

## 사용자 계층 모바일 애드혹 라우팅 네트워크 설계와 실제 환경에 서의 성능 검증

김준겸<sup>1</sup> · 공태식<sup>1</sup> · 이성주<sup>2\*</sup>

### The Design, Implementation, and Evaluation of a User-Level Mobile Ad Hoc Network Routing with COTS Devices

Joon-Gyum Kim<sup>1</sup> · Taesik Gong<sup>1</sup> · Sung-Ju Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Candidate, School of Computing, KAIST, Daejeon, 34141 Korea

<sup>2\*</sup>Endowed Chair Professor, School of Computing, KAIST, Daejeon, 34141 Korea

#### 요약

본 논문에서는 애드혹 라우팅 네트워크를 다양한 사용자 모바일 기기에서 사용하기 위한 설계 방법을 소개하고, 이를 모바일 기기에 직접 구현하여 실제 환경에서 어떻게 작동하는지 성능을 관찰하고 검증하였다. 상용 사용자 모바일 기기에서의 애드혹 라우팅 네트워크의 사용성을 고려해 커널을 수정하지 않고 사용자 계층에서 구현하는 디자인을 선택하였다. 또한 이동성이 높은 환경에서 적절히 사용하기 위해 기존 애드혹 라우팅 네트워크들을 분석하였으며 그 결과 사용자 계층에서 AODV (ad-hoc on-demand distance vector) 프로토콜과 TCP를 구현하였다. 모바일 기기들이 일렬로 놓여 있는 환경과 중앙 노드가 주변 노드 여러 대와 통신하는 환경에서 실험을 진행하였고, 그 결과 일렬로 놓인 환경에서 최대 12 홉, 중앙 노드와 주변 노드가 통신하는 환경에서 최대 5 개의 노드와 통신하는 것을 확인하였다.

#### ABSTRACT

We design, implement, and evaluate a user-level ad hoc network routing protocol on the COTS (commercial off-the-shelf) mobile devices. In situations such as disaster recovery, emergency communication between mobile devices is necessary. For wide deployability and usability of such a system, we design and implement the networking protocols on the user level instead of modifying the kernel of mobile devices. In order to support reliable data transfer in high mobility scenarios, we selected to implement AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) as the routing protocol and TCP as the transport layer protocol. With our implementation of ad hoc networking stack on COTS smartphones, we conducted experiments in various networking environments. Our experimental results show that ad hoc networking is possible in up to 12 hops in a line topology and 5 concurrent devices in a star topology.

**키워드** : 애드혹 네트워크, AODV, 라우팅 프로토콜, 멀티홉 라우팅

**Keywords** : Ad hoc network, AODV, routing protocol, multi-hop routing

Received 7 June 2019, Revised 20 June 2019, Accepted 23 June 2019

\* Corresponding Author Sung-Ju Lee(E-mail:profsj@kaist.ac.kr, Tel:+82-42-350-7766)

Endowed Chair Professor, School of Computing, KAIST, Daejeon, 34141 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.7.845>

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/licenses/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. 서론

최근 무선 통신 기술이 발전하고 모바일 기기의 개수가 늘어남에 따라, 무선 통신에 대한 사람들의 수요도 과거에 비해 기하급수적으로 늘어났다. 늘어난 수요에 맞춰 기존의 기반네트워크 시설(Infrastructure based network)의 규모가 증가하며, 더 많은 사람들이 편하게 무선 통신 기술을 사용할 수 있게 되었다.

이러한 기반네트워크 시설의 경우, 기반네트워크가 제 기능을 하지 못하는 상황에서는 통신이 어렵게 된다. 일례로 태풍이나 지진 등의 재난이 닥칠 경우 며칠간 통신 시설이 마비되기도 한다. 우리나라의 경우 2010년 태풍 곤파스, 2016년 규모 5.1의 지진이 발생하여 일부 지역의 Wi-Fi 및 Cellular 서비스가 마비되었다. 재난 상황 외에도 사람들이 많이 몰리는 상황(경기장, 졸업식, 시위 등)이 되면 기반네트워크 시설이 잘 작동하지 않는 상황을 흔하게 경험할 수 있다. 또한 기반네트워크 시설의 특성상 AP나 기지국 같은 중앙노드와의 트래픽 교환이 필요하므로, 적진을 탐색하는 군사목적의 드론이나 높은 고도에서 활동하는 드론의 경우 기반네트워크의 도움을 받기 힘들다.

이러한 기반네트워크 시설의 단점을 해결하기 위한 대안으로 모바일 애드혹 네트워크가 있다. 모바일 애드혹 네트워크는 특정 기반네트워크 없이 모바일 노드끼리 서로 메시지를 전달하여 통신할 수 있는 네트워크이다. 대부분의 사람들이 가지고 있는 스마트폰들끼리 애드혹 네트워크를 구현할 수 있다면, 재난 등의 극한 상황에서도 외부와의 통신이 가능해지게 되어 필요한 조치를 적절한 시간 내에 제공할 수 있을 것이다. 또한 인프라의 도움을 받기 힘든 높은 고도의 드론 운용이나, 오지에서의 드론 운용, 그리고 적대적 지역을 탐색하는 드론 운용시 네트워킹이 가능하다 [1-3].

하지만 애드혹 네트워크를 스마트폰 등의 모바일 기기에서 사용하기 위해서는 모바일 기기의 커널을 수정해야 한다는 문제가 있다. 다시 말해, 커널의 라우팅 모듈의 네트워크 계층을 수정해야만 새로운 시스템을 구축할 수 있다. 그러나 세계적으로 다양한 기종의 모바일 기기가 각각 다른 제조사로부터 제공된 커널을 사용한다는 점을 감안하면, 이러한 커널을 수정하는 방식의 모바일 애드혹 네트워크 구현은 배포 측면에서 현실적으로 거의 불가능하다. 따라서 멀티 홉 애드혹 네트워크의

현실적인 사용을 위해서는, 커널의 수정 없이 사용자 계층에서 작동하는 라우팅 시스템이 제시되어야 한다.

모바일 애드혹 네트워크는 1970년대에 시작하여 다양한 연구가 이미 진행되었다 [4-10]. 하지만 대부분의 연구는 시뮬레이션에 그치거나 단순한 실험 세팅에서만 시스템을 평가하여 실제 상황을 잘 반영하지 못한다 [11-15]. 실제 환경에서는 다양한 변수(무선 채널 전파, 환경 변화 등)가 나타날 수 있으며, 이에 대한 분석을 통해 어떤 알고리즘이 가장 적합한지에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 사용자 계층에서 멀티 홉 애드혹 네트워크를 구현한 User-Level Mobile Ad-hoc Network (UL-MANET) 을 설계하고 상용 스마트폰을 활용하여 실제 환경에서의 실험을 통해 시스템의 성능을 검증하였다. 기존 연구가 대부분 시뮬레이션에 집중되어 있는 것에 반해 본 논문에서는 최대 12홉의 실험 환경을 구축하였으며, 실내 및 실외 등 다양한 환경과 구조에서 성능을 평가하였다. 특히 사용자의 이동성이 존재하는 환경에서도 실험을 진행함으로써, 실제 상황에 더욱 가까운 환경에서 시스템이 잘 작동하기 위한 조건을 분석하였다.

본 논문의 2장에서는 모바일 애드혹 라우팅 알고리즘의 기존 연구 소개 및 한계점을 분석하고, 3장에서 UL-MANET의 설계 논의 점을 제시하고 그에 대한 답변을 제시한다. 4장에서는 다양한 실험 환경에서 UL-MANET의 성능을 평가한다.

## II. 기존연구 분석

본 장에서는 기존 모바일 애드혹 라우팅 알고리즘들을 소개하고, 각 알고리즘의 특성과 장단점을 살펴본다. 또한, 기존 연구들의 한계점을 이해하고 실제 환경에서의 성능검증의 필요성에 대해 소개한다.

기반네트워크 시설(인프라)이 없는 모바일 애드혹 네트워크 (MANET) 환경에서는 출발 노드에서 도착지 노드까지 경로를 결정해 주는 라우터가 존재하지 않기 때문에 각각의 노드들이 라우터의 역할을 대신하여 경로를 결정해야 한다. 또한 모바일 애드혹 라우팅의 특성상 각 노드들의 이동성이 존재하며, 무선 네트워크에서 생기는 전통적인 문제(패킷 손실 및 지연시간)와 더불어

제한된 전력을 최소로 활용하여 라우팅 경로를 결정해야 하는 도전 과제가 존재한다.

애드혹 라우팅 알고리즘은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 Proactive 라우팅 알고리즘으로, 전송할 데이터의 유무와 관계없이 주기적으로 각 노드가 애드혹 네트워크의 라우팅 정보를 유지 관리하는 방법이다. 각 노드는 주기마다 주위 노드로 메시지를 보내고, 이웃 노드의 정보를 알아내어 라우팅 테이블을 만든다. Proactive 라우팅 알고리즘은 대표적으로 Optimal Link State Routing (OLSR) [4], Destination Sequence Distance Vector (DSDV) [5], Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) [6] 가 있다.

Proactive 라우팅 알고리즘은 주변 노드들과의 주기적인 메시지 교환을 통해 라우팅 테이블을 관리하므로, 계산에서 발생하는 오버헤드가 존재하지만 주기마다 최신 경로 정보가 유지된다는 장점이 있다. 하지만 Proactive 라우팅 알고리즘은 당시 이동성이 적고 유선 네트워크 상황이 가정되었던 경우에 연구되었던 알고리즘들이 대다수이며, 따라서 최적 라우팅 테이블이 자주 바뀌는 경우(이동성이 높은 무선환경)에는 적합하지 않을 수 있다. 또한 라우팅 테이블을 형성하기 까지 오버헤드가 크고 때로는 라우팅 테이블을 만드는 데에 실패할 수도 있다는 사실이 입증되었다 [7, 8].

두 번째는 Reactive (On-demand) 라우팅 알고리즘이다. Reactive 라우팅 알고리즘은 Proactive 라우팅 알고리즘과 달리 높은 이동성을 가정하여 고안된 알고리즘이며, 전송할 데이터가 있을 때 최적의 경로를 찾는 방법이다. Reactive 라우팅 알고리즘은 전송할 데이터가 있으면 라우팅 요청 메시지를 보내고, 목적지 노드가 가장 좋은 라우트를 선택하여 답장을 보내는 방식으로 동작한다. Reactive 라우팅 알고리즘의 대표적인 예로는 Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV) [9]와 Dynamic Source Routing (DSR) [10]이 있다.

Reactive 라우팅 알고리즘은 주기적으로 메시지를 통한 라우팅 테이블을 형성하는 방법을 사용하지 않으므로 계산 오버헤드가 적고, 데이터가 전송되는 시점에 앞서 최적 라우팅 경로를 결정하므로 Proactive 라우팅 알고리즘보다 높은 이동성 상황에서 잘 동작한다는 장점이 있다. 그러나 Reactive 라우팅 알고리즘은 데이터 전송에 앞서 최적의 경로를 찾아야 하는 과정이 필요하므로 Proactive 라우팅 알고리즘보다 지연시간이 길

다는 단점이 있다.

앞서 살펴본 두 가지 모바일 애드혹 라우팅 알고리즘들을 포함하여 MANET 연구는 1970년대부터 오랜 기간 진행되었으나, 실제로 모바일 장치에 구현하여 실험한 연구는 드물고 대부분 시뮬레이션을 통한 성능분석에서 그친다 [4-10]. 스마트폰에 모바일 애드혹 네트워크를 구성하는 최초의 시도는 2012년에 와서야 이루어졌으며 [11], Proactive 라우팅 알고리즘 중 하나인 OLSR를 구현하여 실험하였다. 하지만 이 알고리즘은 앞서 언급했듯이 이동성이 높은 환경에 부적절하며, 해당 연구에서는 간소화된 실험만 진행되었다. 최근 스마트폰을 이용하여 재난 상황에서의 모바일 애드혹 네트워크를 구성한 논문도 최대 3 홉으로 실험으로 제한되어 있으며 [12], 다수의 노드가 포함된 멀티 홉 라우팅 알고리즘의 실제 설계와 실험은 부족한 실정이다. 또한 기존의 스마트폰을 이용한 구현은 커널 수정을 요구하는 등 실제 상용화된 모바일 기기에 적용하기 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 실제 배포 환경을 고려하여 확장성을 가진 모바일 라우팅 알고리즘 설계를 진행하고, 상용 스마트폰을 이용하여 최대 12홉의 실제 환경에서의 성능 평가를 진행한다.

### III. UL-MANET 설계

본 장에서는 UL-MANET의 설계 필요성과, 시스템 디자인에 대해서 설명한다. 스마트폰, 드론 같은 이동성이 높은 기기들에서 사용자 계층 라우팅을 하기 위해서 필요한 모듈과, 실제 구현된 시스템을 설명한다.

#### 3.1. 사용자 계층 애드혹 라우팅의 필요성 및 overview

모바일 디바이스에서 라우팅 프로토콜을 구현하는 대표적인 방법은 커널의 네트워크 레이어의 라우팅 모듈을 수정하는 것이다. 이 방법을 실제 모바일 장비에 적용하려면 커널 수정이 필요하고, 스마트폰 기종마다 다른 커널의 네트워크 함수 구현으로 인해, 각 기종마다 새롭게 라우팅 모듈을 개발해야 한다. 하지만 사용자 계층에서 라우팅 프로토콜을 구현한다면 커널 수정이 필요하지 않고, 기종마다 개발해야 하는 어려움이 사라진다.

우리는 사용자 계층에서 AODV를 구현한다. UL-MANET의 목적은 라우팅 알고리즘을 커널을 수정하지

않고 스마트폰이나 드론 등 모바일 장치에 쉽게 설치하는 것이다. 이 시스템은 주로 높은 이동성이 있는 장비에 사용되는 것을 목적으로 하기 때문에 이동성이 높은 상황에서 잘 동작한다고 알려져 있는 On-demand routing인 AODV를 사용하였다.

사용자 계층 AODV 알고리즘의 구현은 사용자 계층 TCP 구현이 필수적이다. AODV의 On-demand routing 방식은 데이터 패킷을 전송할 때 라우트 탐색 패킷(RREQ)을 전송하고 라우트 탐색 응답(RREP)을 전송받아 전송 대상까지 라우팅 갱신을 확인한 뒤에 데이터 패킷을 보낸다. 이러한 AODV이 동작하기 위해서는 라우팅 모듈이 데이터 패킷을 보내는 시점에 맞추어 라우팅 패킷을 보내야 하며, 라우팅 패킷이 교환되는 동안 데이터 패킷의 전송을 대기하고, 라우팅 갱신 이후 데이터를 전송해야 한다. 이러한 전송 흐름을 제어하기 위해서 사용자 계층에서 TCP를 구현하였고, 우리가 구현한 AODV와 통신해서 라우팅 제어 패킷들(RREQ, RREP)을 올바르게 전송하였다. 이러한 디자인의 한계점으로는 사용자 계층 AODV를 사용하고 싶은 어플리케이션은 우리가 제공하는 사용자 계층 TCP 라이브러리를 사용하여 통신을 해야 한다는 것이다.

### 3.2. 시스템 디자인

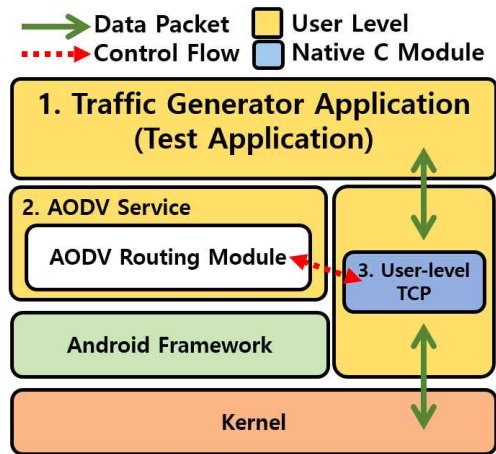


Fig. 1 System design overview

그림 1은 우리 시스템의 전체 구조이다. 1번 Traffic Generator Application 모듈은 라우팅 시스템의 성능 실험을 위해 만든 어플리케이션이다. User level TCP에서

제공하는 API를 이용해 패킷 덤프를 하여 대역폭을 실험할 수 있는 기능을 제공한다. MTU size, window size 변경 기능을 제공하여 다양한 환경에서 라우팅 성능 실험이 가능하다.

2번 AODV Service 모듈은 라우팅 제어 패킷 (RREP, RREQ, RERR, Hello message)들을 주변 노드들과 통신하여 라우팅 테이블을 관리한다. 사용자 계층의 TCP에서 패킷의 목적지를 요청하면 AODV Service의 라우팅 테이블을 통해서 목적지를 알려주거나, 라우팅 경로가 없으면 라우팅 경로를 찾은 뒤 목적지를 알려준다.

3번 User level TCP는 mTCP [16]를 기반으로 구현하였다. mTCP를 수정하여 데이터 패킷을 전송할 때 AODV Service를 통해서 라우팅 목적지를 받는다. 추가적으로 실험의 편의성을 위해서 AODV Service에 Ignore List 라는 기능을 추가 하였다. Ignore List에 등록된 IP의 모든 통신을 무시하여 1-hop 연결을 막았다. 이것은 실험할 때 topology 제어를 위해서 사용하였다. 그리고 커널에 접근하여 data Tx rate를 조절할 수 있게 하였다.

## IV. UL-MANET 평가 및 결과

본 장에서는 UL-MANET의 라우팅 성과, 실제 다양한 토폴로지로 모바일 노드를 배치했을 때 시스템이 얼마나 잘 작동하는지 다양한 방면으로 분석한다. 우리는 UL-MANET을 Galaxy Nexus 스마트폰에 구현하여 테스트 베드를 구성하였다.

### 4.1. 라우팅 성능

먼저 라우팅 성능을 측정하기 위해 그림 2와 같은 실험 환경을 구성하였다. 총 네 노드를 사용하였으며, 각 노드간 거리는 0.2 m이고, 실내에서 테이블 위에 스마트폰을 두고 실험을 진행하였다. Hello interval는 1초, Hello validity는 3초로 설정하였다. 그리고 Traffic Generator Application 모듈을 이용해 트래픽을 발생시켰다.

실험을 위해서 먼저 S-N1-R의 통신 루트가 구성된 상태에서 데이터 통신을 진행한다. 그 이후 N1을 강제로 종료시켜 루트를 끊는다. 이 경우 시스템은 새로운 루트를 구성하려 할 것이고, S-N2-R이라는 새로운 루트를 구성하는 데 성공하게 되면 데이터 통신이 가능해진다. 이 새로운 루트를 구성하는 데 걸리는 시간을 비교

하여 라우팅이 얼마나 빠르게 복구되는지 살펴보았다.

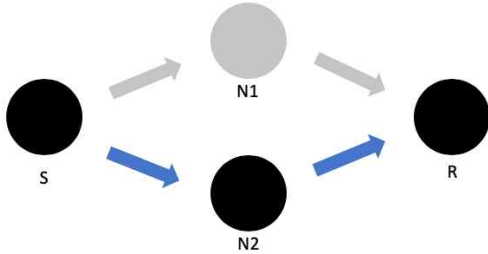


Fig. 2 Experiment to evaluate routing performance

실험 결과, UL-MANET에서 루트를 복원하는데 걸리는 시간(루트가 끊긴 뒤 다시 통신이 가능해지기까지 걸리는 시간)은 5.3초로, 이는 커널에 구현된 SPAN framework의 OLSR의 33초보다 월등히 짧은 시간이다. 우리는 Hello validity 3초간 루트가 끊어졌는지 확인하고, 이 3초 이후 RREQ+RREP를 전송하여 새로운 루트를 구성할 때 발생하는 처리 오버헤드, TCP 세팅 오버헤드 및 Traffic Generator Application 모듈의 오버헤드 등이 합쳐져 5.3초의 복원 시간이 걸린다.

#### 4.2. 다양한 토폴로지에서의 성능

다음으로 다양한 토폴로지로 스마트폰을 배치한 뒤 UL-MANET의 성능을 관찰하였다. 그림 3과 같이 선형으로 스마트폰을 20m 간격으로 배치하였다. 스마트폰은 약 50 cm 높이의 의자 위에 거치하였으며, 실험은 운동장에서 진행되었고, 전송 rate는 18Mbps로 고정된 값을 사용하였다. 그리고 노드의 수를 하나씩 늘려가며 최대 몇 hop까지 통신이 가능한지 측정하였다.

측정 후 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 7 hop까지는 OLSR과 유사한 성능을 보였으며, UL-MANET의 경우 최대 12 hop 까지 데이터를 전송하는데 성공했다. 13 hop부터 데이터 전송이 잘 되지 않는 원인은 TCP를 들 수 있다. Hop이 늘어날수록 패킷이 전송되는 성공률이 낮아지게 되고, end-to-end 전송 시간이 계속 증가하게 된다. 이는 TCP의 congestion window가 지속적으로 감소하게 만들고, 증가할 기회를 얻을 수 없게 만드는 주요 원인으로 작용해 데이터 전송을 어렵게 만든다. 따라서 무선 환경에 적합한 TCP Westwood 등을 사용하면 무선 멀티홉 라우팅 상황에서 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.



Fig. 3 Linear topology

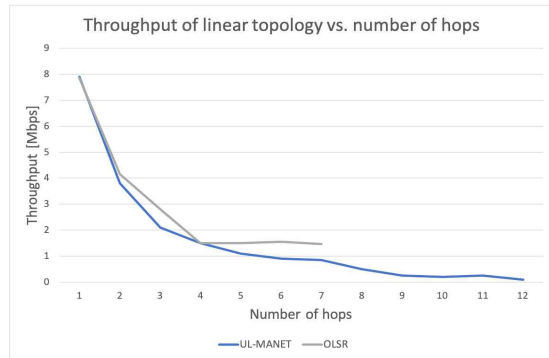


Fig. 4 Throughput of linear topology based on the number of hops

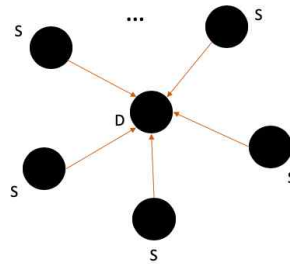


Fig. 5 Star topology

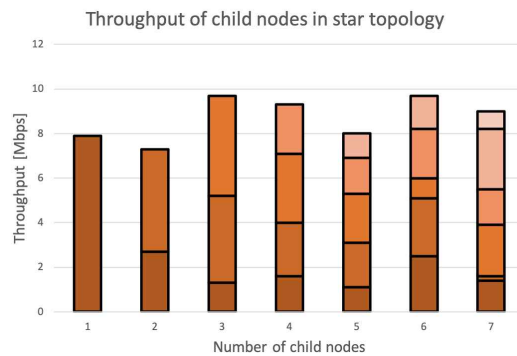


Fig. 6 Throughput of child nodes in star topology

그림 5와 같이 노드들을 원형으로 배치한 뒤 중앙에

노드 하나가 있는 별 모양 세팅을 통해 한 노드에 트래픽이 몰렸을 때 얼마나 그 노드가 트래픽을 처리할 수 있는지 알아보았다. 노드간 거리는 15 m이며, 순차적으로 중앙에 있는 노드에 트래픽을 보내는 노드 수를 증가시켰고, 전송 rate는 18 Mbps를 사용했다. 측정 결과 그림 6과 같이 합산된 throughput은 일정하게 나타났으며, 최대 5개의 노드까지 처리하고 그 이후로 노드를 증가시키는 경우 새로운 연결이 거의 만들어지지 않는 것을 관찰할 수 있었다.

#### 4.3. 이동성에 있는 환경에서의 연결성

UL-MANET의 이동성이 있는 환경에서 연결성이 어느 정도 보장되는지 알아보기 위해 그림 7과 같이 노드들을 일렬로 세워두고 사용자가 세워진 노드들을 따라 걷는 속도로 지나가는 실험을 진행하였다. 노드 간 거리는 10 m이고, 외부 간섭을 최소화하기 위해 운동장에서 실험을 진행하였으며 전송 rate는 18 Mbps로 고정하였다. 실험 결과 1 hop에 해당하는 루트만 설정이 되는 것을 관찰하였으며 이보다 거리가 멀어질 경우에 전송이 되지 않는 것을 확인하였다.

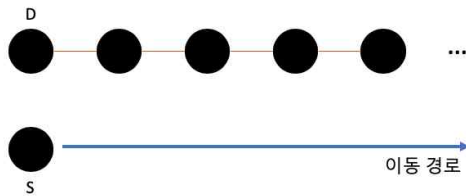


Fig. 7 Experiment with mobile sender

본 실험에서 multi-hop 전송이 이루어지지 않는 점에 대한 원인으로 Hello message와 실제 데이터의 전송 범위 차이를 가설로 설정하였다. 그리고 이를 확인하기 위해 거리에 따른 Hello message와 데이터의 전송 범위를 측정하였다. 실험 결과 Hello message의 경우 최대 도달 거리는 110 m 이상이었으나, 데이터의 경우 20 m보다 멀어지면 거의 전송하지 못했다. Driver level에서 브로드캐스트 패킷의 data rate를 강제로 1 Mbps로 고정하기 때문에 Hello message는 먼 거리까지 전송되어 먼 거리의 노드도 1 홉으로 인식하지만, 데이터 패킷은 18Mbps로 설정이 되어 데이터 전송이 되지 않는 것으로 분석되었다. 위 문제에 대한 해결을 위해서는 데이터 전송과 브로드캐스트 패킷 전송의 데이터 rate를 동일하게 해야 된다.

## V. 결론

본 논문은 사용자 계층에서 작동하는 멀티 홉 애드혹 네트워크 시스템인 UL-MANET을 설계하고 실제 환경에서 검증하였다. 이를 위해 실제 스마트폰을 이용하였으며, 사용자 계층에서 AODV와 TCP를 구현하였다. 실제 환경에서 여러 환경을 구축해 실험한 결과 최대 12 홉까지 애드혹 통신이 가능했으며, 한 노드에 여러 사용자가 몰리는 경우에도 5개의 노드까지 지원하는 것을 확인하였다.

차후 연구에서는 밝혀진 문제 중 Hello message와 실제 데이터의 전송 범위가 다른 문제를 해결한 시스템을 설계하고 검증할 예정이다.

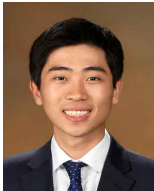
## ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the support from Nano UAV Intelligence Systems Research Laboratory at Kwangwoon University, originally funded by Defense Acquisition Program Administration (DAPA) and Agency for Defense Development (ADD).

## REFERENCES

- [ 1 ] S. Rosati, K. Kruszelecki, G. Heitz, D. Floreano, and B. Rimoldi, "Dynamic routing for flying ad hoc networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(3), 1690-700, (2015).
- [ 2 ] M. H. Tareque, M. S. Hossain, and M. Atiquzzaman, "On the routing in flying ad hoc networks," *2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. IEEE, 2015.
- [ 3 ] Z. Zheng, A. K. Sangaiah, and T. Wang, "Adaptive communication protocols in flying ad hoc network," *IEEE Communications Magazine*, 56(1), 136-142, (2018).
- [ 4 ] P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum, and L. Viennot, "Optimized link state routing protocol for ad hoc networks," in *Multi Topic Conference, 2001. IEEE INMIC 2001. Technology for the 21st Century. Proceedings. IEEE International*, pp.62-68, 2001.

- [ 5 ] C. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," *Proceedings of ACM SIGCOMM'94*, London, UK, pp. 234-244, 1994.
- [ 6 ] V. D. Park, and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," *Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Driving the Information Revolution., Proceedings IEEE*, pp.1405-1413, vol. 3, 7-12, Apr. 1997.
- [ 7 ] S. J. Lee, M. Gerla, and C. K. Toh, "A simulation study of table-driven and on-demand routing protocols for mobile ad hoc networks," in *Network, IEEE*, vol.13, no.4, pp.48-54, Jul/Aug. 1999.
- [ 8 ] C. Perkins, and E. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop*, pp.90-100, 25-26, Feb. 1999.
- [ 9 ] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. RFC 3561. 2003.
- [10] D.B. Johnson, and D.A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," In *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, Chapter 5, pages 153-181, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [11] J. Thomas, J. Robble, and N. Modly. "Off Grid communications with Android." *IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST)*. 2012.
- [12] Z. Lu, G. Cao, T. L. Porta, "Networking smartphones for disaster recovery," *2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*. IEEE, 2016.
- [13] E. Jeong, S. Wood, M. Jamshed, H. Jeong, S. Ihm, D. Han, and K. Park, "mTCP: a Highly Scalable User-level {TCP} Stack for Multicore Systems," In *11th {USENIX} Symposium on Networked Systems Design and Implementation ({NSDI} 14)* (pp. 489-502).
- [14] M. Ahuja, and A. Shafiqul, "Performance Analysis of Vehicular Ad-hoc Network." *International Journal of Computer Applications*, 151.7 (2016).
- [15] R. R. Chandan, B. S. Kushwaha, and P. K. Mishra, "Performance Evaluation of AODV, DSDV, OLSR Routing Protocols using NS-3 Simulator," *International Journal of Computer Network and Information Security* 10.7 (2018): 59.
- [16] A. Kaur, and A. K. Gupta. "Performance Evaluation of AODV and DSDV using NS-3," *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 6 (2016): 560-563.



**김준겸(Joon-Gyum Kim)**

2015년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 학사  
 2017년 2월 KAIST 전산학부 석사  
 2017년 3월 ~ 현재 KAIST 전산학부 박사과정  
 ※관심분야: 모바일 컴퓨팅, 디지털 광고 시스템 보안, 디지털 광고 추천



**공태식(Taesik Gong)**

2016년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 학사  
 2017년 8월 KAIST 전산학부 석사  
 2017년 9월 ~ 현재 KAIST 전산학부 박사과정  
 ※관심분야: 모바일 컴퓨팅, 유비쿼터스 컴퓨팅, 머신러닝



**이성주(Sung-Ju Lee)**

1996년 2월 한양대학교 전자계산학과 학사  
 1998년 6월 UCLA 전산학 석사  
 2000년 9월 UCLA 전산학 박사  
 2000 ~ 2013년 HP 수석연구원  
 2013 ~ 2014년 Narus 수석연구원  
 2015년 ~ 현재 KAIST 전산학부 석좌교수  
 ※관심분야: Wireless Networking, Mobile Computing