

다양한 전파 환경 하에서 MANET 최적 통달거리 분석

An Analysis of Optimum Transmission Range in MANETs under various Propagation Models

최형석¹ 이재용^{2*} 김병철²
Hyungseok Choi JaeYong Lee ByungChul Kim

요약

본 논문은 MANET망에서 최적의 통달거리를 구하는 분석 수단을 제공한다. 본 연구의 결과는 특히 전술망에서 유용하게 사용 가능하며, 이는 최적 통달거리가 전송용량 및 지연시간, 배터리 소모 등에 영향을 끼치기 때문이다. 더불어, 제안된 분석 수단을 통해 MANET 단말을 휴대한 병사들을 배치하기 위해 사전에 최적 통달거리를 결정하는 것이 가능하도록 한다. 또한, Hata 전파 모델을 기반으로 다양한 전파 환경하에서 배터리 운용시간과 최적 통달거리를 비교/분석한다. 제안된 방안을 통해 MANET망의 운용 환경에 따라 MANET에서 최적 통달거리를 얻는다.

☞ 주제어 : 이동 애드혹망, MANET, 연결성, 최적 통달거리, 하타 전파 모델

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 throughput, delay, and battery consumption. Plus, the proposed method allows the optimum transmission range to be determined in advance when deploying combatants with mobile terminals. And we analyze the battery life-time and the optimum transmission range under various propagation scenarios based on Hata propagation model. The proposed method obtains the optimum transmission range in a MANET based on the operational conditions.

☞ keyword : Mobile Ad Hoc Network, MANET, connectivity, optimum transmission range, HATA propagation model

1. 서론

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. 그러나, 실제 MANET의 중요한 요소 중 하나는 통달거리로서 망의 이동 노드들의 송신출력을 결정하게 된다[1]. 따라서, 최적의 통달거리 계산은 제한된 전력 조건을 가진 전술환경에서 아래와 같은 장점을 가지게 된다.

- 주파수 자원의 공간 재사용을 통해 망의 전송능력을 극대화
- MANET 노드들 간 간섭을 최소화함으로써 재전송 가능성을 최소화
- 전술적 생존성과 전력적 측면에서 안정적인 제어/관리 보장

상기 효과들은 상호간에 밀접하게 관련을 맺고 있다. 즉, MANET 노드들 간의 상호 간섭은 주파수 재사용을 통해 감소 가능하며, 이를 통해 MAC 재전송을 감소시켜 시스템 전송능력을 증대시킨다. 또한, 최적 통달거리는 배터리 소모를 최소화시켜 장비 사용시간을 증대시킴으로서 전술적인 생존 능력을 극대화시킬 수 있게 된다.

최적 통달거리는 MANET 망을 구성하는 각 노드들이 서로 간에 통신이 가능해야 하는 전제조건을 만족해야 한다. Kumar, Manjunath, Kuri[2]는 구성 셀들이 높은 확률로 채워지고 가중계수 K 는 1보다 크다는 조건하에 연결성을 위한 충분 통달거리를 결정하는 모델을 제안하였다.

1 2nd Division, Agency for Defense Development(ADD), Daejeon, 305-600, Korea.

2 Dept. of information and communication engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

* Corresponding author (jy1@cnu.ac.kr)

[Received 7 October 2013, Reviewed 25 October 2013(R2 23 December), Accepted 14 January 2014]

그러나 노드가 채워지지 않은 셀이 존재하는 상황에서 해당 결과를 실제 MANET 시스템에 적용하기 위해서는 K값이 시뮬레이션 또는 실험적으로 도출되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 셀 내의 노드 존재와 관련없이 최적 통달거리를 찾기 위한 분석적인 방법을 제시하고, 어떤 규모의 노드에서도 가중계수 K값을 계산할 수 있는 공식을 유도한다. K값 함수는 시뮬레이션을 통해 와살(Warshall) 알고리즘[3]을 기반으로 95%[10]의 연결 확률을 가지는 최적 통달거리를 유도하고 검증한다. 유도된 K값 함수는 [2]에서의 통달거리 충분조건(r_n)에 대입되어 최적 통달거리 공식을 완성한다. 이를 통해 실제 MANET 망설계 시에 쉽게 최적 통달거리를 계산할 수 있다.

본 논문은 2장에서 와살 알고리즘[3]과 전력제어 관련 연구 경향[4], Hata 전파 모델[5] 등을 설명하며, 3장에서 연결성을 위한 충분조건을 분석하고 가중계수 K값 공식 수정을 위한 연결성 확률을 시뮬레이션하여 최적 통달거리 공식을 제시한다. 4장에서는 Hata 전파 모델을 기반으로 도심, 교외, 개방 지역에서의 최적 통달거리 분석 결과를 설명하고, 5장에서 최종 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

본 장에서는 최적 통달거리와 네트워크 성능을 분석하기 위해 와살 알고리즘과 하타 전파 모델에 대해 기술한다.

2.1 와살(Warshall) 알고리즘

와살 알고리즘은 1962년에 와살에 의해 제안되었으며 [3], 이동 애드혹 네트워크에서 두 노드 간의 연결성을 계산하는데 효과적인 알고리즘이다. 이 알고리즘은 다음과 같은 reachable 매트릭스 P를 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 n차 정방(square) 매트릭스인 A와 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 n은 망 내의 노드 수를 의미한다. 인접

매트릭스 A는 다음과 같은 절차로 구해진다.

```

P ← A;
k ← 1;
i ← 1;
if pik = 1, then make pij ← pkj on j = 1, 2, ..., n;
i ← i + 1, if i ≤ n then switch to (4);
k ← k + 1, if k ≤ n then go to (3), otherwise stop;
    
```

2.2 하타 전파 (Hata's Propagation) 모델

통달 거리 분석을 위해서는 경로 손실 계산이 선행되어야 한다. 하타 전파 모델은 150MHz ~ 1.5GHz의 주파수 범위를 사용하는 라디오 전파 링크에서 총 경로 손실을 예측할 수 있다. [5]에서 하타는 시스템에서 경로 손실을 측정하기 위하여 다음과 같은 경험적인 수식을 도출하였다.

$$L_p (dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R \quad (1)$$

위의 수식에서 f_c 는 동작 주파수의 함수이고, h_b 는 기본 안테나 높이, h_m 은 이동 안테나 높이, 그리고 R은 전송 거리를 의미하며 다음과 같은 값을 가진다.

차량 스테이션 안테나 높이를 위한 $a(h_m)$ 은 dB 단위 correction factor로서 다양한 환경에 따라 다음과 같이 구분하여 정의할 수 있다[5].

- 대도시(Large city) 지역

$$a(h_{m(\text{대도시})}) = 3.2(\log_{10}(11.75 h_m))^2 - 4.97 \quad (2)$$

- 중소도시(Small city) 지역

$$a(h_{m(\text{중소도시})}) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8) \quad (3)$$

- 교외(Suburban) 지역

$$L_{P(\text{교외})}(dB) = L_{P(\text{도시})} - 2 \left\{ \log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right)^2 \right\} - 5.4 \quad (4)$$

- 개방(Open) 지역

$$L_{PO}(dB) = L_{P(\text{도시})} - 4.78(\log_{10}(f_c))^2 + 18.33 \log_{10}(f_c) - 40.94 \quad (5)$$

4장에서 분석될 전파환경에 따른 최적 통달거리 및 배터리 수명을 계산하기 위하여 위의 하타 전파 모델을 사용할 것이다.

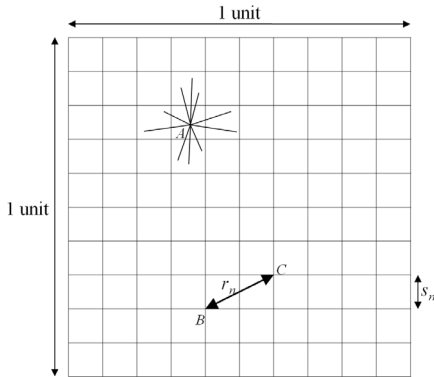
3. 최적 통달거리 분석

본 장에서는 와살 알고리즘에 기초한 시뮬레이션을 통하여 연결성 확률을 분석한다. 분석을 위하여 [2]에 나와 있는 K 값의 수식을 사용한다. 최종적으로 연결성 확률 95% 기준의 최적 통달 거리를 분석한다.

3.1 네트워크 연결성을 위한 통달거리 분석

[2]에서 통달 거리를 계산하기 위하여 그림 2와 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 (그림1)에서 (6)와 같이 쉽게 계산할 수 있다.



(그림 1) 한 축이 s_n 인 셀들로 구성된 정방형 네트워크
(Figure 1) Square network composed of cells of s_n

$$r_n = \sqrt{5} s_n \quad (6)$$

임의의 셀을 tagged cell 이라 하고, 노드들이 (그림 2)와 같은 단위 정사각형에 랜덤하게 배치되었을 때, 이 tagged cell에 위치할 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_r(\text{tagged cell is empty}) = (1 - s_n^2)^n \quad (7)$$

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

$$\alpha_n := P_r(\text{빈 셀 존재}) \leq \frac{(1 - s_n^2)^n}{s_n^2} \leq \frac{(e^{-s_n^2})^n}{s_n^2} \quad (8)$$

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 (9)와 같이 놓으면 α_n 도 K 와 n 에 관한 함수로 나타낼 수 있다.

$$s_n = \sqrt{\frac{K \log n}{n}} \quad (9)$$

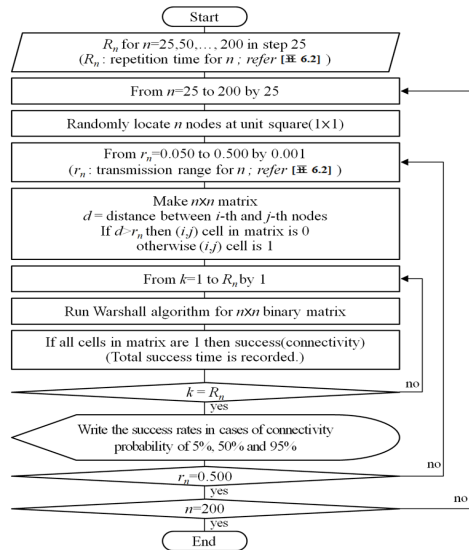
$$\alpha_n \leq \frac{e^{-\frac{nK \log n}{n}}}{\frac{K \log n}{n}} = \frac{ne^{-K \log n}}{K \log n} = \frac{1}{n^{K-1}} \frac{1}{K \log n} \quad (10)$$

위의 식에서 만약 $K > 1$ 이면, 높은 확률로 셀이 비어있지 않을 확률이 높아지고, 결국 높은 확률로 네트워크 내의 연결성을 보장할 수 있는 조건 r_n 을 앞의 수식 (6)으로부터 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$r_n = \sqrt{\frac{5K \log n}{n}}, \quad K > 1 \quad (11)$$

3.2 연결성 확률과 통달거리와의 관계 분석

r_n 과 n 과의 관계를 분석하기 위하여 먼저 C# 프로그래밍 언어를 통하여 다음과 같이 시뮬레이터를 구현하였다. (그림 2)는 네트워크 내의 모든 노드가 연결성을 가지는 full connectivity를 만족시키는 성공률을 계산하기 위한 시뮬레이션의 동작 절차를 나타냈다.



(그림 2) 와살알고리즘 시뮬레이션 동작 절차도
(Figure 2) Flow of Warshall's algorithm's simulation

시뮬레이션은 노드의 수에 따라 서로 다른 랜덤 토폴로지를 구성하였으며, 노드의 위치는 단위 정사각형에 유니폼하게 분포되어 있다고 가정하였다. 노드의 수가 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 가정하였다. 또한 노드의 수는 25~200개까지 수행하였으며, 실험 결과는 (표 1)에 나타났다.

(표 1) 연결성 확률과 노드 수에 따른 통달거리
(Table 1) Transmission range based on node number and connectivity rate

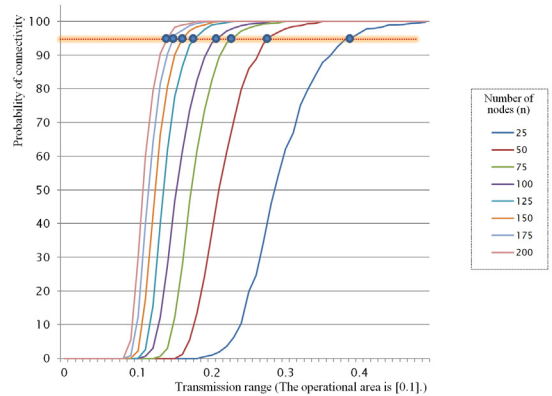
n	시뮬레이션 수행 횟수 (R_n)	Transmission range(r_n)		
		연결확률 5%	연결확률 50%	연결확률 95%
25	300,000	0.235	0.296	0.396
50	100,000	0.178	0.219	0.288
75	50,000	0.153	0.184	0.238
100	30,000	0.137	0.161	0.208
125	10,000	0.124	0.145	0.187
150	7,000	0.112	0.133	0.172
175	5,000	0.103	0.122	0.159
200	1,000	0.098	0.117	0.149

3.3 최적의 통달거리 도출

수식 (11)에 의해 주어진 분석 결과는 다음과 같은 두 가지 측면이 증명되어야 실제 MANET에 적용이 가능할 것이다. 첫째, r_n 은 점근적(asymptotic) 방법에 기초한 것이므로 통달거리와 가중계수 K 와의 관계를 좀 더 정확하게 분석해야 한다. 둘째, 계수 K 는 1보다 큰 값으로만 제한되어 있고, 정확한 값이 정의되어 있지 않기 때문에 실험을 통하여 적정 값을 도출하여야 한다. 그러므로 K 와 n 에 따른 수식이 필요하다. (그림 4)는 연결성 확률이 95%인 경우에 노드의 수에 따른 통달 거리를 나타낸다. 노드의 수가 증가할수록 통달 거리가 급격하게 감소하는 것을 알 수 있으며, 필요한 수식이 지수 함수 형태일 것이라는 것을 추측할 수 있다.

(표 1)과 (그림 3)을 통해 n 과 r_n 의 함수로써 K 값을 다음 식 (12)와 같이 유도할 수 있다.

$$r_n = \sqrt{\frac{5K \log n}{n}} \Rightarrow r_n^2 = \frac{5K \log n}{n} \Rightarrow K = \frac{n \times r_n^2}{5 \log n} \quad (12)$$



(그림 3) 연결성 확률이 95%인 경우, 노드 수에 따른 통달거리

(Figure 3) Transmission range based on the number of nodes in case that connectivity rate is 95%

(표 1)에 나타난 r_n 의 값을 위의 수식 (12)에 적용하여 계수 K 를 다음 (표 2)와 같이 계산할 수 있다.

(표 2) 노드 수에 따른 K 값과 통달 거리
(Table 2) K value and transmission range based on n

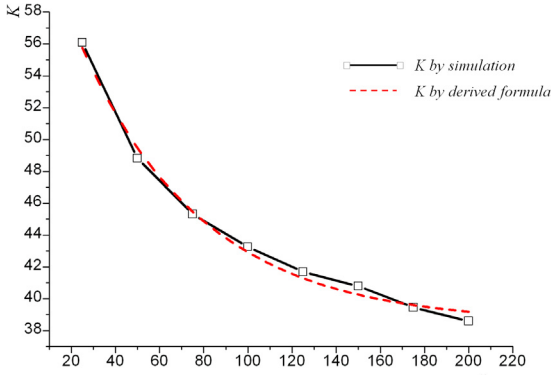
n	25	50	75	100	125	150	175	200
연결성 95%시 통달거리 (r_n)	0.396	0.288	0.238	0.208	0.187	0.172	0.159	0.149
K	56.09	48.82	45.31	43.26	41.69	40.79	39.45	38.59

(그림 4)는 노드 수에 따른 K 값을 나타낸 그래프로, 검은 선은 실험 결과이고 빨간 점선은 수학적 분석에 의해 계산된 값을 나타낸다. 지수적으로 감소하는 K 값의 함수를 Origin 툴[6]을 사용하여 수식 (13)과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$K = 27.2e^{-0.018n} + 38.44 \quad (13)$$

최종적으로 최적의 통달 거리 r_n 의 수식에서 K 를 수식 (13)에 대체하여 다음 수식 (14)와 같이 유도할 수 있다.

$$r_n = \sqrt{\frac{5K \log n}{n}} = \sqrt{\frac{5(27.2e^{-0.018n} + 38.44) \log n}{n}} \quad (14)$$



(그림 4) 노드 수에 따른 K값의 변화

(Figure 4) Transition of K based on the number of nodes

실제 군사적으로 운용되는 20Km×20Km 로 가정한 경우, (표 3)에 연결성 확률 95%를 가지는 최적의 통달 거리를 나타내었다.

(표 3) 20Km×20Km 운용 범위에서의 통달 거리
(Table 3) Transmission range in 20Km×20Km

n	r _n in unit area (1)	r _n in 20Km×20Km
25	0.395	7.90
50	0.289	5.80
75	0.238	4.77
100	0.207	4.14
125	0.186	3.72
150	0.171	3.42
175	0.159	3.19
200	0.150	3.00

4. 전파 환경에 따른 운용 성능 분석

본 장에서는 2.2절에서 소개한 하타 전파 모델의 4가지 전파 환경에서 개방 지역과 비교하여 동일한 통달거리를 충족하기 위한 배터리 운용시간 및 동일한 운용시간을 충족하기 위한 적정 통달거리를 분석한다. 본 성능 분석에 있어 사용 주파수(f_c)는 미군에서 개발중인 JTRS에서 사용된 500Mhz를 적용한다.[7]

4.1 대도시 지역 운용 성능 분석

대도시 지역의 운용 성능은 개방지역 대비 대도시 지역에서 발생하는 추가 경로 손실을 계산하고, 이러한 추가 경로 손실을 보상하기 위한 배터리 운용시간의 감소 정도를 분석함으로써 얻어질 수 있다.

식 (1)과 (2)를 사용하여 (2)를 재계산하면 (15)와 같다.

$$a(h_m)_{\text{대도시}} = 69.55 + 26.16\log_{10}f_c - 13.82\log_{10}h_b + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}R - L_{P(\text{대도시})} \quad (15)$$

마찬가지로 (1)과 (3)을 이용하여 (3)을 재계산하면 (16)와 같다.

$$a(h_m)_{\text{중소도시}} = 69.55 + 26.16\log_{10}f_c - 13.82\log_{10}h_b + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}R - L_{P(\text{중소도시})} \quad (16)$$

식 (15)와 (16)를 이용하여 식 (17)을 얻을 수 있다.

$$a(h_m)_{\text{대도시}} - a(h_m)_{\text{중소도시}} = L_{P(\text{중소도시})} - L_{P(\text{대도시})} \quad (17)$$

본 절에서 얻고자 하는 최종 결과값은 3장에서 구한 개방지역의 운용 성능과 대도시 지역 운용시 경로손실 값을 비교하여 배터리 운용시간과 통달거리에 미치는 영향을 분석하는 것이며, 식 (18)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} L_{P_0} - L_{P(\text{대도시})} &= \{L_{P(\text{중소도시})} - 4.78(\log_{10}f_c)^2 + 18.33\log_{10}f_c - 40.94\} - L_{P(\text{대도시})} \quad (18) \\ &= \{L_{P(\text{중소도시})} - L_{P(\text{대도시})}\} \\ &\quad - \{4.78(\log_{10}f_c)^2 - 18.33\log_{10}f_c + 40.94\} \\ &= \{a(h_m)_{\text{대도시}} - a(h_m)_{\text{중소도시}}\} \\ &\quad - \{4.78(\log_{10}f_c)^2 - 18.33\log_{10}f_c + 40.94\} \\ &= \{3.2(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.90\} \\ &\quad - \{(1.1\log_{10}f_c - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}f_c - 0.8)\} \\ &\quad - 4.78(\log_{10}f_c)^2 - 18.33\log_{10}f_c + 40.94 \end{aligned}$$

식 (18)에 [7]에서 제시한 값을 적용하여 f_c 는 500Mhz, h_m 은 2.8을 대입하게 될 경우에 -26.76(dB)를 얻는다. 따라서 동일한 통달거리를 보장하기 위해서는 약 474배의 배터리 운용시간이 감소된다.

또한, 동일한 배터리 운용시간을 보장하기 위해서는 통달거리의 감소가 필수적이며, 아래와 같이 약 4.34배의 통달거리 감소가 필요하다.

$$\Delta L_P = (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10} \frac{R_{P_0}}{R_{P(\text{대도시})}} \quad (19)$$

$$\frac{R_{P_0}}{R_{P(\text{대도시})}} = 10^{\frac{\Delta L_P}{44.9 - 6.55 \log_{10} h_b}} = 10^{\frac{26.764}{44.9 - 6.55 \log_{10} 2.8}} \quad (20)$$

$$= 4.34$$

4.2 중소도시 지역 운용 성능 분석

중소도시 지역의 운용 성능 분석은 식 (5)를 통해 쉽게 얻어질 수 있다.

$$L_{P_0} - L_{P(\text{중소도시})} \quad (21)$$

$$= -4.78(\log_{10} f_c)^2 + 18.33 \log_{10} f_c - 40.94$$

4.1절과 동일한 조건을 적용하면 약 26.29(dB)의 경로 손실 차이를 가지게 되며, 동일한 통달거리를 보장하기 위해서는 약 426배의 배터리 운용시간이 감소되며, 동일한 배터리 운용시간을 보장하기 위해서는 식(20)을 동일하게 중소도시에 적용시 약 4.23배의 통달거리 감소가 필요하다.

4.3 교외 지역 운용 성능 분석

교외 지역의 운용 성능 분석은 식 (5)로부터 식 (4)의 좌우를 빼면 식 (22)와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$L_{P_0} - L_{P(\text{교외})} = -4.78(\log_{10} f_c)^2 + 18.33 \log_{10} f_c$$

$$- 40.94 + 2 \left\{ \log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right)^2 \right\} + 5.4 \quad (22)$$

4.1~2절과 동일한 조건을 식 (22)에 적용하면 약 15.88(dB)의 경로손실 차이를 가지게 되며, 마찬가지로 동일한 통달거리를 보장하기 위해서는 약 38.73배의 배터리 운용시간이 감소된다. 이를 동일한 배터리 운용시간 보장을 위해 식 (20)에 적용할 경우에 약 2.39배의 통달거리 감소가 필요하다.

4.4 소결론

일반적인 MANET의 운용 성능 분석은 대부분 개방 지역을 기준으로 이루어진다. 본 연구에서와 같이 하타 전파 모델의 도시지역(대도시/중소도시) 및 교외지역 환경을 적용하면 개방지역과 비교하여 배터리 운용시간 측면에서는 38~474배까지 감소하며, 통달거리 측면에서는 2.39~4.34까지 감소하게 된다. 따라서, 군 전술 작전을 위해 MANET 망을 설계할 경우에 위와 같은 배터리 운용 시간 및 통달거리를 종합적으로 고려해야 한다.

5. 결 론

본 논문에서는 MANET에서 노드들의 최적 통달거리를 분석하기 위한 새로운 방법을 제시하였으며, 이를 통해 Hata 전파 모델을 기반으로 대도시 및 중소도시, 교외, 개방 지역에서의 배터리 운용시간과 통달거리 관계를 분석하였다. 본 논문에서 제시한 방법을 적용할 경우에 과거 경험적 또는 실험적으로 구한 최적 통달거리 계산 공식의 계수를 함수적으로 분석이 가능해지며, 이에 따라 시스템적으로 MANET 망에 대한 통달거리 계획 기능의 구현이 가능해진다. 따라서, 대도시/중소도시 및 교외, 개방 지역 등과 같이 다양한 전술적 환경하에서 신속한 대응과 생존성 증대 등의 효과를 얻을 수 있다.

향후 Longley-Rice[8] 및 Walfisch-Ikegami[9] 등의 다양한 전파 모델들을 적용하여 최적 통달거리를 추가적으로 분석할 예정이다. 또한, 노드 수와 95%의 연결성을 기반으로 노드 수에 따른 최적 통달거리를 구한 본 논문에 더불어 연결성을 최적 통달거리 공식에 추가 계수화하는 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌(Reference)

- [1] P. Gupta and P.R. Kumar, "Critical power for asymptotic connectivity," Proc. IEEE 37th Conf. on Decision and Control, pp.1106-1110, Dec. 1998.
- [2] A.Kumar, D.Manjunath and J.Kuri, 'WIRELESS NETWORKING,' Morgan Kaufmann, 2008.
- [3] Stephen Warshall, "A theorem on Boolean matrices," Journal of the ACM, pp. 11-12, Jan. 1962.
- [4] M. Desai, D.Manjunath, "On the connectivity in finite ad hoc networks," IEEE Communications Letters, Vol.6, pp. 437-440, Oct. 2002.
- [5] Ayoade Oguntade, "Range Estimation for Tactical Radio Waveforms using Link Budget Analysis", The University of Toledo, May 2010
- [6] "Origin" home page <http://www.originlab.com/>
- [7] Junghwan Kim, A.Oguntade, M.Oza, S. Kim, "Range Estimation of Tactical Radio Waveforms using Link Budget Analysis", Military Communications Conference, 2009. MILCOM 2009, pp.1-7, Oct. 2009
- [8] P.L. Rice, A.G. Longley, K.A. Norton, and A.P.

Barsis. "Transmission loss predictions for tropospheric communications circuits", Technical Note 101, revised 1/1/1967, U.S. Dept. of Commerce National Telecommunications & Information Administration, Institute for Telecommunications Sciences (NTIA-ITS)

[9] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in

land mobile radio services," IEEE Trans. Vehicular Technology, pp. 317-325. Aug. 1980.

[10] 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.

◎ 저 자 소 개 ◎



최 형 석(Hyungseok Choi)

1998년 고려대학교 전자공학과(공학사)
2002년 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
2010년~현재 충남대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정중
2002년~현재 국방과학연구소 2본부 선임연구원
관심분야 : 군 전술통신, Mobile Ad-Hoc Network(MANET), 무선통신
E-mail : nice.chs@gmail.com



이 재 용(JaeYong Lee)

1988년 서울대학교 전자공학과(공학사)
1990년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과(공학석사)
1995년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과(이학박사)
1990년~1995년 디지털 정보통신 연구소 선임연구원
1995년~현재 충남대학교 정보통신공학부 교수
관심분야 : 무선 메쉬망, MANET, 네트워크 성능분석
E-mail : jyl@cnu.ac.kr



김 병 철(ByungChul Kim)

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
관심분야 : 이동 인터넷, 이동통신 네트워크, 미래 인터넷
E-mail : byckim@cnu.ac.kr