

# MANET에서 응용 서비스 데이터 유형에 따른 요구기반 라우팅 프로토콜의 성능비교

장 준 영\* · 이 길 섭\*\* · 이 승 종\*\*

## 요 약

최근 MANET은 다양한 분야에서 관심의 대상이 되고 있다. 본 논문에서는 DSR, AODV, TORA 등과 같은 요구 기반 라우팅 프로토콜을 대상으로 응용 서비스, 대역폭, 데이터 전송률 사이의 관계를 분석하여 제시하고자 한다. 응용 서비스 데이터는 센서 데이터, 문자 데이터, 음성 데이터, 영상 데이터로 분류하였다. 실험은 OPNET을 사용하여 약 20개의 노드로 구성된 Ad-hoc 네트워크를 설계하여 실시하였다. 실험의 평가척도는 패킷 전송 성공률, 평균 종단 지연 및 라우팅 로드의 3가지로 하였으며, 실험 결과로서 응용 서비스 데이터 유형에 따라 최적의 요구 기반 라우팅 알고리즘의 선정과 이를 지원하기 위한 무선 통신 특성에 대한 제원을 얻을 수 있었다. 실험 결과를 종합해 보면 요구 기반 라우팅 프로토콜중 TORA가 가장 우수한 성능을 보였다. 본 실험의 연구 결과는 대규모 무선 네트워크를 위한 Ad-hoc 라우팅 프로토콜 개발시 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

## A Performance Comparison of On-Demand Routing Protocols for Application Services in MANET

Jun-Young Jang\* · Kil-Sup Lee\*\* · Sung Jong Lee\*\*

### ABSTRACT

Recently, there has been great interest in MANET from various areas. In this paper we focus on performance analysis of on-demand routing protocols such as DSR, AODV, and TORA in MANET. We have conducted several simulations concerned with application service data such as sensor, text, voice, and video data. And then, we have evaluated the performance of three protocols in a pre-designed ad hoc network, which is consisted of 20 nodes. As a result, we have obtained quantitative data for packet delivery fraction, average end-to-end delay, routing load, channel utilization from upper layer and supportable routing protocol for application service data. The results can be used for designing specific-purposed ad-hoc networks.

**키워드** : 이동적용망(MANET : Mobile Ad-hoc Network), 요구기반(On-demand) 라우팅 프로토콜, 성능 분석(Performance Analysis)

### 1. 서 론

최근에 MANET(Mobile Ad-hoc Network)은 다양한 분야에서 연구되고 있다. MANET은 기존 기지국 등 기반 시설을 이용하지 않고 노드들만으로 구성된 네트워크이며, 분산, 이동, 무선, 멀티홉 등의 특성을 가지고 있다[6]. 지금까지 MANET은 다양한 기관에서 연구되었으며 그 결과는 IETF(Internet Engineering Task Force) 표준에 반영되었다. 특히, GloMo 프로그램[5]는 미 국방성에 의해서 진행된 것으로 무선 환경에서 이동하는 병사 및 장비들의 강력한 데이터 통신체계를 만들기 위해 시작하였으며, SUO SAS (Small Unit Operation Situation Awareness System)[15]는

병사 개개인에게 신뢰성 있고 강한 음성, 영상 및 데이터 통신을 제공한다.

한편, 한국군에서는 전술용 MANET을 위한 개념 연구가 있었다[1]. 본 논문에서는 운영구조(OA : Operation Architecture), 체계구조(SA : System Architecture), 기술구조(TA : Technical Architecture), 체계 요구사항 및 발전 개념을 포함한 한국군 이동 Ad-hoc 전투 무선망 구조를 설명한다. 체계 요구사항중의 하나는 센서, 문자, 음성 및 영상정보 등의 응용 서비스를 지원하는 것이다. 데이터는 다양한 장비들, 단말들 및 센서들을 포함하고 있다. 다양한 요구사항을 가진 서비스를 지원하기 위한 특정된 Ad-hoc 네트워크를 설계하기 위해서는 풀어야 할 많은 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 군사적 연구의 기초 단계로서 기존에 있는 DSR(Dynamic Source Routing)[8], AODV(Ad-hoc On-Demand Distance-Vector)[7], TORA(Temporally-Ordered

\* 준 회 원 : 국방대학교 대학원 전산정보학과

\*\* 정 회 원 : 국방대학교 전산정보학과 교수

논문접수 : 2004년 9월 21일, 심사완료 : 2004년 11월 10일

Routing algorithm)[14]와 같은 요구 기반 라우팅 프로토콜을 대상으로 서비스, 대역폭 및 데이터 전송률의 상관관계를 파악하고자 한다. 이러한 요소들의 관계성은 유선 환경에서의 결과와 다르게 나타날 것이다. 본 연구에서는 Ad-hoc 네트워크의 응용 서비스를 센서 데이터, 문자 데이터, 음성 데이터 및 영상 데이터의 4가지로 분류한다. 그리고 실험 모델은 20개로 노드들로 구성된 중대급 규모의 네트워크로 한다. 실험은 OPNET[10]을 이용한다. 실험 결과로 나온 서비스, 대역폭 및 데이터 전송률의 상관관계는 새로운 라우팅 프로토콜의 개발시 유용한 자료가 될 것으로 판단된다.

이후 본 논문의 구성은 2장에서 요구 기반 라우팅 프로토콜과 한국군 전술용 MANET에 대해서 알아보고, 3장에서 실험 환경, 입력 데이터, 실험 척도 및 실험 결과에 대해서 설명한다. 4장에서는 상위계층 채널 이용률, 응용 서비스와 무선통신 특성의 관계, 관련연구와의 비교에 대해서 논한다. 5장에서 결론 및 향후 연구과제에 대해서 논한다.

2. 관련 연구

2.1 요구기반 라우팅 프로토콜

본 절에서는 MANET의 요구 기반 라우팅 프로토콜인 DSR, AODV, TORA에 대하여 설명하고, 한국군 전술용 MANET에 대하여 기술한다.

요구 기반 라우팅 프로토콜은 전송할 데이터가 발생할 경우, 즉 필요에 따라 경로를 찾는 프로토콜이다. DSR은 소스 라우팅 방식에 기초하고 있으며 경로 정보는 경로 캐시에 저장된다. DSR 라우팅 프로토콜은 크게 경로 탐색 단계와 경로 유지 단계로 구분된다. 경로 탐색단계는 자료를 보내기 위한 경로를 발견하는 단계로 경로 요청 패킷에 라우팅 헤더를 붙여 보내는 방식을 사용한다. 이로 인하여 DSR은 라우팅 흡수가 커질수록 많은 라우팅 오버헤드를 유발한다. 경로 유지 단계는 소스 패킷에 붙여서 이동되는 라우팅 정보를 경로 캐시에 저장함으로써 이루어진다[8].

AODV는 DSR과 유사하지만 DSR의 문제점을 개선시킨 프로토콜이다. DSR의 라우팅 헤더로 인하여 발생하는 문제를 개선하기 위하여 각 단말에 라우팅 테이블을 만들어서 라우팅 정보를 교환하는 방법이다. 경로를 발견하고 유지하는 방법은 DSR과 유사하다[7].

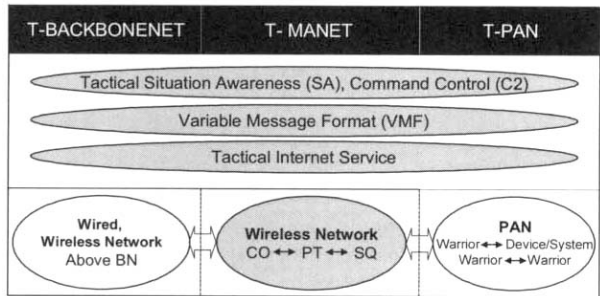
TORA는 부분적인 링크 역전 방법을 사용하여 분할을 탐지하는 프로토콜이다. TORA는 IMEP(Internet MANET Encapsulation Protocol)를 이용하여 네트워크 상태를 주기적으로 확인하는 프로액티브 성격을 가지고 있으며, 이를 이용하여 라우팅을 하기 때문에 낮은 트래픽에서는 비효율적이지만 트래픽이 많을수록 효율성은 높아진다. 또한 TORA는 링크 단절시 추가적인 경로 요청을 하는 것이 아니라 단순히 링크를 반대로 설정하여 경로유지를 한다. 따라서 TORA는

링크 단절시 추가적인 RREQ메시지의 사용이 줄어든다. 그리고 TORA 역시 경로 생성, 경로 유지, 경로 삭제의 세 가지 기능으로 구분되며, DSR이나 AODV의 절차와 유사하다[14].

위와 같은 세 가지 MANET 라우팅 프로토콜들은 각각의 특성으로 인하여 성능의 차이를 보인다. 특히 전체 노드의 수, 패킷 발생량, 네트워크 토폴로지 등에 따라 다양한 결과를 보이게 된다. 군사적 환경에서 형성되는 네트워크의 수는 일정한 값을 가지지만, 네트워크의 토폴로지와 트래픽 발생량은 상황에 따라서 달라진다. 네트워크의 토폴로지 변화에 따른 성능 평가는 DSR이 가장 좋은 성능을 보인다[2]. 그러나 패킷 발생량을 변화시킨 실험에서는 DSR의 성능이 가장 좋지 않으며, TORA가 가장 좋은 성능을 보인다.

2.2 한국군 전술용 MANET

본 절에서는 전술 통신망(TCN : Tactical Communication Network)에 관한 운영구조와 체계구조에 대해서 설명한다. (그림 1)는 [1]에서 제안된 전술용 기반망(T-BACKBONENET), 전술용 MANET (T-MANET) 및 전술 개인 통신망(T-PAN)의 세 개의 하부 네트워크를 가진 전술 통신망의 운영구조를 보여준다.



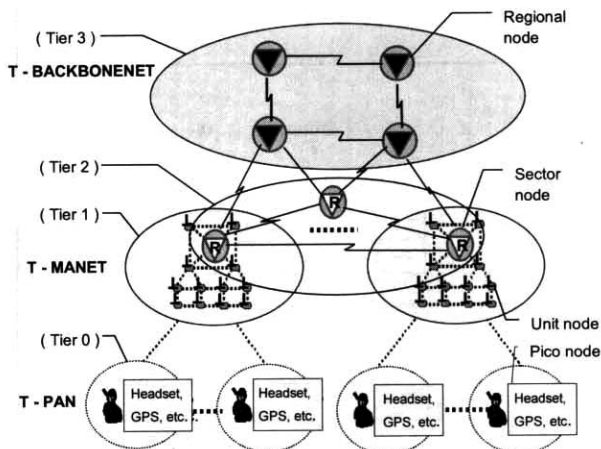
(그림 1) 제안된 한국군 전술용 통신망의 운영구조

이러한 하부 네트워크는 대대(BN : Battalion), 중대(CO : Company), 소대(PT : Platoon) 및 분대(SQ : Squad)와 같은 체대의 조직구조에서 도출한 것이다. 특히, 전술용 MANET은 분대에서 중대까지의 범위를 포함한다. 응용 서비스는 위치 인식(SA : Situation Awareness), 지휘 및 통제(C2 : Command and Control), 가변 메시지 형식(VMF : Variable Message Format) 및 전술 인터넷 서비스(TIN : Tactical Internet) 등이다.

(그림 1)의 운영구조는 (그림 2)과 같은 체계 구조로 다시 정의의 된다. 전술용 MANET은 TCN을 통합하는 기반이 된다. 따라서 전술용 MANET은 1계층이 된다. 2계층은 1계층에서 특정된 노드의 집합이다. 또한 2계층은 1계층 하부 네트워크의 집합이다. 3계층의 전술 기반망은 유선과 무선 노드가 혼합되어 있으며, 하부 네트워크의 접속 부분이 된다. 1, 2, 3계층에 있는 노드는 각각 단위 노드(unit node), 섹터

노드(sector node), 지역 노드(regional node)라고 부른다. 전술 개인통신망은 개인 병사를 위한 특별한 통신망이다. 따라서 이 망을 피코 노드(pico node)들로 구성된 피코 네트워크(pico-network)라고 하며, 0계층으로 표현한다.

예를 들면, 피코 노드들은 헤드셋(headset)이나 무게가 가벼운 헬멧에 장착된 작은 비디오 화면, GPS 수신기, 장비에 부착된 무선 통신 안테나, 적외선 목표 지시기, 레이저 거리 측정기, 디지털 나침반, 소총에 장착된 비디오 화면 등이다. 여기서 GPS는 군사 작전 동안에 병사들이 나무, 참호 또는 건물 등에 자신을 숨기기 때문에 종종 위성 신호를 수신하지 못한다. 따라서 관성항법 시스템, 디지털 나침반, 대기압을 이용한 고도계 등이 취약한 상황에서 GPS 대신에 이용될 수 있다. 또한 센서 노드들은 움직임, 방향, 속도, 온도, 바람의 변화 등의 요소들이 무선 링크를 통하여 연결될 수 있다.



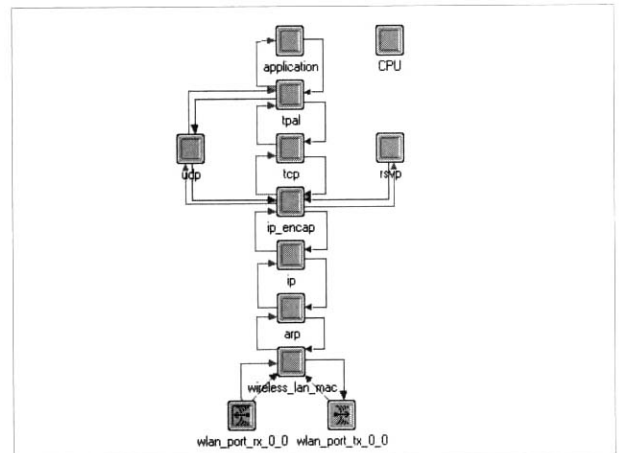
(그림 2) 제한된 TCN의 체계 구조

### 3. 성능 실험

#### 3.1 실험 모델

본 실험은 DSR, AODV, TORA의 성능 평가를 위해서 인텔 펜티엄IV PC기반 WINDOWS XP 운영체제에서 OPNET을 사용한다. MANET 단말의 무선랜 속성, Ad-hoc 라우팅 프로토콜, 입력 트래픽 등의 속성을 변화시킨다. 면적은 1500m × 1000m이며, 20개의 노드로 구성한다.

(그림 3)는 본 실험에서 사용된 OPNET 무선 단말의 노드 모델을 나타낸 것이다. 본 실험에서는 최상위 계층인 응용계층에서 데이터를 발생시킨다. MANET 라우팅 프로토콜은 IP 계층에 포함된다. 링크 계층은 무선 네트워크의 충돌문제를 해결하기 위한 IEEE 802.11 MAC을 사용한다. 물리계층은 현재 군사용으로 사용되고 있는 주파수 호핑 스펙트럼 확산방식(FH-SS : Frequency Hoping Spread Spectrum)과 직접 시퀀스 스펙트럼 확산 방식(DS-SS : Direct Sequence Spread Spectrum)을 적용한다.



(그림 3) MANET 단말의 노드 모델

본 실험에서 입력된 주요 트래픽은 응용 서비스들로 인하여 발생된 것이다. 응용 서비스는 패킷 발생률에 따라서 센서 데이터, 문자 데이터, 음성 데이터 및 영상 데이터의 4가지로 분류한다. 본 논문에서는 완전한 동영상 데이터를 처리하는 속도가 매우 느리기 때문에 압축된 데이터 형식을 고려한다. 또한 패킷 크기는 512byte이며, 패킷은 <표 1>과 같이 상위 계층에서 발생된다. 목적지 주소는 무작위로 발생시킨다.

<표 1> 응용 서비스 데이터 분류

데이터 분류	데이터 상세 분류	데이터 발생률 (KB/sec)	최대값 (KB/sec)
센서	위치	0.48	0.512
	온도, 속도, 이동 방향, 방위각, 범위	0.24	
문자	문자 메시지	19.20	19.200
음성	음성	32.00	56.000
	문자 메시지	19.20	
영상	압축된 영상	56.00	56.000

각 Ad-hoc 라우팅 프로토콜들의 변수 차이는 작다. DSR은 경로 캐시, 송신 버퍼, 경로 탐색 및 경로 유지에 관련된 변수들을 사용한다. AODV는 경로 탐색, 노드 순회 시간, 타임아웃 버퍼 등의 변수들을 사용한다. 더구나, TORA는 최적의 인터벌과 IP 패킷 응답 한계시간 등의 변수를 사용한다. 한편, 버퍼의 크기는 3가지 프로토콜에 64 패킷의 크기로 설정한다.

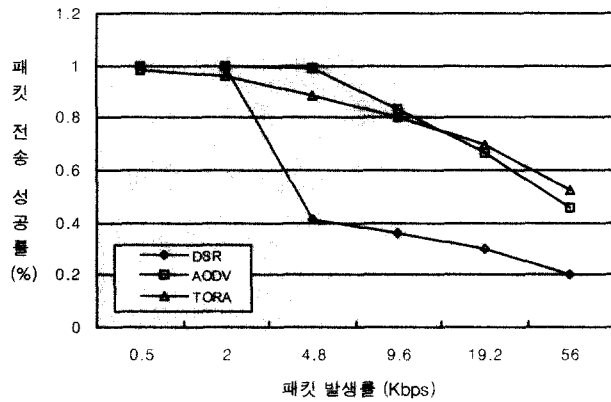
물리 계층에서 무선통신 전송 방식으로 FH-SS와 DS-SS 방식을 사용한다. FH-SS 방식은 최대 2Mbps의 무선통신 데이터 전송률까지 사용이 가능하다. DS-SS 방식은 최대 11Mbps까지 사용이 가능하다. 노드의 전송 출력은 약 300m 정도 전파되는 0.5mW로 설정한다. 이 값은 OPNET 환경에서 실험을 통하여 알게 되었다. 그리고 나머지 변수들은 OPNET에서 제공한 기본 값을 사용한다.

3.2 평가 척도 및 실험 결과

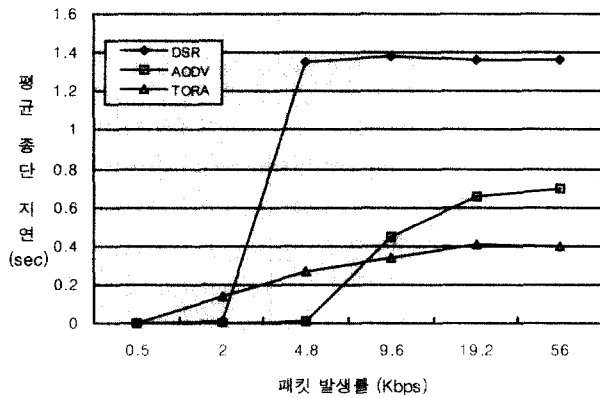
본 실험은 패킷 전송 성공률(packet delivery fraction), 평균 종단 지연(average end-to-end delay) 및 라우팅 로드(routing load)의 3가지를 평가 척도로 한다[12]. 패킷 전송 성공률은 발생한 패킷이 소스에서 목적지까지 성공적으로 통과되는 비율을 말한다. 평균 종단 지연은 경로 발견, 큐잉,

MAC 계층에서의 전송 지연 등 모든 지연시간을 합한 것이며, 이 척도는 성공적으로 전송된 데이터만을 대상으로 한다. 라우팅 로드는 생성된 모든 패킷의 총합이다.

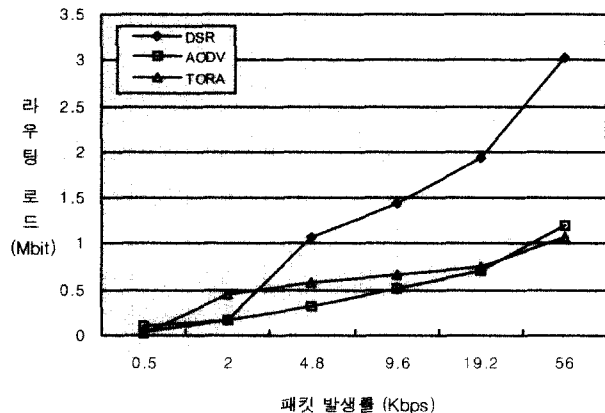
첫 번째 실험은 FH-SS 방식을 사용하며, 무선 데이터 전송률은 1Mbps로 하며, 패킷 발생률은 0.5, 2, 4.8, 9.6, 19.2 및 56Kbps로 변화시킨다.



(a) 패킷 전송 성공률

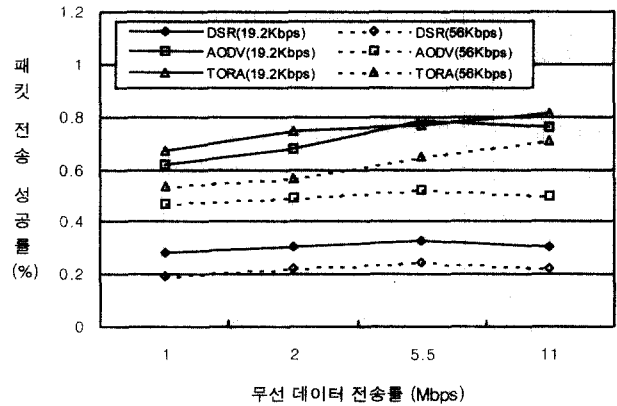


(b) 평균 종단 지연

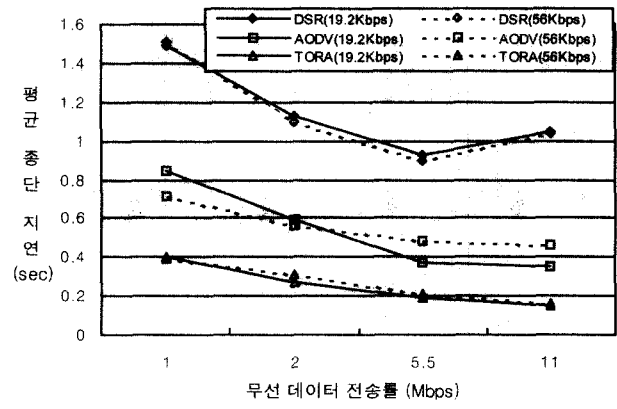


(c) 라우팅 로드

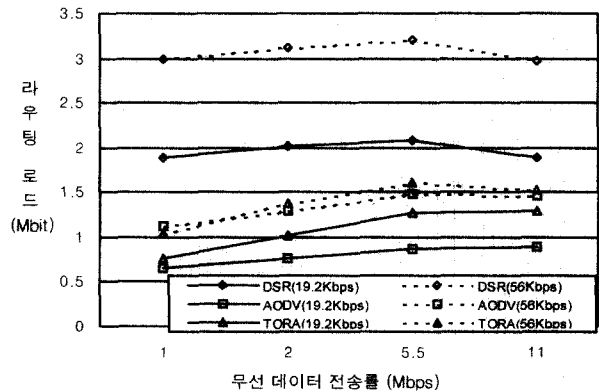
(그림 4) 패킷 발생률 증가에 따른 실험 결과



(a) 패킷 전송 성공률



(b) 평균 종단 지연



(c) 라우팅 로드

(그림 5) 무선 데이터 전송률 증가에 따른 결과

이러한 패킷 발생률은 <표 1>에 있는 데이터 발생률을 의미한다. (그림 4)는 첫 번째 실험의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 먼저 (그림 4)(a)에서 AODV와 TORA의 패킷 전송 성공률은 아주 유사한 반면에 DSR의 패킷 전송 성공률은 다른 프로토콜들의 절반정도임을 알 수 있다. 또한 AODV와 TORA의 패킷 전송 성공률은 패킷 발생률이 0.5 Kbps에서 9.8Kbps까지 대략 80%이상을 유지하지만, DSR의 패킷 전송 성공률은 패킷 발생률이 4.8Kbps부터 급격하게 감소된다. (그림 4)(b)와 (그림 4)(c)는 평균 종단 지연과 라우팅 로드를 나타낸 것이다. AODV와 TORA는 평균 종단 지연과 라우팅 로드에서도 비슷한 결과를 보인다. 또한, 위 두 가지 프로토콜의 실험 결과는 DSR의 실험결과보다 각각 2배, 3배정도 더 좋다. 특히, AODV는 패킷 발생률이 4.8Kbps까지 TORA보다 좋은 지연과 라우팅 로드를 보인다. 그러나 지연과 라우팅 로드는 9.6Kbps 이후부터 56Kbps까지 TORA보다 나쁜 결과를 보인다.

DSR의 지연은 4.8Kbps까지 급격하게 증가하였으며, 그 이후에는 약 1.4초 정도로 유지된다. 패킷 발생률이 증가하는 동안 오직 TORA의 지연이 0.4초 미만이다. DSR은 패킷 발생률이 2Kbps까지 가장 효율적인 라우팅 로드를 보이지만, 4.8Kbps 이후부터는 가장 나쁜 효율성을 보인다.

두 번째 실험은 DS-SS방식을 사용하여, 무선 데이터 전송률은 1, 2, 5.5 및 11Mbps로 변화시킨다. 패킷 발생률은 19.2Kbps와 56Kbps로 하였다. (그림 5)는 두 번째 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 먼저 (그림 5)(a)의 그래프에서 AODV와 TORA의 패킷 전송 성공률은 무선 데이터 전송률이 5.5Mbps와 11Mbps이고, 패킷 발생률이 19.2Kbps일 때 약 80%에 근접한다. 또한 TORA는 패킷 발생률이 56 Kbps일 경우에도 약 70% 정도의 데이터 전송 성공률을 보인다. 이 결과는 패킷 발생률이 19.2Kbps와 56Kbps에서 패킷 전송 성공률이 TORA, AODV, DSR의 순서로 좋다는 것을 보여준다.

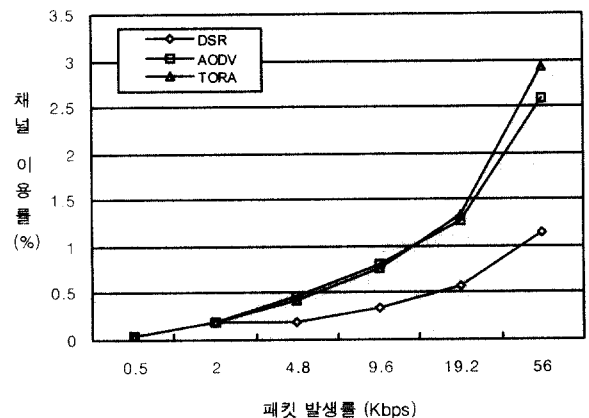
(그림 5)(b)에서 TORA의 평균 종단 지연은 0.4초 이내로 AODV나 DSR보다 낮은 수치를 보여준다. 그리고 DSR은 0.9초에서 1.5초 사이의 지연을 보여준다. 또한 네트워크의 혼잡으로 인하여 각각의 지연 곡선은 서로 교차된 모습을 보인다. 평균 종단 지연은 성공적으로 전송된 패킷만을 측정하는 것이다. 따라서 패킷 발생률이 56Kbps에서의 지연이 19.2Kbps 이하의 무선 데이터 전송률에서 보다 낮은 수치를 나타낸다. 그리고 라우팅 로드의 측면에서는 AODV가 세 가지 프로토콜중에서 가장 효율적인 것임을 (그림 5)(c)를 통하여 알 수 있다.

### 3.4 결과 분석

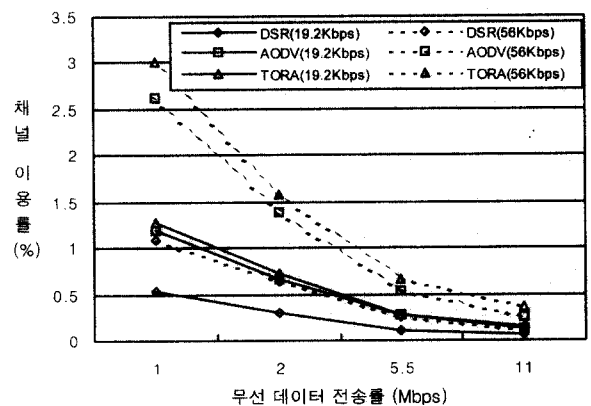
#### 3.4.1 상위 계층 채널 이용률

패킷 전송 성공률을  $\alpha$ , 무선 데이터 전송률과 트래픽 발생률의 비율을  $\gamma$  라고 하면, 채널 이용률은  $u = \alpha \times \gamma$  라고 할 수 있다. 또한  $u$ 는 전송된 패킷의 수  $\times$  평균 패킷 크기 / 무선 데이터 전송률로 직접 계산이 가능하다. 여기서 채널은 무선 데이터 전송률과 같은 속성을 가진다.

(그림 6)은 위 실험의 결과에서 채널 이용률을 계산하여 나타낸 그래프이다. 앞의 실험에서  $\gamma$ 의 값이 증가함에 따라 DSR, AODV 및 TORA중에서 DSR의  $\alpha$  값이 가장 나쁘게 변화함을 알 수 있다. 특히 DSR의  $\alpha$  값은  $\gamma$  값이 0.002에서 0.0048로 증가할 때 40%에서 99%까지 변화한다. 그러나 AODV와 TORA의  $\alpha$  값은 (그림 4)(a)에서 완만하게 내려감을 알 수 있다.



(a) 패킷 발생률 증가에 따른 실험 결과



(b) MANET의 상위 계층 채널 이용률

(그림 6) MANET의 상위 계층 채널 이용률

(그림 6)(a)과 (그림 6)(b)에서 최대 채널 이용률이 3%를 초과하지 않음을 알 수 있다. DSR, AODV 및 TORA의 패

킷 발생률이 0.5Kbps이고 무선 데이터 전송률이 1Mbps 이거나 DSR의 패킷 발생률이 19.2Kbps이고 무선 데이터 전송률이 11Mbps일 때 낮은 채널 이용률은 0.05%에 근접한다.

상위 계층의 채널 이용률은 유선 통신에서의 성공적인 데이터 전송률로 표현되는 인터넷의 채널 이용과 간접적으로 비교할 수 있다. 낮은 채널 이용률은 증가된 로드에서 따른 충돌의 급격한 증가로 인한 것이다. 그리고 이러한 충돌에 관한 초기 연구에서 순수 ALOHA는 최대 채널 이용이 18%이며, slotted ALOHA의 최대 채널 이용은 37%이다. 비록 유선 통신의 채널 이용이 무선 통신의 채널 이용률과 직접적으로 비교할 수 없다고 해도 MANET의 상위 계층 채널 이용률은 유선 통신에 비하여 3배에서 360배 정도 나쁘다는 것을 알 수 있다.

3.4.2 응용 서비스와 무선 통신 특성

응용 서비스 데이터는 센서 정보, 문자, 음성, 영상 정보로 구분한다. 그리고 실험 결과 이러한 응용 서비스를 지원하기 위한 무선 통신 특성을 계산하며, <표 2>는 그 결과를 종합한 것이다.

<표 2> 응용 서비스 데이터의 지원가능성

데이터 분류	패킷 발생률 (KB/sec)	지원 가능한 라우팅 프로토콜	무선 통신 특성
센서	0.512	DSR/AODV/TORA	FH-SS 1Mbps 또는 DS-SS 1Mbps 이상
	2		
문자	4.8, 9.6	AODV/TORA	FH-SS 1Mbps 이상
	19.2	AODV/TORA	DS-SS 2Mbps 이상
음성	56	TORA	DS-SS 5.5Mbps 이상
영상	56	TORA	DS-SS 5.5Mbps 이상

실험결과에서 2Kbps 이하의 트래픽을 발생시키는 센서 및 문자 정보는 주파수 호핑방식(FH-SS)의 1Mbps의 데이터 전송률에서 모든 라우팅 프로토콜에 의해서 지원이 가능하다. 패킷 발생률이 4.8Kbps에서 9.6Kbps 정도인 문자 정보는 직접 확산방식(DS-SS)의 2Mbps에서 지원이 가능하며, AODV나 TORA의 사용이 가능하다. 56Kbps의 트래픽을 발생시키는 음성 및 영상 정보는 직접 확산방식의 5.5Mbps 이상의 데이터 전송률에서 지원이 가능하며, 라우팅 프로토콜은 TORA만이 사용가능하다. 더구나 고화질의 영상 데이터를 지원하기 위해서는 DS-SS 방식에서 11Mbps

이상의 무선 데이터 전송률을 가져야함을 알 수 있다. 예를 들면, IEEE 802.11a(5GHz OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing))이나 802.11g(2.4GHz DS-SS) 방식이 고화질 비디오를 지원할 수 있다.

3.4.3 관련 연구와의 비교

S. R. Das 등은 최근의 연구[12]에서 NS-2[13]를 이용하여 DSR과 AODV와 같은 요구 기반 라우팅 프로토콜의 성능 비교를 설명하였다. 그들은 무선 데이터 전송률을 IEEE 802.11 2Mbps로 하고, 전파 반경은 250m로 설정하였다. 1500m x 300m의 범위에 50개의 노드들이 움직인다고 가정하였으며, 50개의 노드중 20개 노드가 512바이트 패킷을 초당 4번씩 발생시킨다. 그리고 그들은 DSR과 AODV와 같은 두 개의 요구 기반 라우팅 프로토콜을 고려하였다.

그러나 본 실험은 OPNET 환경에서 실행되며, OPNET은 NS-2에 비하여 더 정확하다고 알려져 있다. 따라서 본 연구는 이전의 연구에서는 많은 수의 충돌로 인한 컴퓨팅 자원의 제한과 느린 실험 속도 때문에 하기 어려웠던 패킷 발생률이 4.8Kbps 이상의 복잡한 실험에 대한 결과를 얻을 수 있다. 실험 결과 관련 연구[12]과의 유사점 및 차이점을 발견할 수 있다.

본 실험에서 IEEE 802.11(FH-SS 1Mbps)과 패킷 발생률이 2Kbps일 경우에는 이전의 연구와 비슷한 결과를 보인다. 두 실험에서 패킷 전송 성공률이 90%이상, 평균 종단 지연이 0.2초 이하의 결과를 보였으며, AODV가 DSR보다 효율적이다. 이러한 결과는 본 실험의 신뢰도를 증가시킨다. 그리고 본 실험은 패킷 발생률을 0.5Kbps에서 56Kbps까지 변화시키고, 무선 데이터 전송률을 1에서 11Mbps까지 변화시키며, 패킷 전송 성공률, 평균 종단 지연 및 라우팅 로드와 관련한 유일한 양적인 데이터를 얻을 수 있다. 다음으로 응용 서비스 데이터를 지원하기 위한 상위 계층 채널 이용률에 관한 자료를 얻을 수 있다.

더구나, 세 가지 프로토콜의 상세한 특징을 발견할 수 있다. DSR은 낮은 패킷 발생률에서 AODV보다 라우팅 로드 측면에서 더 효율적이었다. 이것은 관련 연구[12]와 동일한 결과이다. 그러나 반대로 패킷 발생률이 4.8Kbps 이상에서는 (그림 4)(c)와 같은 결과를 보인다. 그리고 패킷 발생률이 4.8Kbps 이상인 경우에는 높은 평균 종단 지연 때문에 DSR의 사용이 어렵다. 그것은 DSR이 링크의 단절과 경로 캐시와 소스 라우팅으로 인하여 더 많은 트래픽을 발생시키기 때문이다. 그러나 AODV와 TORA는 링크가 단절된 경우 새로운 경로를 발견하기 위하여 낮은 트래픽을 발생시킨다.

TORA는 본 실험에서 새롭게 추가한 것으로 낮은 패킷 발생률에서는 낮은 성능을 보이지만, 다른 프로토콜들에 비하여 모든 측면에서 안정적인 성능을 보인다. 그 반면에 AODV는 TORA에 비하여 조금 떨어지지만 TORA와 비슷하고 DSR보다 우수한 성능을 보인다. 그러나 AODV는 라우팅 로드 측면에서는 세 가지 프로토콜 중에서 가장 우수한 성능을 보인다.

#### 4. 결 론

지금까지 MANET 요구 기반 라우팅 프로토콜인 DSR, AODV, TORA의 성능을 분석하였다. 전술용 MANET에서 발생하는 센서정보, 문자, 음성 및 영상정보와 같은 응용 서비스 데이터를 입력하여 실험하였으며, OPNET 환경에서 실험을 통하여 각각의 데이터에 적합한 무선통신 특성을 연구하였다.

본 연구에서는 이전의 연구에서와 달리 패킷 전송 성공률, 평균 종단 지연과 라우팅 로드들을 도출하였다. 패킷 전송 성공률은 입력 트래픽의 증가에 따라 급격하게 감소하였다. 또한 상위 계층의 채널 이용률도 이더넷과 비교할 때 아주 낮은 3% 정도임을 알 수 있었다. 게다가 본 실험에서는 센서 정보, 문자, 음성 및 영상정보와 같은 응용 서비스 데이터를 위한 최적의 무선통신 특성을 찾을 수 있었다. 이 결과는 미래의 Ad-hoc 네트워크 설계시 참고자료가 될 것이다.

결론적으로 TORA가 한국군 전술용 MANET을 위한 가장 좋은 MANET 요구 기반 프로토콜이라는 것을 알 수 있었다. 또한 AODV는 좀 더 고려해볼 가치가 있으며, DSR은 센서데이터와 같은 낮은 트래픽 환경에서 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 앞으로 고화질 비디오 지원과 유비쿼터스 센서 네트워크에 관한 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이길섭, 김호, 조계규, 이승중, "이동 Ad-hoc 망 기술을 이용한 한국군 전투통신체계 발전방안", 제 7차 통신/전자/C4ISR 학술대회, pp.7-12, 2003.
- [2] 장준영, 이길섭, 이승중, "위상 변화에 따른 MANET 라우팅 알고리즘의 성능분석", 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문초록집, Vol.29, p.75, 2004.
- [3] 장준영, 이길섭, 이승중, "응용 서비스에 따른 MANET 요구 기반 라우팅 프로토콜의 성능분석", 한국정보처리학회 추계 학술대회 논문집, 2004.
- [4] A. Boukerche, "A Performance Comparison of Routing Protocols for Ad Hoc Networks," in Proc. of the 15<sup>th</sup> IPDPS '01, 2001.
- [5] B. M. Leiner, R. J. Ruth and A. R. Sastry, "Goal and Challenges of the DARPA Glomo Program," IEEE Personal Communications, No.6, pp.34-43, 1996.
- [6] C. E. Perkins, "Ad Hoc Networking," New York: Addison-Wesley, 2001.
- [7] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer and S. R. Das, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-13.txt, 2003.
- [8] D. B. Johnson, D. A. Maltz and Y. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks (DSR)," IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-08.txt, 2003.
- [9] J. M. Macker and S. Corson, Mobile Ad-hoc Networks (MANET), <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, IETF Working Group charter. 1997.
- [10] OPNET Technologies, Inc., OPNET, <http://www.opnet.com/>. 2004.
- [11] S. Corson and J. M. Macker, Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations, RFC 2501, IETF Networking Group, 1999.
- [12] S. R. Das, C. E. Perkins and E. M. Royer, "Performance Comparison of Two On-Demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE INFOCOM 2000, No.1, pp.3-12, 2000.
- [13] USC Information Science Institute, NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2004.
- [14] V. D. Park and J. P. Macker, "Applicability of the Temporally-Ordered Routing Algorithm for Use in Mobile Tactical Networks," in Proc. of IEEE MILCOM 1998, No.1, pp. 426-430, 1998.
- [15] Y. J. Liu, C. Li and C. Cruz, "Performance Optimization for A Mobile Small-Unit Operation Situational Awareness (SUO-SAS) Radio Networks," in Proc. of IEEE MILCOM 2003, No.1, pp.192-197, 2003.



#### 장 준 영

e-mail : j780jun@hanmail.net

1999년 육군사관학교 전자공학 학사

2001년~2002년 육군 군수사 3보급창

2003년~현재 국방대학교 전산정보학과

관심분야 : Ad-hoc 네트워크, RFID, 차세대

네트워크



### 이길섭

e-mail : gislee@kndu.ac.kr

1985년 금오공과대학 전자공학 학사

1987년 한국과학기술원 전산학 석사

1992년 한국과학기술원 전산학 박사

1991년~1995년 육군전산소 개발실

1996년~1998년 국방부 정보체계국

1999년~2003년 육군 교육사

2003년~현재 국방대학교 전산정보학과 순환직교수

관심분야 : 정형기법, BcN, MANET, USN



### 이승종

e-mail : ljc@kndu.ac.kr

1983년 육군사관학교 전산학 학사

1990년 미주리주립대 전산학 석사

1993년 미주리주립대 전산학 박사

1994년~1995년 육군전산소 광역전산망담당

1995년~1996년 국방전산소 표준제도담당

1996년~2001년 육군사관학교 전산학과 교수

2001년~현재 국방대학교 전산정보학과 교수

관심분야 : BcN, Ad-hoc 네트워크