

# 효율적인 메시지 전달을 위한 전술인터넷 지오캐스팅 프로토콜

정회원 윤 선 중\*, 고 영 배\*\*

## A Tactical Internet Geocasting Protocol for Efficient Message Delivery

Sun-Joong Yoon\*, Young-Bae Ko\*\* *Regular Members*

요 약

여단급 이하 제대에서 운영하는 전술인터넷은 지휘통제, 상황인식 정보를 공유하기 위한 목적으로 운용되는데, 목적지 노드가 2개 이상인 경우에는 사전에 지정된 그룹을 바탕으로 멀티캐스트 프로토콜을 활용하여 메시지를 전달한다. 그러나 소스노드가 여단 내 특정영역(목적지영역)에 기상, 각종 위험 경고 등의 메시지를 전달해야 하는 경우에도 현 멀티캐스트 프로토콜은 목적지영역이 포함된 대대 전체 또는 여단 전체 멀티캐스팅 그룹을 설정하고 이들 그룹에 속한 모든 노드들에게 해당 메시지를 전달한다. 목적지영역이 여단 또는 대대 내 일부영역인 경우 대대 또는 여단 전체 노드들에게 메시지를 전달하는 것은 지연시간 및 오버헤드 측면에서 비효율적이다. 본 논문에서 제안하는 전술인터넷 지오캐스팅 프로토콜은 목적지영역이 여단 내 1개 대대에 속하는지 아니면 2개 대대 이상을 포함한 영역 안에 속하는지를 위치정보를 이용하여 확인 후, 소스노드로부터 목적지영역까지 greedy forwarding을 실시하고, 목적지영역 내에서는 영역 내 모든 노드들이 메시지를 받을 수 있도록 local flooding을 실시하는 개념이다. 제안 프로토콜에 대한 성능을 검증하기 위해 수학적 분석과 TI 멀티캐스트 프로토콜, LBM(Location-Based Multicast)과 비교하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험 결과분석을 제안하는 지오캐스팅 프로토콜이 현 전술인터넷에서 운용되는 멀티캐스팅 방식이나 기존 LBM방식보다 오버헤드, 지연시간 등 네트워크 활용측면에서 더 효율적인 것을 확인하였다.

**Key Words** : Tactical Internet, Geocasting, Multicasting

ABSTRACT

The Tactical Internet(TI) managed by Infantry Brigades is used for the purpose of sharing information of Command Control and Situation Awareness. When there are more than two destinations to transmit data in the TI system, a multicasting is utilized based on pre-defined multicast groups. However even in the case when a source node needs to send some messages like weathercast and attack alarm etc to only a part of Battalion or Brigades in a specific geographical region (destination region), the current TI multicasting protocol is designed to transmit the messages to the pre-defined group or all of the Battalion/Brigade nodes, resulting in inefficiency in terms of end-to-end delay and overhead. In this paper, we propose more efficient protocol for such cases, named as "Tactical Internet Geocasting (TIG)". The proposed scheme firstly checks whether the

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2009-(C1090-0902-0003))

\* 이주대학교 일반대학원 NCW공학과 (sun2015@uns.ajou.ac.kr)

\*\* 이주대학교 정보및컴퓨터공학부 (youngko@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-02-068, 접수일자 : 2009년 2월 18일, 최종논문접수일자 : 2009년 9월 28일

destination region belongs to one Battalion region or more than two Battalion regions using location information, and then performs a greedy forwarding from the source node to the destination region, followed by a local flooding inside of the destination region. With performance analysis and simulations using NS-2, TIG is compared to the current TI multicasting protocol (i.e., Simplified MDP) and the LBM (Location-based Multicast). The simulation results show that the proposed TIG is more efficient than both in terms of delay and network overhead.

## I. 서 론

네트워크중심전 (NCW:Network Centric Warfare)은 전장의 제 전력요소를 네트워크로 연결함으로써, 지리적으로 분산된 제 전력요소들이 전장의 상황을 정보수집, 처리, 저장, 전파, 활용의 절차와 수단을 통하여 지속적으로 제공받을 수 있도록 한다. 이러한 네트워크중심전 구현을 위하여 미 육군에서는 전투무선망을 기반으로 지휘통제 및 부대위치, 적 정보 등 작전 수행에 필요한 정보들을 공유할 수 있는 “전술인터넷”을 운용하고 있다. 전술인터넷(TI : Tactical Internet)은 부대의 이동성, 적의 간섭, 지휘소 파괴 등이 발생하는 실제 전장 환경 하에 전개되어 운용되는 시스템이다. 즉 전시상황에서 지휘통제(C2 : Command Control) 및 각종 상황인식정보(SA : Situation Awareness)를 신뢰성 있게, 지속적으로 제공할 수 있도록 하는 것으로 여단 내 부대 및 전투개체에 이르기까지 네트워크로 연결하여 정보를 제공하는 자동화체계 개념이다.

전술인터넷에서 동일내용의 정보를 두 개 이상의 부대 또는 전투개체에 전달하고자 할 때 사전에 지정된 그룹을 바탕으로 멀티캐스트 프로토콜을 활용한다. 그러나 여단급이하 전술인터넷 환경에서 화생방 상황, 게릴라 출현, 지역기상정보, 적 전투기 출현 등의 전투원 및 부대에 필요한 정보를 지리적 특성을 고려하여 일정한 영역 내의 부대 및 전투원에게 전달해야 할 경우, 현재 전술인터넷에서 운용 중인 멀티캐스트 방식에서는 메시지를 대대 전체 또는 여단 전체 노드들에게 전달해야하므로 오버헤드 및 지연시간 증가 등 네트워크 활용측면에서 효율성이 저하되는 문제점이 발생한다.

즉, 여단 내 특정영역(목적지영역)에 정보를 전달해야 할 경우 소스노드에서 목적지영역 내 임의노드까지 greedy forwarding방식을 적용하고, 목적지영역내에서는 local flooding방식에 기반한 지오캐스팅을 적용하면 특정영역에 메시지를 효율적으로 전송하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 이러한 군 전술인터넷 환경에서 오버헤드 및 지연시간을 줄이면서 효율적으로 동작할 수 있는 전술인터넷 지오캐스팅 (TIG : Tactical Internet Geocasting)을 제안하였다. 여단 내 전술인터넷 환경에 지오캐스팅을 적용하기 위해서는 채널이 다른 여러 개의 네트워크들 간에도 프로토콜이 동작되도록 하여야 한다. TIG는 LBM<sup>[1]</sup>, GeoTORA<sup>[2]</sup>, AHBG<sup>[3]</sup> 등 단일채널 환경 하에서 운용되는 것을 가정하고 있는 기존 지오캐스팅 프로토콜들과는 다르게 해당 대대 채널과 인접대대 채널을 동시에 운용하는 멀티채널 환경에서도 동작하도록 설계되었다. 또한 군 전술환경에서 운용되는 무선네트워크는 제대별로 운용되는 계층적 구조로 되어있어 여기에 적합하도록 제안되었다.

본 논문에서 제안하는 TIG 프로토콜을 보다 상세히 설명하면 다음과 같다. 여단(소스노드)에서 목적지영역에 메시지를 greedy forwarding으로 전송하는 경우 목적지영역에 가장 가까운 노드로 전송하는 것이 아니라 먼저 중심점 (x, y)가 포함된 영역의 대대노드로 전송한다. 그런 후에 목적지영역에 가까운 노드로 greedy forwarding 방식으로 전송된다. 목적지영역 내에서 local flooding하는 경우에는, 목적지영역에 2개 대대 이상의 노드들이 존재하는 경우, 지오캐스트 메시지를 받는 노드들 중 대대 인접지역과 접해있는 노드들은 본인 노드가 속한 채널로 브로드캐스팅을 실시하고, 인접대대 채널로 채널을 변경하여 추가로 브로드캐스팅을 실시한다.

2장에서는 여단 내 전술인터넷 운용환경, 멀티캐스트 프로토콜 운용, 그리고 주요 지오캐스팅 프로토콜들의 운용방식 및 특성을 분석하고, 3장에서는 군 전술인터넷 환경에 적합한 전술인터넷 지오캐스팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 모의실험 환경 및 실험결과를 제시하고, 5장에서 결론 및 향후 연구방향을 제안한다.

## II. 관련연구

### 2.1 전술인터넷 환경 및 멀티캐스트 프로토콜

그림 1은 여단 내에 전술인터넷이 운용되는 환경을 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 전술인터넷은 세가지 네트워크로 구성된 계층적 구조를 가진다<sup>[5],[6]</sup>. 즉, 여단(Bde)과 대대(Bn) TOC(Tactical Operation Center)간에 288Kbps로 데이터를 주고받을 수 있도록 하는 NTDR(Near Term Digital Radio) 네트워크, 여단, 대대, 중대에서의 지휘관 차량 또는 지휘소에서 운용하는 EPLRS(Enhanced Position Location Reporting System)장비를 이용하여 56Kbps로 데이터를 전송하는 EPLRS 네트워크, 마지막으로 EPLRS와 연결된 SINGARS (Single Channel Ground Air Radio System)를 이용하여 16Kbps로 전송되는 네트워크로 구성된다.

여단급 이하 제대에 운용되는 전술인터넷 멀티캐스트 프로토콜인 MDP (Multicast Dissemination Protocol)<sup>[5]</sup>는 대역폭이 적은 여단급 이하제대에서 운용시 576bytes를 여러 개의 세그먼트로 나누어 사전에 지정된 그룹에게 신뢰성 있게 전송할 수 있는 프로토콜이다. 이때 그룹은 총 4가지로 나뉘게 되는데 첫 번째는 여단 내 모든 단말기로 이루어진 그룹, 두 번째는 대대 내 모든 단말기로 이루어진 그룹, 세 번째는 여단 내 모든 EPLRS 단말기로 이루어진 그룹, 네 번째는 대대 내 모든 EPLRS 단말기로 이루어진 그룹이다. 이 중 하나의 그룹을 선택하고 선택된 그룹으로 메시지를 전송한다. 그러므로 여단 내 특정지역의 목적지역에 메시지를 전달해야 하는 경우 예를 들어 대대 일부지역이 포함된 목적지역 노드들에게 메시지를 전달해야 하는 경우 그룹 분류 중에 하나인 대대전체 단말기를 대상으로 메시지를 전달해야 하는 문제점이 있다<sup>[5],[7]</sup>.

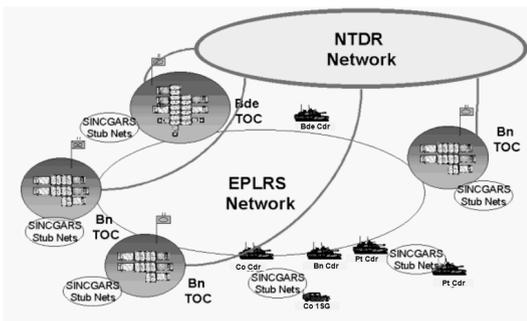


그림 1. 여단 내 전술인터넷 운용환경<sup>[4]</sup>

### 2.2 지오캐스팅 프로토콜

지오캐스팅은 소스노드에서 전달하고자 하는 영역 (geocast region)안의 임의 노드까지 greedy forwarding을 실시하고 영역 내 노드들에게는 local flooding방식으로 메시지를 전달하는 프로토콜이다. 지금까지 제안된 주요 지오캐스팅 프로토콜을 분류하여 보면 플로딩 기반 (Flooding-based), 영역 기반 (Region-based), 트리기반 (Tree-based) 방식으로 나눌 수 있다<sup>[1],[8]-[11]</sup>.

첫째, 플로딩 기반 지오캐스팅 프로토콜은 목적지영역까지 소스노드에서 패킷을 전달 할 때 greedy forwarding 영역을 설정하여 flooding을 실시한 후 목적지영역 임의노드에 패킷이 전달되면 local flooding을 통해 영역안의 목적지 노드들에게 전달하는 방식이다. 대표적인 예로는 LBM(Location-Based Multicast)을 들 수 있다. LBM에서는 forwarding 영역을 소스노드와 목적지영역을 포함하는 직사각형 형태로 설정하고 그 안에서 flooding을 통하여 패킷을 전달하는 방식과 목적지영역 중심까지의 노드들의 거리를 비교하여 거리가 짧아지는 노드들로 forwarding하는 방식을 제안하였다. 이 방식들은 구현이 비교적 용이하나, 소스노드에서 목적지영역에 도착할 때까지 많은 오버헤드가 발생하는 단점이 있다. 둘째, 영역기반 방식은 노드들이 전개되는 전체영역을 일정한 격자 형태로 나누고 각 격자에서 대표노드를 선출한 후 이 들 대표노드들 간 라우팅을 하는 방식이다. 대표적인 예로는 그림 2에서 보는 바와 같이 GeoGRID<sup>[15]</sup> 프로토콜이 있는데 이 프로토콜은 격자 안에 노드들 중 하나를 게이트웨이로 선정하여 이 노드들이 이웃 격자에 전달하는 역할을 하도록 하고 영역 내에서는 flooding을 하는 방식이다. 이 방식은 LBM방식보다 오버헤드는 적지만 노드 이동성 고려하지 않은 게이트웨이 선정 방법 등 제한사항은 여전히 존재한다. 셋째, 트리기반 지오캐스팅 프로토콜은 목적지영역까지 소스노드에서 이동할 때 flooding 방식을 사용하지 않고,

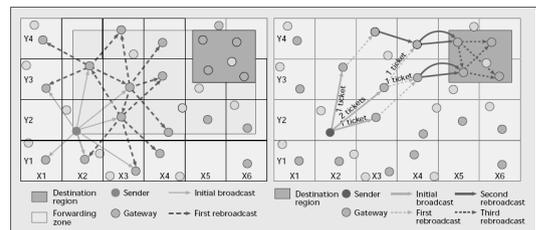


그림 2. GeoGRID: a) flooding 기반 b) 티켓 기반<sup>[15]</sup>

anycast 방식의 greedy forwarding을 사용하여 전달하는 방식이다. 대표적인 예로는 GeoTORA를 들 수 있는데, 이 방식은 목적지 노드들로부터 연결되는 이웃노드들에게 DAG(Directed cyclic graph)를 설정하고, 역으로 코스트(cost)를 설정하여 소스노드로부터 낮은 코스트를 갖는 노드들로 패킷을 전송하는 방식으로 오버헤드가 적게 발생하는 장점이 있으나, 노드들의 이동성이 많은 경우 DAG 설정을 자주해야 하는 단점이 있다.

그 외에 추가로 연구된 주요 지오캐스팅 프로토콜들에는 목적지영역이 여러 곳인 경우에 각 영역까지 패킷 전달시 Fermat point 개념을 적용, anycast 방식으로 오버헤드를 적게 하며 최소경로로 패킷을 전달하는 GGP (Geometry-Driven Geocasting Protocol)<sup>[17]</sup>가 제시되었고, forwarding 구간 및 영역 내에 장애물 및 홀(hole)이 존재할 경우 이를 극복하고 목적지 영역내 노드들에게 신뢰성 있게 패킷을 전달할 수 있도록 하는 알고리즘들이 [3],[12]에서 제시되었다.

### III. 전술인터넷 지오캐스팅(TIG) 프로토콜

본 장에서는 여단내 목적지영역에 전송해야 할 정보 메시지들을 보다 효율적으로 전달할 수 있도록 전술인터넷에 적합한 지오캐스팅 프로토콜을 제안하도록 하겠다. 먼저 전술인터넷의 운용환경을 고려한 네트워크 모델을 정립하고, 프로토콜의 동작방법을 설명하도록 한다.

#### 3.1 네트워크 모델

여단 내 전술인터넷 운용환경을 반영한 네트워크 모델을 정립하기 위해 그림 3과 같이 여단 전체영역을 4개의 A, B, C, D 대대로 구분하여 각 대대

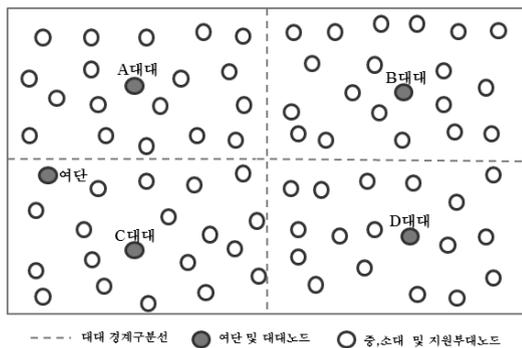


그림 3. 여단 내 노드 구성도

영역을 설정하였다. 각 대대 영역에는 중대, 소대, 지원부대들로 구성되는 노드들이 존재한다. 여단과 각 대대, 대대와 대대 간에는 고출력을 통한 단일 홉 데이터 전송이 가능하고, 대대 내 노드들은 멀티 홉 방식의 통신이 가능하도록 EPLRS 장비를 이용하여 네트워크가 구성되는 것으로 가정하였다. 각 대대 노드들 중 인접대대와 경계영역에 있는 노드들은 인접대대 노드들에게 정보를 전송해야 하는 경우 인접대대 채널로 변환하여 데이터 전송이 가능하다. 또한 여단 및 각 대대 노드는 대대들의 영역을 알고 있으며, 각 대대 내 노드들은 해당 대대의 영역, 인접대대를 알고 있다고 가정한다. 대대내 중대노드를 포함한 소대, 지원부대 노드들은 수평적 관계로 데이터를 전송하는 것으로 설정하였다.

여단 내 지형, 기상, 위험 경보 관련 등의 정보 메시지를 목적지영역에 전달해야 하는 경우 지오캐스팅 메시지 전달절차는 다음과 같다. UAV(Unmanned Air Vehicle)나 사단, 군단의 상급부대로부터 여단 내 특정영역에 전송해야 할 정보 메시지가 있으면 여단의 최상위 노드인 여단노드로 전송하게 되고, 여단노드는 이 정보를 관련 있는 대대노드로 전달하며, 대대노드에서는 다시 목적지영역으로 메시지를 전송하게 된다. 목적지영역의 형태는 원, 타원, 다각형 등 다양한 모양이 존재할 수 있으나 본 네트워크 모델에서는 실제 전달하고자 하는 영역을 포함하는 최소의 직사각형 영역으로 가정하였다.

#### 3.2 제안 프로토콜

여단의 전술인터넷이 운용되는 환경에 적합한 TIG 프로토콜은 아래와 같이 동작된다.

- Greedy forwarding : 여단노드에서 목적지영역에 지형, 기상, 위험 경고등의 메시지를 전달해야 하는 경우 먼저 어느 대대로 보낼지를 결정하고, 결정된 대대로 메시지를 전달 후 해당 대대는 해당 목적지 영역의 중심을 기준으로 거리가 가까운 이웃노드에게 메시지를 forwarding한다. 이렇게 메시지가 반복적으로 단일 홉 또는 멀티 홉을 거쳐 영역 내 임의 노드로 메시지가 전달되게 된다.
- Local flooding : 목적지 영역의 임의 노드가 메시지를 수신하면 flooding을 실시한다. flooding을 통하여 영역 내에 있는 노드들은 메시지를 수신하게 되고 영역 밖의 노드가 수신하는 경우에는 더 이상 전달하지 않는다.

만일 여단 내 메시지를 전달해야 할 목적지영역이 2개 대대이상의 노드들을 포함할 경우에는 영역내 인접대대의 노드들에게도 flooding이 되어야 한다. 이 인접대대의 이웃노드를 가지고 있는 경계영역의 노드들은 해당 인접대대 채널로 추가로 flooding을 실시한다.

TIG 프로토콜이 동작하는 과정을 보다 상세하게 설명하면 다음과 같다. 그림 4에서 먼저 목적지영역(직사각형)이 설정되면 해당 직사각형이 1개 대대영역 안에 있는지 2개 대대이상의 영역을 포함하는지를 결정해야 한다. 메시지를 전달할 목적지영역 직사각형이 ①의 점선 직사각형과 같이 1개 대대영역 내에 있는 경우, ②와 같이 2개 대대영역을 포함하는 경우, ③과 같이 4개 대대영역을 포함하는 경우가 존재할 수 있다. 여단에서 어느 대대로 전달할지 판단은 직사각형의 중심점과 꼭지점의 위치로 결정한다. ①의 경우처럼 1개 대대 안에 영역이 존재하는 경우에 메시지 전달 대대의 결정은 직사각형(목적지영역)의 우측하단 꼭지점이 A대대 영역 내에 있으면 A대대, 좌측하단 꼭지점이 B대대 영역 내에 있으면 B대대, 우측상단 꼭지점이 C대대 영역 내에 존재하면 C대대, 좌측상단 꼭지점이 D대대에 있으면 D대대로 판단한다.

그림 4의 ②의 경우처럼 목적지영역이 2개 대대영역을 포함하는지 판단은 그림 5에서 보는 바와 같이 목적지영역의 중심점 (x,y)가 회색으로 표시된 영역안에 존재하는 경우라 할 수 있다. 그리고 그림 4의 ③은 4개 대대영역을 포함한 목적지영역이 존재하는 경우로 그림 5의 중앙 직사각형의 빗금 친 사선 영역에 중심점이 존재하는 경우이다.

그림 4의 ②와 ③과 같이 목적지영역 내에 2개 대대 이상의 영역을 포함하는 노드가 존재할 때 경

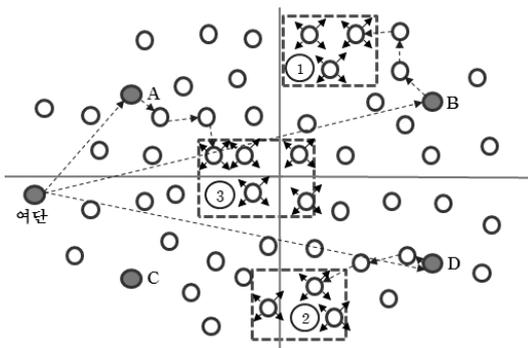


그림 4. 목적지 영역들에 대한 메시지 전달

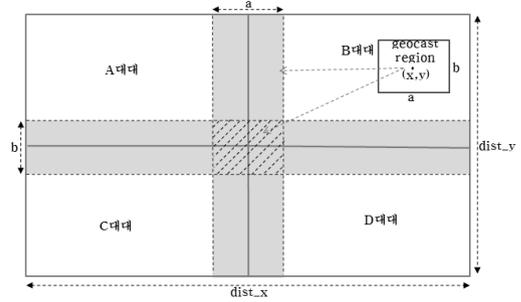


그림 5. greedy forwarding시 대대노드 선정

계영역의 노드들은 인접채널로 flooding을 실시하여야 한다. 즉 목적지영역의 중심점이 그림 5의 회색영역 및 중앙 직사각형 빗금 친 사선 영역 안에 존재하는 경우 목적지 영역내 경계영역 노드들은 인접대대 채널로 flooding을 실시한다. 중앙에 3개의 영역과 겹쳐지는 노드들은 3회 인접대대들의 채널로 flooding을 실시하게 된다. 그러나 노드들이 공격작전 등, 작전형태의 변화에 따라 고정되지 않고 이동형태가 다양하게 변화하여 경계영역의 노드들이 항상 존재할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이런 경우에는 전술인터넷 지오캐스팅에 멀티패스를 적용하여 영역 내 신뢰성 있는 메시지 전달을 보장할 수 있다. 그림 4의 ②와 같이 2개 대대를 포함한 직사각형의 목적지영역인 경우 C대대 노드를 거쳐 C대대 영역 안으로 forwarding 및 flooding을 통하여 전달하고, D대대 노드를 경유하여 D대대 안에서 forwarding 및 flooding을 적용하여 전달하는 두 가지 경로를 가지는 멀티패스로 전술인터넷 지오캐스팅을 동작하게 하는 것이다. 그림 4의 ③의 경우에는 4개 대대 일부지역들이 목적지영역에 포함되므로 이 경우에는 각 대대를 통하여 forwarding하고 flooding하는, 4개의 경로를 갖는 멀티패스로 전술인터넷 지오캐스팅이 동작된다.

#### IV. 성능 평가

본 장에서는 이론적 분석과 NS-2<sup>[18]</sup>기반의 모의실험을 통하여 제안 프로토콜의 성능평가를 실시하였다. 현재 전술인터넷에서 운용중인 멀티캐스트 방식(Simplified MDP / SMDP)과 비교 분석을 하였다.

##### 5.1 이론적 분석

TIG와 SMDP에서 목적지영역내에 모든 노드까지 메시지가 전달되기 위해 전달되는 메시지 전송

수는 다음과 같이 계산될 수 있다. 그림 5에서 전체네트워크의 크기는  $dist_x \times dist_y$ 이고, 목적지역의 크기는  $a \times b$ 가 되는데, 수학적 분석을 위해  $dist_x = dist_y = d$ 로,  $a = b$ 로 가정하였다. 노드의 전송거리  $T_x$ 는  $\gamma d (0 < \gamma < 1)$ 라 하고, 노드들은 uniform 분포에 따라 배치되는 환경으로 설정하였다. 전체네트워크에 존재하는 노드수가  $N$ 개일 때 목적지 영역에 존재하는 평균 노드 수  $G$ 는 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \frac{a^2 N}{d^2} \quad (1)$$

소스노드로부터 목적지역에 도착할 때까지의 홉의 개수가  $K$ 라고 할 때,  $K$ 는 목적지역의 거리에 비례하고,  $T_x$ 에는 반비례한다. 임의의 대대영역의 중심점이 존재하는 목적지역까지 지오캐스트 패킷을 전송하는 경우에  $K$ 홉수의 계산은 대대노드에서 중심점까지의 거리에서 중심점에서 목적지역 둘레까지의 거리를 뺀 값을  $T_x$ 로 나눈 값이라 할 수 있다. 대대노드에서 중심점까지 거리를 최대  $\frac{d}{\sqrt{2}}$ , 목적지역 중심점에서 목적지역 둘레까지의 길이가 최대  $\frac{a}{\sqrt{2}}$ 로 이 두 값의 차이를 전송거리로 나눈 것이  $K$ 홉 즉,  $\frac{\mu d - \rho a}{\sqrt{2} \gamma d}$  이 된다 ( $0 \leq \mu \leq 1, 0 \leq \rho \leq 1$ ).

TIG에서 목적지역에 메시지를 전달할 때 발생한 총 메시지 수는 greedy forwarding시에 발생하는  $K$ 개의 메시지와 목적지역에서 발생하는 메시지 수의 합이다. 목적지역 내의 노드들은 메시지를 수신하면 1회 브로드캐스팅을 실시하므로 영역 내 노드수  $G$ 만큼 메시지가 발생한다. 이를 수식으로 나타내면 (2)와 같고, 여기에서  $\mu d \leq \rho a$  이면  $K$ 는 0이 된다.

$$M(TIG) = K + G = \left\lceil \frac{\mu d - \rho a}{\sqrt{2} \gamma d} \right\rceil + \frac{a^2 N}{d^2} \quad (2)$$

SMDP의 경우 발생하는 메시지 수는 목적지역이 어느 곳에 있는지에 따라 달라진다. 목적지역이 1개 대대 안에 존재할 때(case ①), 2개 대대를 포함한 영역에 존재할 때(case ②), 4개 대대를 포함한 영역에 존재할 때(case ③)에 메시지 수는 수

식 (3)과 같다.

$$M(SMDP) = \begin{cases} \frac{N}{4} & (case \text{ ①}) \\ \frac{N}{2} & (case \text{ ②}) \\ N & (case \text{ ③}) \end{cases} \quad (3)$$

위 식에서 case ①②③을 고려한 SMDP에서 평균 메시지 발생 수량은 각각의 case가 발생할 확률에 해당 case 메시지 발생 수를 곱한 값의 합으로 수식 (4)와 같다. Case ①②③의 발생확률은 그림 5에서와 같이 목적지역의 중심점 (x,y)가 전체영역 중 어느 곳에 위치하는지에 대한 면적 비율로 계산된다.

$$M(SMDP) = \left( \frac{d^2 - 2ad^2 + a^2}{d^2} \right) \frac{N}{4} + \left( \frac{2ad - a^2}{d^2} \right) \frac{N}{2} + \frac{a^2 N}{d^2} = \frac{(a+d)^2 N}{d^2} \frac{N}{4} \quad (4)$$

(2)와 (4)의 수식에서 목적지역의 크기가 전체네트워크 크기까지 일정한 크기로 증가할 때 발생하는 메시지 발생 수량의 비율 변화를  $\gamma = 0.12$ ,  $d = 8Km$ ,  $N = 200$ 인 환경에서 그래프로 나타내면 그림 6과 같다. 목적지역이 전체네트워크 크기의 1/4보다 작은 경우에는 4배 정도 메시지 발생 비율의 차이를 보이다가 1/4이상 목적지역이 커지면서 전체네트워크 면적에 가까워질수록 두 방식의 메시지 발생 비율은 1로 수렴하였다.

소스노드에서 목적지역 내 노드들에게 패킷을 전송할 때 평균지연시간을 수식으로 정리하면 다음과 같다. TIG의 평균지연시간  $T$ 는 소스노드에서 목적지역에 도착할 때까지  $K$ 홉을 가는데 소요된 시

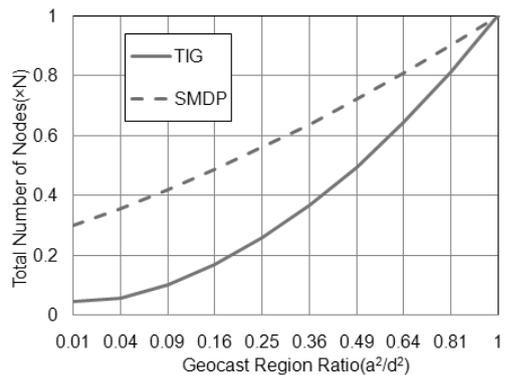


그림 6. 메시지 오버헤드 비율 비교

간과 목적지영역내에서 각 노드가 broadcasting을 통하여 영역내 모든 노드가 각 노드가 수신하는 데 까지 소요되는 평균시간의 합이라 할 수 있다. greedy forwarding으로 K홉을 전송할 때 1홉간 데이터 전송시간을 Tu라 하면 greedy forwarding구간에서 K×Tu의 시간이 소요된다. 목적지영역내에서 가장 긴 구간의 양끝 노드의 홉 수를 Kg라 하고, 노드가 1회 broadcasting할 때 소요되는 전송시간을 Tb라 하면 목적지영역에서의 평균지연시간은 최초 메시지를 수신한 노드로부터 마지막에 수신한 노드의 평균값으로 볼 수 있다. 목적지영역내에서 소스 노드로부터 패킷을 가장 먼저 수신하는 노드의 지연시간은 0으로 설정하고, 가장 멀리 있는 노드가 패킷을 수신할 때까지의 지연시간을 Kg홉까지 Tb로 전송되는 시간에 이웃노드의 영향을 고려한 식으로 나타내면, 이웃노드가 i인 경우 평균지연시간은  $\frac{1}{2} \times (Kg \times Tb \times \frac{i}{2})$ 으로 나타낼 수 있다. 소스노드에서 목적지영역 노드들에게 패킷을 전달했을 때 TIG의 평균지연시간은 수식 (5)가 된다.

$$T(TIG) = K \times Tu + \frac{1}{2} \times (Kg \times Tb \times \frac{i}{2}) \quad (5)$$

위 수식에서  $Tb = \beta Tu$  ( $0 < \beta < 1$ )라 하고, Kg는 목적지영역의 가로, 세로의 거리가 a인 경우, 대각선의 길이를 Tx로 나눈 upper bound 정수 값이다. 그리고 이웃노드 i는 d, Tx, N의 관계식으로 나타내면  $(\frac{\pi(\gamma d)^2 N}{d^2} - 1)$ 이다. TIG의 T값을 다시 정리하면 수식 (6)이 된다.

$$T(TIG) = \left\lceil \frac{\mu d - \rho a}{\sqrt{2} \gamma d} \right\rceil \times Tu + \left\lceil \frac{\sqrt{2} a}{\gamma d} \right\rceil \times \beta Tu \times \frac{1}{2 \times 2} \times (\pi \gamma^2 N - 1) \quad (6)$$

SMDP의 평균지연시간 T는 소스노드부터 목적지영역 내까지 broadcasting으로 flooding되는 시간의 합으로 계산 될 수 있다. 목적지영역 내에 가장 먼 구간까지의 홉 수는 K와 Kg의 합이 되고, 이 홉 구간에 대한 평균지연시간은 수식 (7)이 된다.

$$T(SMDP) = \frac{1}{2} \times (K + Kg) \times Tb \times \frac{(\pi \gamma^2 N - 1)}{2}$$

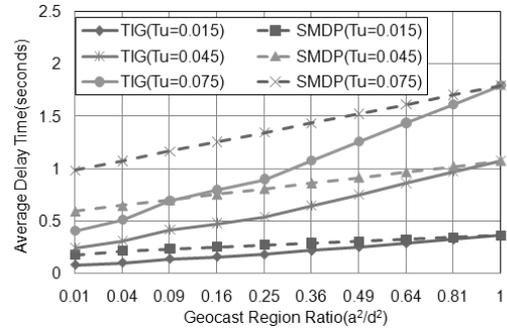


그림 7. 평균지연시간 비교

$$= \beta Tu \times \left( \left\lceil \frac{\mu d - \rho a}{\sqrt{2} \gamma d} \right\rceil + \left\lceil \frac{\sqrt{2} a}{\gamma d} \right\rceil \right) \times \frac{1}{2 \times 2} \times (\pi \gamma^2 N - 1) \quad (7)$$

수식 (6)과 (7)에서 목적지영역의 크기가 전체 네트워크 크기까지 일정한 비율로 증가할 때 각각의 전송되는 지연시간을 비교하면 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 그림 7에서 Tu는 패킷의 크기를 100, 300, 500bytes인 경우 0.015, 0.045, 0.075(s)로 설정하고, β=0.9, μ=0.5인 상태에서 나온 결과 값이다. 패킷의 크기가 증가하고, 목적지영역의 크기가 증가할수록 평균지연시간은 증가한다.

### 5.2 모의실험환경

표 1은 모의실험을 통하여 성능을 분석하기 위해 사용된 파라미터이다. 모의실험 영역은 현재 미군의 대대영역 크기(4km×4km)<sup>[6]</sup>를 기준으로 하였고, 4개 대대를 포함하여 여단영역을 8×8km로 설정하였다.

각 대대는 중대 및 소대, 지원부대를 포함하여 대대 내 50개의 노드로 가정하고 여단노드까지 201개의 노드를 grid 형태로 배치하였다. 대대 내 50개의 노드들은 수평적 관계로 데이터가 전송되는 것으로 가정하였다. 그리고 여단에서 대대노드까지는 전파 전송거리를 12km로, 대대 내 노드들간에서는 0.9km로 설정하였으며, 각 노드들의 전송용량은 EPLRS장비의 Capacity기준을 적용하여 56kbps로 가정하였다. MAC은 전술인터넷에서 사용하고 있는 CSMA방식으로 설정하고, 목적지영역의 크기는 2×1.5km로 하였다. 모의실험은 600초 동안 실시하고, 목적지영역은 10초에 한 번씩 여단 내에서 임의로 변하여 총 60개의 영역으로 각 10개의 패킷이 전달되도록 하였다. 전송패킷 크기는 제한된 전송용량을 고려하여 100~500bytes를 적용하였으며 소스

표 1. 모의실험 파라미터.

Item	Value
모의실험 영역	여단 8000m×8000m (대대 4000m×4000m)
노드 수	201개
통신거리	여단<->대대 12km / 대대내 노드간 0.9km
Capacity	56Kbps
MAC	CSMA
전송패킷 크기	100~500bytes(CBR)
패킷 전송회수/간격	600회 / 1 second
모의실험 시간	600 seconds
목적지영역 크기	2×1.5 km
Mobility	5~20 m/s
background traffic	10~40 %

노드에서 패킷은 초당 하나씩 발생하는 것으로 하였다. 그리고 패킷 전송시 여단 네트워크가 가지고 있는 background traffic을 10~40%까지 변화시켜 실험하였다. 실험결과 값은 동일조건에 대한 모의실험을 총 5회 반복한 후 평균값을 반영하였다. 성능 측정 비교 대상 및 metric은 다음과 같다.

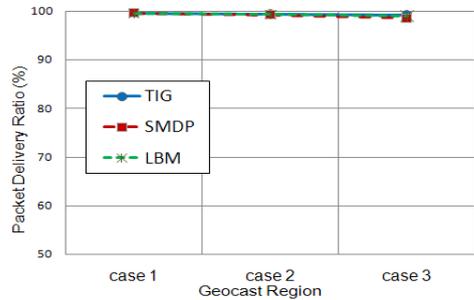
- Simplified MDP(SMDP) : 전송인터넷에서 메시지를 수신하는 노드가 여러 곳인 경우 사전에 지정된 그룹을 대상으로 메시지를 보낸다. 그룹은 대대 내 모든 장비, 대대 내 EPLRS 장비, 여단 내 모든 장비, 여단 내 EPLRS 장비, 4가지 타입으로 지정되어 있어, 목적지영역이 1개 대대 안에 있으면 해당 대대전체 노드에게 전송해야 하고, 2개 대대 영역의 일부가 포함되는 영역인 경우에는 2개 대대 전체 노드들에게 전달하듯이, 여단내 목적지영역에 메시지를 전송하는 경우 해당영역에 포함되는 관련 대대 전체 노드들에게 flooding을 통하여 메시지를 전달하는 방식이다.
- Local Based Multicast(LBM) : LBM은 소스 노드에서 목적지영역안의 노드들에게 패킷을 전송할 때 소스노드로부터 목적지영역을 포함한 사각형을 설정하고, 그 안에서 브로드캐스트방식으로 flooding하여 데이터를 전송하는 방식이다.
- 패킷 전달률(packet delivery ratio) : 각 목적지 영역 내에서 수신해야 할 총 패킷 중 실제 수신한 패킷의 비율이다.
- 평균지연시간(average delay time) : 여단에서 목적지 영역 안 노드들에게 패킷이 전달하는

데 소요된 시간이다.

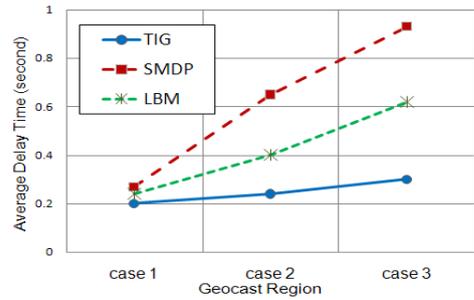
- 오버헤드(overhead of packet delivery) : 소스 노드에서 목적지영역 내 노드들까지 메시지가 전달되기 위해 발생된 모든 패킷들의 합이다.

### 5.3 모의실험 결과

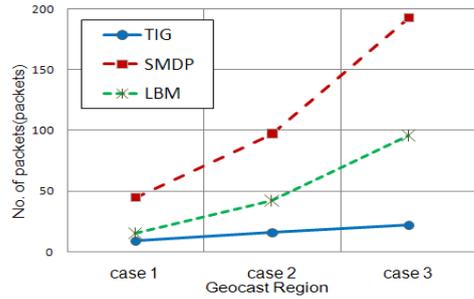
본 절에서는 모의실험 결과를 나타내었다. 그림 8은 그림 4에서 제시한 목적지영역이 발생할 수 있는 3가지 경우에 대하여 패킷의 크기를 250bytes로 설정한 상태에서 패킷 전달률, 평균지연시간, 오버헤드에 대해서 성능을 비교한 결과이다. 패킷 전달률은 목적지영역이 4개 대대를 포함한 영역에 노드들이 존재하는 case ③으로 갈수록 약간 감소하는



(a) Packet Delivery Ratio(%)

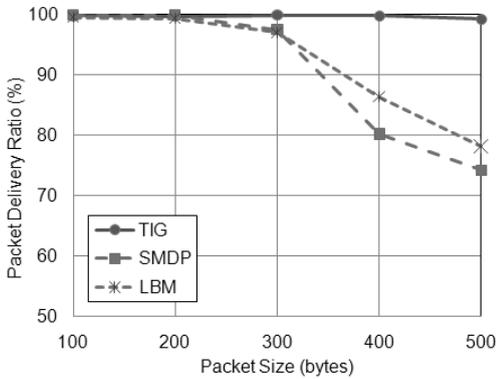


(b) Average Delay Time(second)

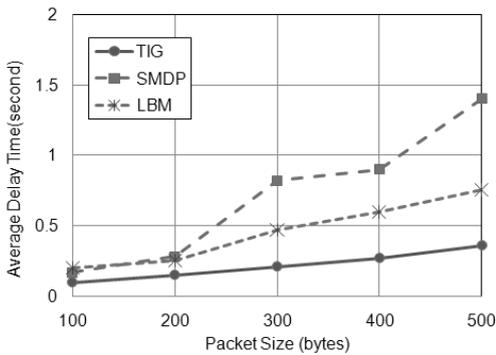


(c) Overhead of Packet Delivery(Packets)

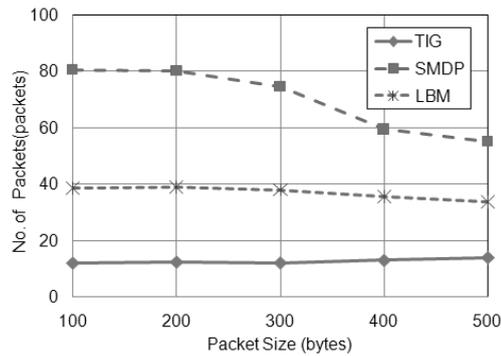
그림 8. 목적지영역 조건별 성능 비교



(a) Packet Delivery Ratio(%)



(b) Average Delay Time(second)



(c) Overhead of Packet Delivery(Packets)

그림 9. Packet size 변화에 따른 모의실험 결과

면을 보이나 98%이상의 전달률이 나왔다. 그러나 지연시간, 오버헤드 측면에서 보면 case ③으로 갈수록 성능차이는 크게 나타났다. case ②, case ③의 TIG는 인접대대와 경계영역에 있는 노드는 인접대대 영역으로 패킷 전송시 채널을 변경하여 전송하므로 채널 스위칭에 따른 오버헤드 및 전송시간이 일부 증가하였다. 그러나 채널 스위칭 타임이 5ms<sup>[19]</sup>로 전체적인 지연시간 결과 값에는 크게 영

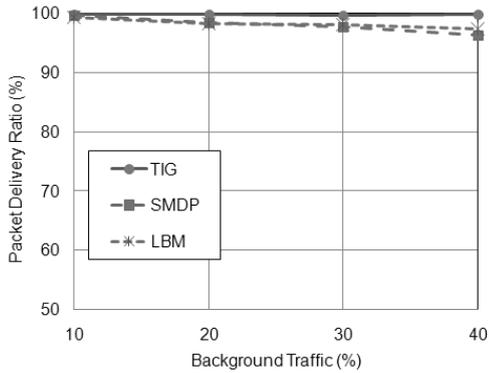
향을 미치지 않았다. LBM은 목적지영역과 소스노드를 포함한 영역을 설정하여 flooding을 하므로 지연시간 및 오버헤드가 TIG보다 크고 SMDP보다는 낮은 결과를 나타내었다.

여단급 이하 전송네트워크에서 패킷 전달시 다양한 크기의 패킷이 존재하게 되는데 패킷크기를 100bytes에서 500bytes까지 증가시켰을 때 각각의 시뮬레이션 결과 값을 그림 9에서 비교하였다.

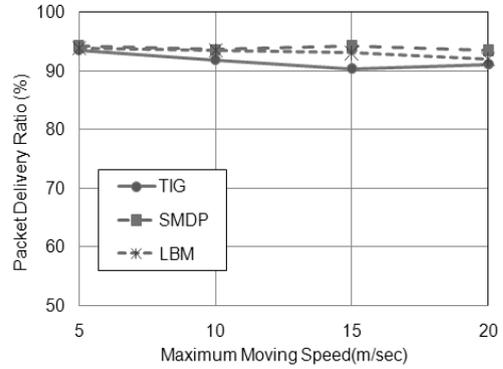
TIG는 패킷크기에 관계없이 일정하게 높은 전달률을 보이는 반면 SMDP나 LBM은 패킷 크기가 증가 할수록 제한된 전송용량(56kbps)에서 패킷 충돌로 인하여 패킷 전달률이 일정한 비율로 감소하는 것을 알 수 있다. 평균지연시간은 비교 스킴들 모두 패킷 크기가 커짐에 따라 증가하였다. 그림 9의 (c)는 소스노드에서 1회 패킷을 전송할 때 발생하는 패킷수를 오버헤드로 나타낸 것으로, 패킷 충돌이 거의 없이 전달되는 300bytes이하인 경우의 시뮬레이션 결과 값은 5.2의 이론적 분석에 의한 값과 비슷하게 나왔다. 패킷 크기가 300bytes 이상 증가하는 경우 SMDP와 LBM 경우에 패킷의 충돌 증가로 패킷 전달률이 감소하게 되는 것을 알 수 있다.

그림 10은 여단 내 노드들의 background 트래픽이 10~40%까지 존재하는 상황에서 패킷크기를 250bytes으로 고정하고 성능을 비교하였다. 패킷전달률은 3가지 스킴 모두 90%이상의 패킷전달율의 성능을 보였으나 트래픽이 증가하면서 TIG를 제외한 스킴들은 패킷 전달률이 적은 비율로 일정하게 감소하는 것을 알 수 있다. SMDP의 경우 트래픽이 40%인 경우에 4%의 전달률이 감소되었는데 이는 각 노드가 broadcasting시에 패킷간의 충돌 및 background 트래픽과의 충돌로 인한 전달률이 감소된 것이다. background 트래픽 증가로 패킷 전달을 할 때 대기시간이 증가하여, 평균지연시간 또한 일정하게 증가되는 것을 알 수 있다. TIG의 평균지연시간을 SMDP와 비교했을 때, 50%이상의 성능차이를 보였다. 그림 10의 (c)에서 SMDP의 경우 background 트래픽이 증가함에 따라 패킷 전달률이 감소하는 만큼 패킷 전송 횟수가 감소하므로 패킷의 오버헤드 또한 감소하였다.

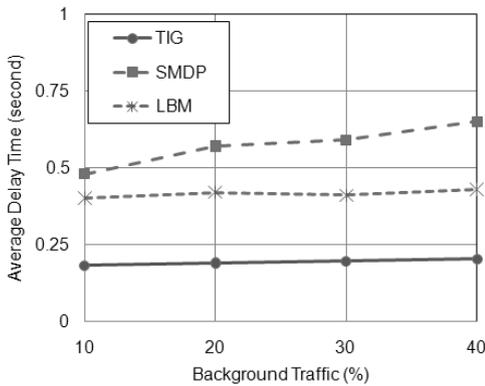
그림 11은 여단 및 대대 중심노드를 제외한 모든 노드들에게 5m/s에서 20m/s까지 변화를 주면서 일정한 크기의 패킷(250bytes)을 전송할 때 성능을 비교한 것으로, Pause time은 100초, background traffic을 20%로 설정한 상태에서 나온 결과 값이다.



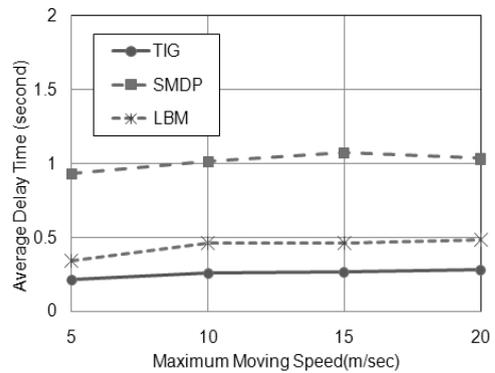
(a) Packet Delivery Ratio(%)



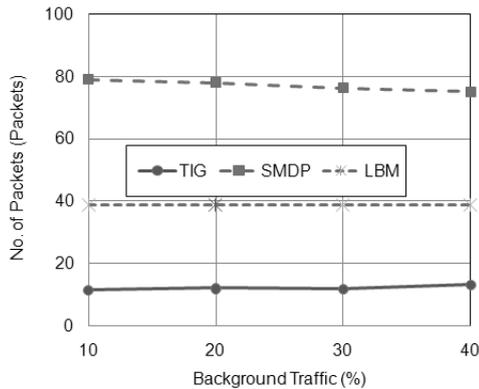
(a) Packet Delivery Ratio(%)



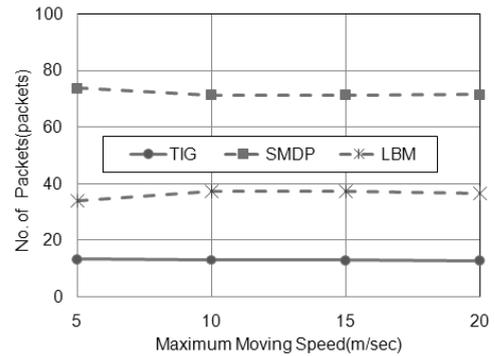
(b) Average Delay Time(second)



(b) Average Delay Time(second)



(c) Overhead of Packet Delivery(Packets)



(c) Overhead of Packet Delivery(Packets)

그림 10. Background traffic 변화에 따른 모의실험 결과

TIG에서 패킷 전달률은 이동속도가 증가함에 따라 greedy forwarding 구간에서 토폴로지 변경 및 홀(hole) 등으로 인한 경로 실패로 SMDP, LBM보다 3~5% 정도 낮은 패킷전달률이 나왔다. greedy forwarding 구간에 [20]의 GPSR을 적용하면 이이

그림 11. 노드 이동속도 변화에 따른 모의실험 결과

러한 문제는 보완될 수 있다. 평균지연시간은 다른 결과와 마찬가지로 제안 방식이 적게 소요되나, TIG, LBM, SMDP 세 방식 모두 노드의 이동속도가 증가함에 따라 약간 증가하는 것을 알 수 있다. 오버헤드는 노드의 이동속도에 관계없이 일정하므로 이동성이 오버헤드에는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문은 현재 미군에서 운용중인 여단급이하 전술인터넷에서 동작하는 멀티캐스트 관련 프로토콜 및 그룹에 대해서 분석하고, 여단내 목적지지역에 메시지 전달시 전술인터넷 환경에서 여단 내 노드들이 고정되어 있는 경우 또는 이동하는 경우를 고려 목적지지역에 신속하고, 오버헤드를 적게 메시지를 보낼 수 있도록 전술인터넷에 적합한 TIG 지오캐스팅 프로토콜을 제안하였다. 본 연구는 여단급이하 제대에서 데이터 전송을 위해 운용하는 무선 네트워크에서 특정영역에 정보 메시지 전달시 유용하게 쓰일 수 있을 것이며, 향후 개인병사까지 휴대인터넷 등의 네트워크 단말기를 보유하고 임무를 수행할 경우에 더욱 활용도는 높아질 것으로 판단된다.

향후 연구로는 메시지의 중요도에 따라 소스노드가 보낸 메시지가 목적지 영역 내 모든 노드들이 수신하였는지를 알 수 있도록 오버헤드가 적고 신뢰성이 보장되는 ACK 스킴을 적용하는 방안을 연구하도록 하겠다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y-B. Ko and N.H Vaidya. "Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," *Mobile Networks and Applications* Vol. 7(6), 2002, pp. 471-480.
- [2] Y-B. Ko and N.H Vaidya. "Anycasting-based protocol for geocast service in mobile ad hoc networks," *Computer Networks*, Vol. 41(6), 2003 pp. 743-760.
- [3] H.L. Chen, C.C. Tseng, S.H. Hu, "An Adaptive Handshaking-Based Geocasting Protocol in MANETs," in: *Proceedings of the IEEE IWCMC*, 2006.
- [4] 김영호, 엄종신, "미 육군 전술인터넷 개념과 시사점", *주간국방논단* 제1108호(06-29), 2006.
- [5] Force XXI Battle Command Brigade-and-Below Tactical Internet System Design Document Ver3.4, 12. 2001.
- [6] M.J Ryan, M.R Frater, "Tactical Communications for the Digitized Battlefield," Artech House, 2002.
- [7] 윤선중, 고영배, "전투무선망에서 효율적인 상황

- 전파를 위한 지오캐스팅", 제12차 ADD 통신/전자 학술대회, 2008.
- [8] P. Yao, E. Krohne, and T. Camp, "Performance Comparison of Geocasting Routing Protocols for a MANET," in: *Proceedings of the ICCCN*, 2004.
- [9] C.Y. Chang, C.T. Chang, S.C Tu, "Obstacle-Free Geocasting Protocols for Single/Multi-Destination Short Message Services in Ad Hoc Networks," *Wireless Networks* Vol. 9(2), 2003, pp. 143-155.
- [10] S.M Kim, Y.G Jung, "Efficient Geocast utilizing Topology Information Database," in: *Proceedings of the IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology Workshops*, 2008.
- [11] C. Maihofer, T. Leinmuller, E Schoch, "Abiding Geocast: Time-stable Geocast for Ad hoc networks," in: *Proceedings of the VANET*, 2005.
- [12] K. Seada, A, Helmy, "Efficient Geocasting with Perfect Delivery in Wireless Networks," in: *Proceedings of the WCNC*, 2004.
- [13] J. Boleng, T. Camp, and V. Tolety, "Mesh-based geocast routing protocols in an ad hoc network," in: *Proceedings of the 15th International Parallel & Distributed Processing Symposium*, Apr., 2001.
- [14] T. Camp, and Y. Liu, "An Adaptive mesh-based protocol for geocast routing," *Journal of Parallel and Distributed Computing: Special Issue on Routing in Mobile and Wireless Ad Hoc Networks*, Vol. 62(2), 2003, pp. 196-213.
- [15] W.-H. Liao, Y.-C. Tseng, K.-L.Lo, and J.-P. Sheu. "GeoGRID: A geocasting protocol for mobile ad hoc networks based on GRID," *Journal of Internet Technology*, Vol. 1(2), 2000, pp. 23-32.
- [16] C. Maihofer, "A survey of geocast routing protocols," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Second quarter, Vol. 6(2), 2004.
- [17] S-H Lee and Y.-B. Ko, "Geometry-driven Scheme for Geocast Routing in Mobile Ad Hoc Networks," in: *Proceedings of the IEEE 63rd Vehicular Technology Conference (VTC)*, May.

- 2006.
- [18] The VINT Project. The network simulator - ns-2. A collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC.
  - [19] R. Chandra, P. Bahl, and P. Bahl, "MultiNet: Connecting to Multiple IEEE 802.11 Networks Using a Single Wireless Card," in: Proceedings of the IEEE Infocom, 2004.
  - [20] B. Karp, H.T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in: Proceedings of the MOBICOM, 2000.

고 영 배 (Young-Bae Ko)

정회원



1991년 아주대학교 전자계산학과  
1995년 아주대학교 경영정보학과  
석사

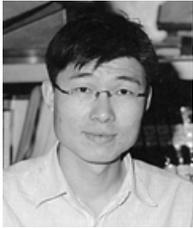
2000년 텍사스 A&M 대학 컴퓨  
터공학과 박사

2000년~2002년 미국 IBM T.J  
왓슨 연구소 전임연구원

2002년~현재 아주대학교 정보및컴퓨터 공학부 부교수  
<관심분야> Mobile Ad Hoc Networks, Wireless  
Mesh Networks, Ubiquitous Sensor Networks,  
Vehicular Networks, Mobile Computing, Military  
Tactical Networks (TICN, 전송데이터링크) 등

윤 선 중 (Sun-Joong Yoon)

정회원



1997년 숭실대학교 컴퓨터학부  
2004년 국방대학원 전산정보학과  
2008년~현재 아주대학교 NCW  
공학과 박사과정

<관심분야> 군 전송네트워크  
(TICN, 전송데이터링크), 지  
오캐스팅, 무선 메쉬 네트워  
크, MANET 등