

전술 모바일 애드 혹 네트워크를 위한 위치 기반의 신뢰성 제공을 위한 라우팅 방법

윤 명 준*, 강 태 훈*, 전 한 얼**, 이 재 용°

Location Based Reliable Routing Protocol for Tactical Mobile Ad-Hoc Networks

Myungjune Youn*, Tae Hun Kang*, HahnEarl Jeon**, Jaiyong Lee°

요 약

최근 정보통신 산업 및 네트워크 분야의 기술발달로 국방 무기체계에 새로운 패러다임 변화가 형성되었고, 군에 서도 이러한 전쟁양상에 변화에 맞추어 TICN(Tactical Information Communication Network)이라는 통신체계를 도입하여 구축 중에 있다. TICN체계가 그 기능을 갖추기 위해서는 전장의 소규모 전투로부터 신뢰성 있는 정보를 실시간으로 전송 받아야 하는데, 이러한 기능을 지원해 주는 기술의 핵심적인 요소가 바로 MANET(Mobile Ad-Hoc Network) 라우팅 프로토콜이다. 본 논문에서는 일반 MANET 라우팅 프로토콜에서 주로 사용되는 최단경로 설정 기법의 전술네트워크 적용에 따른 문제점을 식별하고, 소규모 전투부대의 전술환경을 바탕으로, 중계 노드들의 위치와 속도, 데이터 크기 등을 고려하여 경로의 신뢰성과 데이터 지연 시간을 계산함으로써, 신뢰성 있는 정보를 실시간으로 전송 받을 수 있는 효율적인 전술 MANET 라우팅 프로토콜을 제안해 보고자 한다.

Key Words : MANET Routing Protocol, AODV, TICN, 전술 네트워크

ABSTRACT

Recently, developments in the field of communication and network technologies induced new paradigm in the defense weapon system. As a consequence, military authorities develop the Tactical Information Communication Network(TICN) system to adapt to the changing paradigm. One of the most important functions of TICN is real-time communication. As a result, TICN system needs to receive real-time information from the battlefield, and the key technology to support these features is MANET(Mobile Ad-Hoc Network) routing protocol. In this paper, we analyze problems of the shortest path scheme in tactical Ad-Hoc networks, which is widely used in common Ad-Hoc networks. We propose efficient routing protocol for tactical MANET by considering the environment of small combat units, such as node position, speed and data size. The proposed algorithm shows reliable data transfer and low latency in battlefield.

I. 서 론

한국군은 군의 현용 통신체계를 대체하여 미래형 전술통신체제로 TICN(Tactical Information Communication

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-1001)

♦ 주저자 : 연세대학교 전기전자공학과 Ubinet 연구실, windboy@yonsei.ac.kr, 정회원

° 교신저자 : 연세대학교 전기전자공학과 Ubinet 연구실, jy1@yonsei.ac.kr, 종신회원

* 공군본부, 04taehun@naver.com

** 한국방송통신전파진흥원, hearlj@kca.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-08-383, 접수일자 : 2012년 8월 29일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 2일

Network) 이라는 통신체계를 구축하고 있다. TICN 은 미래 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare)에서 정찰감시-지휘통제-정밀타격체계의 통합 전투력 발휘를 위한 고속 대용량 전술정보를 실시간으로 소통시키는 전술 통신 기반 체계로 ALL IP 기반의 멀티미디어를 통합으로 운용 할 수 있고 센서와 타격체계간 이음매 없는 통신을 할 수 있는 격자형 네트워크로 운용된다. TICN 체계가 온전히 그 기능을 발휘하기 위해서는 최전방의 전장으로부터 실시간 자료가 후방의 지휘부까지 신뢰적으로 전송이 되어야 하는데, 현 시점에서의 전술통신체계는 일정 규모 이상의 대규모급 부대만을 대상으로 하고 있어 최전방의 실질적 상황이 실시간으로는 전달될 수 없는 현실에 있다. 따라서 최전방에서 실질적으로 전투에 임하는 대규모급 이하의 중·소규모 전투부대에 전술통신장치를 도입하여 통신을 할 수 있어야만 진정한 의미의 실시간 통신이 가능한데, 전장이라는 특수한 환경을 고려할 때, 전방의 소규모 전투부대에는 MANET(Mobile Ad-Hoc Network) 기술을 도입하여 통신을 실시하는 것이 가장 효과적일 것이다.

MANET은 노드들의 토폴로지(Topology)와 이동성의 변화가 심한 환경에서 별도의 라우팅 장비 없이 노드 간의 연동통신으로 통신체계를 구축하는 기술을 말하는데, 기존의 MANET에 대한 연구는 대부분 군 전술통신체계의 특성이 미 반영된 상용통신만을 위한 연구와 성능비교에 치중되어 있는 상황이다. 따라서, 본 논문에서는 TICN 체계가 적용될 미래 전장 환경에 대한 변화와 이에 따른 군 통신의 요구사항들을 고찰하고, 이를 기준으로 신뢰성 있는 정보를 실시간으로 전송 받을 수 있는 전술통신환경의 특성이 반영된 MANET 라우팅 프로토콜을 연구·분석해 보고자 한다.

II. 관련 연구

2.1. TICN (Tactical Information Communication Network)

TICN 체계는 육군주도로 개발 중인 전술통신 체계로서 지상전술 C4I 체계 통신을 지원하고 미래에 요구되는 대용량, 실시간 정보 유통을 지원하며 해·공군 및 전략부대의 비상시 또는 전시운용을 위한 통신기반체계이다.

TICN 체계는 기존 전술 네트워크 체계와 비교하여 여러 가지 향상된 성능을 가지고 있는데 대표적

인 사항을 살펴보면 다음과 같다.

- 패킷(Packet)기반 멀티미디어의 통합 운용,
- 센서와 타격 체계 간 이음매 없는 통신,
- 최대 수십 Mbps의 무선간선능력,
- 와이브로 기술 적용 이동 통신망 운용.

TICN의 이러한 특성들로 인해서 미래 NCW에서 정찰감시-지휘통제-정밀타격체계로 이어지는 통합전투력을 발휘 할 수 있고 고속대용량 전술정보를 실시간으로 소통시킴으로써 지휘부의 상황판단 능력을 극대화 시킬 수 있다. TICN 체계는 가장 큰 규모의 군단급에서 대규모급의 제대까지 통신을 지원하는 체계이며 대규모급 이하의 전투무선망은 TICN 체계의 유무선 단말을 통하여 직접 그리고 간접적으로 지원하게 된다.

TICN 체계 구조는 그림 1과 같으며 장비체계는 TICN 내부 및 외부 체계의 멀티미디어 인터페이스를 담당하는 전술통신 체계 연동장치, 대용량 무선 전송을 담당하는 대용량 무선 전송 장치, 이동 가입자 연동을 위한 전술용 가입자 처리부, 전투 무선망을 위한 전술용 SDR, TICN 망 관리 및 제어를 위한 망 제어기 등 총 5개의 장비체계로 구성되어 있다.

상기의 5개 장비체계 중에서도 전투무선체계는 최전방에서 실질적으로 전투에 임하는 대규모급 이하의 중·소규모 전투부대에 적용될 전술통신체계인데, 이 체계에서 가장 중요한 기능은 주변의 각종 상황 정보와 지시를 정확히 전달받는 것이다. 즉, 기동 간에도 끊임없이 지휘통제를 보장할 수 있어야 하며, 각종 센서 체계와 타격체계의 유기적인 연결이 보장되어야 한다는 것이다. 이러한 기능이 전투원들에게 보장 되어야 하며, 단순한 음성뿐 아니라 데이터 통신 기능까지 갖춰져야 생존성과 전투 효율성을 높일 수 있다. 위와 같이 병사나 부대가

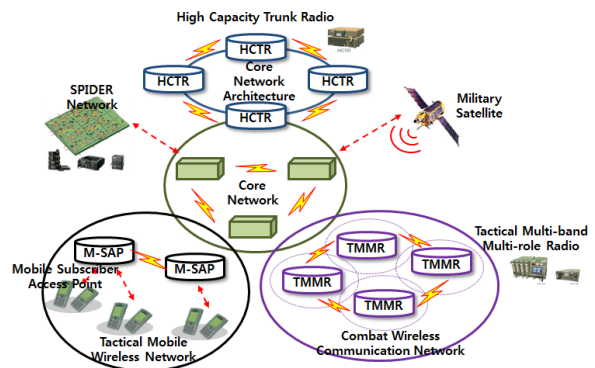


그림 1. TICN 구조
Fig. 1. TICN Structure

다양한 형태의 기동 중에 작전 수행을 보장하기 위해서는 MANET이 필요한데, MANET의 가장 중요한 기술은 각각의 노드가 호스트도 되면서 라우팅 기능을 지니고 있어서 Multi-hop relay 에 의한 서비스 지원이 가능해야 한다는 것이다. MANET을 전술부대의 지휘통제체계의 기반 체계로 구축 시, 끊임 없는 통신망 구축과 유비쿼터스의 네트워킹 기능을 부여 할 수 있어 전투력을 극대화 할 수 있다^{1,2)}.

2.2. Ad-Hoc 라우팅 프로토콜

Ad-Hoc 네트워크에서 가장 필수적이면서도 중요한 것은 이동하는 노드들로 인해 계속적으로 변화하는 네트워크 토폴로지(Topology)를 어떻게 모델링하고, 어떻게 효율적으로 라우팅 경로를 설정할 것인가 하는 것이다. 현재까지 연구된 라우팅 경로를 설정하는 방법은 그림 2와 같이 크게 Bellman-Ford 알고리즘을 사용하는 Pro-active 방식, 모든 단말이 이동하는 Ad-Hoc 환경을 고려한 Re-active 방식, 이 두 가지 방식의 장점을 혼합한 Hybrid 방식과 기타 Bandwidth, Power, Delay 등 라우팅 Metric에 따라 경로를 설정하는 라우팅 방식으로 분류할 수 있다⁴⁻⁵⁾.

Pro-active 방식은 기본적으로 Ad-Hoc 네트워크 내의 각 노드가 자신을 중심으로 하여 도착 가능한 모든 노드들의 라우팅 정보를 라우팅 테이블에 상시 유지하는 방식이다. 그렇기 때문에 모든 노드는 주기적으로 라우팅 정보를 다른 노드들에게 전달하고, 라우팅 경로의 변경 시 자신의 라우팅 정보를 브로드캐스팅(Broadcasting)하여 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 유도한다. Pro-active 라우팅 프로토콜은 다른 노드들에 대한 주기적인 라우팅 정보를 유지함으로써 전송 필요시 별도의 경로 획득 절차 없이 라우팅 테이블의 정보를 이용하여 전송함으로써 경로 획득 지연시간이 짧은 장점이 있다. 그러나 열악한 환경의 무선 대역에서 주기적인 라우팅 정보 교환은 사용할 수 있는 무선대역의 낭비를 더욱 가중시킨다. 또한 노드들의 빈번한 위치 이동은 Ad-Hoc 네트워크에서 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 위한 라우팅 정보도 역시 교환해야 하므로 라우팅 패킷(Packet)으로 인한 오버헤드(Overhead)가 발생하여 성능저하에 많은 영향을 미치는 단점이 있다. 따라서 Pro-active 방식은 노드의 숫자가 적고 이동성이 많지 않은 소규모 Ad-Hoc 네트워크에 적합하나, 이동성이 큰 중·대형 네트워

크에서는 많은 단점을 가지고 있다.

Re-active방식은 Bellman-Ford 알고리즘을 사용한 Pro-active 방식의 단점을 해결하기 위하여 모든 노드가 빈번하게 위치 이동하는 Ad-Hoc 환경에 적합하도록 제안된 프로토콜이다. Re-active방식은 필요시에만 경로 획득 절차를 수행하고, 주기적인 라우팅 정보 교환과 이동시 변경된 라우팅 정보를 교환할 필요가 없으므로 라우팅 패킷 오버헤드(Packet Overhead)를 줄이는 장점이 있다. 그러나 데이터 전송 시 경로 획득 절차 수행 후에 획득된 경로로 데이터를 전송하기 때문에 경로 획득시간이 길어져 실시간 통신에 부적합한 단점도 가지고 있다. Re-active방식은 현재까지 연구된 Ad-Hoc 라우팅 방식 중 노드가 빈번하게 이동하는 MANET에는 가장 적합한 것으로 인식되고 있다.

Hybrid 방식은 Pro-active 방식과 Re-active 방식의 장점을 혼합한 방식으로 ZRP(Zone Routing Protocol)이 있다. 각 노드는 미리 정의된 홉(hop)수 범위의 Routing Zone을 유지하여 Routing Zone 내부영역에서는 Table-driven 방식을 사용하고 Routing Zone 외부영역에 위치한 노드로의 데이터 전송을 위한 경로설정은 On-demand 방식을 이용하는 방식이다⁶⁾.

이 밖에도 라우팅 경로설정의 성능 향상을 위해 GPS(Global Position System) 같은 장비를 사용하여 목적지가 위치한 방향으로 최적화된 경로를 선택하는 LAR(Location-Aided Routing)¹⁶⁾, Geo-back(Geographical Back-off)²⁰⁾과 DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)¹⁷⁾, Energy가 제한되는 Ad-Hoc 네트워크의 특성상 노드의 잔여 배터리 양으로 경로를 설정하는 PAR(Power-Aware Routing)¹⁸⁾, QoS(Quality of Service)를 보장하기 위해 링크의 Bandwidth를 바탕으로 경로를 설정하는 CEDAR(Core Extraction Distributed Ad-Hoc Routing)¹⁹⁾, 그룹 이동성을 가지는 환경에서 라우팅 업데이트 주기를 변경하는 알고리즘²¹⁾ 등 수많은 라우팅 프로토콜들이 제안되었다.

2.3. 전술 MANET의 연구동향

전술 MANET의 기술 개발연구가 가장 활발히 진행되고 있는 곳은 미국이다. 미군은 이라크 전을 통해 MANET을 통한 전투 효율성을 확인 하였고 이를 바탕으로 NTRD(Near Term Digital Radio)라는 데이터 전송용 무전기를 개발 하였다. NTRD



그림 2. MANET 라우팅 프로토콜
Fig. 2. MANET Routing Protocols

는 현 미군에서 사용 중인 Ad-Hoc Network로서, 여단급 이하의 데이터 전송을 위한 장비이다. 소대로부터 여단에 이르기까지 백본 전송을 담당한다. NTDR은 시스템 구성이 Open-hardware 및 Software 그리고 개방형 구조 (Open-system-architecture) 로 되어 있다.

NTDR의 네트워크 구조는 그림 3에서 보듯이 Internet Layer, NTDR Intranet Layer 의 계층을 가진다. Inter cluster는 백본 채널을 구성함과 동시에 Local Cluster 간에 패킷(Packet) 중계를 담당한다. 각각의 Cluster 안에는 Cluster Head라는 것이 존재하여, 백본 채널과 로컬채널, 2가지의 기능을 동시에 수행한다. 즉, Inter Cluster Backbone은 Local Cluster를 연결하는 Backbone 채널을 구성하며, Cluster Head는 Inter Cluster Backbone과 연결되는 노드의 기능을 가진다. NTDR 네트워크 구조는 OSPF(Open Shortest Path First) 라우팅 프로토콜을 사용한다⁸⁻⁹⁾.

NTDR 개발 이후 미군은 전쟁에서의 전술용 무전기의 상호운용성의 중요성이 더욱 부각되면서 JTRS(Joint Tactical Radio System: 합동 전술무전기 시스템) 사업을 추진하고 있다. JTRS은

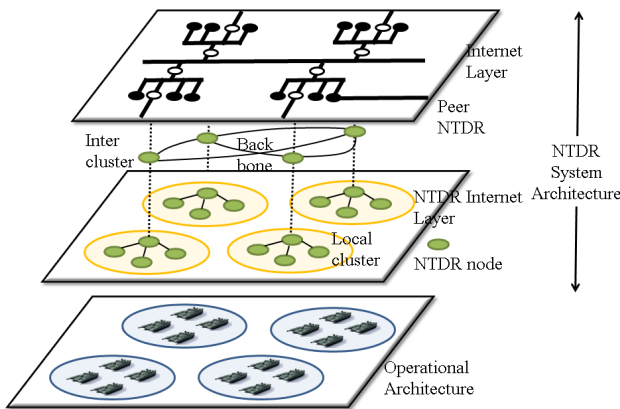


그림 3. NTDR 구조
Fig. 3. NTDR Structure

SDR(Software Defined Radio) 기술을 기반으로 기존 무선장비를 대체하겠다는 사업으로, 현재 항법장비로부터 위성단말에 이르기까지 25~30종류의 다양하게 운용되는 무전기를 디지털 동기화하여 단일 무전기로 통합하겠다는 것이 JTRS다. 합동무선장비의 핵심특징은 다양한 무전기가 구비하고 있는 특성 중에 공통구성요소를 설정 후 소프트웨어화하여 단일계통으로 통합된 무전기를 개발하는 개념이다. 그러나 현재까지 사업간 적용하고자 하는 MANET 라우팅 프로토콜이 결정되지 않았으며, S/W 응용을 위한 코어구조는 제공은 가능하나 다양한 플랫폼간 상호운용성과 전술 네트워크에서 전술 환경만이 가지고 있는 독특한 특성, 개발복잡성, 막대한 개발자금, 운용주파수 확보 등의 문제로 어려운 연구를 지속하고 있다.¹²⁾

Ⅲ. 문제 제기

3.1. 전술 Ad-Hoc과 일반 Ad-Hoc의 차별성

앞서 살펴본 MANET에서의 라우팅 프로토콜을 전술 Ad-Hoc망에 적용하여 그대로 사용하는 데에는 문제가 있을 수 있다. 그 이유는 전술 Ad-Hoc에는 표1에서 나타내는 바와 같이 일반 Ad-Hoc과는 다른 특별한 특징이 있기 때문이다. 그렇게 때문에 기존에 연구된 일반 Ad-Hoc의 라우팅 프로토콜은 전술 Ad-Hoc망에서 적용하여 사용하기 어렵다. 전술 Ad-Hoc과 일반 Ad-Hoc의 라우팅 프로토콜의 특징과 고려 사항을 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

우선, 전술 Ad-Hoc의 노드들은 일반 Ad-Hoc의 노드들 보다 더 빠른 이동속도를 갖는다는 것이다. 전술 Ad-Hoc에서는 통신 단말을 전투원에게 뿐만 아니라 전술차량이나 전차, 또는 지휘 차량에도 장착하기 때문에 노드의 이동 속도가 때로는 90Km/h 까지도 이를 수 있다. 또한 이러한 고속의 이동성에 따라 노드의 위치변화도 빈번하게 일어난다.

표 1. 일반 Ad-Hoc 과 전술 Ad-Hoc 차이점
Table 1. Differences between Common and Tactical Ad-Hoc

		Common Ad-Hoc	Tactical Ad-Hoc
Purpose		- Create profits - Profitability	- Tactical communication - Survivability
Design goal		- Performance Enhancement - Network throughput	- Network connectivity - Reliability - Real time information
Network Environments & Characteristics	Mobility	- Low speed	- High speed
	Data type	- Sensing Data	- Multimedia Data
	Node type	- static & mobile node	- mobile node
	Energy	- Limited energy	- Can be recharged

다음으로 전술 Ad-Hoc망에서는 전장의 상황정보를 전송해야하기 때문에 단순한 센싱 데이터뿐만 아니라 비디오나 오디오 같은 스트리밍 데이터와 또는 영상·그래픽 데이터 같은 용량이 큰 데이터가 유통 될 수 있다는 것이다. 이러한 데이터 유통 특성에 따라 노드들이 데이터를 전송하는 시간이 길어지게 될 것이고 앞서 언급한 노드들의 이동성을 고려 할 때, 데이터 전송 중 더 빈번한 링크 절단이 일어날 것이다.

마지막으로 전술 Ad-Hoc에서는 일반 Ad-Hoc에서와는 달리 에너지 소모를 고려하지 않는다는 것이다. 전술 환경의 특성상 통신장치는 길어야 단지 수 일정도만 사용하게 될 것이고 노드들이 이동성이 있기 때문에 언제든지 에너지를 교체 할 수 있기 때문이다¹⁰⁾.

3.2. 최단경로 선택 알고리즘의 문제

기존의 Ad-Hoc 라우팅 알고리즘에서는 최단 경로 선택 알고리즘으로 인해 그림 4의 (a)와 같이 노드의 통신반경의 최외각 노드인 2를 다음 전송 노드로 선택하게 된다. 하지만 이 경우 노드 2가 이

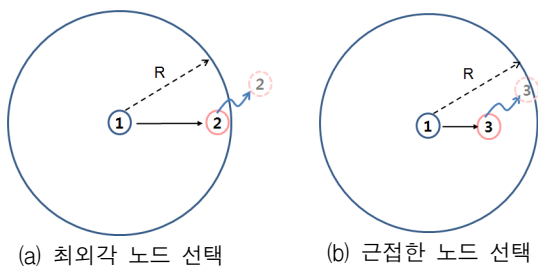


그림 4. 전송노드의 선택 과정
Fig. 4. Transmission node's selection procedure

동성을 갖게 되면 통신반경을 벗어날 가능성이 커지기 때문에 경로 절단 확률이 큰 선택이라고 할 수 있다. 반면 그림 4의 (b)와 같이 최외각의 노드 2 대신 어느 정도 안쪽에 위치한 노드 3을 전송노드로 선택하게 된다면, 노드 3이 이동성이 있어도 노드 1의 전송범위 안에 있을 가능성이 크기 때문에 경로 단절 확률이 줄어든 선택이라고 할 수 있다. 노드의 이동속도가 크고 스트리밍 데이터와 용량이 큰 데이터의 유통으로 인해 데이터 전송시간이 길어질 수 있는 전술 Ad-Hoc에서는 최단경로선택 알고리즘에 의한 경로 선택시 Edge 부분의 노드를 중간 전송 노드로 선택하게 되어 데이터 전송 중 경로 단절 상황이 더욱 빈번하게 일어나는 문제를 가지게 될 것이다.

3.3. 데이터 재전송 및 경로 재설정에 의한 문제

기존의 Ad-Hoc 라우팅 알고리즘에서는 그림 5와 같이 활성 경로를 통해 데이터를 전송하던 중 경로 단절이 발생하면 데이터 재전송 요청을 시행하게 된다. 재전송 요청 후에도 데이터가 온전히 전송되지 않을 경우에는 단절된 경로의 상위 노드 2가 경로 복구를 위해 주변 노드에 경로 설정 메시지(RREQ)를 플러딩(Flooding)하고, 이에 대한 응답 메시지(RREP)를 받을 때까지 Discovery Period 동안 기다리며, 이 기간 동안 소스 노드로부터 전송된 패킷(Packet)은 버퍼에 저장되었다가 경로 복구가 성공하면 전송된다. 만약 일정 시간이 경과한 후에 응답 메시지를 받지 못하면 경로 복구가 실패하게 되어 경로 설정 실패 메시지(RRER)를 소스 노드에 전달한다¹²⁾.

이러한 데이터 재전송 요청 및 경로 재설정 과정은 데이터 전송 중 재전송 및 재설정에 의해 부가

적인 전송지연 시간을 유발하여 데이터 전송지연 시간을 길게 할 뿐만 아니라, 데이터 로스(Loss)나 지터(Jitter)의 발생을 유발하여 신뢰적이면서 실시간으로 유통되어야 하는 전송 데이터의 전송을 저해하는 문제를 유발하게 된다.

IV. 제안하는 알고리즘

제안하는 알고리즘은 II.2절에서의 문제점과 같이 링크 단절확률이 큰 최단경로 선택 알고리즘을 대신하여 노드의 위치에 따른 링크단절 확률을 계산하고, 링크 단절확률이 작은 노드를 전송 노드로 선택함으로써 II.3절의 문제를 줄여 결과적으로 전송지연 기대 값을 최소화 시키는 알고리즘이다. 이러한 특성을 반영하여 제안하는 알고리즘의 이름을 Expected Delay Time(EDT) 알고리즘으로 명명하였다.

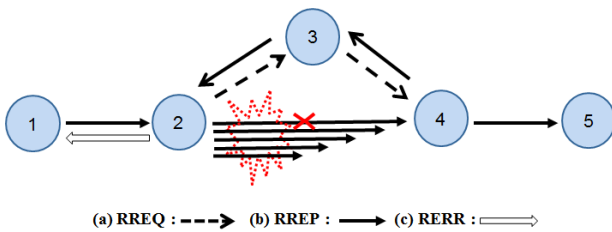


그림 5. 경로 재설정 과정
Fig. 5. Route Recovery Process

그림 6은 EDT 알고리즘의 간단한 예를 보여준다. 소스 노드(또는 중간 전송 노드)가 다음 전송 노드를 선택할 때, 데이터 전송의 신뢰성을 보장하기 위해 최외각 노드(B) 대신 경로단절 확률을 계산하여 이를 줄일 수 있는 노드(A 또는 C)를 찾고 다시 목적지 노드까지의 다중 홉(hop) 전송에 따른 전송기대 시간을 계산함으로써 최종적으로 경로단절 확률이 작으면서 전송기대 시간도 최소화 할 수 있

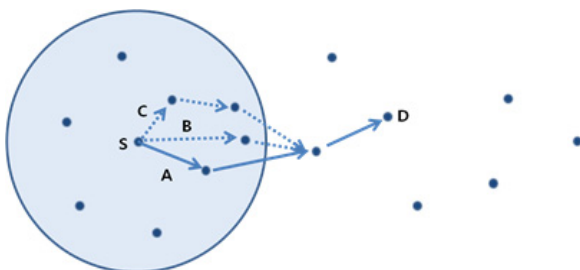


그림 6. 제안 알고리즘의 간단 예
Fig. 6. Simple Example of Proposed Algorithm

는 전송노드(A)를 찾아 경로를 설정 후 라우팅을 하게 되는 것이다. 경로 단절 확률과 전송기대 시간의 계산방법 그리고 최종 경로의 선택 알고리즘은 다음절에서 자세히 언급하도록 하겠다.

4.1. 경로 단절 확률 값의 계산

그림 7의 (a)와 같이 통신반경 값이 R인 A 노드의 다음 전송 노드로 B 노드가 선택 되었을 때 이 노드가 임의의 시간 후 이동할 수 있는 위치는 (b)의 화살표시와 같다. 그리고 이 화살표시는 다시 (c)에서와 같이 반지름이 r인 원의 형태로 나타낼 수 있고 r의 값은 다음과 같은 식으로 계산 할 수 있다.

$$r = v_{\max} \times \left(t_d + \frac{t_p}{hop} \right)$$

위의 식에서 v_{\max} 는 노드의 최대 속도를 의미하고 t_d 는 데이터의 전송 시간 t_p 는 경로 탐색시간 hop는 자신의 홉(hop)수를 의미한다. 즉, 이는 전송 노드가 경로를 탐색(t_p/hop)하고, 데이터를 보내는 시간(t_t)동안 이동성에 의하여 변화 될 수 있는 위치를 나타내는 식이다. 여기에서 경로탐색 시간(t_p)을 홉(hop)수로 나눈 것은 경로탐색 시간은 전송 노드가 소스에 가까울수록 길고 목적지 노드에 가까울수록 짧은 값을 갖기 때문이다.

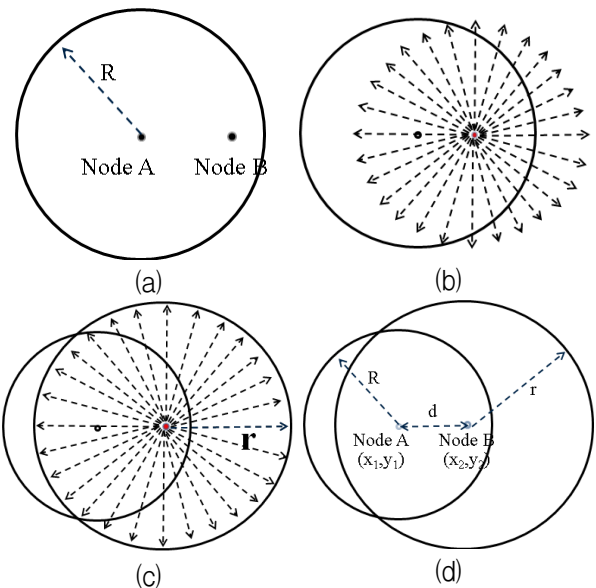


그림 7. 경로 단절 확률의 계산 예
Fig. 7. Calculation of Routing Path Failure

그림 7의 (c)와 같이 반지름이 R과 r인 두 노드가 사이에서 데이터 전송 중 이동성에 의해 링크 단절이 일어 날 확률 값(P_{br})은 다음과 같다.

$$P_{br} = \frac{\text{반지름 } r\text{원의 비겹침 면적}}{\text{반지름 } r\text{원의 전체 면적}}$$

즉, A 노드의 전송노드로 B 노드가 선택되었을 경우의 링크 단절 확률 값은 B 노드의 전체 이동 가능 위치 중 A 노드의 통신반경 밖에 위치할 경우의 값으로 계산 된다. 위의 내용을 바탕으로 그림 7의 (d)와 같이 두 노드 간 거리에 따른 링크 단절 확률을 계산하면 다음과 같다.

$$P_{br} = \frac{\pi r^2 - 2R^2 \cos^{-1}\left(\frac{d}{2R}\right) - \frac{d\sqrt{4R^2 - d^2}}{2}}{\pi r^2}$$

여기에서 R은 통신 반경이고, r은 앞서 계산한 노드가 임의의 시간 후 이동할 수 있는 위치이며, d는 두 노드 간 거리 즉, $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ 이다.

4.2. 전송 기대 시간 값의 계산

전송 기대 시간 값이란 한 노드가 전송 노드로 선택 되었을 때, 그 노드가 다음 노드에게 데이터를 온전히 전송하는데 까지 걸리는 시간에 대한 기대 값을 의미한다. 예를 들어 그림 8과 같이 노드 S의 전송 노드로 A노드가 선택 되었고 A노드의 링크 단절 확률이 P_{br1} 이라고 한다면, 노드 A가 선택되었을 때의 전송 기대 시간 값(T_{ed})은 다음과 같이 계산된다.

$$T_{ed} = t_d(1 - P_{br1}) + (t_d + t_r)P_{br1}(1 - P_{br2}) + (t_d + 2t_r)P_{br1}P_{br2}(1 - P_{br3})$$

위 식에서 P_{br2} , P_{br3} 는 그림 8에서 노드 B와 C의 링크단절 확률이고, t_d 는 데이터 전송시간, t_r 은 링크 단절에 따른 재전송 시간이다. 다시 말해, 노드 A에서 $(1 - P_{br1})$ 의 확률로 t_d 시간 동안 전송이 시도되고, 전송 실패 시 t_r 의 시간 동안 재전송이 시도된 후, 다시 노드 B를 통해 $(1 - P_{br1})$ 의 확률로 t_d 시간 동안 전송이 시도되는 과정을 반복한다. 따라서 이때의 전송 기대 시간 값은 각 노드의 전송 성공 확률에 데이터 전송 시간과 재전송 시도 시간을 합하여 곱한 값으로 계산 할 수 있다. 위의 식

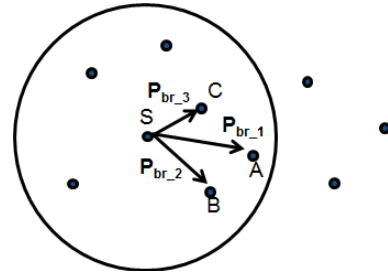


그림 8. 전송 기대 시간 값의 계산
Fig. 8. Calculation of Expected Transmission Time

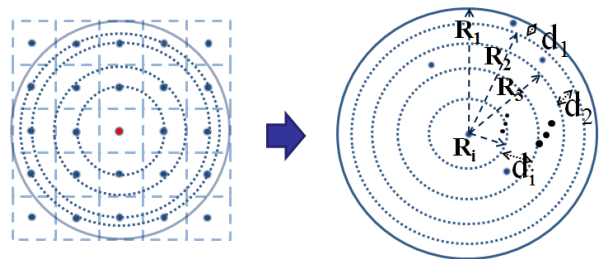


그림 9. 밀도에 따른 노드 간 거리 계산
Fig. 9. Calculation of Node Distance between Neighbors

을 계산하기 위해서는 각 노드에서의 P_{br} 값을 알고 있어야 한다. 하지만 각 노드들은 계산 과정을 통해 자신과 이전 노드 사이의 P_{br} 값만 알 수 있을 뿐 주변의 다른 노드들은 얼마의 P_{br} 값을 갖는지 알지 못한다. 다시 말해, 그림 8에서 노드 A는 자신의 P_{br} 값인 P_{br1} 값을 알고 있을 뿐 B와 C노드의 P_{br2} , P_{br3} 값을 알지 못해 전송기대 시간 값을 온전히 구할 수 없다는 것이다. 따라서 주변 노드의 P_{br} 값을 예측하는 과정이 별도로 수행되어야 한다.

주변노드의 P_{br} 값을 예측하기 위해 네트워크 내 노드의 밀도를 이용 한다. 전송 네트워크의 특성상 노드가 균일하게 배포되어 있는 환경을 가정한다면, 전체 네트워크의 밀도는 (전체 노드의 수)/(네트워크 면적)로 나타낼 수 있다. 전체 네트워크와 마찬가지로 노드의 통신반경 R내에 노드가 균일 하게 분포한다면 반경 R내에 각 노드가 위치하는 곳은 전송가능 면적을 밀도로 나눈 등면적 구간, 즉, 그림 9의 d_1 , d_2 , ..., d_i 구간이 된다. 이것은 만약 자신이 d_1 구간에 위치한다면 다음 노드는 d_2 구간에, 그 다음은 d_3 구간, 이후 d_i 구간까지 노드가 위치하게 됨을 의미한다. 여기에서 두 노드 간 거리 R_i 의 값은 다음과 같은 수식을 계산된다.

$$R_i = \sqrt{R_{i-1}^2 - \text{Density}}$$

위 식에서 R_0 의 값은 노드의 통신 반경이며, R_i 의 값은 R_0 가 양의 값을 가질 때까지 계산하여 구한다. 두 노드 간 거리(R_i)를 알게 되면 P_{br} 을 구하는 식으로부터 링크단절 확률 값을 계산 할 수 있고 이를 바탕으로 주변노드의 주변 노드의 P_{br} 값을 예측 할 수 있다. 위에서 언급한 과정을 바탕으로 전송 기대 시간을 일반화 하여 i 번째 링크에서의 전송 기대 시간을 표현하면 다음과 같다.

$$T_{ed}^{i,th} = \sum_{k=1}^N \left\{ [t_d + (k-1)t_r] \times \left[\prod_{j=1}^{k-1} P_{br_j} \right] (1 - P_{br_k}) \right\}$$

$$P_{br_m} = \begin{cases} P_{br_m} & m \geq i \\ 1 & otherwise \end{cases}$$

여기에서 P_{br_m} 은 각 노드의 P_{br} 값으로 식의 전개 중 첫 항에서는 링크의 단절이 일어나지 않음으로 P_{br} 값은 1로 그 이후는 예측된 각 노드의 P_{br} 값으로 계산한다.

4.3. 최적 경로의 선택

소스 노드는 데이터의 전송 필요시 시퀀스 (Sequence) 번호와 경로정보, 홉(hop)수 그리고 위치정보를 입력하여 저장하고 중간 전송 노드의 링크 단절 확률 값과 전송 기대 시간 값의 입력을 위한 공간이 있는 경로요청정보(RREQ)메시지를 그림 10의 (a)와 같이 통신 반경 내의 노드에게 전달한다.

중간 전송 노드는 자신에게 새로운 시퀀스 번호의 경로 설정 메시지가 도착하게 되면 이전 노드와 자신의 위치 정보를 바탕으로 앞 절에서 언급한 링크 단절 확률과 전송 기대 시간 값을 계산한다. 이렇게 계산된 값을 경로 설정 메시지에 업데이트(링크 단절 확률은 곱하고, 전송 기대 시간 값은 더함)시키고 그림 10의 (b)와 같이 다시 주변 노드로 플러딩(Flooding) 해준다. 이렇게 각 전송 노드를 통해 경로설정 메시지가 목적지 노드에게 도착하게 되면 목적지 노드는 자신의 라우팅 테이블에 각 경로를 통해 전달된 경로설정 메시지의 경로정보, 경로단절 확률 값, 그리고 전송 기대 시간 값을 그림 10의 (c)와 같이 저장한다. 이후 같은 시퀀스 번호의 새로운 경로설정 메시지 즉, 새로운 경로 정보를 갖는 경로 설정 메시지를 5개까지 받은 후 5가지의 경로 설정 메시지 중 링크 단절 확률이 가장 적으면서 전송 기대 시간 값이 작은 경로를 선택하여

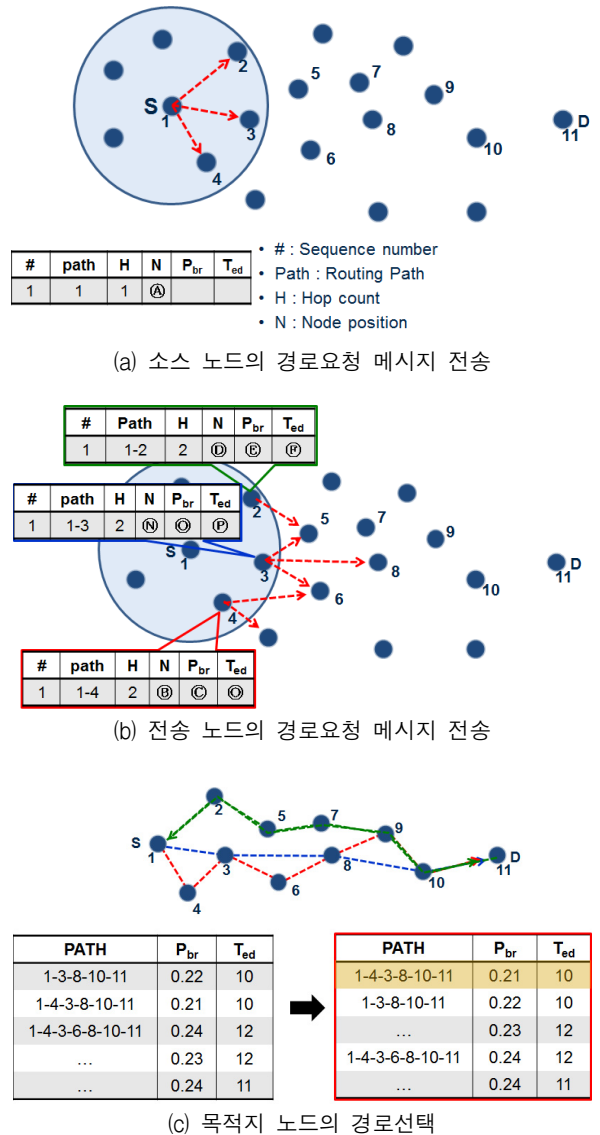


그림 10. 경로선택의 과정
Fig. 10. Procedure of Routing Path Selection

경로 응답 메시지를 보낸다.

V. 성능 평가

기본적인 시뮬레이션 환경은 노드의 이동성이 있는 중·소규모의 부대에서 멀티미디어 데이터를 Ad-Hoc 네트워크를 통해 멀티홉(Multi-hop)으로 전송하는 환경을 설정하였다. 실험의 시나리오는 가로와 세로의 길이가 각각 1.2km×1.2km인 공간에 150개의 노드가 균일하게 배치되어 Random한 이동성을 갖는 환경 하에서 노드의 이동속도와 데이터 전송시간을 변수로 하여 실험을 진행하였다. 시뮬레이션에서 사용하는 기본적인 파라미터는 다음과 같다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation Parameters

Parameters	Values
Simulation time	1000 sec
Number of Mobile Node	150
Transmission range	200m
Mobility Model	Random Waypoint (RWP)
Maximum Node Speed	0 ~ 90 Km/h
Traffic Pair	Random Pair
Traffic Size	8kb, 32kb, 80kb (Poisson) 32kb, 64kb, 80kb (CBR)

시뮬레이션은 MATLAB을 이용하여 구현하였으며, PHY / MAC Protocol은 MAC Protocol의 영향을 최소화하기 위해 Ideal한 802.11 기반의 MAC Protocol을 사용하였고, 노드의 이동성 모델은 MANET 라우팅 프로토콜의 성능 평가에서 주로 사용하는 Random WayPoint 모델을 사용하였다. Random WayPoint 모델은 이동 위치를 임의로 선택한 뒤 $[V_{min}, V_{max}]$ 사이의 속도에서 랜덤하게 선택된 속도로 목적지까지 이동하여 정해진 정지 시간 동안 머문 후 다시 임의의 목적지로 이동하는 모델이다. 이 모델은 실제 전장상황에 적용 가능한 모델로 전투시 어느 한 진영에서만 전투를 수행하지 않고 필요 시 이동 후 새로운 진영에서 전투를 수행한다는 점과 유사하다^[12].

노드의 이동 속도에 따른 성능 평가를 위해 8 kb, 32kb, 80kb의 데이터를 포아송 분포 트래픽(Poisson Distribution Traffic)의 형태로 보내는 상태에서, 속도의 변화는 노드를 전투원(사람)만으로 가정된 0~5Km/h인 경우와 전투원과 전투차량(탱크 또는 장갑차량)이 혼재되어 중속으로 이동하는 0~40Km/h의 경우, 그리고 전투원과 전투차량(탱크 또는 장갑차량)이 혼재되어 고속으로 이동하는 0~70Km/h, 0~90Km/h의 경우로 나누어 실험하였다.

데이터의 크기 및 전송 패턴(Pattern)에 따른 성능 평가를 위해 데이터 크기 및 전송 패턴(Pattern)의 변화는 8kb, 32k, 80kb의 데이터를 포아송 분포 트래픽(Poisson Distribution Traffic)(센싱 데이터)으로 보내는 경우, 32kb, 64kb, 80kb의 데이터를 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽(Traffic)(멀티미디어 / 음성 데이터)으로 보내는 경우에 대하여 실험하였다.

성능 평가를 위해서 3가지의 성능을 비교하였다.

첫 번째는 패킷(Packet)의 전달 성공률로 실제 발생된 데이터 대비 도착한 패킷(Packet)의 비율을 나타낸다. 두 번째는 평균 패킷(Packet) 전송 시간이다. 이 시간은 단순히 라우팅을 위해서 필요한 시간이 아니라 링크가 깨졌을 경우 링크를 복구하고 실제 데이터를 전송하여 성공적으로 데이터가 전송된 패킷(Packet)의 지연 시간을 나타낸다. 따라서 이 성능은 실제 어플리케이션에서 겪는 데이터 패킷(Packet)의 전송 지연 시간을 나타낸다. 마지막으로 각각의 라우팅 프로토콜이 발생시키는 오버헤드(Overhead)를 비교하여 성능을 평가하였다.

성능 평가는 Ad-Hoc 네트워크의 기본적인 라우팅 프로토콜인 AODV와 Best Link Node Set(BLS)^[15] 프로토콜과 비교하였다. BLS 프로토콜은 노드의 링크 사이의 Signal to Noise Ratio(SNR)의 값을 이용하여 링크의 신호가 좋은 링크만을 라우팅 경로에 사용하는 프로토콜이다. 이 때문에 BLS는 링크의 신뢰도가 높아 종단간의 라우팅 경로의 신뢰도가 높은 라우팅 프로토콜이다. 따라서 이동성이 있는 Ad-Hoc 네트워크에서도 좋은 성능을 보여주는 프로토콜이다.

5.1. 노드의 이동속도에 따른 성능

우선 각 노드의 속도에 따른 패킷(Packet) 전달 성공률을 살펴보면 그림 11의 좌측 그림과 같다. AODV의 경우 노드의 움직임이 빠를수록 패킷(Packet)의 전송 성공률이 점차 낮아지지만, 제안하는 알고리즘을 사용 할 경우 AODV에 비하여 평균 18%(최소 8% ~ 최대34%), BLS알고리즘에 비해 평균 6%의 패킷(Packet) 전달 성공률이 향상되는 것을 볼 수 있었으며, 노드의 움직임에 관계없이 일정하게 성능을 유지함을 볼 수 있다. 특히 AODV의 경우 노드의 움직임이 최대 90km/h까지 높아지면 패킷(Packet) 전달 성공률이 70%정도로 급격히 낮아지지만 제안하는 알고리즘의 경우 라우팅 경로 설정에 노드의 속도를 반영하기 때문에 다른 속도에서와 마찬가지로 90%이상의 좋은 패킷(Packet) 전달 성공률을 나타냈다. 종단간 패킷(Packet) 전송 시간 역시 그림 11의 우측 그림에서 나타내듯이 AODV에 비하여 평균 20%(최소19% ~ 최대21%), BLS알고리즘에 비해 평균 11%의 성능 향상을 확인할 수 있었다.

5.2. 데이터의 크기 및 전송 시간에 따른 성능

그림 11의 좌측은 포아송 분포 트래픽(Poisson

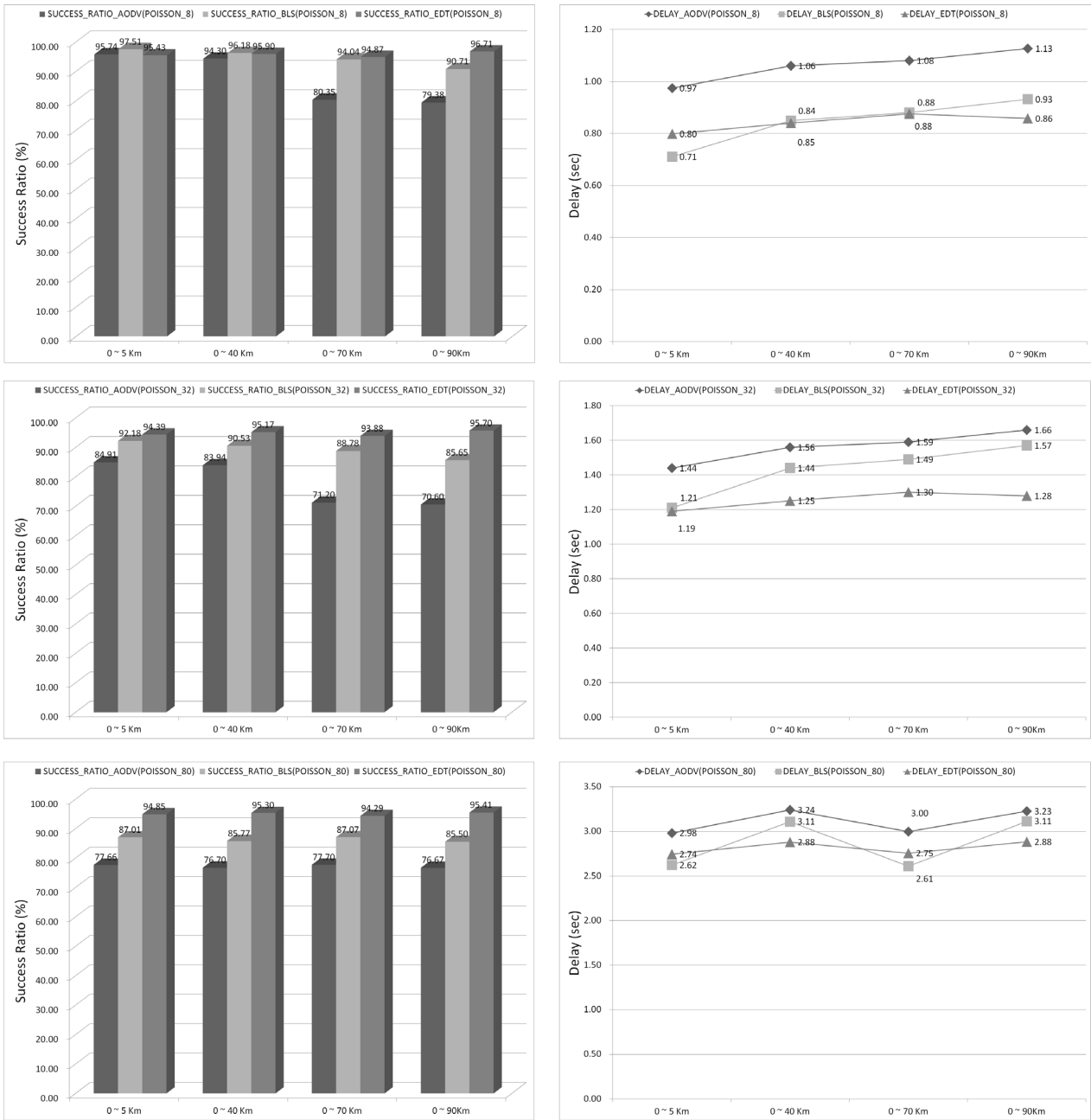


그림 11. 노드의 속도에 따른 패킷(Packet) 전달 성공률(좌측)과 평균 패킷(Packet) 전송 시간(우측) - Poisson Distribution Traffic
 Fig. 11. Success Ratio(Left) and Average Delay(Right) of Packets According to the Node Mobility - Poisson Distribution Traffic

Distribution Traffic) 데이터 크기에 따른 패킷(Packet) 전달 성공률을 나타낸다. 그림에서도 알 수 있듯이 AODV의 경우 패킷(Packet)의 크기가 커짐에 따라 패킷(Packet) 전송 시간이 길어짐으로 패킷(Packet) 전달 성공률이 점차 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 제안하는 알고리즘의 경우 패킷(Packet)의 크기에 관계없이 AODV에 비하여 평균 14%(최소 2%~최대 24%), BLS알고리즘에 비해 평균 6%의 더 향상된 패킷(Packet) 전달 성공률을 보이고 있으며, 라우팅 경로 설정에 패킷(Packet)의

전송시간이 반영되어 있으므로 데이터의 크기가 커짐에 따라 패킷(Packet) 전송 시간이 길어져도 평균 90% 이상의 좋은 패킷(Packet) 전달 성공률을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 그림 11의 좌측의 포아송 분포 트래픽(Poisson Distribution Traffic) 데이터 크기에 따른 패킷(Packet) 전송 시간에서도 제안하는 알고리즘이 AODV에 비하여 평균 19%(최소 14%~최대 26%), BLS알고리즘에 비해 평균 6%의 향상된 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 12의 우측은 CBR 트래픽(Traffic) 패킷

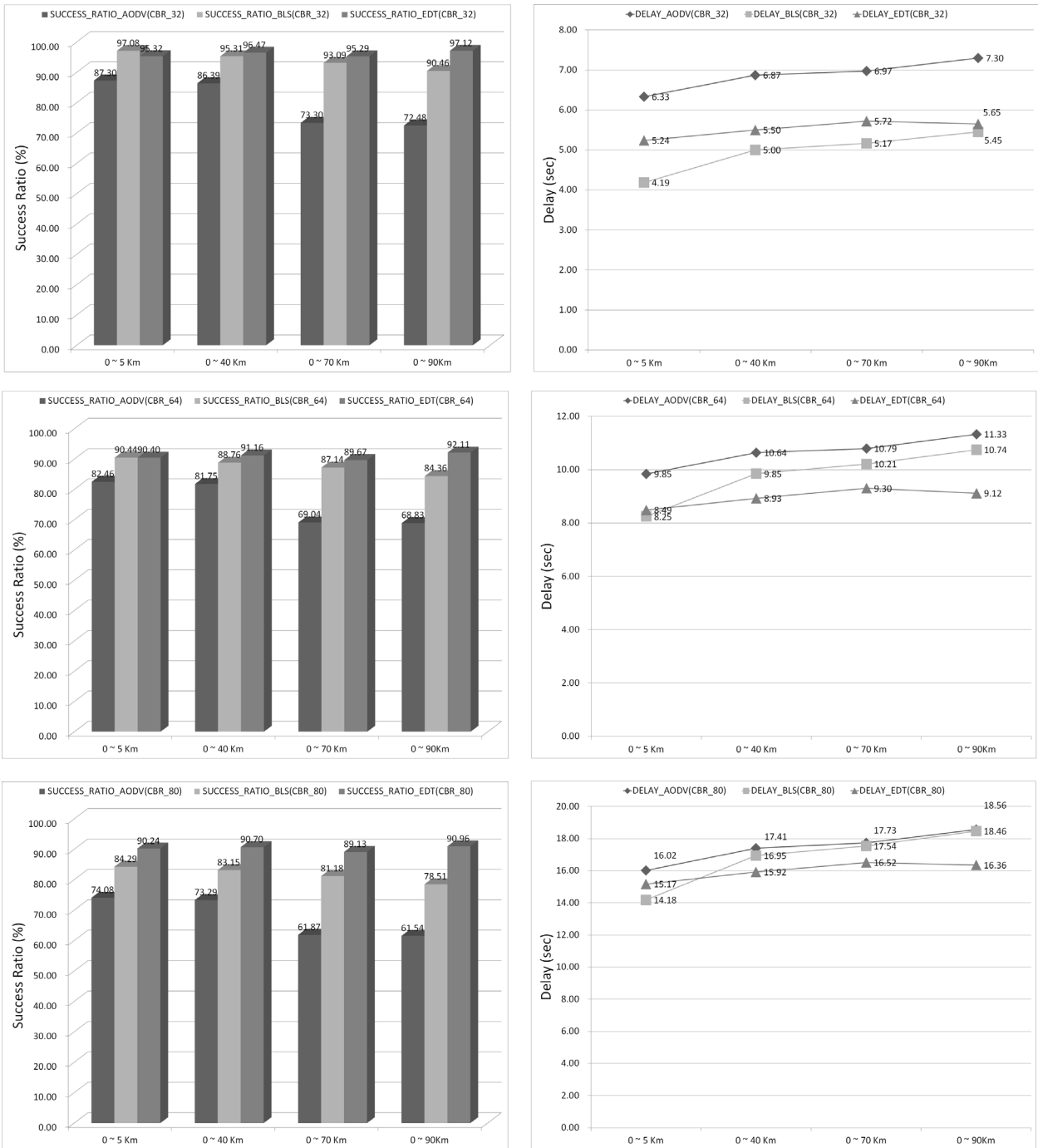


그림 12. 노드의 속도에 따른 패킷 전달 성공률(좌측)과 평균 패킷 전송 시간(우측) - CBR Traffic
 Fig. 12. Success Ratio(Left) and Average Delay(Right) of Packets According to the Node Mobility - CBR Traffic

(Packet) 패턴(Pattern)에 따른 패킷(Packet) 전달 성공률을 나타낸다. 이전의 시뮬레이션과 마찬가지로 제안하는 알고리즘의 경우 패킷(Packet)의 패턴(Pattern)에 관계없이 AODV에 비하여 평균 11% (최소 1%~최대 19%), BLS알고리즘에 비해 평균 4%의 더 향상된 패킷(Packet) 전달 성공률을 보이고 있으며, 패킷(Packet) 전송 시간이 길어져도 평

균 90% 이상의 좋은 패킷(Packet) 전달 성공률을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 그림 12의 CBR 트래픽(Traffic) 패킷(Packet)에 따른 패킷(Packet) 전송 시간에서도 제안하는 알고리즘이 AODV에 비하여 평균 15%(최소9%~최대 20%), BLS알고리즘에 비해 평균 7%의 향상된 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

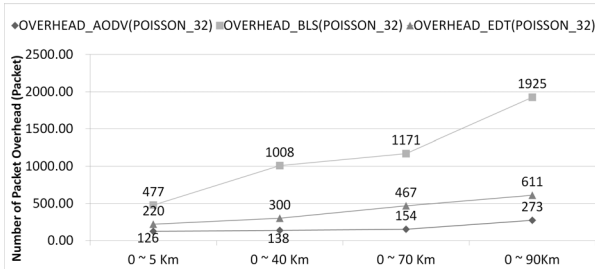


그림 13. 노드의 속도에 따른 패킷 오버헤드(Packet Overhead)
Fig. 13. Packet Overhead According to the Node Mobility

그림 13에서는 노드의 이동 속도에 따른 라우팅 패킷(Packet)의 오버헤드(Overhead)를 나타낸다. AODV의 경우 가장 낮은 수준의 메시지 오버헤드(Overhead)를 보여주고 있으며, EDT의 경우 AODV에 비해 더 많은 오버헤드(Overhead)를 발생시키고 있다. 이는 AODV의 경우 RREQ 메시지를 한번 전송한 이후에는 다시 RREQ 메시지를 전송하지 않지만 EDT의 경우 다중 경로의 라우팅 정보를 모으기 위해서 RREQ 메시지를 여러 번 전송함으로써 나타나는 현상이다. 따라서 라우팅 경로를 찾을 때 AODV에 비해 더 많은 메시지가 발생하는 단점이 있다. 하지만 전송 Ad-Hoc에서는 메시지 오버헤드(Overhead)로 인해 소모되는 에너지가 중요하지 않으며, 실제 성공적으로 전송되는 데이터는 EDT가 훨씬 높기 때문에 전송 Ad-Hoc에서는 EDT의 성능이 더 좋다고 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 일반 MANET에서 사용되는 라우팅 프로토콜을 전송 MANET에 적용하였을 때의 문제점에 대해서 살펴보았다. 기존 MANET에서는 에너지 효율성 등을 고려해 최단거리 경로 설정 기법을 사용하고 있지만, 노드가 고속의 이동성을 가질 수 있으며, 센싱 데이터 뿐 아니라 멀티미디어 데이터 등 다양한 데이터를 유통하는 전송 MANET에서는 기존의 최단거리 경로 설정 기법은 잦은 링크 단절로 인해 전송 신뢰성과 전송 시간 측면에서 비효율적인 것으로 확인 할 수 있었다. 노드의 속도와 데이터 전송시간, 그리고 노드 간 거리를 이용해 중계노드 간 링크의 단절확률을 계산하고 전송기대 시간 값을 계산해 최적의 라우팅 경로를 설정하면 노드의 이동성과 데이터의 크기에 상관없이 높은 패킷(Packet) 전달 성공률을 유지할 수 있다. 또한 전송 시간 측면에서도 링크의

단절을 최소화함으로써 데이터 재전송 및 경로 재설정에 따른 부가적인 시간을 줄여 종단간 지연시간이 더 향상되는 것을 볼 수 있었다. 그러나 라우팅 경로 설정에 있어 노드의 위치 정보가 매우 중요한 요소가 되기 때문에 위치정보의 신뢰도에 따라 알고리즘의 신뢰가 영향을 받고, 노드의 모빌리티가 낮은 환경에서는 성능 향상이 제한적이라는 단점을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J.S. Hwang, H.H. Baek, "Development Direction of Information and Communication Device in Military Network for Network Centric War", *Journal of electromagnetic wave technology*, vol, 19 no.1, pp.15~32, Jul. 2008.
- [2] H.J Son, "Research of MANET Protocol usage in the Tactical Information Communication Network", M.S Thesis, Korea National Defense University, Dec. 2008.
- [3] Hyunchang Kim, "Optimization of AODV Protocol with Timestamp in Ad Hoc Networks", M.S Thesis, Yonsei University, Feb. 2001.
- [4] Theofanis P., "A Survey on Routing Techniques supporting Mobility in Sensor Networks", *IEEE 5th ICMA*, pp.78~85, Dec. 2009.
- [5] Corson S. and Macker J., "Mobile Ad-hoc NETWORKING (MANET): routing protocol performance issues and evaluation considerations", RFC 2501, Jan. 1999.
- [6] C-K Toh, "Ad-hoc Mobile Wireless Networks:Protocols and Systems" Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, N.J., 2001.
- [7] Inbo Sim, "Energy efficient geographic routing scheme considering channel condition in WSNs", Ph. D. Thesis, Yonsei University, Feb., 2010.
- [8] Barry M. Leiner, Robert J. Ruth & Ambatipudi R.Sastry, "Goals and Challenges of the DARPA GloMo Program" *IEEE Personal Communications*, vol.3, no. 6,

- pp.34~43, Dec., 1996.
- [9] Y.G. Lim, "Tactical Internet for the NCW Implementaion", 26th Joint Chiefs of Staff Journal, pp.108~112, 2006.
- [10] J.S. Um, Y.H. Kim, "Considerations, Pros and Cons of Commercial Information and Communication Technologies in Military Networks", KIDA Defense Weekly, Dec., 2007.
- [11] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC 3561, Jul., 2003.
- [12] David B. Johnson and David A. Maltz., "Dynamic source routing in Ad-hoc wireless net-works". In *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 5, pp. 153-181, Kluwer Academic Publiser, Feb. 1996.
- [13] Anuj K. Gupta, "Performance analysis of AODV, DSR & TORA Routing Protocols", *IACSIT*, vol.2, no.2, pp.226~231, April 2010.
- [14] Yasser Kamal Hassan, "Performance Evaluation of Mobility Speed over MANET Routing Protocols", *International Journal of Network Security*, vol.11, no.3, pp.128~138, Nov., 2010.
- [15] Jungpal Lee, "A reactive routing algorithm using best link node set in MANET", M.S Thesis, Yonsei University, Feb., 2008.
- [16] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya. "Location aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks". *Wireless Networks*. vol 6, issue 4, pp. 307-321, Jul. 2000.
- [17] Stefano Basagni, Imrich Chlamtac, Violet R. Syrotiuk, and Barry A. Woodward., "A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)". In *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp.76~84, Oct., 1998.
- [18] Suresh Singh, Mike Woo, C. S. Raghavendra: "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks". In *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp.181~190, Oct. 1998.
- [19] R. Sivakumar, P. Sinha, V. Bharghavan. "CEDAR: a Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm.", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol 17, no 8, pp1454~1465. August 1999.
- [20] K.H. Kim, I.B. Sim, H. Kim, J. Lee, "Geographical Time Back-off Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", *Journal of KICS*, vol. 32, no. 5, pp. 247-256, May. 2007.
- [21] H.J. Kang, S.G. Lim, H.E. Jeon, J. Lee, S.B. Park, Y.B. Yoo, "Mobility-Adaptive Routing Update Scheme for Wireless Networks with Group Mobility", *Journal of KICS*, vol. 37B, no. 1, pp. 39-49, January. 2012.

윤 명 준 (Myungjune Youn)



2005년 2월 연세대학교 전기전자공학과 졸업
 2007년 2월 연세대학교 전기전자공학과 석사
 2007년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 <관심분야> Ubiquitous Sensor

Network, M2M

강 태 훈 (Tae Hun Kang)



2004년 2월 공군사관학교 전기전자공학과 졸업
 2012년 2월 연세대학교 전기전자공학과 석사
 2012년 3월~현재 공군 본부
 <관심분야> Ubiquitous Sensor Network

전 한 일 (Hahn Earl Jeon)



1995년 2월 연세대학교 전기전
자공학과 졸업

1997년 8월 연세대학교 전기전
자공학과 석사

2003년 3월 연세대학교 전기전
자공학과 박사

2003년 3월~2004년 2월 연세
대학교 차세대방송기술 연구센터 연구 교수

2004년 7월~2008년 2월 방송위원회 연구위원

2009년 3월~2010년 2월 연세대학교 차세대
RFID/USN 연구센터 연구교수

2010년 3월~현재 한국방송통신전파진흥원 책임연
구원

<관심분야> QoS Routing, Wireless Sensor
Network, Wireless Multihop Network, 융합기술,
n-스크린

이 재 용 (Jaiyong Lee)



1977년 2월 연세대학교 전자공
학과 졸업

1984년 5월 IOWA State
University 공학석사

1987년 5월 IOWA State
University 공학박사

1987년 6월~1994년 8월 포항
공과대학 교수

1994년 5월~현재 연세대학교 전자공학과 교수

<관심분야> Internet of Things, Ubiquitous Sensor
Network, Future Internet, Content Centric
Network, Wireless TCP, Relay enhanced
Cellular Multihop Networks