

이동성을 고려한 이동 애드혹 네트워크 성능분석

정석윤 · 허 선 · 남진규

한양대학교 산업공학과

The Performance Analysis of the Mobile Ad-Hoc Network Considering the Mobility of Nodes

Seo-Kyun Jeong · Sun Hur · Jin-Gyu Nam

Department of Industrial Engineering, Hanyang University

In mobile ad-hoc networks(MANETs), nodes are mobile and network topology changes very frequently. The mobility of nodes does affect the system performance. There has been considerable attention on the mobility models, however, most work is confined to the simulation or test-bed. In this paper, we propose an analytical method to evaluate the performances of MANETs such as the average radio range dwell time of mobile nodes, link holding time, and transmission failure probability considering the node's mobility. In the proposed model, MANETs consist of the multi-hop and multicasting routing paths. A simulation is done to validate our proposed analytical model.

Keywords : mobile ad-hoc network, multi-hop, mobility, multicasting

1. 서론

최근 무선 네트워크 기술이 빠르게 발전함에 따라 무선 이동 컴퓨팅은 그 응용 범위와 사용 빈도가 급격히 증가하고 있다. 따라서 무선 이동 컴퓨팅 환경에 네트워크 연결을 지원하기 위한 무선 네트워크 기술이 필요한데, 무선 네트워크는 기지국이나 AP(access point)와 같은 하부구조(infrastructure)를 가지는 네트워크와 하부구조가 없는 이동 애드혹 네트워크(MANET: Mobile Ad-Hoc Network)로 분류된다.

MANET은 고정된 하부 구조가 없기 때문에 이동 노드(node)들 간에 서로 데이터를 전달할 수 있어야 하는데, 이를 위해 각 이동 노드들은 유선망의 라우터(router) 기능을 수행해야 한다. 이에 따라 라우팅 방식(routing protocol)에 관한 연구가 주요 연구 분야로 인식되고 있으며, 이외에도 MANET에 적합한 매체접근제어(MAC: Media Access Control) 계층 설계, 멀티캐스팅, 보안 및 인증, 서비스 품질, TCP 성능 향상, 대용량 노드 수용

등에 관한 연구를 병행하여 수행하고 있다.[2] 그리고, MANET에서 모든 노드들은 이동성(mobility)을 가지고 있기 때문에 시간에 따라 네트워크 위상이 동적으로 변하고, 전력 유지에 따른 데이터 전송 환경이 제한되며, 낮은 대역폭과 높은 에러율을 가지고 있다. 이러한 제약 조건에도 불구하고 MANET은 재난 구조, 전쟁터, 전시장 및 회의장 등과 같은 특수 목적뿐 아니라 하부구조가 없는 일반적인 장소에서도 효과적으로 사용될 수 있다.

MANET의 특징은 모든 노드들이 이동할 수 있기 때문에 네트워크 위상이 동적으로 변함에 따라 소스 노드(source node)에서 목적지 노드(destination node)까지 데이터를 전송하기 위해 설정된 경로가 자주 바뀌게 된다는 점이다. 그리고 노드들은 같은 라디오 주파수 영역(radio frequency range) 내에 있어야만 데이터 전송이 가능하다. 노드들은 언제나 라디오 주파수 영역 밖으로 이탈할 가능성이 있으며, 이러한 이동성은 소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터 전송 실패의 원인으로 작용하여 MANET의 성능에 많은 영향을 준다.

최근에 MANET의 이동성 관련 연구에 관심을 갖기 시작하여 이동성 모형(mobility model)에 대한 조사가 이루어지고 있으며[1], 공간적 제약사항을 고려하거나 데이터 전송 시 장애가 되는 사항을 고려하는 등 이동성 모형을 설계하는 방법에 대하여 많은 연구가 진행되어왔다.[4][7] 그러나 이동성에 대한 성능평가는 대부분 시뮬레이션이나 간단한 테스트베드 상에서의 성능 확인 정도가 주를 이루고 있을 뿐이다. 이에 따라 본 연구에서는 이동성을 고려한 MANET의 성능척도를 수리 모형으로 표현하고자 한다.

최근 이동성에 대한 연구로써 Li et al.[5]은 서로 데이터를 주고받는 노드 중 데이터를 보내는 노드는 정지되어 있고 데이터를 받는 노드는 상대적으로 움직이고 있다는 가정 하에 이동성 모형을 수리적으로 표현하여 전송 경로가 끊어질 확률(link breaking probability)과 데이터 처리량과 같은 성능척도를 분석하는 수리모형을 제시하였다. 이 연구는 단일 홉(single hop)만을 고려한 연구로써 멀티 홉(multi-hop)으로 구성되어 있는 MANET의 성능분석에 대한 수리 모형에는 적합하지 않다. 본 연구에서는 멀티 홉으로 구성된 MANET의 성능분석을 위해 데이터 전송 경로 상에 존재하는 노드들의 이동성을 고려하여 시스템 성능척도로써 노드의 시스템 체제시간, 경로유지시간, 전송실패확률에 대한 수리 모형을 제시하고자 한다. 더욱이 소스노드와 목적지 노드가 일대일의 관계가 아닌 일대다, 즉 멀티캐스팅으로 이루어진 MANET 환경을 고려한다.

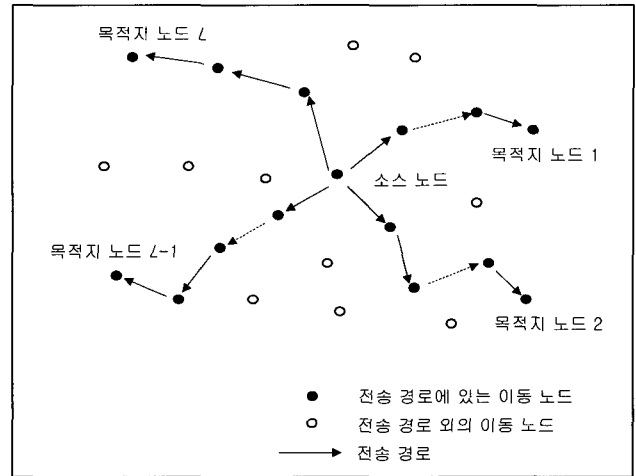
본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 멀티 홉으로 구성된 멀티캐스팅의 MANET 모형에 대하여 설명하고, 3장에서는 성능분석을 자세하게 설명한다. 분석 결과에 대하여 4장에서는 수치예제를 통하여 결과를 확인하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 언급한다.

2. 시스템 모델링

멀티 홉으로 구성된 MANET의 성능분석을 위해 가정하고 있는 사항들은 다음과 같다. 네트워크 상에 M 개의 노드가 있고, 이 중 멀티캐스팅 라우팅 프로토콜을 통하여 L 가지의 데이터 전송 경로가 생성되며(L 개의 목적지 노드 설정), 각 전송경로 상에는 <그림 1>과 같이 N_j ($j = 1, 2, \dots, L$)개의 노드들이 존재한다.

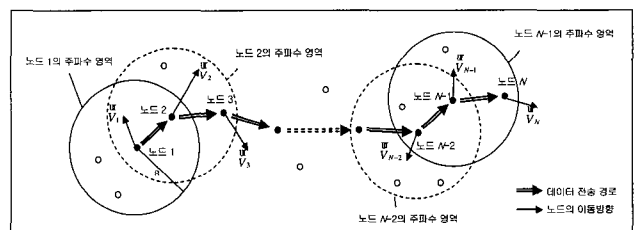
본 연구에서는 각 전송 경로를 한 그룹으로 간주하며 각 그룹에 속해 있는 노드들은 다른 그룹의 노드와 겹치는 경우는 없다고 가정한다. 즉, 한 경로 상에 있는 노드들은 다른 경로에 있는 노드와 통신할 수 없는 것을 의미한다. 이러한 멀티캐스팅에 의한 멀티 홉으로 연

결되어 있는 전송 경로상의 전체 노드들에 대한 이동성을 살펴봄, 또한 경로 유지 시간 및 데이터 전송 실패에 대하여 알아본다.



<그림 1> 멀티캐스팅에 의한 전송경로

데이터를 받는 노드는 데이터를 보내는 노드를 중심으로 반경이 R 인 라디오 주파수 영역 안에 균일하게 분포되어 있으며, 서로 이웃하는 노드와는 같은 영역에 포함되어 있으나 이웃하지 않은 노드와는 같은 영역에 포함되어 있지 않다. <그림 2>에서 볼 수 있듯이 라우팅을 통해 정해진 경로 상에 존재하는 노드는 같은 영역 내에 있는 노드로부터 데이터를 받고 보낼 수 있으며 이웃하지 않은 노드로는 데이터를 전송할 수 없다. 그리고 모든 노드들은 동일한 라디오 주파수 영역을 가지며, 데이터 전송 시 노드의 영역 이탈로 인해 발생하는 전송 실패 외 다른 전송 실패는 고려하지 않는다.



<그림 2> 전송경로 상에서의 데이터 전송 및 이동성

본 연구에서는 각 노드는 임의의 속도로 움직인다는 일반적인 이동성 모형으로 설명하고자 한다.[5] 각 노드의 속도는 이동 방향과 이동 속력으로 구성된 임의의 벡터이며, 노드 i 의 이동 속력 V_i 는 확률밀도함수 $f_V(v)$ 를 갖는 확률변수이고, 이동 방향 θ_i 는 확률밀도함수 $f_\theta(\theta)$ 를 갖는 확률변수이다. 여기서 이동속력과 이동방향은

서로 독립이다. 또한, 노드 간의 이동속도 및 이동방향이 독립이다.

속도를 \vec{V}_i^j ($i = 1, 2, \dots, N_j$, $j = 1, 2, \dots, D$)라 할 때, j 그룹 내 노드 i 에 대하여 노드 $i+1$ 의 상대이동속도 $\vec{V}_{i,i+1}^j$ 는 식(1)과 같이 정의할 수 있다.

3. 성능분석

$$\vec{V}_{i,i+1}^j = \vec{V}_{i+1}^j - \vec{V}_i^j \quad \dots\dots\dots (1)$$

3.1 노드의 이동성

본 절에서는 전송경로 상에 있는 각 노드들의 이동성에 대하여 살펴본다. j 그룹 내에 있는 노드 i 의 이동

그리고 j 그룹 내 노드 i 에 대한 노드 $i+1$ 의 상대이동속도 크기는 식(2)로 표현할 수 있다.

$$V_{i,i+1}^j = \sqrt{(V_i^j)^2 + (V_{i+1}^j)^2 - 2V_i^j V_{i+1}^j \cos(\theta_i^j - \theta_{i+1}^j)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

V_i^j 는 \vec{V}_i^j 의 크기이다.

여기서, j 그룹 내 노드 간 상대속도 $V_{i,i+1}^j$ 의 평균은 식(3)으로 정의된다.

$$\begin{aligned} E[V_{i,i+1}^j] = & \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} [\sqrt{(v_i^j)^2 + (v_{i+1}^j)^2 - 2v_i^j v_{i+1}^j \cos(\theta_i^j - \theta_{i+1}^j)}] \dots\dots\dots (3) \\ & \cdot f_{V_i^j, V_{i+1}^j, \theta_i^j, \theta_{i+1}^j}(v_i^j, v_{i+1}^j, \theta_i^j, \theta_{i+1}^j) d\theta_i^j d\theta_{i+1}^j dv_i^j dv_{i+1}^j \end{aligned}$$

위첨자 j 는 노드들이 속해있는 그룹을 나타내고, $f_{V_i, V_{i+1}, \theta_i, \theta_{i+1}}(v_i, v_{i+1}, \theta_i, \theta_{i+1})$ 는 확률변수 $V_i, V_{i+1}, \theta_i, \theta_{i+1}$ 의 결합밀도함수이며, V_{\min} 과 V_{\max} 는 이동속력의 최소값과 최대값이다.

모든 그룹 내의 노드 i 와 노드 $i+1$ 의 이동속력 V_i 와 V_{i+1} 는 독립이고, 이동방향 θ_i 와 θ_{i+1} 도 서로 독립이다. 또한 이동속력과 이동방향 간에도 서로 독립이므로 식(3)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} E[V_{i,i+1}^j] = & \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{(v_i^j)^2 + (v_{i+1}^j)^2 - 2v_i^j v_{i+1}^j \cos(\theta_i^j - \theta_{i+1}^j)} \dots\dots\dots (4) \\ & \cdot f_{V_i^j}(v_i^j) f_{V_{i+1}^j}(v_{i+1}^j) f_{\theta_i^j}(\theta_i^j) f_{\theta_{i+1}^j}(\theta_{i+1}^j) d\theta_i^j d\theta_{i+1}^j dv_i^j dv_{i+1}^j \end{aligned}$$

모든 그룹 내 노드들의 이동방향 θ_i 와 θ_{i+1} 이 $(0, 2\pi]$ 에 균일하게 분포한다면, 식(4)는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} E[V_{i,i+1}^j] = & \frac{1}{\pi^2} \int \int (v_i^j + v_{i+1}^j) F_e \left(\frac{2\sqrt{v_i^j \cdot v_{i+1}^j}}{v_i^j + v_{i+1}^j} \right) \dots\dots\dots (5) \\ & \cdot f_{V_i^j}(v_i^j) f_{V_{i+1}^j}(v_{i+1}^j) dv_i^j dv_{i+1}^j \end{aligned}$$

여기서 $F_e(k) = \int_0^1 \sqrt{\frac{1-k^2t^2}{1-t^2}} dt$ 인 2차 타원적

분이다. 이 후 분석과정에서는 모든 그룹 내에서 데이터를 보내는 노드 i 는 고정되어 있고 상대적으로 데이터를 받는 노드 $i+1$ 가 움직이고 있다는 가정으로부터 시스템 체제시간, 경로유지시간, 전송실패확률과 같은 성능척도를 분석한다.

3.2 이동 노드의 시스템 체제시간

본 절에서는 노드가 네트워크 경로 상에 머물 시간에 대하여 살펴보고자 한다. MANET을 구성하는 노드들은 이웃하는 노드들의 라디오 주파수 영역 내에 있어야 데이터를 수신 및 전송할 수 있다. 만일 데이터 전송이 완료되기 전에 한 노드 이상이 이웃하는 노드의 라디오 주파수 영역을 벗어나게 되면 경로가 끊어져 데이터 전송이 실패하게 된다. 이에 따라 전송실패확률을 결정하는 확률변수로써 노드의 체제시간을 살펴본다.

본 연구에서 시스템 체제시간은 노드들이 라디오 주파수 영역 내에 머물 시간을 말하며, j 그룹 내 노드 i 가 이웃하는 노드(데이터를 보내는 노드)의 주파수 영역 내에서 머물 시간을 영역 내 체제시간 $T_{i,dwell}^j$ 으로 정의한다. 소스 노드는 고정되어 있다고 간주하기 때문에 본 연구에서는 중간노드 및 목적지 노드의 체제시간을 고려한다.

유체흐름 모형(fluid flow model)으로 이동성을 표현하는 이동 셀룰러 시스템(mobile cellular system)에서 셀(cell) 영역으로부터 이동 단말기들의 이탈율을 μ 라 할 때, ‘한 셀 내에 단위시간 당 셀 영역을 벗어나는 평균 이동 단말기 수는 셀 영역으로 들어오는 평균 이동 단말기 수와 같다’라는 평형 조건에 따라 식(6)과 같이 표현된다.[8]

$$\mu \approx \frac{E[\Xi]}{E[\Psi]} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 Ξ 는 단위 시간당 셀을 떠나는 이동 단말기의 수이고, Ψ 는 셀 내에 있는 이동 단말기의 수이다.

식(6)을 이동 단말기가 임의로 이동하는 2차원 유체 흐름 모형으로 근사화하면 식(7)과 같이 표현할 수 있다.[8]

$$\mu \approx \frac{E[\Xi]}{E[\Psi]} = \frac{\rho E[V]L/\pi}{\rho S} = \frac{E[V]L}{\pi S} \dots\dots\dots (7)$$

ρ 는 단위 영역에 대한 이동 단말기의 밀도, V 는 단말기의 이동속도, L 은 셀 영역의 주변 길이, S 는 셀 영역

의 크기를 나타낸다.

MANET 환경에서도 노드들이 특정한 위치에 있는 것이 아니며 이동성 평형조건에 따라 라디오 주파수 영역 내에 균일하게 분포한다고 볼 수 있다. 또한, 노드의 이동 방향도 $[0, 2\pi)$ 에서 균일하게 분포한다.[6] 이에 따라 본 연구에서도 유체흐름 모형으로 이동성 모형을 표현하고자 하며, 2차원 유체흐름 모형에 대해서 j 그룹 내 데이터를 보내는 노드(i)를 중심으로 데이터를 받는 노드($i+1$)이 영역 내에서 벗어날 평균 이탈율은 식(8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu_{i+1,dwell}^j = \frac{E[V_{i,i+1}^j]L}{\pi A}, \dots\dots\dots (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_j - 1, j = 1, 2, \dots, L$$

A 는 라디오 주파수 영역의 크기이고, L 은 라디오 주파수 영역의 주변길이를 나타낸다. 여기서, 라디오 주파수 영역의 크기는 반지름이 R 인 원 이므로 식(8)을 정리하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mu_{i+1,dwell}^j = \frac{2E[V_{i,i+1}^j]}{\pi R}, \dots\dots\dots (9)$$

$$1, 2, \dots, N_j - 1, j = 1, 2, \dots, L$$

따라서 j 그룹내 각 이동 노드의 시스템 체제시간의 평균은 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[T_{i+1,dwell}^j] = \frac{\pi R}{2E[V_{i,i+1}^j]}, \dots\dots\dots (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_j - 1, j = 1, 2, \dots, L$$

3.3 경로유지시간

본 절에서는 생성된 경로가 유지되는 시간에 대하여 살펴보고자 한다. 경로유지시간은 노드의 이탈 없이 데이터 전송이 완료되거나, 데이터 전송이 완료되기 전에 한 노드 이상이 영역을 벗어나 데이터 전송 실패로 인해 설정된 경로가 끊어질 때까지 시간이다.

먼저 데이터 전송이 완료되는 시간을 살펴보면, j 그룹 내 노드 i 에서 노드 $i+1$ 로 데이터를 전송하는 시간을 $T_{i,i+1}^j(trans)$ 라 하고, 소스 노드에서 j 그룹의 최종 목적지 노드까지의 데이터 전송 시간을 T_{trans}^j 이라 하면 각 그룹에서 데이터 전송이 완료되는 시간은 식(11)과 같다.

$$T_{trans}^j = \sum_{i=1}^{N_j-1} T_{i,i+1}^j(trans), j = 1, 2, \dots, L \quad (11)$$

그리고 모든 목적지 노드까지 실제 데이터 전송이 완료 되는 시간을 T_{trans} 이라면, j 개 그룹 중 데이터 전송이 가장 오래 걸리는 그룹이 시스템 전체 데이터 전송 시간을 나타낸다. 즉,

$$T_{trans} = \max [T_{trans}^1, T_{trans}^2, \dots, T_{trans}^L] \quad (12)$$

이다.

노드의 이탈로 인해 경로가 유지되는 시간을 살펴보면 다음과 같다. j 그룹의 시스템 체재 시간을 T_{dwell}^j 이라 하면, 이는 j 그룹에 속해있는 각 노드들이 라디오 주파수 영역 내에 머물 시간 중 최소 시간으로 표현할 수 있다.

$$T_{dwell}^j = \min [T_{2,dwell}^j, T_{3,dwell}^j, \dots, T_{N_j,dwell}^j], j = 1, 2, \dots, L \quad (13)$$

그러므로 시스템 전체 체재시간 T_{dwell} 는 각 그룹의 체재시간 중에서 최소 시간으로 표현할 수 있다. 즉,

$$T_{dwell} = \min [T_{dwell}^1, T_{dwell}^2, \dots, T_{dwell}^L] \quad (14)$$

이다. 결국, 경로유지시간을 T_{lh} 라 하면 식(15)와 같이 표현될 수 있다.

$$T_{lh} = \min [T_{dwell}, T_{trans}] \quad (15)$$

데이터 전송 시간과 시스템 전체 체재 시간과는 독립이므로 경로유지시간의 확률밀도함수는 식(16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{T_{lh}}(t) = f_{T_{dwell}} [1 - F_{T_{trans}}(t)] + f_{T_{trans}} [1 - F_{T_{dwell}}(t)] \quad (16)$$

여기서 $f_{T_{dwell}}(t)$ 는 시스템 전체 체재시간의 확률밀도함수이고, $f_{T_{trans}}(t)$ 는 데이터 전송시간의 확률밀도함수이며, $F_{T_{dwell}}(t)$ 과 $F_{T_{trans}}(t)$ 는 각각 $f_{T_{dwell}}(t)$ 와 $f_{T_{trans}}(t)$ 의 분포함수이다.

3.4 전송실패확률

본 절에서는 노드의 이탈로 인해 경로가 끊어져서 발생하는 데이터 전송실패인 경우를 살펴보고자 하며, 시스템 성능최도인 전송실패확률을 구한다.

소스 노드에서 모든 목적지 노드까지 데이터 전송이 완료되기 전에 경로 상에 있는 노드들 중 체재시간이 가장 작은 노드가 라디오 주파수 영역을 벗어나게 되면 경로가 끊어져서 데이터 전송실패가 발생한다. 그러므로 전송실패확률(P_{fail})은 식(17)로 표현할 수 있다.

$$P_{fail} = Pr (T_{dwell} < T_{trans}) \quad (17)$$

식(17)에서 T_{dwell} 와 T_{trans} 는 독립이므로 식(18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{fail} = \int_0^\infty \int_u^\infty f_{T_{trans}}(t) f_{T_{dwell}}(u) dt du \quad (18)$$

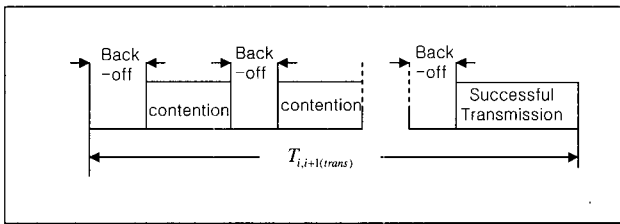
경로유지시간 및 전송실패확률을 구하기 위해서는 노드 간 데이터 전송시간과 노드의 체재시간에 대한 분포를 알아야 한다. 이에 대하여 본 연구에서는 시스템 전체 체재시간 분포와 데이터 전송시간 분포를 유도하는 과정에 대하여 예를 들어 설명한다.

먼저, 이동 노드들의 체재시간에 대하여 살펴보면 이동 통신 관련 연구에서 셀 체재시간(cell dwell time)의 분포를 감마분포 또는 하이퍼 얼랑 분포 등을 사용하고 있다.[3][9] 이를 간단히 표현하기 위해 대부분의 연구자들은 셀 체재시간은 지수분포를 따른다는 가정을 사용하고 있다.[10] 본 연구에서도 각 노드들의 라디오 주파수 영역 내 체재시간은 지수분포를 따른다는 가정으로 시스템 전체 체재시간에 대한 확률밀도함수와 분포함수를 유도한다.

j 그룹에 속해있는 이동 노드 i 의 라디오 주파수 영역 내 체재시간을 식(9)에서 정의한 평균 이탈율 $\mu_{i+1,dwell}^j$ ($i = 1, 2, \dots, N_j - 1$) 을 갖는 지수분포라 하면, j 그룹에서의 시스템 체재 시간 T_{dwell}^j 는 지수분포 성질과 식(13)에 따라 평균 이탈율이 $(\mu_{2,dwell}^j + \mu_{3,dwell}^j + \dots + \mu_{N_j,dwell}^j)$ 인 지수분포를 따른다. 그리고 T_{dwell}^j 의 평균 이탈율을 $\mu_{dwell}^j = (\mu_{2,dwell}^j + \mu_{3,dwell}^j + \dots + \mu_{N_j,dwell}^j)$ 라 하면, 시스템 전체 체재시간 T_{dwell} 도 지수분포 성질과 식(14)에 따라 평균 이탈율이 $(\mu_{dwell}^1 + \mu_{dwell}^2 + \dots + \mu_{dwell}^L)$ 인 지수

분포를 따르게 된다.

데이터 전송시간의 경우에는 전송 경로가 설정되었다 하더라도 무선 채널을 이용하기 때문에 어떠한 매체접근제어(MAC: Medium Access Control) 프로토콜을 사용하는가에 따라 실제 데이터 전송시간이 달라질 수 있다. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance) 프로토콜에 따라 노드 간 데이터 전송시간의 경우를 살펴보면 <그림 3>과 같이 구성된다. 즉, 데이터를 보내려는 노드는 다른 노드들에 의하여 공유 채널을 점유하기 위해 경쟁(contention)이 발생하고 그에 따른 백오프(back-off) 시간이 흐른 뒤 채널을 사용할 수 있게 되었을 때 데이터를 전송한다.



<그림 3> 노드 간 데이터 전송시간 구조

이에 따라 노드 i 에서 노드 $i+1$ 로의 평균 데이터 전송시간은 식(19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E[T_{i,i+1(trans)}] = E\left[T_{i,i+1(backoff)} + \sum_{k=1}^N T_{i,i+1(k)} + T_{i,i+1}\right] \dots (19)$$

여기서, $T_{i,i+1(backoff)}$ 는 back-off 시간, $T_{i,i+1(k)}$ 는 k 번째 경쟁 시간, $T_{i,i+1}$ 는 실제 데이터 전송시간, N 은 데이터 전송 기간 동안에 발생하는 평균 경쟁 수이다.

성능척도를 유도하기 위해서는 데이터 전송시간에 대한 분포식이 필요하나 유도 과정은 상당히 어려울 뿐만 아니라 관련 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 성능척도를 유도하는 과정을 보다 용이하게 설명하고자 노드 간 데이터 전송 시간의 분포를 식(19)에서 표현한 평균값을 갖는 지수분포라 가정하고 다음과 같이 데이터 전송시간의 분포를 유도한다.

j 그룹 내에서 노드 간 전송시간은 서로 동일하고 독립된 분포를 따르며 평균 전송을 λ_j 을 갖는 지수분포라 할 때, 식(11)에 따라 j 그룹 내 데이터 전송 시간 T_{trans}^j 는 $N_j - 1$ 차 중합으로써 $Erlang(N_j - 1, \lambda_j)$ 을 따른다. 그리고 모든 목적지 노드까지 데이터 전송이 완료 되는 시간 T_{trans} 는 그룹 간 전송시간은 서로 독립이라는 가정 하

에 식(20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Pr\{T_{trans} \leq t\} &= Pr[\max(T_{trans}^1, T_{trans}^2, \dots, T_{trans}^L) \leq t] \\ &= Pr(T_{trans}^1 \leq t, T_{trans}^2 \leq t, \dots, T_{trans}^L \leq t) \\ &= Pr(T_{trans}^1 \leq t)Pr(T_{trans}^2 \leq t) \dots Pr(T_{trans}^L \leq t) \\ &= \left[\frac{\lambda_1^{N_1} t^{N_1-1} e^{-\lambda_1 t}}{\Gamma(N_1 - 1)}\right] \dots \left[\frac{\lambda_L^{N_L} t^{N_L-1} e^{-\lambda_L t}}{\Gamma(N_L - 1)}\right] \dots (20) \end{aligned}$$

특히, 전송 경로의 수가 1개($j=1$)인 경우는 소스 노드 대 목적지 노드가 일대일인 관계가 성립한다.

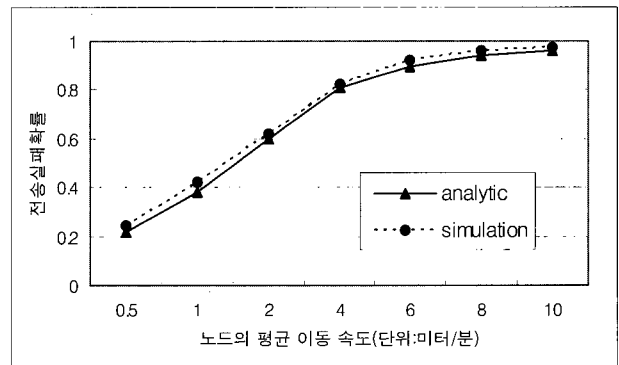
4. 수치예제

본 연구에서 제시한 방법에 대한 타당성 검토를 위하여 주파수 영역 내 이동 노드의 체재시간과 노드 간 데이터 전송시간이 지수분포를 따른다는 가정 하에 다양한 조건으로 모의실험과 비교 검토하였으며, 전송 경로의 수가 1개(즉 $L=1$)인 경우를 살펴보았다.

4.1 노드의 이동속도 변화에 따른 전송실패확률

노드들의 이동 속도 변화에 따른 전송실패확률 변화를 살펴보기 위해 다음과 같은 가정으로 실험하였다.

- 전송경로상의 노드 수 : 5개
- 라디오 주파수 영역 크기 : 반경 (R)= 20m
- 노드 간 데이터 전송 속도 : $E[T_{i,i+1(trans)}]=60$ 초 ($i=1, 2, 3, 4$)
- 모든 노드들의 이동 속도는 동일



<그림 4> 노드의 이동속도 변화에 따른 전송실패확률

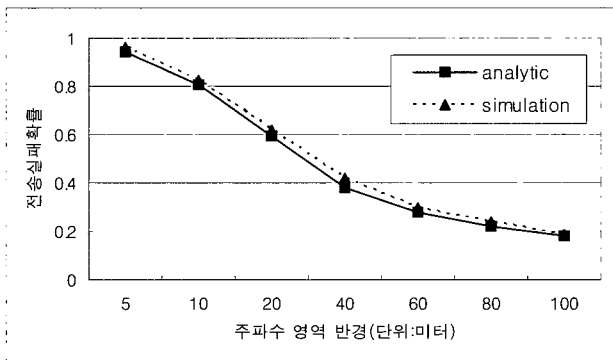
<그림 4>는 노드들의 이동 속도가 빠를수록 전송실패 확률이 점차 증가함을 보여주고 있다. 이동 속도가 빨라진다는 것은 라디오 주파수 영역 내에 머물던 노드들의 이탈율이 증가한다는 것을 의미하고, 이는 이웃 노드의 영역에서 벗어날 경향이 점차 높아진다는 것이다. 이에 따라 이동 속도가 높을수록 데이터 전송이 완료되기 전 경로가 끊어질 확률이 높아짐을 알 수 있다.

4.2 라디오 주파수 영역 크기 변화에 따른 전송 실패 확률

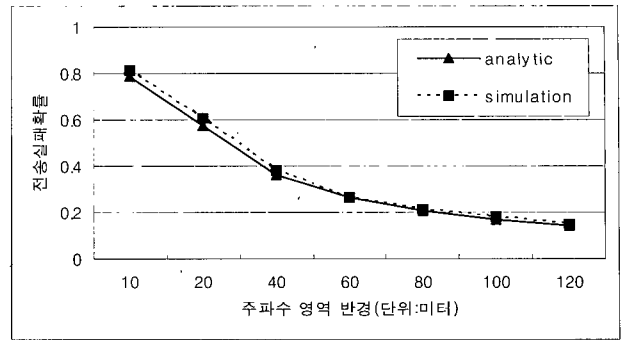
라디오 주파수 영역 크기의 변화에 따른 전송실패 확률 변화를 살펴보기 위해 다음과 같은 가정으로 실험하였다.

- 전송경로상의 노드 수 : 5개
- 노드 간 데이터 전송 속도 : $E[T_{i,i+1}(trans)] = 60\text{초}$ ($i = 1, 2, 3, 4$)
- 노드들의 이동 속도가 동일한 경우 : $E[V_{i,i+1}] = 2\text{m/분}$ ($i = 1, 2, 3, 4$)
- 노드들의 이동 속도가 상이한 경우 : $E[V_{1,2}] = 0.5\text{m/분}$, $E[V_{2,3}] = 1\text{m/분}$, $E[V_{3,4}] = 2\text{m/분}$, $E[V_{4,5}] = 4\text{m/분}$

<그림 5>와 <그림 6>은 라디오 주파수 영역의 크기가 증가함에 따라 경로가 끊어질 확률이 감소하는 것을 보여주고 있다. 실험 결과를 통해서 라디오 주파수 영역의 크기와 이동속도는 전송실패확률에 반대 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 라디오 주파수 영역의 크기가 커진다는 것은 상대적으로 노드들의 이동속도를 감소하는 효과를 나타내기 때문에 경로가 끊어질 확률이 감소하는 것이다.



<그림 5> 라디오 주파수 영역 변화에 따른 전송실패확률 (노드의 이동속도가 동일한 경우)



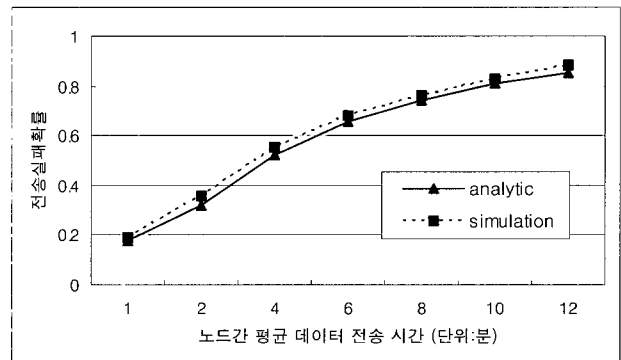
<그림 6> 라디오 주파수 영역 변화에 따른 전송실패확률 (노드의 이동속도가 다른 경우)

4.3 노드 간 데이터 전송시간 변화에 따른 전송실패 확률

데이터 전송 시간 변화에 따른 전송실패확률 변화를 살펴보기 위해 다음과 같은 가정으로 실험하였다.

- 전송경로상의 노드 수 : 5개
- 주파수 영역 반경(R) : 100m
- 노드들의 이동 속도는 동일 : $E[V_{i,i+1}] = 2\text{m/분}$ ($i = 1, 2, 3, 4$)
- 노드 간 데이터 평균 전송 시간은 동일

<그림 7>은 노드 간 전송시간이 증가함에 따라 전송 실패확률이 증가하는 것을 보여주고 있다. 노드 간 데이터 전송 시간이 증가한다는 것은 소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터 전송이 완료될 때까지 걸리는 시간이 증가함을 의미한다. 이는 노드가 라디오 주파수 영역 내에서 벗어날 시간에 대해 상대적으로 데이터 전송시간이 점차 증가함으로써 경로가 끊어질 확률이 증가하는 것이다.



<그림 7> 전송시간 증가에 따른 전송실패확률

4.4 전송경로 상 노드 수 변화에 따른 전송실패확률

전송 경로 상에 있는 노드 수 변화에 따른 전송실패확률 변화를 살펴보기 위해 다음과 같은 가정으로 실험하였다.

- 주파수 영역 반경(R): 100m

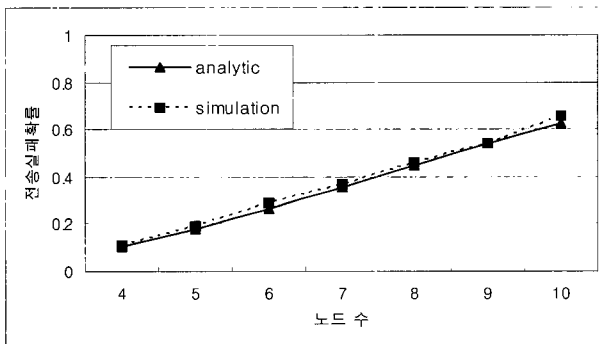
- 노드들의 이동 속도는 동일:

$$E[V_{i,i+1}] = 2\text{미터/분} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

- 노드 간 데이터 전송 속도:

$$E[T_{i,i+1(trans)}] = 60\text{초} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

<그림 8>은 전송 경로 상에 있는 노드의 수가 증가함에 따라 전송실패확률이 증가하는 것을 보여주고 있다. 노드의 수가 증가한다는 것은 데이터 전송시간의 증가와 중간 노드들의 이탈을 증가를 의미한다. 데이터 전송시간은 증가하고 노드들의 이탈할 경향이 커짐으로써 전송실패확률이 점차 증가하게 된다.



<그림 8>노드 수 변화에 따른 전송실패확률

5. 결론

본 연구에서는 MANET 환경에서 멀티캐스팅에 의한 이동 노드들의 이동성과 성능분석을 위한 전송실패확률 계산식을 설명하였고, 본 연구에서 제시한 방법에 대한 타당성 검증은 위해 모의실험과 비교 검토하였다. 실험을 통해서 노드들의 이동 속도가 크거나 데이터 전송시간이 큰 경우, 또한 소스 노드에서 목적지 노드까지 전송 경로 상에 노드의 수가 많을수록 데이터 전송실패확률이 높아진다는 것을 알 수 있었다. 그리고 라디오 주파수 영역의 크기는 전송실패확률에 대해 노드의 이동 속도와는 상대적인 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 각 노드의 체제시간과 노드 간 데이터 전송시간에 대한 분포를 지수분포로 가정한 것이 현실 모형과 차이가 있을 수 있겠으나, MANET 환경의 특징인 이동성을 고려하여 멀티 홉으로 구성된 다중 경로 상에

서 노드의 이동성과 전송실패확률과 같은 시스템 성능 척도를 구하기 위해 수리적인 방법으로 접근하였다는데 의의가 있다.

향후 연구과제로는 체제시간 및 전송시간에 대하여 지수분포가 아닌 현실 모형에 근사한 분포를 통해 접근하는 수리적인 방법 개발과 더불어 MAC을 고려한 처리량, 지연시간 등 다양한 성능척도에 대해 연구할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research", *Wireless Communication and Mobile Computing(WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking : Research Trends and Applications*, 2(5), pp.483-502, 2002.
- [2] I. Chlamtac, M. Conti, and J. J-N. Liu, "Mobile ad hoc networking : imperatives and challenges", *Ad Hoc Networks 1*, pp.13-64, 2003.
- [3] Y. Fang, "Hyper-Erlang Distribution and its Applications in Wireless and Mobile Networks", *Wireless Networks (WINET)*, 7(3), pp.211-219, May. 2001.
- [4] A. Jardosh, E.B. Royer, K. Almeroth, and S. Suri, "Towards Realistic Mobility Models for Mobile Ad hoc Networks", *Mobicom 2003*, San Deigo, pp.14-19, Sep. 2003.
- [5] X. Li, D.P. Agrawal, and Qing-An Zeng, "Impact of Mobility on the Performance of Mobile Ad Hoc Networks", *IEEE Wireless Telecommunications Symposium 2004*, pp.154-160, May. 2004.
- [6] A.B. McDonald and T. Znati, "A Path Availability Model for Wireless Ad Hoc Networks", *WCNC99*, Vol.1, pp.35-40, 1999.
- [7] J. Tian, J. Hhner, and C. Becker, "Graph-Based Mobility Model for Mobile Ad Hoc Network Simulation", *Proceedings of the 35th Annual Simulation Symposium, in cooperation with the IEEE Computer Society and ACM*, San Diego, California, Apr. 2002.
- [8] H. Xie, S. Kuek, "Priority handoff analysis", *Vehicular Technology Conference, 1993 IEEE 43rd*, pp.855-858, May. 1993.
- [9] M. Xonoozi and P. Dassanayake, "User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns", *IEEE Jeournal on Selected Areas in Communications*, 15(7), pp.1239- 1252, Sep. 1997.
- [10] Q-A. Zeng and D.P. Agrawal, "Modeling and Efficient Handing of Handoffs in Integrated Wireless Mobile Networks", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, 51(6), pp.1469-1478, 2002.