

논문 2014-51-4-2

전술 MANET의 최적통달거리 기반 라우팅 알고리즘 성능 연구

(Performance Evaluation of Routing Algorithms based on Optimum
Transmission Range in Tactical MANETs)

최 형 석*, 이 재 용**, 김 병 철**

(Hyungseok Choi, JaeYong Lee[Ⓞ], and ByungChul Kim)

요 약

본 논문은 MANET 망에서 최적의 통달거리를 구하는 분석 수단을 제공한다. 본 연구의 결과는 특히 전술망에서 유용하게 사용 가능하며, 이는 최적 통달거리가 사용자/라우팅 트래픽 전송용량 및 지연시간, 주파수 간섭 등에 영향을 끼치기 때문이다. 제안된 방안을 적용하여 AODV와 OLSR 라우팅 프로토콜 기반하에 상기 성능지수에 대한 성능 결과값을 분석한 결과, 전술적인 환경 조건을 적용할 경우에 OLSR 프로토콜이 더 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 또한, OLSR 프로토콜을 적용시 본 논문에서 제안한 최적 통달거리 결과와 기본 통달거리(10km)를 적용한 성능 결과값을 비교하여 본 논문에서 제안한 최적 통달거리 산출 방법이 적정함을 분석한다.

Abstract

This paper presents an analytical method for finding the optimum transmission range in mobile ad hoc networks(MANETs). The results are particularly useful for the operation of military networks, as the transmission range affects the traffic throughput of user & routing traffic, delay, and frequency interference. When the conditions of tactical environment are applied in our simulations and the above-mentioned performances are analyzed, we find the OLSR protocol is more excellent. Plus, we compare the results of MANETs performance when applying optimum transmission range and the default transmission range(10km), and analyze the reasonability of the calculation of optimum transmission range proposed by this paper.

Keywords : MANET, optimum transmission range, AODV, OLSR

I. 서 론

MANET은 망이 가지는 여러 장점들로 인해 다양한 통신 시나리오에서 연구 주제로 관심을 받아왔다.

MANET은 지리적인 제약을 극복하고 사전에 구축된 망의 도움 없이도 어떤 장소와 시간에서도 운용이 가능하다. 이러한 MANET 운용에 있어 중요한 요소 중 하나는 노드간 통달거리로서 최적의 통달거리를 적용하게 되면 주파수 자원의 공간 재사용, 간섭 최소화 등을 통한 전송능력 극대화를 가져올 수 있다.

최적 통달거리는 MANET 망을 구성하는 각 노드들이 서로 간에 통신이 가능해야 하는 전제조건을 만족해야 한다. Kumar, Manjunath, Kuri^[1]는 구성 셀들이 높은 확률로 채워지고 가중계수 K 는 1보다 크다는 조건 하에 연결성을 위한 충분 통달거리를 결정하는 모델을

* 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development(ADD))

** 평생회원, 충남대학교 정보통신공학부

(Department of Information and Communications Engineering, Chunam National University)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: jy1@cnu.ac.kr)

접수일자: 2014년2월24일, 수정일자: 2014년3월10일

수정완료: 2014년3월27일

제안하였다. 그러나 실제 MANET 시스템에 적용하기 위해서는 K 값이 시뮬레이션 또는 실험적으로 도출되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 셀 내의 노드 존재와 관련없이 최적 통달거리를 찾기 위한 분석적인 방법을 제시하고, 어떤 규모의 노드에서도 가중계수 K 값을 계산할 수 있는 공식을 유도한다. K 값 함수는 시뮬레이션을 통해 와샬(Warshall) 알고리즘^[2]을 기반으로 95%^[3]의 연결 확률을 가지는 최적 통달거리를 유도하고 검증한다. 유도된 K 값 함수는 [1]에서의 통달거리 충분조건 (r_n)에 대입되어 최적 통달거리 공식을 완성한다. 이를 통해 실제 MANET 망설계 시에 쉽게 최적 통달거리를 계산할 수 있다.

MANET은 망의 특성에 따라 다양한 라우팅 알고리즘을 선택하여 적용할 수 있다. 본 논문에서는 대표적인 Proactive 라우팅 알고리즘인 OLSR^[4]과 대표적인 Reactive 알고리즘인 AODV^[5]를 기준으로 전술적인 환경하에서의 성능을 분석하고 각 알고리즘의 이동 특성이 전술망에서도 동일하게 적용될 수 있는지 분석한다.

본 논문은 II장에서 와샬 알고리즘^[2]과 MANET 라우팅 알고리즘, 가중계수 K 등에 대해 설명하며, III장에서 가중계수 K 값 공식 수정을 위한 연결성 확률을 시뮬레이션하여 최적 통달거리 공식을 제시한다. IV장에서는 OPNET^[6]을 이용하여 성능 분석 결과를 제시하고, V장에서 최종 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

본 절에서는 최적 통달거리와 라우팅 알고리즘별 성능을 분석하기 위해 와샬 알고리즘과 MANET 라우팅 알고리즘(AODV, OLSR)들에 대해 기술하고, [1]에서 제시되는 연결성 보장을 위한 통달거리 충분조건(r_n)과 가중계수 K 값을 소개하며, 마지막으로 전술적인 통신 운용 환경에 대해 개략 설명한다.

1. 와샬(Warshall) 알고리즘

와샬 알고리즘^[2]은 reachable 매트릭스 P 를 다음과 같이 정의한다.

$$P = p_{ij} = \begin{cases} 1, & i\text{-th node is reachable from } j\text{-th node} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

또한 인접(adjacency) 매트릭스로 부르는 n 차 정방

(square) 매트릭스인 A 와 relation 매트릭스 A^+ 를 다음과 같이 정의한다.

$$A = a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } i\text{-th node is adjacent to } j\text{-th node} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$A^+ = A \vee A^{(2)} \vee A^{(3)} \vee \dots \vee A^{(n)} = P$$

위의 두 식에서 n 은 망 내의 노드 수를 의미하며, 인접 매트릭스 A 는 다음과 같은 절차로 구해진다.

- 1) $P \leftarrow A$;
- 2) $k \leftarrow 1$;
- 3) $i \leftarrow 1$;
- 4) if $p_{ik} = 1$, then make $p_{ij} \leftarrow p_{kj}$ on $j = 1, 2, \dots, n$;
- 5) $i \leftarrow i + 1$, if $i \leq n$ then switch to (4);
- 6) $k \leftarrow k + 1$, if $k \leq n$ then go to (3), otherwise stop;

2. AODV와 OLSR 라우팅 프로토콜

AODV는 대표적인 reactive 라우팅 프로토콜로서 DSR의 경로 발견(route discovery) 및 경로 관리(route maintenance) 기능과 DSDV의 Hop-by-Hop 및 목적지의 시퀀스 번호, 주기적인 업데이트를 통한 유지 측면의 기능을 보유하고 있다.

OLSR(Optimized Link State Routing)은 대표적인 proactive 라우팅 프로토콜로서 각 노드들은 자신의 링크 상태를 주기적으로 주변 노드들과 주고받으면서 최신의 라우팅 정보를 유지한다. OLSR이 동작하는 과정은 크게 Hello 메시지 송수신, MPR 노드를 선정하기, 주기적으로 토폴로지 정보(TC, topology control) 메시지 전송하기 등 3단계로 이루어진다.

3. 연결성 보장을 위한 통달거리 충분조건 (r_n, K)

[1]에서 통달 거리를 계산하기 위하여 그림 1과 같은 단위 정사각형의 네트워크를 가정하고 한 셀의 한 축을 s_n 으로 정의한다. n 은 노드의 수이며 셀의 크기는 n 의 함수로 나타낼 수 있다.

모든 셀들이 높은 확률로 하나 이상의 노드를 포함하고 있을 s_n 을 계산한 후, 이를 이용하여 한 셀의 노드가 전후좌우 셀 안의 모든 노드와 연결될 수 있는 r_n 을 그림 1에서 (1)과 같이 쉽게 계산할 수 있다.

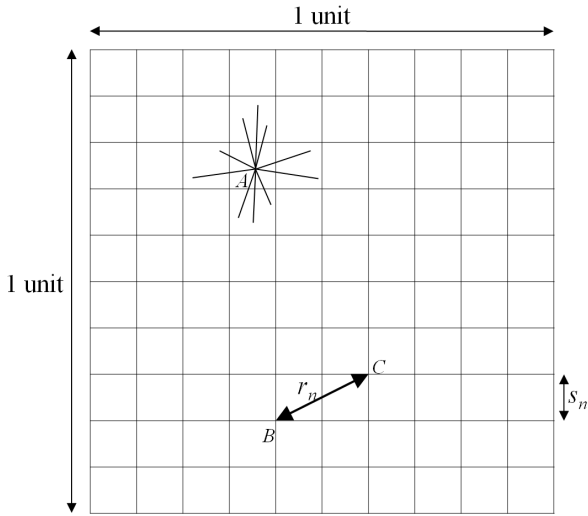


그림 1. 한 축이 s_n 인 셀들로 구성된 정방형 네트워크
Fig. 1. Square network composed of cells of s_n .

$$r_n = \sqrt{5} s_n \tag{1}$$

임의의 셀을 tagged cell 이라 하고, 노드들이 그림 1과 같은 단위 정사각형에 랜덤하게 배치되었을 때, 이 tagged cell에 위치할 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_r(\text{tagged cell이 빈 확률}) = (1 - s_n^2)^n \tag{2}$$

유사하게 하나 이상의 셀에 노드가 위치하지 않을 확률, 즉 셀이 비어 있는 확률 α_n 은 다음과 같이 계산된다.

$$\alpha_n := P_r(\text{빈 셀 존재}) \leq \frac{(1 - s_n^2)^n}{s_n^2} \leq \frac{(e^{-s_n^2})^n}{s_n^2} \tag{3}$$

위의 식에서 마지막 부등호는 $(1 - x) \leq e^{-x}$ 이기 때문에 참이 된다. 이 α_n 을 거의 0에 가깝게 하기 위해 s_n 을 식 (4)와 같이 놓으면 α_n 도 K 와 n 에 관한 함수로 나타낼 수 있다.

$$s_n = \sqrt{\frac{K \log n}{n}} \tag{4}$$

$$\alpha_n \leq \frac{e^{-\frac{n K \log n}{n}}}{\frac{K \log n}{n}} = \frac{n e^{-K \log n}}{K \log n} = \frac{1}{n^{K-1}} \frac{1}{K \log n} \tag{5}$$

위의 식에서 만약 $K > 1$ 이면, 높은 확률로 셀이 비어있지 않을 확률이 높아지고, 결국 높은 확률로 네트

워크 내의 연결성을 보장할 수 있는 조건 r_n 을 앞의 수식 (1)으로부터 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$r_n = \sqrt{\frac{5 K \log n}{n}}, K > 1 \tag{6}$$

4. 전술적인 이동 특성

전술적인 작전 환경은 이동성 측면에 있어 공격과 방어 작전시 차이를 보인다. 즉, 공격 작전의 경우 MANET 단말을 장착한 플랫폼의 이동 속도에 따라 이동성을 부여해야 하며, 방어 작전인 경우에는 현재의 위치를 유지한다. 또한, 공격 작전을 위한 이동성 부여 시 다른 민간 MANET 망과 달리 그림 2와 같이 전선을 기준으로 전/후 방향으로 대부분 이동 특성을 가지게 되며, MANET 단말을 보유한 노드들 간에 가급적 배열을 유지하는 특성을 가진다.

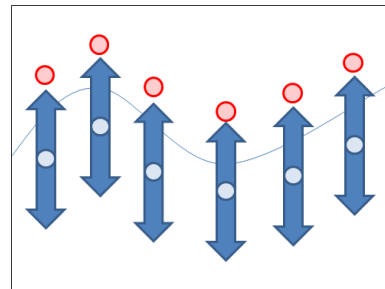


그림 2. 군 전술적 이동 개념
Fig. 2. Concept of tactical mobility.

III. 최적 통달거리 분석

본 장에서는 와살 알고리즘에 기초한 시뮬레이션을 통하여 연결성 확률을 분석한다. 분석을 위하여 [1]에 나와 있는 K 값의 수식을 사용한다. 최종적으로 연결성 확률 95%^[3] 이상으로 다양한 노드 수를 가지는 망에서 최적의 통달 거리를 분석한다.

1. 연결성 확률과 통달거리와의 관계 분석

r_n 과 n 과의 관계를 분석하기 위하여 C# 프로그래밍 언어로 그림 3과 같이 모든 노드가 연결성을 가지는 성공률을 계산하기 위한 시뮬레이터를 구현하였다.

시뮬레이션은 노드의 수에 따라 서로 다른 랜덤 토폴로지를 구성하였으며, 노드의 위치는 단위 정사각형에 균일하게 분포되어 있다고 가정하였다. 노드의 수가

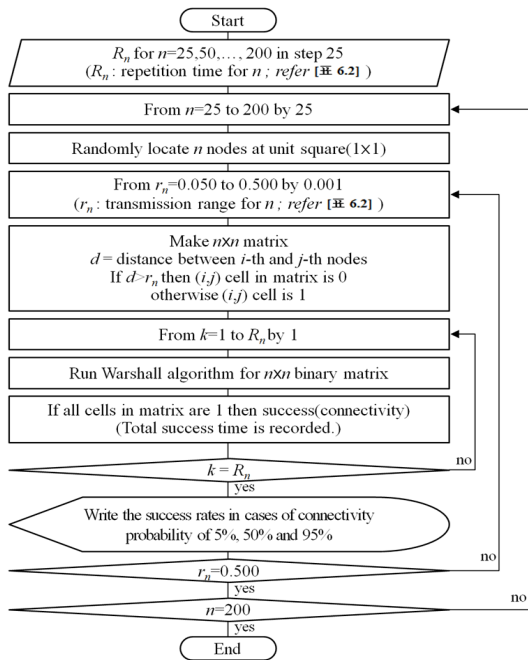


그림 3. 와살알고리즘 시뮬레이션 동작 절차도
Fig. 3. Flow of Warshall's algorithm's simulation.

표 1. 연결성 확률과 노드 수에 따른 통달거리
Table 1. Connectivity rate and the transmission range based on the number of nodes.

n	시뮬레이션 수행횟수(Rn)	Transmission range(rn)		
		연결확률 5%	연결확률 50%	연결확률 95%
25	300,000	0.235	0.296	0.396
50	100,000	0.178	0.219	0.288
75	50,000	0.153	0.184	0.238
100	30,000	0.137	0.161	0.208
125	10,000	0.124	0.145	0.187
150	7,000	0.112	0.133	0.172
175	5,000	0.103	0.122	0.159
200	1,000	0.098	0.117	0.149

적으면 시뮬레이션 결과의 분포가 넓게 퍼질 수 있으므로 노드의 수가 적은 경우에는 실험의 반복 수행 횟수를 높여서 실험하였다. 연결성 확률은 5%, 50%, 95%에서 실험을 수행하였고, full connectivity를 가지는 연결성 확률은 95% 라고 가정하였으며, 실험 결과는 표 1과 같다.

2. 최적의 통달거리 도출

본 절에서는 수식 (6)을 실제 시스템에 적용 가능하도록 K 와 n 간의 관계식을 도출하고자 한다.

그림 4는 연결성 확률이 95%인 경우에 노드의 수에 따른 통달 거리를 나타낸다. 노드의 수가 증가할수록 통달 거리가 급격하게 감소하는 것을 알 수 있으며,

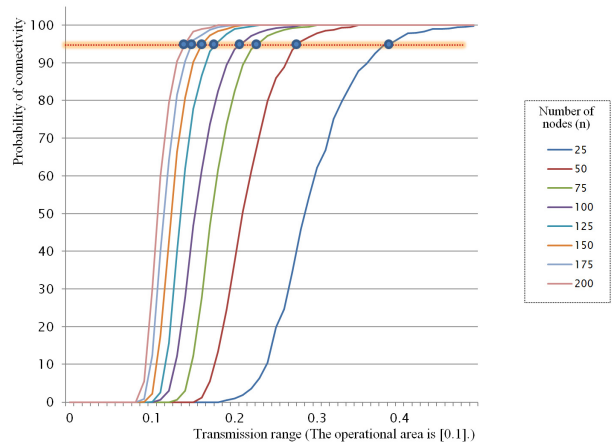


그림 4. 연결성 확률이 95%인 경우, 노드 수에 따른 통달 거리

Fig. 4. Transmission range based on the number of nodes in case that connectivity rate is 95%.

표 2. 노드 수에 따른 K값과 통달 거리

Table 2. K value and transmission range based on n.

n	25	50	75	100	125	150	175	200
연결성 95%시 통달거리(rn)	0.396	0.288	0.238	0.208	0.187	0.172	0.159	0.149
K	56.09	48.82	45.31	43.26	41.69	40.79	39.45	38.59

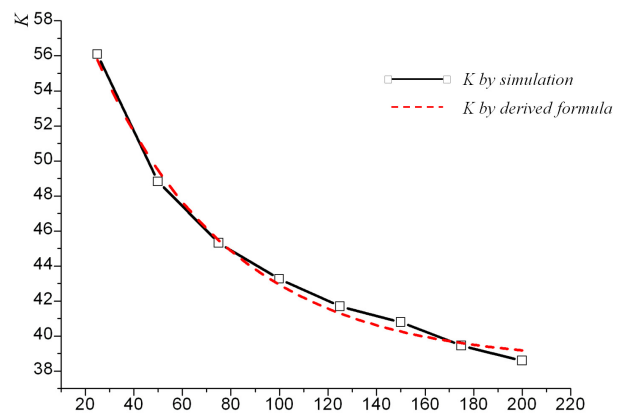


그림 5. 노드 수에 따른 K값의 변화

Fig. 5. Transition of K based on the number of nodes.

필요한 수식이 지수 함수 형태일 것이라는 것을 추측할 수 있다.

표 1과 그림 4를 통해 n 과 r_n 의 함수로써 K 값을 다음 식 (7)과 같이 유도할 수 있다.

$$r_n = \sqrt{\frac{5K \log n}{n}} \Rightarrow r_n^2 = \frac{5K \log n}{n} \Rightarrow K = \frac{n \times r_n^2}{5 \log n} \quad (7)$$

표 1에 나타낸 r_n 의 값을 위의 수식 (7)에 적용하여

계수 K 를 다음 표 2와 같이 계산할 수 있다.

그림 5는 노드 수에 따른 K 값을 나타낸 그래프로, 실선은 실험 결과이고 점선은 수학적 분석에 의해 계산된 값을 나타낸다. 지수적으로 감소하는 K 값의 함수를 Origin 툴^[7]을 사용하여 수식 (8)과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$K = 27.2e^{-0.018n} + 38.44 \quad (8)$$

최종적으로 최적의 통달 거리 r_n 의 수식에서 K 를 수식 (8)에 대체하여 다음 수식 (9)과 같이 유도할 수 있다.

$$r_n = \sqrt{\frac{5K \log n}{n}} = \sqrt{\frac{5(27.2e^{-0.018n} + 38.44) \log n}{n}} \quad (9)$$

연대급 제대의 작전 범위를 $20Km \times 20Km$ 로 가정할 경우, 표 3에 연결성 확률 95%^[3]를 가지는 최적의 통달 거리를 나타내었다.

표 3. $20Km \times 20Km$ 운용 범위에서의 통달 거리
Table 3. Transmission range in $20Km \times 20Km$.

n	25	50	75	100	125	150	175	200
단위 영역 기준 r_n	0.395	0.289	0.238	0.207	0.186	0.171	0.159	0.150
$20Km \times 20Km$ 기준 r_n	7.90	5.80	4.77	4.14	3.72	3.42	3.19	3.00

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 OPNET^[6]을 사용하여 AODV와 OLSR 라우팅 알고리즘에 대한 사용자 & 라우팅 트래픽 전송 용량 및 지연시간, MAC 재전송 횟수 등 4가지 성능 지수 분석을 통해 전술적 측면에서의 적정 알고리즘을 알아보고자 한다. 더불어 마지막으로 논문에서 제안하는 최적 통달거리 수식(9)와 이를 통해 얻은 표 3.의 최적 통달거리 계산값이 기본 통달거리가 10km인 MANET 망과 비교하여 얻을 수 있는 성능 향상 정도를 분석하였다.

1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 OPNET modeler ver 16.1을 기반으로 수행하였다. MAC 프로토콜은 IEEE 802.11b 규격을 기반으로 AODV와 OLSR 라우팅 알고리즘을 각각 적용

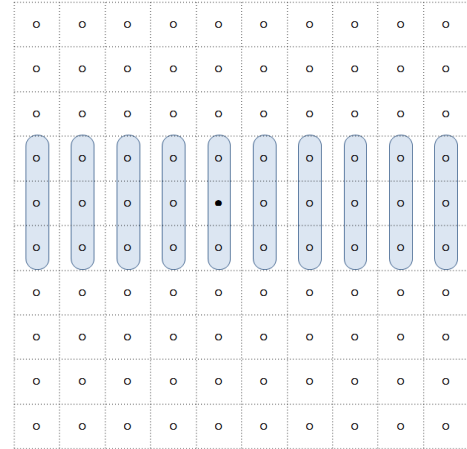


그림 6. 전술망의 노드 이동 영역
Fig. 6. Moving area of nodes in tactical network.

하였으며 OPNET에서 제공하는 ‘Rx Group Configuration’ 기능을 이용하여 통달거리 요구 조건을 각 시나리오별로 모든 노드에 정확하게 반영하였다. 각 시나리오는 표 3에서 제시한 작전 운용 범위 ($20Km \times 20Km$)와 노드수 50, 100, 150, 200개 인 경우의 적정 통달거리(본 논문에서 제안하는 식 (9)를 통해 산출)를 적용하였으며, 7분의 시뮬레이션 시간과 5개의 Seed값들을 사용하여 독립적인 5번의 시뮬레이션을 수행하였다.

각 시나리오는 이동성을 부여한 경우와 이동성을 부여하지 않는 경우 두 가지로 나누어 수행하였으며, 공격 작전을 위한 이동과 배열 특성을 고려하여 그림 6과 같이 $1Km \times 6Km$ 범위내에 5~15m/sec의 이동 속도를 부여하였다. 마지막으로 트래픽 특성은 각 노드들이 임의의 상대 노드들과 2048bits 수준의 패킷을 평균 1초 간격의 exponential 분포에 따라 생성하도록 설정하였다.

2. AODV와 OLSR 적용시 시뮬레이션 결과

사용자 트래픽의 경우 그림 7에서 보여지는 바와 같이 50가입자의 경우에 두 프로토콜 모두 설정한 전송 트래픽 용량을 대부분 수용한다. 그러나 노드수가 증가함에 따라 OLSR에 비해 AODV는 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 그림 8과 같이 AODV에서 더 크게 라우팅 트래픽을 발생하기 때문이다.

또한, 두 프로토콜 모두 이동성 적용시에 사용자 트래픽은 다소 감소하고, 라우팅 트래픽은 다소 증가함을 볼 수 있으나, 두 프로토콜의 성능 수준을 바꿀 수 있을

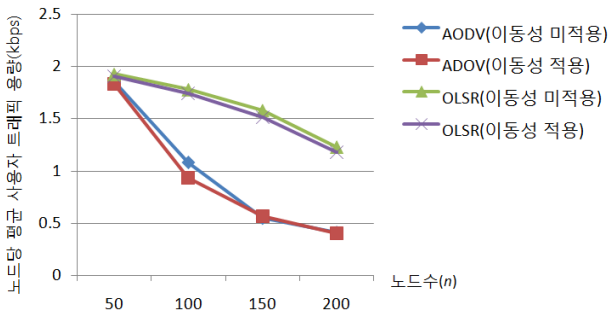


그림 7. 노드당 평균 사용자 트래픽 용량
Fig. 7. Average user traffic throughput.

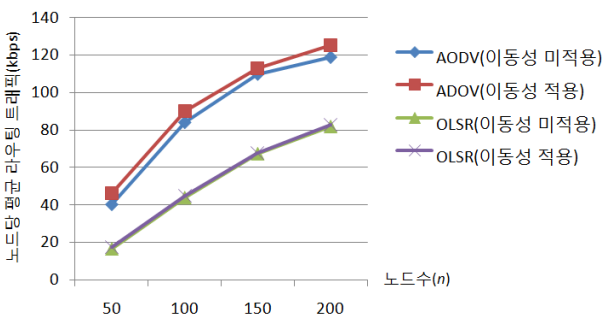


그림 8. 노드당 평균 라우팅 트래픽 용량
Fig. 8. Average routing traffic throughput

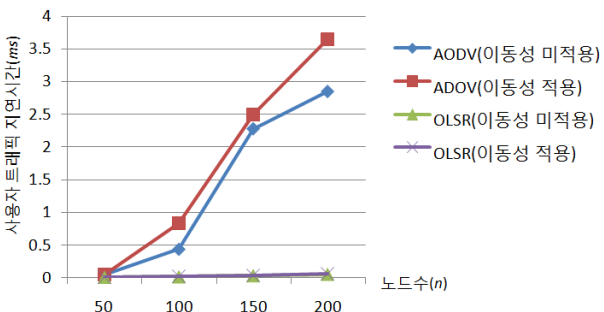


그림 9. 사용자 트래픽 지연시간
Fig. 9. User traffic delay.

정도로 변화되지는 않는다. 이는 II.4절에서 설명한 바와 같은 전술적인 작전 환경(이동성)이 성능 결과에 미치는 영향이 극히 적음을 알 수 있다.

그림 9는 사용자 트래픽 지연시간을 분석한 결과로서 군 전술적 운용에 있어 가장 중요한 지휘통제 수단인 음성 서비스의 품질을 나타내는 MOS^[8] 값을 결정하기 위한 가장 중요한 요소이다. 지연시간의 경우 AODV와 OLSR이 가지는 특성을 그대로 보여주고 있다. 즉, OLSR은 이미 경로 테이블을 보유하고 있기 때문에 극히 낮은 지연시간을 보이며, AODV는 노드 수가 증가됨에 따라 비례적으로 증가하여 분산되는 형태를 보인다.

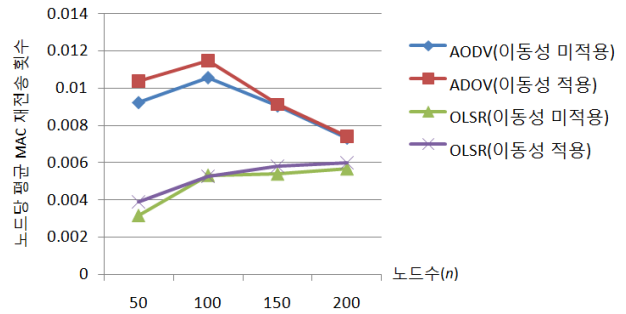


그림 10. 평균 MAC 재전송 횟수
Fig. 10. Average MAC retransmission counts.

이동성 적용시 AODV 프로토콜은 0.5~1.0msec 가량 지연이 증가되나, OLSR은 영향이 미비하다.

MAC 재전송 횟수를 분석한 결과는 그림 10과 같다. MAC 재전송 횟수는 MAC 계층에서 전송한 프레임이 채널 상에서 충돌한 빈도에 비례하기 때문에 망 전반적인 노드 간 간접 영향을 알아볼 수 있다.

50개 노드로 망을 구성할 경우에는 AODV와 OLSR 간에 재전송 횟수 차이를 크게 보이며, 망을 구성하는 노드들의 수가 증가함에 따라 그 격차는 급격히 감소함을 알 수 있다. 그러나, 이는 두 알고리즘 간 성능차이가 줄어드는 것은 아니다. 즉, 그림 7과 그림 8, 그림 9에서 보여주는 바와 같이 AODV의 전송 가능 트래픽 용량은 감소하고 지연시간은 증가함에 따라 MAC로부터 전송되는 패킷 수 자체가 감소되기 때문이다.

3. 최적 및 기본(10km) 통달거리 적용시 분석 결과

앞서 IV.2절로부터 트래픽, 지연시간, 재전송 등의 모든 면에서 OLSR이 우수함을 알 수 있다. 따라서, 본 절에서는 OLSR 프로토콜을 적용하여 10km 기본 통달거리 및 최적 통달거리를 적용한 각각의 결과들을 비교/분석해 본다.

그림 11과 그림 12는 노드당 평균 사용자 트래픽과 라우팅 트래픽을 보여주고 있다. 사용자 트래픽의 경우는 최적 통달거리 적용에 따른 이득이 적지만, 라우팅 트래픽의 경우에는 최적 통달거리 적용시 노드수에 비례하여 증가한다. 단, 10km 적용시에는 100개 노드 운용시 급격한 라우팅 트래픽이 증가한 후에 이후 노드수를 증가함에 따라 점차 감소됨을 알 수 있다. 이는 전반적인 무선 채널 점유 확률이 급격히 떨어지기 때문이고, 이와 같은 결과값은 그림 13에서 보여지는 사용자 트래픽 지연시간과 그림 14에서 보여지는 MAC 재전송

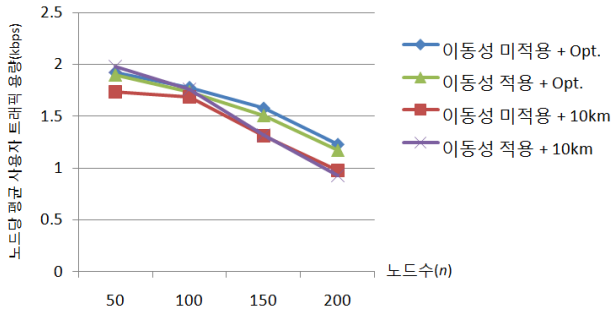


그림 11. 노드당 평균 사용자 트래픽 용량
Fig. 11. Average user traffic throughput.

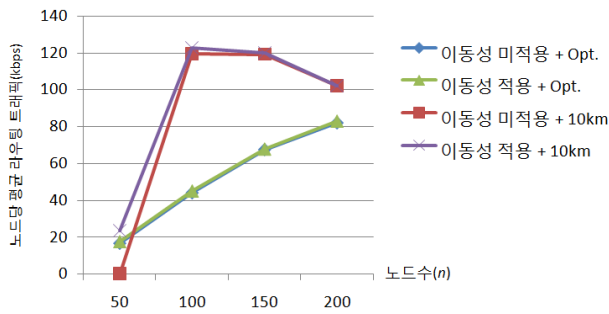


그림 12. 노드당 평균 라우팅 트래픽 용량
Fig. 12. Average routing traffic throughput.

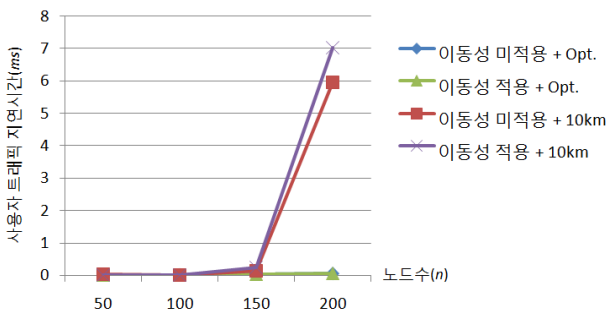


그림 13. 사용자 트래픽 지연시간
Fig. 13. User traffic delay.

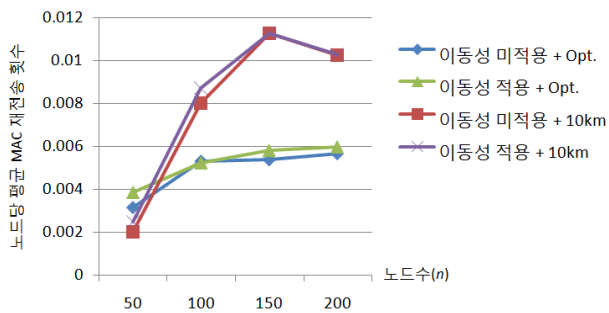


그림 14. 평균 MAC 재전송 횟수
Fig. 14. Average MAC retransmission counts.

횟수에 의해서 알 수 있다. 즉, 사용자 트래픽 지연시간은 노드의 수가 200개에 이르면서 급격하게 증가함을 알 수 있으며, MAC 재전송 횟수의 경우에도 노드 수가 증가됨에 따라 10km 적용시 급격하게 증가된다.

이상의 모든 실험 결과를 바탕으로 판단해보면 아래와 같은 사실을 알 수 있다.

일반적으로 이동성을 크게 가진 망에서는 AODV를 사용하는 것이 유리하고, 이동성을 적게 가진 망에서는 OLSR을 사용하는 것이 유리하다. 그러나, 노드 간 이격 거리가 비교적 크고, 가입자 단말들 간에 상대적인 위치를 유지하는 전술 MANET 망의 특성을 고려할 때 OLSR을 사용하는 것이 크게 유리함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 MANET에서 노드들의 최적 통달거리를 구하기 위한 새로운 방법을 제시하였으며, 최적 통달거리 기반하에서 전술적 작전 운용환경을 고려하여 AODV와 OLSR 간에 트래픽 전송용량 및 지연시간, 재전송 횟수 등의 성능지수를 비교/분석하였다. 이를 통해 전술망에서 OLSR을 사용하는 것이 더 성능적으로 우수함을 알 수 있다. 또한, OLSR 라우팅 알고리즘 사용시에 기본 통달거리(10km)를 적용하는 경우와 비교하여 최적 통달거리를 사용할 때 크게 성능 향상을 가져옴을 알 수 있었으며, 특히 노드 수가 증가됨에 따라 그 격차는 크게 증가되는 것을 알 수 있었다.

향후 전술적인 특성을 추가적으로 고려하여 제대 단위의 그룹 이동성을 적용한 최적 통달거리 산출 공식을 도출하고, 다양한 전과 모델링 환경하에서의 최적 통달거리를 적용할 경우에 성능 결과값의 변화를 연구할 예정이다. 또한, 본 논문에서는 95% 연결성을 기반으로 최적 통달거리를 분석하였으나, 이러한 연결성을 최적 통달거리 공식에 접목 가능한 방법을 추가 연구할 예정이다.

REFERENCES

[1] A.Kumar, D.Manjunath and J.Kuri, 'WIRELESS NETWORKING,' Morgan Kaufmann, 2008.
[2] Stephen Warshall, "A theorem on Boolean matrices," Journal of the ACM, pp. 11 -12, Jan.

- 1962.
- [3] T. K. Madsen et al., "Impact of different mobility models on connectivity probability of a wireless ad hoc network," Proc. Int. workshop on Wireless Ad-Hoc Networks, pp.120-124, Jun. 2004.
 - [4] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc on-demand distance vector(AODV)[S]. RFC 3561,2003
 - [5] Z. J. Hass, M. R. Pearlman, The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks[S], Internet Draft, 1997, Available from <http://www3.ietf.org/proceedings/98aug/I-D/draft-ietf-manet-zone-zrp-00.txt>
 - [6] "OPNET Modeler" home page <http://www.opnet.com/>
 - [7] "Origin" home page <http://www.originlab.com/>
 - [8] R. G. Cole and J. Rosenbluth, "Voice over IP performance monitoring," Computer Communication Review., vol. 4, Apr. 2001.

저 자 소 개



최 형 석(정회원)
1998년 고려대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
2010년~현재 충남대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정중
2002년~현재 국방과학연구소 2본부 선임연구원
<주관심분야 : 군 전술통신, Mobile Ad-Hoc Network(MANET), 무선통신>



이 재 용(정회원)
1988년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과(공학석사)
1995년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과(이학박사)
1990년~1995년 디지콤 정보통신 연구소 선임연구원
1995년~현재 충남대학교 정보통신공학부 교수
<주관심분야 : 무선 메쉬망, MANET, 네트워크 성능분석>



김 병 철(평생회원)
1988년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과(공학석사)
1996년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과(이학박사)
1993년~1999년 삼성전자 CDMA 개발팀
1999년~현재 충남대학교 정보통신공학과 교수
<주관심분야 : 이동 인터넷, 이동통신 네트워크, 미래 인터넷>