했습니다. NS-3는 기본적으로 탐사 및 훈련에 중점을 둔 개별 이벤트 중심 시뮬레이터이다. NS-3는 무료 오픈 소스 소프트웨어이며 GNU GPLv2에 따라 라이센스가 부여된다. 이 실험에는 NS-3.30.1 버전의 네트워크 시뮬레이터 macOS Mojave 환경에서 실행되었다. 실험 파라미터는 다음과 같다

표 1. 실험 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
Routing Protocol	AODV, DSDV, OLSR
Position Allocator	Random Rectangular Position Allocator
bps	2kbps
Number of Nodes	30, 60
Number of Sinks	10
Simulation Time	200 sec.
Simulation Area	300, 300
MAC Layer	802.11B
Node Pause Time	0 sec.
Node Speed	20m/s

드론 또는 UAV가 이동하는 방식을 Random Waypoint Mobility Model을 사용하였고 DSDV, AODV. OLSR 프로토콜에 대해 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 영역은 가로, 세로로 하였으며 노드는 드론을 의미한다. 드론의 속도는 이동하려는 위치에 따라 정해지며 노드의 수는 30개와 60개로 정하였다. 시뮬레이션 시간은 100초이며 10초에 한번씩 정보를 주고 받도록 하였다. 멀티드론의 Ad-hoc 네트워크 구성을 위해 DSDV, OLSR. AODV를 비교하여 최적의 라우팅 프로토콜을 구성하려고 한다. DSDV, OLSR. AODV을 시뮬레이터로 실험한 결과 다음과 같은 결과값을 얻을 수 있었다.

4.2 실험 결과 및 활용

Network Simulator-3(NS-3)를 통해 시뮬레이션을 진행하였으며 해당 시뮬레이션의 결과로 총 패킷 수신 개수, 패킷 수신율 그래프와 성능 비교로서 패킷 손실율 당 플로우 수와 지연 시간 당 플로우 수를 비교하였다. 노드 개수(30개, 60개)에 따라 비교를 따로 진행하였다.

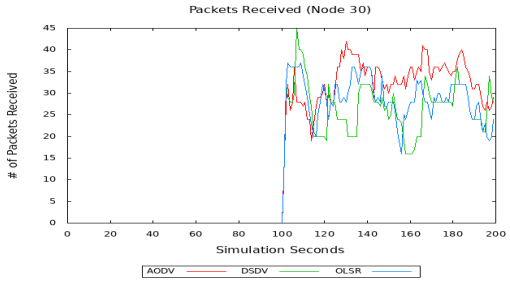

그림 3. 패킷 수신량 그래프(노드30개)
Fig. 3. Packet Receive Graph(Node 30)

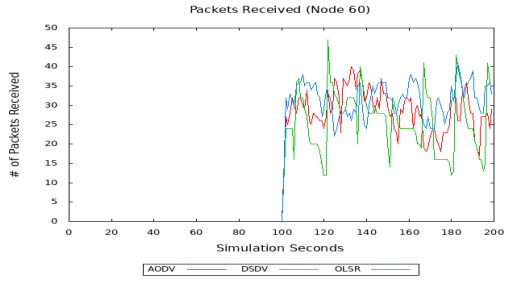

그림 4. 패킷 수신량 그래프(노드60개)
Fig. 4. Packet Receive Graph(Node 60)

해당 그래프는 3가지 라우팅 프로토콜, AODV, DSDV, OLSR의 패킷 수신량 그래프이다. 노드의 개수가 30개인 경우와 60개인 경우로 구분하여 시뮬레이션을 진행하였다. 노드가 30개인 경우의 패킷 수신량 그래프를 확인해 보면 AODV가 DSDV와 OLSR에 비해 비교적 패킷 수신량의 폭이 크지 않음을 확인할 수 있다. 그리고 노드가 60개인 그래프에서는 AODV와 OLSR이 패킷 수신량의 폭이 크지 않음을 확인할 수 있으며 DSDV는 노드가 30개인 경우와 60개인 경우 모두에서 패킷 수신량의 폭이 크다는 것을 확인할 수 있었다. 다음으로는 각 라우팅 프로토콜의 지연 시간과 패킷 손실 그래프를 확인하여 성능 비교를 진행할 것이다.

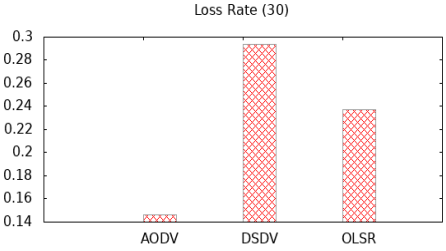

그림 5. 패킷 손실율 그래프(노드30개)
Fig. 5. Packet loss rate Graph(Node 30)

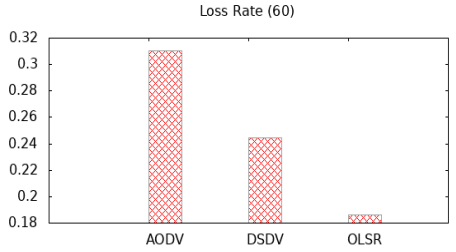

그림 6. 패킷 손실율 그래프(노드60개)
Fig. 6. Packet loss rate Graph(Node 60)

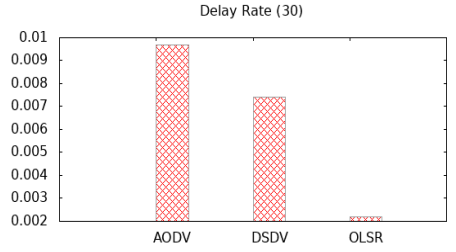

그림 7. 지연 시간 그래프(노드30개)
Fig. 7. Delay rate Graph(Node 30)

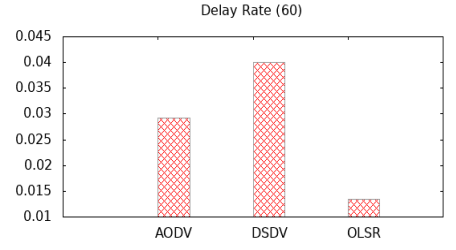

그림 8. 지연 시간 그래프(노드60개)
Fig. 8. Delay rate Graph(Node 60)

해당 그래프는 AODV, DSDV, OLSR의 성능 비교를 위한 패킷 손실율과 지연 시간의 그래프이다. 패킷 손실율을 확인해보면 AODV가 노드 30개인 경우에서 가장 낮은 패킷 손실율을 보여줬고 다음으로는 OLSR 이었으며, DSDV는 패킷 손실율이 가장 높게 나왔다. 그러나 노드의 개수를 60개로 늘린 시뮬레이션 환경에서는 AODV의 패킷 손실율이 가장 높았으며, 다음으로 DSDV가 높았고 OLSR은 가장 낮은 패킷 손실율이 나왔다. 이는 Reactive 방식인 AODV가 Proactive 방식인 DSDV와 OLSR과 비교해 노드가 많아졌을 경우에 라우팅 루트를 선택하는 과정에서 선택할 수 있는 루트의 수가 증가한 것이 원인으로 본다. 패킷 손실율은 노드가 30개인 환경과 60개인 환경 두 상황에서 OLSR이 가장 준수한 성능을 보여줌을 확인할 수 있었다. 다음으로 지연 시간 그래프를 확인한다. 지연 시간 그래프는 노드가 30개인 경우에서 AODV가 가장 높은 지연 시간을 가졌고 다음으로 DSDV, 마지막으로 OLSR은 지연시간이 가장 낮았다. 다음으로 노드가 60개인 환경에서는 DSDV의 지연 시간이 가장 높았으며, 다음으로는 AODV, 마지막으로는 OLSR로 지연 시간 그래프에서는 OLSR이 노드가 30개인 환경과 60개인 환경 모두 가장 좋은 성능을 보여줬다. 이는 앞서 설명한 AODV의 네트워크 정체 현상과 DSDV의 다중 경로 라우팅을 지원하지 않는다는 것이 원인으로 확인된다. 패킷 손실율과 지연 시간을 노드 개수에 따라 성능 비교를 하였는데 성능 수치만으로 비교를 하자면 OLSR이 가장 좋은 성능을 보여주었다. 하지만 AODV의 중간 드론도 라우팅 테이블을 수정할 수 있다는 점과 DSDV의 시퀀스 번호와 단순성 덕분에 드론간에 루프없는 데이터 전송을 보장한다는 점 또한 FANET을 구성하는데 고려해야 할 요소이다.

V. 결 론

최근 드론의 활용도가 증가함에 따라 드론과 관련된 여러 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 중에서도 다수의 드론을 군집화 시키는 연구가 많은 분야에서 쓰일 것으로 예상되고 있다. 초기 연구에서는 기반시설이 구축되어 있는 형태의 멀티 드론 군집화 시스템 연구가 주류를 이루었다. 최근의 멀티 드론 군집화 시스템 연구는 비행체 애드혹 네트워크(FANET)를 이용한 연구를 진행하고 있다. 고속으로 이동하며 3차원 형태의 이동을 하는 드론을 다수의 드론을 연결하여 기반시설의 지상 제어 스테이션(GCS)에서 제어하는 방식이 아닌 드론 간에 통신을 하여 드론의 여러 가지 정보를 주고 받는 형태의 구조로 연구가 진행된다. 본 논문은 멀티 드론간에 통신을 효율적으로 유지하고 드론의 비행 정보를 주고 받으면서 군집 비행의 최적화 방안에 대한 연구이다. 이를 위해, DSDV, OLSR, AODV를 통해 이웃 드론과 통신하여 마스터 드론의 비행 정보를 다른 노드들에게 브로드캐스트하여 위치 추정을 통해 최적화된 Ad-hoc 네트워크를 구성하는 것이다. 네트워크 시뮬레이션을 통해 DSDV, OLSR, AODV의 노드 개수 별 성능 차이를 확인해 본 결과, 이후 연구에서 멀티드론 Ad-hoc 네트워크를 구성하는 데 있어서 노드 개수를 60개 이상으로 하여 연구를 진행할 것이다. 해당 연구를 통해 기존의 지상국에서 제

어하는 군집화 방식에서 멀티드론이 Ad-hoc 네트워크를 구성하여 군집화를 이루는 방식의 라우팅 프로토콜 연구를 진행하려 한다. 향후 연구로는 모바일 애드혹 네트워크(MANET)을 통해 진행된 시뮬레이션을 토대로 비행체 애드혹 네트워크(FANET)을 설계하는데 적용을 할 것이다. 또한, 비행체 애드혹 네트워크(FANET) 뿐만 아니라 최근 연구가 활발히 진행되는 자율 주행 연구에 차량 애드혹 네트워크(VANET)에서도 적용하기 위한 연구를 진행할 계획이다.

References

[1] I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, and Ş. Temel, "Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey," Ad Hoc Networks, vol. 11, no. 3, pp. 1254-1270, 2013.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.12.004

[2] Nuno Pessanha Santos, Victor Lobo, Alexandre Bernardino"A ground-based vision system for UAV tracking"Proceedings Article published May 2015 in OCEANS 2015 - Genova
DOI: https://doi.org/10.1109/oceans-genova.2015.7271349

[3] M Laner, P Svoboda, N Nikaein, M Rupp, in Proceedings of the Tenth International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). Traffic Models for Machine Type Communications (VDE Ilmenau, Germany, 2013), pp. 1-5
DOI: https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-102-3.00008-3

[4] MZ Shafiq, L Ji, AX Liu, J Pang, J Wang, in ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. A first look at cellular machine-to-machine traffic: large scale measurement and characterization, vol. 40, (2012), pp. 65-76

DOI: https://doi.org/10.1145/2318857.2254767

[5] MJ Booysen, S Zeadally, GV Rooyen, Survey of media access control protocols for vehicular ad hoc networks. IET Commun. 5(11), 1619-1631 (2011)
DOI: https://doi.org/10.1049/iet-com.2011.0085

[6] Suehyung Ha, Le The Dung, Beongku An,"A Route Stability-based Direction Guided Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Wireless Networks" JIWIT 2012-6-32
DOI: http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.6.257

저 자 소 개

김 종 권(정회원)

- 2018년 2월 원광대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2018년 2월~현재 원광대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정
- 관심분야 : 모바일 컴퓨팅, 드론

WONKWANG UNIVERSITY.

정 영 지(정회원)

- 1995~원광대학교 컴퓨터•소프트웨어공학과 교수
- 1993~1995 한국전자통신연구원
- 1987~1993 삼성 종합기술원
- 연세대학교 전기공학과 공학박사
- 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 빅데이터 정보처리, 모바일 컴퓨팅

WONKWANG UNIVERSITY.

※ 이 논문은 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(N0002431, 2019년 산업전문인력역량강화사업)