

논문 2018-13-10

# 분산 낙하 이동 모델에서의 평균 노드 거리 기반 적응적 OLSR 프로토콜 (Adaptive OLSR Protocol Based on Average Node Distance in Airdropped Distributed Mobility Model)

이택민, 이진해, 왕지현, 유준혁, 유성은\*

(Taekmin Lee, Jinhae Lee, Jihyeun Wang, Joonhyuk Yoo, Seong-eun Yoo)

Abstract : With the development of IT (Information Technology) technology, embedded system and network technology are combined and used in various environments such as military environment as well as everyday life. In this paper, we propose a new airdropped distributed mobility model (ADMM) modeling the dispersion falling of the direct shot of a cluster bomb, and we compare and analyze some representative MANET routing protocols in ADMM in ns-3 simulator. As a result of the analysis, we show OLSR routing protocol is promising in ADMM environment in the view points of packet delivery ratio (PDR), end to end delay, and jitter. In addition, we propose a new adaptation scheme for OLSR, AND-OLSR (Average Node Distance based adaptive-OLSR) to improve the original OLSR in ADMM environment. The new protocol calculates the average node distance, adapts the period of the control message based on the average node distance increasing rate. Through the simulation study, we show that the proposed AND-OLSR outperforms the original OLSR in PDR and control message overhead.

Keywords : Node distance, MANET, Mobility model, Adaptive OLSR, AND-OLSR

## 1. 서론

IT (Information Technology)의 발전을 통해 일반 사물에 임베디드 시스템과 네트워크 기술이 접목되면서 지능화된 시스템이 널리 보급되고 있다. 고성능 센서들의 소형화와 집적화를 통한 SoC (System on a Chip) 기술이 발전하면서 임베디드 시스템의 응용 분야가 확대되었다. 이와 더불어 네

\*Corresponding Author (seyoo@daegu.ac.kr)

Received: Sep. 21 2017, Revised: Dec. 5 2017,

Accepted: Jan. 9 2018.

T. Lee, J. Yoo, S. Yoo: Daegu University

J. Lee: Hanyang University

J. Wang: Agency for Defense Development

※ 이 논문은 2016년 국방과학연구소의 재원으로 수행된 연구과제 (UE161061RD) 및 2016년도 정부 (교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구과제 (2016R1D1A1B03930379)의 결과임.

트위크 기술의 발전으로 사물에 인터넷을 접목한 IoT (Internet of Things) 기술을 통한 사물과의 연결 및 통신이 가능해져 임베디드 시스템이 일상 생활뿐만 아니라 군사 분야 등 다양한 분야에서 활용되고 있다 [1].

최근 군에서는 비행기, 로켓, 야전 이동 단말 (GPS, GIS)에 임베디드 시스템을 적용하여 군사 무기/방어 체계를 더욱 견고하게 발전시키고 있다. 2014년 소프트웨어정책연구소 (SPRI)의 자료에 따르면 2018년까지 세계 국방 IT SW 시장은 약 9,500불이 될 전망으로 정보/전자 전 분야와 항공 우주, 정밀 유도 분야 시장의 급성장도 예상된다. 조사가 있었다 [2]. 이처럼 임베디드 소프트웨어가 적용된 군사 시스템이 증가하는 추세이고, 타 시스템과의 연계를 위해 상호운용성 보장과 같은 끊임 없는 네트워크 환경의 중요성이 증대하고 있다.

네트워크는 크게 유선 네트워크와 무선 네트워크로 나눌 수 있으며, 이 중 무선 네트워크는 인프라 (infrastructure) 방식과 애드 혹 (Ad-Hoc) 방식으로 구분된다. 인프라 방식의 네트워크는 이동 단

말들이 기존에 설치된 인프라의 도움을 받아 네트워크를 구성하는 방식으로, 대표적으로 LTE와 같은 이동통신망과 AP 기반의 Wi-Fi망 등이 있다. 반면 애드 혹 네트워크는 기존에 설치된 인프라 없이 이동 단말들이 데이터를 송수신하며 호스트와 라우터의 기능을 모두 수행하며, 네트워크의 형태가 고정적이지 않고 이동 단말들이 스스로 애드 혹 네트워크를 구성하는 특징이 있다 [3]. 이러한 이동성 네트워크인 MANET (Mobile Ad-hoc Network)은 이동 단말들로 구성되어 이동 단말 간의 연결성, 트래픽, 전파 상태와 이동 패턴에 따라 네트워크 토폴로지가 수시로 변화하는 특성을 가진다.

본 논문에서는 하나의 미사일에 여러 자탄이 들어있는 집속탄 (Cluster bomb) [4] 에 MANET을 적용하여 타겟 [5] 에 대한 정보를 각 자탄 (노드) 들이 교환을 통해 자탄이 중복된 위치에 낙하하는 것을 방지하거나, 타겟에 대한 유효 타격능력을 높이는 상황을 가정한다. 이러한 집속탄이 투하된 이후, 모탄이 자탄으로 분리될 때부터 지표면까지 분산 낙하하는 환경을 모델링한 ADMM (Airdropped Distributed Mobility Model)을 제안한다. 그리고 ADMM환경에서 MANET의 대표적인 라우팅 프로토콜인 DSDV [6], OLSR [7], AODV [8]의 성능을 평가하고 분석한다. 또한, ADMM환경에서 패킷 전송률, 중단 간 지연시간, 그리고 지터 측면에서 가장 좋은 성능을 보이는 OLSR프로토콜에 새로운 적응 기법인 AND (Average Node Distance based adaptation)을 적용한 AND-OLSR프로토콜을 제안하고 그 성능을 분석 및 평가한다.

본 논문의 II장에서는 기존의 MANET과 관련된 연구에 대해 살펴보고, III장과 IV장에서는 제안하는 Mobility Model과 새로운 AND-OLSR 프로토콜에 대해 설명한다. V장에서는 제안한 모델 및 프로토콜에 대한 시뮬레이션 결과를 분석한다. 마지막으로 결론에서는 요약과 향후 연구 내용에 대해 기술한다.

## II. 관련 연구

MANET의 네트워크 토폴로지가 자주 변경되는 특성으로 인해 기존의 유선 네트워크 라우팅 방식을 적용하기 어려웠고, MANET의 특성을 이용한 라우팅 방식들이 연구되었다. MANET 라우팅 프로토콜은 라우팅 경로를 탐색하는 시점에 따라 Proactive 방식과 Reactive 방식으로 나누어진다.

Proactive 또는 Table-driven 방식은 주기적 또는 네트워크 토폴로지 변화 시 라우팅 정보를 브로드캐스팅하여 모든 노드가 항상 최신 라우팅 정보를 유지하는 방식이다. 이러한 Proactive 방식의 프로토콜에는 대표적으로 DSDV (Destination Sequence Distance Vector)와 OLSR (Optimized Link State Routing)이 있다. 반면 Reactive 또는 On-demand 방식은 응용 트래픽이 발생하는 시점에 경로를 탐색하는 방식이다. 이러한 Reactive 방식의 프로토콜에는 대표적으로 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector)와 DSR (Dynamic Source Routing) [9]이 있다.

기존에 이러한 대표적인 MANET 라우팅 프로토콜에 대해 다양한 환경에서의 성능 분석이 이루어졌다. 비행 계측 시스템 구현에 관한 연구에서는 고속의 이동성을 가지도록 Random Way Point 모델을 사용한 환경에서 DSDV, OLSR, AODV, DSR 라우팅 프로토콜을 수신 누적 패킷을 기준으로 비교 분석하여 Proactive 방식의 DSDV가 가장 높은 성능을 내는 것을 보여주었다 [10]. 다중 경로가 있는 MANET 환경에서 라우팅 프로토콜 성능 분석 연구에서는 DSDV, OLSR, AODV, DSR 라우팅 프로토콜에 대해 시스템 처리량과 PDR (Packet Delivery Ratio)을 성능 평가 척도로 비교하여 OLSR 프로토콜이 시스템 처리량 변화폭이 상대적으로 적은 것을 보여주었고, 통합적으로 AODV 프로토콜이 우수하다는 것을 보여주었다 [11].

기존 OLSR 프로토콜을 개선하기 위한 연구도 진행되고 있다. 노드의 움직임에 감지하여 노드 이동속도에 따라 Hello 메시지 브로드캐스팅 모드를 Default 모드와 Fast-Moving 모드로 구분하여 노드가 빠른 이동성을 가지는 환경에서도 안정적인 OLSR 알고리즘을 수행할 수 있도록 보장한 연구가 있다 [12]. 모바일 장치가 사용되지 않을 때 불필요한 Hello 메시지가 에너지를 낭비하는 것을 방지하기 위해 불필요한 Hello 메시지를 억제한 적응적 Hello 메시지 기법을 제안하여 Throughput의 차이 없이 Hello 메시지로 인한 네트워크 오버헤드를 감소시킨 연구가 있다 [13]. OLSR 프로토콜에서 주기적인 HELLO 메시지로 인해 발생하는 불필요한 트래픽을 줄이기 위해 DE최적화 (Differential Evolution Optimization) 기법을 제안하여 HELLO 메시지 주기를 조정하여 프로토콜의 성능 희생 없이 오버헤드를 효율적으로 해결한 연구가 있다 [14]. 하지만 이러한 연구들은 Random Way Point 모델에서 라우팅 오버헤드 문제점을 개선하였지만

본 연구에서는 ADMM이라는 특수한 환경을 고려하여 PDR과 라우팅 오버헤드를 개선하고자 한다.

본 연구에서는 집속탄의 이동을 모델링한 ADMM을 제시하고, ADMM환경에서 기존 MANET 라우팅 프로토콜의 성능을 분석하고, 새로운 적응적 프로토콜인 AND-OLSR을 제안한 후 그 성능을 분석 및 평가한다.

### III. Airdropped Distributed Mobility Model (ADMM)

ADMM (Airdropped Distributed Mobility Model)은 집속탄 (Cluster bomb) [4] 의 각 탄에 내장된 이동 노드들의 움직임을 모델링한 것으로, 노드들이 시간 변화에 따라 방향, 속도, 가속도가 어떻게 변하는지를 모델링하였다. 본 장에서는 MANET 환경에서 대표적으로 사용되는 Mobility Model과 집속탄 투하 상황을 모델링한 새로운 모델인 ADMM에 대해 설명한다.

#### 1. Mobility Models

MANET 환경에서 대표적으로 사용되는 Mobility Model들은 Constant, Constant Velocity/Acceleration, Random Direction, Random Walk, Random Way Point 등이 있다 [15]. 가장 간단한 Constant 모델은 이동 노드의 위치가 움직이지 않고 고정된 모델이고, Constant Velocity/Acceleration 모델은 이동 노드의 속도 또는 가속도를 지정하여 이를 재설정하기 전까지 지정한 속도 또는 가속도가 유지되는 모델이다. Random Direction 모델은 이동 노드가 임의의 위치로 이동하고, 다시 임의의 위치로 이동하도록 임의의 속도와 방향을 설정하는 모델이다. Random Walk 모델은 이동 시간을 설정하여 임의의 속도와 방향으로 이동 노드가 이동하도록 하는 모델이다. Random WayPoint 모델은 Random Direction 모델과 유사하게 이동 노드가 한 번 이동한 다음 일정 시간 동안 정지한 뒤, 임의의 위치로 이동하는 모델이다.

#### 2. Airdropped Distributed Mobility Model (ADMM)

ADMM은 하나의 미사일 내부에 여러 개의 자탄이 들어있는 집속탄 (Cluster Bomb)이 투하된 이후, 모탄이 자탄으로 분리될 때부터 지표면 까지 분산 낙하하는 환경을 모델링한 이동 모델이다. 본 논문에서

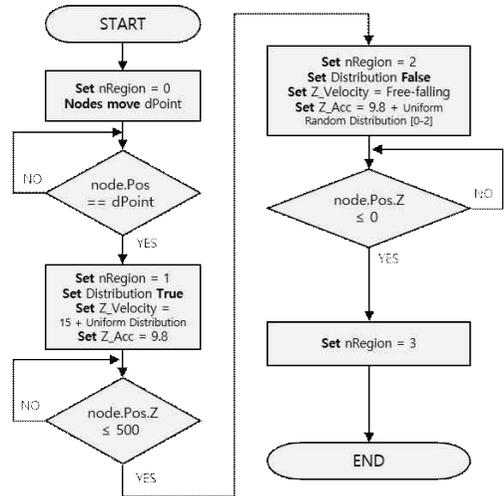


그림 1. ADMM 알고리즘  
Fig. 1 Algorithm of ADMM

구현한 ADMM은 전체 공간이 X, Y, Z 기준으로 1,000m × 1,000m × 3,000m 이고, 집속탄의 투하 지점의 좌표는 (500, 500, 3000)이다. 집속탄의 투하 시 지상 500m 상공까지 자탄이 분산되며 낙하한 뒤, 지표면까지는 자유낙하하게 된다. 자탄의 분산 범위는 낙하 중심점 기준으로 1km<sup>2</sup> 공간에 분산된다.

그림 1은 ADMM의 동작 알고리즘을 보여준다. 지상 3km 낙하지점에서 분산 낙하를 시작하여, 지상 500m에서 분산을 멈추고 자유낙하 한다. 노드들의 분산, 낙하 속도 형태를 고려하여 nRegion변수를 이용하여 노드의 위치를 4가지 지역으로 구분하였다. nRegion=0은 지상 3km 지점에서 노드들이 낙하지점 (dPoint) 까지 이동하는 것을 나타낸다. nRegion=1은 지상 500미터 이상 지점으로, 노드들이 15m/s+ Uniform 분포의 속도와 9.8m/s<sup>2</sup>의 가속도로 낙하를 시작함과 동시에 낙하 중심점을 기준으로 (X, Y) 축으로 -5~5m/s의 속도로 최대 1km×1km 범위로 분산 (Distributed set True)하는 영역이다. nRegion=2는 지상 500m 상공에서 분산을 멈추고 (Distributed set False) 자유낙하 (Free-Falling) 하는 영역이다. nRegion=3은 nRegion=2에서 자유낙하 후 지표면에 도착하여 낙하가 종료된 것을 나타내는 영역이다.

### IV. AND-OLSR

ADMM환경에서 기존 라우팅 프로토콜들의 성능

을 분석한 결과 (V장 참조) OLSR 프로토콜이 PDR, End-to-End delay, jitter 측면에서 가장 좋은 성능을 보인다. 따라서 본 연구에서는 OLSR 프로토콜을 ADMM 환경에 적합하도록 개선할 수 있는 방안으로 적응적 OLSR 프로토콜을 제안한다. 본 장에서는 먼저 OLSR을 개관하고 평균 노드 거리 변화에 따라 제어 메시지 교환 주기를 적응적으로 변경하는 AND-OLSR (Average Node Distance based adaptive OLSR)를 제안한다.

### 1. OLSR (Optimized Link State Routing)

OLSR 프로토콜은 MANET 환경에서 데이터 전송 요청이 발생하기 전에 미리 라우팅 경로를 계산하여 라우팅 테이블을 생성하는 Proactive (Table-driven) 방식이며, 최단 경로를 찾기 위해 Dijkstra 알고리즘을 사용하는 Link-State routing 프로토콜이다. Hello 메시지를 사용하여 이웃 노드를 감지하고, TC (Topology Control) 메시지를 사용하여 이웃 노드에게 라우팅 경로 구성을 위한 링크 상태를 전달한다. 또한, MPR (Multi Point Relay) 노드를 사용하여 MPR로 선정된 노드만이 제어 메시지를 전달하게끔 하여 중복 제어 메시지로 인한 오버헤드를 줄였다.

OLSR의 제어 메시지는 Hello, TC (Topology Control), MID (Multiple Interface Declaration), HNA (Host and Network Association) 네 가지로 구성된다 [7]. Hello 메시지는 각 노드들이 주기적으로 브로드캐스트 하여 이웃 노드를 감지하고, 이웃 노드까지의 링크 상태를 확인한다. TC 메시지는 MPR 노드가 주기적으로 메시지를 브로드캐스트하며, 데이터 전송을 위한 경로를 관리하기 위해 링크 상태를 전달한다. MID 메시지는 다중 홉 (Hop) 환경에서 MPR 노드가 다중 홉 정보를 다른 노드들에게 전달한다. HNA 메시지는 다른 네트워크와의 연결을 위해 다른 노드에게 네트워크 경로를 전달한다. 각 제어 메시지의 RFC 표준 주기는 표 1과 같다.

표 1. OLSR 제어메시지의 기본 주기 [7]

Table 1. Default intervals of OLSR control messages [7]

|       |           |
|-------|-----------|
| Hello | 2 Seconds |
| TC    | 5 Seconds |
| MID   | = TC      |
| HNA   | = TC      |

### 2. AND-OLSR (Average Node Distance based adaptive-OLSR)

본 논문에서 제안하는 평균 노드 거리 기반 적응적 OLSR 프로토콜인 AND-OLSR은 기존 OLSR 프로토콜의 제어 메시지 전송 주기를 ADMM 환경에서 평균 노드 거리 변화에 따라 적응적으로 변경한다.

III장에서 제안한 ADMM은 낙하 중심점을 기준으로 3차원 공간에서 분산 및 낙하하는 형태를 가지며, 낙하 중심점과 가까운 노드를 중심 노드로 지정한다. 중심 노드에서부터 다른 노드들은 거리가 멀어지는 형태를 가지므로, 중심 노드는 나머지 노드들과의 거리를 계산하고 이를 평균하여 3차원 공간에서의 평균 노드 거리 변화를 계산한다. 현재 시간의 평균 노드 거리는 수식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$AND_t = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (1)$$

수식 (1)에서  $AND_t$ 는 현재 시간의 평균 노드 거리를 나타내고,  $n$ 은 중앙 노드를 제외한 노드 수,  $d_i$ 는 중앙 노드에서부터  $i$ 번째 노드 간의 거리를 나타낸다. ADMM의 분산 형태에 따라 평균 노드 거리가 시간에 따라 증가하므로, 평균 노드 거리 증가율은 수식 (2)과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta AND = \left| \frac{AND_t - AND_{t-1}}{AND_{t-1}} \right| \times 100 \quad (2)$$

수식 (2)에서  $\Delta AND$ 는 이전 시간 대비 상대적 평균 노드 거리 증가율을 나타내고,  $AND_{t-1}$ 은 이전 시간의 상대적 평균 노드 거리 증가율,  $AND_t$ 는 현재 시간의 상대적 평균 노드 거리 증가율을 나타낸다. 그림 2는 수식 (2)로 계산한 시간에 따른 상대적 평균 노드 거리 증가율을 보여준다. 상대적 증가율을 계산하기 위해 1-2초에 계산되는 초기 값들은 제외하고 3초 이후부터 증가율을 계산하였다. 집속탄 (Cluster bomb)을 모델링 한 ADMM 환경 특성상 초기에 노드 (자탄)가 분산되어 평균 노드 거리 증가율은 매우 높은 값으로 시작하여 지속적으로 감소한 뒤 낙하가 완료되는 약 23초에서 증가율이 0으로 수렴한다. 따라서 분산 낙하가 시작되는 시점에서 제어 메시지 주기를 짧게 설정하여 라우팅 테이블 업데이트를 하고, 노드들 간 분산이 어느

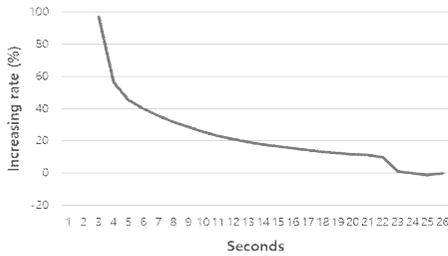


그림 2. 평균 노드 거리 증가율  
Fig. 2 Increasing rate of average distance

정도 이루어진 이후에는 제어 메시지 주기를 길게 설정하면 기존 OLSR 대비 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있을 것으로 보인다.

수식 (1)과 수식 (2) 과정을 통해 얻는 평균 노드 거리 증가율을 OLSR 프로토콜의 제어 메시지 주기를 적응적으로 변경하기 위해 그림 3의 알고리즘을 사용한다. 그림 3의 알고리즘은 평균 노드 거리 변화율인  $\Delta AND$  변화에 따라 OLSR 제어 메시지 전송 주기를 변경한다. ADMM 환경에서 노드가 낙하하는 동안 지속적으로 동작한다. 알고리즘에 적용된  $\Delta AND$  값은 실험을 통해 가장 최상의 성능이 나오는 값으로 설정하였다. TC, MID, HNA 메시지의 주기는 HELLO 메시지 주기의 약 2배 정도에서 성능이 가장 우수하게 나오는 것을 확인하였다. 평균 노드 거리의 변화율이 클 때는 링크 정보나 라우팅 테이블 업데이트가 필요하여 주기를 짧게 설정하였고, 변화율이 적을 때는 주기를 길게 설정하였다.

### V. 성능 분석

본 논문에서 제안한 분산 낙하 이동 모델인 ADMM과 평균 노드 거리 기반 적응적 OLSR 프로토콜인 AND-OLSR의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션 프로그램을 통해 성능을 측정하였다. 시뮬레이션 성능 지표로는 패킷 전송률을 나타내는 PDR (Packet Delivery Ratio), 종단 간 지연을 나타내는 End-to-End Delay, 그리고 End-to-End Delay의 변화를 나타내는 Jitter를 사용하여 어플리케이션의 데이터 전달을 중점으로 성능을 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 시스템은 Oracle VirtualBox [16] 가상머신을 사용하여 Ubuntu 16.04 환경에서 ns-3 ver3.26 [17] 을 사용하였다. 시뮬레이션에 설정 및 파라미터는 표 2와 같다. 시뮬레이션에 사용된 Mobility Model은 ADMM을 적용하였으며, 사

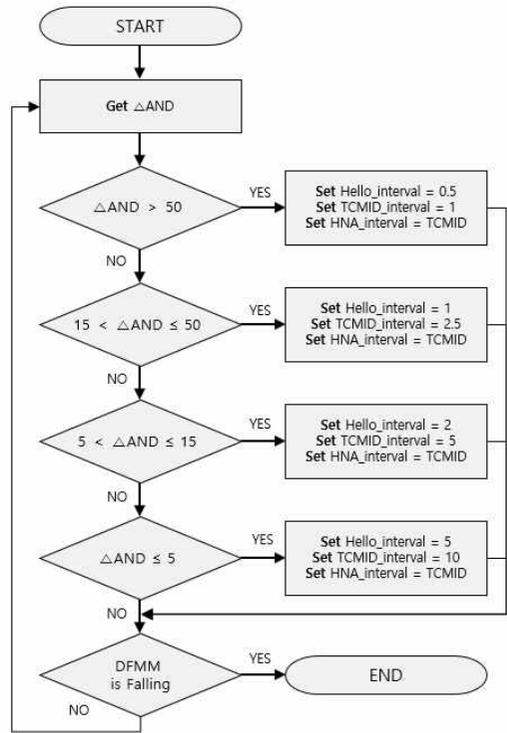


그림 3. AND-OLSR 동작 알고리즘  
Fig. 3 AND-OLSR of Algorithm

용된 프로토콜의 HELLO 메시지의 주기는 1초로 통일하였다. 데이터 사이즈는 실제 저 품질의 이미지 데이터 사이즈와 동일한 1500 Byte로 설정하였다. 우선 ADMM 환경에 대해 시뮬레이션을 실행하고, 이후 제안한 AND-OLSR에 대해 시뮬레이션을 진행하였다.

표 2. 시뮬레이션 환경  
Table 2. Environment of simulation

|                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| Simulation Area       | 1km×1km×3km                |
| Number of nodes       | 40 nodes                   |
| Data rate             | 6Mbps                      |
| Wireless Standard     | IEEE 802.11a               |
| Routing Protocol      | DSDV, OLSR, AODV, AND-OLSR |
| Data Size             | 1500 Byte                  |
| Application Flow      | 10, 20, 30, 40             |
| Simulation time       | 26 Sec                     |
| Number of Experiments | 30                         |

1. ADMM 성능 측정 및 분석

III장에서 제안한 집속탄을 모델링한 분산 낙하 모델인 ADMM 환경에서 MANET의 대표적인 라우팅 프로토콜 (DSDV, OLSR, AODV)을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 4는 PDR, 그림 5는 End-to-End Delay, 그림 6은 Jitter 값을 보여준다.

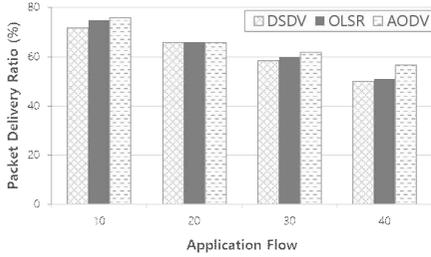


그림 4. ADMM 환경 시뮬레이션 결과 (PDR)  
Fig. 4 Simulation result (PDR) of ADMM environment

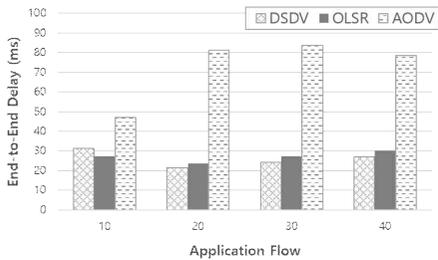


그림 5. ADMM 환경 시뮬레이션 결과 (End-to-End Delay)  
Fig. 5 Simulation result (End-to-End Delay) of ADMM environment

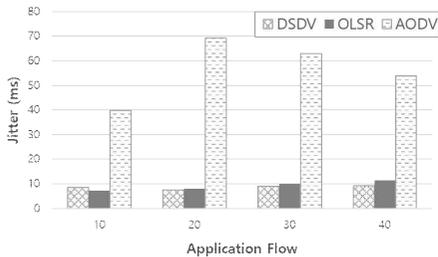


그림 6. ADMM 환경 시뮬레이션 결과 (Jitter)  
Fig. 6 Simulation result (Jitter) of ADMM environment

시뮬레이션 결과 Application Flow가 증가함에 따라 PDR이 감소하였고, End-to-End Delay, Jitter가 증가하였다. 그림 4의 PDR 결과를 보면 근소한 차이를 보이기도 하지만 AODV 프로토콜의 결과가 가장 좋았고, 뒤를 이어 OLSR, DSDV 프로토콜 순서로 나타났다. 30회의 시뮬레이션에서 모든 결과가 AODV 프로토콜이 PDR이 가장 높게 나타난 것은 아니며, OLSR 프로토콜이 가장 높게 나타나는 경우도 있었다.

그림 5와 그림 6에서는 AODV 프로토콜이 End-to-End Delay와 Jitter 값이 모두 높게 나타났다. 이는 AODV 프로토콜이 On-demand 방식이기 때문에, 요청이 있을 때 라우팅 경로를 탐색하기 때문에, Table-driven 방식의 DSDV, OLSR 프로토콜보다 End-to-End Delay 값과 Jitter의 값이 모두 높게 나타났다. DSDV와 OLSR 프로토콜은 라우팅 테이블에 라우팅 경로가 저장되어 있기 때문에 End-to-End Delay 값과 Jitter의 값이 비슷하기 나타났다.

시뮬레이션 결과를 전체적으로 분석하였을 때 ADMM 환경에서 OLSR 프로토콜이 PDR은 AODV 대비 떨어지는 것을 볼 수 있으나, End-to-End Delay와 Jitter 값이 AODV 프로토콜보다 적어 가장 안정적으로 동작하는 것이라 판단하였다.

2. AND-OLSR 성능 측정 및 분석

3차원 이동 환경인 ADMM에서 전체적으로 성능이 우수하게 나타난 OLSR 프로토콜과 IV장에서 제안한 AND-OLSR을 동일한 환경에서 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 7은 패킷 전달률인 PDR을 나타낸다. 본문에 제안한 평균 노드 거리 변화에 따라 적응적으로 OLSR 프로토콜의 제어 메시지 주기를 변경한 AND-OLSR이 기존 OLSR에 비해 PDR이 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 ADMM 환경에서 노드 분산 시 변화된 링크의 정보의 반영이 기존 OLSR 프로토콜의 성능을 개선시킬 수 있음을 보여준다. 그림 8과 9는 End-to-End Delay와 Jitter 결과를 나타낸다. Delay의 경우 기존 OLSR 프로토콜보다 AND-OLSR이 제어 메시지 전송 주기가 적응적으로 적용되어, 최대 약 3ms 증가한 것을 보여준다. 이에 따라 Jitter 값도 증가한 결과를 보여주지만 변화의 폭이 약 3ms 미만으로 실제 데이터 전달에 영향을 미치는 부분이 적을 것으로 판단된다.

그림 10은 두 프로토콜의 제어 메시지 수를 비교한 결과이다. AND-OLSR은 적응적으로 노드의

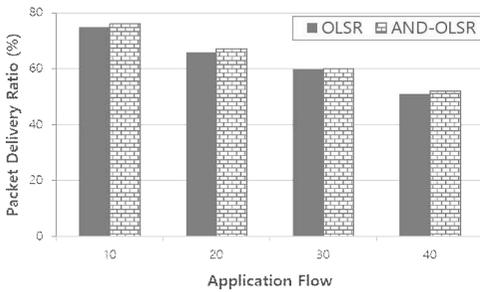


그림 7. 성능 측정 결과 (PDR)  
Fig. 7 Simulation result (PDR)

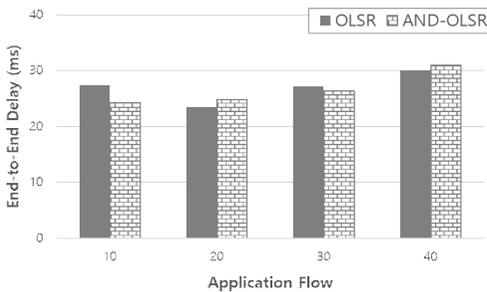


그림 8. 성능 측정 결과 (End-to-End Delay)  
Fig. 8 Simulation result (End-to-End Delay)

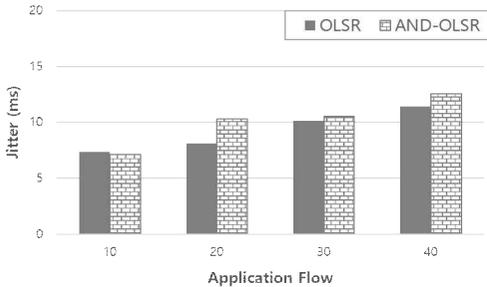


그림 9. 성능 측정 결과 (Jitter)  
Fig. 9 Simulation result (Jitter)

움직임이 적다고 판단되면 제어 메시지 전송 주기를 기존보다 늦춰 기존 OLSR 프로토콜보다 적은 제어 메시지 수를 보여준다.

본 논문에서 제안한 평균 노드 거리 변화에 따라 적응적 제어 메시지를 적용한 AND-OLSR은 기존 OLSR 프로토콜과 비교하여 delay 및 jitter는 각각 최대 3ms, 5ms 증가시켰으나, PDR 및 네트워크 오버헤드는 각각 2%, 26% 개선시켰다.

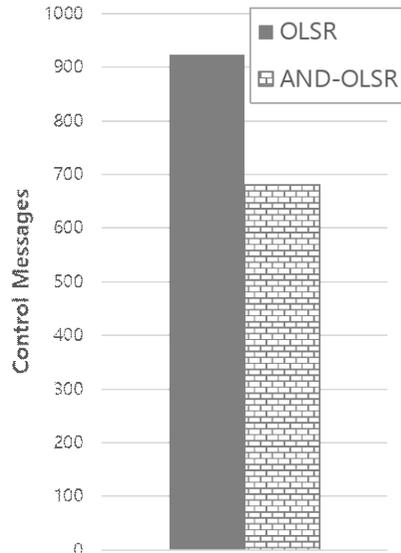


그림 10. 성능 측정 결과 (제어메시지 수)  
Fig. 10 Simulation result (Number of Control Messages)

## VI. 결론

본 논문에서는 집속탄 (Cluster bomb)을 모델로 한 분산 낙하 이동 모델인 ADMM을 제안하고, 해당 환경을 ns-3를 사용하여 구현하고, MANET의 대표적인 프로토콜인 DSDV, OLSR, AODV 프로토콜의 성능을 평가하였다. 그 결과, PDR, 지연시간 및 jitter 측면에서 OLSR프로토콜이 가장 우수한 성능을 보였으며, ADMM환경에서 OLSR프로토콜의 성능을 개선하기 위해서 평균 노드 거리 증가율에 기반한 새로운 적응기법인 AND-OLSR을 제안하고 그 성능을 분석하였다. 그 결과 기존 OLSR 프로토콜 대비 PDR 성능이 2% 향상되고, 라우팅 오버헤드는 26% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 추후 연구에서는 라즈베리파이 같은 실제 임베디드 시스템 환경에 구현하여 연구를 진행할 예정이다.

## References

- [1] J. Lee, G. Park, J. Shin, S. Yoo, "An Extensible Smart Home IoT System Based on Open Hardware Platforms," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 11, No. 6, pp. 369-377, 2016

- (in Korean).
- [2] Y.I. Kong, "Monthly SW Industry Trend," Software Policy and Research Institute, 2014 (in Korean).
- [3] Y.K. Lee, J.G. Kim, "Performance Enhancement of AODV Routing Protocol Using Interrupt Message in MANET," Journal of the Korea Institute of Information And Communication Engineering, Vol. 31, No. 10, pp. 785-800, 2013 (in Korean).
- [4] <https://defencyclopedia.com/2015/06/12/cbu-105-sensor-fuzed-weapon-usafs-ultimate-tank-buster/>
- [5] J. Ban, J. Wang, D. Lee, J. Yoo, S. Yoo, "Real-time Small Target Detection Using Local Contrast Difference Measure at Predictive Candidate Region," Journal of the Korea Industrial Information System Society, Vol. 22, No. 2, pp. 1-13, 2017 (in Korean).
- [6] C. Perkins, P. Bhagwat, "A Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," ACM Special Interest Group on Data Communication, Vol. 24, No. 4, pp. 234-244, 1994.
- [7] T. Clausen, P. Jaqcquet, "Optimized Link State Routing (OLSR) RFC 3626," IETF Networking Group, 2003.
- [8] C. Perkins, E. Belding, S. Das, "Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing RFC 3651," IETF Networking Group, 2003.
- [9] D. Johnson, D. Maltz, J. Broch, "DSR: the Dynamic Source Routing Protocol for Multi-hop Wireless Ad-hoc Networks," Ad Hoc Networking, pp. 139-172, 2001.
- [10] T.B. Kang, H.S. Yeom, J.H. Oh, "Performance Analysis of MANET Routing Protocol for Network-based Flight Measurement System Design," Proceedings of Spring Conference of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, pp. 937-940, 2015 (in Korean).
- [11] J.S. Jang, S.H. Wi, "Performance Comparison of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks Using NS-3," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 308-316, 2015 (in Korean).
- [12] M.J. Kim, S.W. Min, "Mode conversion Mechanism in Fast OLSR," Proceedings of Summer Conference of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, pp. 757-760, 2003 (in Korean).
- [13] S.Y. Han, D.M. Lee, "An Adaptive Hello Messaging Scheme for Neighbor Discovery in On-demand MANET Routing Protocols," IEEE communications letters, Vol. 17, No. 5, pp. 1040-1043, 2013.
- [14] N. Harrag, A. Refoufi, A. Harrag, "Neighbor Discovery Using Novel DE-based Adaptive Hello Messaging Scheme Improving OLSR Routing Protocol Performances," Proceedings of IEEE International Conference on Systems and Control, pp. 308-312, 2017.
- [15] <https://www.nsnam.org/docs/models/html/mobility.html>
- [16] <https://www.virtualbox.org>
- [17] <https://www.nsnam.org>

**Taekmin Lee (이택민)**

Taekmin Lee received the B.S. in the Department of Embedded Systems Engineering from Daegu University, Korea in 2016.

He is currently a M.S. candidate in the College of Computer & Communication Engineering, Daegu University, Korea. His research interests are embedded deep learning.

Email: min0628@daegu.ac.kr

**Jinhae Lee (이진해)**

Jin-Hae Lee received the B.S. degree in Embedded Systems Engineering from Daegu University, Daegu, Korea in 2017.

He is currently a M.S. candidate in the College of Electronic & Computer Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea. His research interests are Vehicular Network, Dead Reckoning.

Email: jinhae456@hanyang.ac.kr

**Jihyeun Wang (왕지현)**

Jihyeun Wang is a principal researcher at ADD since 1991. He received the B.S. and M.S. degrees in mechanical engineering from Inha University, Incheon, Korea

in 1989 and 1991 respectively, and the Ph.D. degree in mechatronics engineering from Chungnam National University, Daejeon, Korea in 2007. His research interests include unmanned ground vehicle developments.

Email: jhwang@add.re.kr

**Joonhyuk Yoo (유준혁)**

Joonhyuk Yoo is a faculty member of the College of Computer & Communication Engineering at Daegu University since 2009. He received his Ph.D.

degree in Computer Engineering from the University of Maryland at College Park, USA in 2007. His fields of interest include cyber-physical systems, real-time embedded software, internet of things, and deep learning for smart devices.

Email: joonhyuk@daegu.ac.kr

**Seong-eun Yoo (유성은)**

Seong-eun Yoo received the B.S. degree in electronics and computer engineering from Hanyang University, Seoul, Korea, in 2003 and the M.S. and Ph.D. degrees in

information and communications engineering from KAIST, Daejeon, Korea, in 2005 and 2010, respectively. Since September 2010, he has been a faculty member with the School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan, Korea. His research interests include real-time communication in wireless sensor networks and real-time embedded systems.

Email: seyoo@daegu.ac.kr