

논문 2010-5-29

이동성이 Ad Hoc 망의 성능에 미치는 영향

Impact of Mobility on the Ad Hoc Network Performance

안홍영*

Hong-Young Ahn

요약 이동 Ad Hoc(MANET) 망은 노드들의 이동성으로 말미암아 망 구조가 수시로 바뀌는 동적인 특성을 가지고 있으며 이는 망의 성능 평가나 프로토콜 설계에 많은 도전적인 문제를 야기한다. 우리는 이동성이 망의 성능에 미치는 성능 측도로서 총 경로 붕괴시간, $\sum_i T_i$ 가 개별 연결뿐만 아니라 시스템 전체의 성능을 평가하는 측도로 사용될 수 있음을 보았다. 본 논문에서는 총 경로 붕괴시간 측도를 세 가지 다른 이동성 모델(Random Waypoint, Manhattan, Blocked Manhattan)에 적용하여 각 이동성 모델의 성능을 평가하고, 패킷 전달율, 종단 간 지연 등이 이동성 모델에 따라 왜 달라지는지를 규명하였다. 또한 AODV 라우팅 프로토콜 하에서 경로 붕괴에도 불구하고 AODV Buffer가 패킷전달율을 어떻게 높이고 종단 간 지연을 얼마만큼 증가 시키는지를 해석적으로 분석하였다.

Abstract Mobile Ad Hoc Network(MANET) has highly dynamic topology, hence presents a great challenge on the network performance evaluation and network protocol design. We proposed total path break up time, $\sum_i T_i$, as a metric to measure the performance of the total system as well as an individual connection. In this paper, we evaluate and analyze the performance of three mobility models(Random Waypoint, Manhattan, Blocked Manhattan) by applying the total path break up metric, investigate why network parameters such as packet delivery ratio, end-to-end delay, etc. vary by mobility models. We also present analysis result how much AODV Buffer improve packet delivery ratio and increase the end-to-end delay in spite of the path break up.

Key Words : 이동성, Ad Hoc 망, 성능, 경로 붕괴 시간, AODV

1. 서론

이동 Ad Hoc망(MANET)은 라우터와 종단 기능을 동시에 수행하는 모바일 노드들이 무선링크로 연결된 자율시스템이다. 이러한 망은 통신기반 설비의 설치가 필요 없는 재빠르고 손쉬운 망 구성, 중앙통제가 필요 없는 자율적 구성, 전력 및 전송 조건 변화에 대한 적응성, 부하의 적절한 분배 등의 장점으로 말미암아 미래의 통신망으로 많은 주목을 받고 있다. MANET의 응용분야로

는 긴급 재난지역에서의 통신망, 긴급회의, 협력적 분산 컴퓨팅, 무선 메쉬 망, 무선 센서 망, 군사용 등 매우 다양하다.

이동 Ad Hoc(MANET)은 노드들의 이동성으로 말미암아 망 구조가 수시로 바뀌는 동적인 특성을 가지고 있으며 이는 망의 성능 평가나 프로토콜 설계에 많은 도전적인 문제를 야기한다.

전과 반경이 제한되어 있고, 두 노드 사이의 통신을 위해 멀티 홉이 필요하므로, 라우팅 프로토콜이 망의 성능이나 확장성에 결정적 역할을 한다. 그러나 또한 라우팅 프로토콜의 성능은 이동성 모델에 따라 변화한다^[5]. 이동

*정회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자 2010.9.26 수정일자 2010.10.11
게재확정일자 2010.10.15

성에 대한 연구와 이에 따른 연결성에 대한 연구가 지난 10여 년간 활발하게 진행되어 왔다^[3,4,5,6].

Gupta^[7]는 노드수가 증가함에 따라 연결확률이 1이 되기 위한 송신파워를 결정하는 문제를 다루었다. Miller^[8]는 2홉 이내로 연결될 확률을 계산하였다. Bettstetter^[9], Zhang^[10] 등은 노드 밀도가 주어졌을 때 접근적 k -연결성을 유지하기 위한 임계 파워를 식으로 유도하였다.

우리는 이동성이 망의 성능에 미치는 성능 측도로써 총 경로 붕괴시간, $\sum_i T_i$ 가 개별 연결 뿐만 아니라 시스템 전체의 성능을 평가하는 측도로 사용될 수 있음을 보였다^[11].

본 논문에서는 경로 총 붕괴시간 측도를 세 가지 다른 이동성 모델(Random Waypoint, Manhattan, Blocked Manhattan)에 적용하여 각 이동성 모델의 성능을 평가하고, 패킷 전달율, 중단 간 지연 등이 이동성 모델에 따라 왜 달라지는지를 규명하였다. 또한 AODV 라우팅 프로토콜 하에서 AODV Buffer가 패킷전달율을 어떻게 높이고 중단 간 지연을 얼마만큼 증가 시키는지를 해석적으로 분석하였다. AODV Buffer가 있을 경우 경로 연결율은 패킷전달율, 중단 간 지연에 일관성 있게 영향을 미침을 밝힌다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동성 모델에 대하여, 3장에서는 총 경로 붕괴시간에 대해 설명한다. 4장에서는 AODV 라우팅 프로토콜에서의 패킷수신을 및 중단 간 지연 분석을 한다. 5장에서는 제안한 방법의 실험 및 결과를 설명하고, 6장에서는 결론을 맺는다.

II. 이동성 모델

1. Mobility Model

이동성 모델은 라우팅 프로토콜 설계 분 아니라 네트워크 플래닝, 위치갱신, 페이징, 전파자원관리 등의 전략을 세우는데도 필요하다. 이동성 모델은 개체와 그룹 Mobility Model로 나눌 수 있다. 개체 이동성은 개별노드가 다른 노드들과는 독립적으로 움직이는 패턴을 모델하며 그룹 이동성은 작전 중인 군인들의 이동과 같이 그룹에 속한 개별노드들의 움직임이 그룹 외의 다른 노드들의 움직임에 따라 상호 영향을 받게 된다.

가. Random Walk

각 노드는 $(0, 2\pi)$ 에서 새 방향 $\Theta(t)$, $(0, V_{\max})$ 구간에서 새 속도 $v(t)$ 를 균일분포로 랜덤하게 선택한다.

t 시간동안 속도($v(t) \cos\Theta(t)$, $v(t)\sin\Theta(t)$)로 움직이며 시뮬레이션 지역 경계에 도달하면 $\Theta(t)$ 나 $(\pi-\Theta(t))$ 의 각도로 다시 시뮬레이션 지역으로 되돌아온다.

나. Random Waypoint (RWP)

RWP에서 각 노드는 다음 목적지를 임의로 선택하고 (V_{\min} , V_{\max})사이의 균일분포 속도 중에서 랜덤하게 선택하여 그 속도로 다음 목적지로 이동한다. 목적지에 도착 한 후 T_{pause} 동안 정지한다. 정지시간이 끝나면 다음 목적지와 속도를 다시 선택하고 이것을 시뮬레이션이 끝날때까지 반복한다.

V_{\max} 와 T_{pause} 가 이동노드의 이동 특성을 결정짓는 두 주요인자다. V_{\max} 가 작고 T_{pause} 가 크면 망 topology는 안정적이고, V_{\max} 가 크고 T_{pause} 가 작다면 변화가 큰 망 topology를 가질 것이다.

네트워크 시뮬레이션에서 RWP를 가장 많이 사용하는 이유는 구현 과 분석이 쉽기 때문이다. 그러나 RWP는 이동의 시간의존성 (두 time slot 동안의 속도는 상호 의존적이다), 공간의존성 (두 노드들의 움직임 패턴은 주변 노드들과 상관관계가 있을 수 있다)을 내포하지 않는다.

특히 지리적 제약에 의해 움직임이 제한되는 것을 잘 표현하지 못한다. 실제 세계에서 보행자들과 차량들은 도로를 따라 움직이며, 강, 숲, 큰 건물 등을 우회해서 다닐 수밖에 없다.

다. Random Direction Mobility (RDM)

RWP는 초기에 공간적으로 균일하게 분포를 보이다가 시뮬레이션이 진행됨에 따라 가장자리에 부딪치면서 다시 안으로 들어오게 되는데 정상 상태에 도달한 후의 노드분포는 중앙지역에 밀집되고 가장자리에는 거의 비어있게 된다.

이러한 단점을 보완하기 위해 RDM은 운동방향을 랜덤하게 선택한 후 가장자리에 도달 할 때까지 움직인다. 가장자리에서 T_{pause} 동안 정지했다가 운동방향을 다시 랜덤하게 선택하여 가장자리에 도달 할 때까지 움직이며 이와 같은 과정이 시뮬레이션이 진행되는 동안 반복된다.

라. Freeway Mobility Model (FRW)

이 모델은 고속도로에서의 차량 움직임을 모델 한다. 이 모델에서 고속도로는 양 방향으로 다수개의 차선이 있다. 따라서 이동노드는 고속도로의 차선을 따라서만 움직이며(지리적 제한), 따라서 속도는 시간의존성을 가진다. 또한 주변차량과 안전거리를 유지해야하고, 앞차와의 속도를 맞추어야 하므로 공간의존성 또한 가진다.

마. Manhattan Mobility Model (MAN)

MAN은 지도에 정의된 거리에 따라 움직이는 이동노드를 모델 한다.

이 모델에서는 수직, 수평 방향의 도로들이 있으며 각 도로에는 양 방향으로 2차선을 가지고 있다. 이동노드들은 초기에 도로의 교차점에 2차원 균일분포로 랜덤하게 배치되며 노드 ID를 할당받는다. 각 노드들은 다음 목적지 교차로를 또한 2차원 균일분포에서 선택하여 V_{min} 과 V_{max} 사이에서 랜덤하게 선택한 일정한 속도로 목적지로 이동한다. 이동은 반드시 도로를 따라서 최단거리로 이동해야만 하며 따라서 출발지와 목적지를 빗변으로 하는 이등변삼각형의 직각을 이루는 두 변을 따라 이동하는 형태가 된다.

목적지에 도착한 노드는 P_{min} 과 P_{max} 사이의 균일분포 랜덤 값을 택하여 그 시간동안 정지한다. 정지시간이 끝난 이동노드는 위와 같은 방법으로 다음 목적지를 택하고 이동하고 쉬고의 과정을 Simulation이 끝날 때까지 계속한다. 차량들은 FRW 모델에서처럼 속도에 대한 제약이 있을 수 있다.

바. Blocked Manhattan Mobility Model(BMAN)

Manhattan Mobility Model에서 강, 숲, 큰 건물 등의 움직임을 제한하는 지역을 표현하기 위해 본 논문에서 제안하는 모델이다. 시뮬레이션 지역의 일부분에는 노드들이 진입하지 못하는 장애물 지역을 설정한 모델이다. 그림 1은 BMAN에서 노드들이 진입할 수 없는 장애물 지역을 두 개의 사각형으로 나타내었다.

2. RWP, MAN, BMAN에 대한 정성적 고찰

본 논문에서는 RWP, MAN, BMAN, 3가지의 이동성 모델에 대하여 망의 성능을 평가하였다. 전파반경 r , 폭 w , 길이 l , 노드 수 n 이 주어졌을 때, 노드 밀도에 따른

이웃들의 숫자는^[3] $[\pi \times r^2 / \frac{w \times l}{n}]$ 로 주어진다. 노드 밀도가 클수록 이웃의 숫자가 증가해 경로가 형성될 확률이 높다. RWP와 MAN은 노드밀도가 같으나 RWP에서는 노드가 시뮬레이션 지역의 어느곳이든지 움직일 수 있는데 반해 MAN에서는 노드들의 움직임이 도로상으로 제한될 수밖에 없으므로 RWP에서 통신경로가 형성될 확률이 MAN보다 크다는 것을 추론할 수 있다. MAN과 BMAN의 경우 BMAN이 노드의 밀도가 높지만 움직임은 장애물 지역 때문에 더욱 제한되므로 MAN에서 통신경로가 형성될 확률이 크다는 것을 추론할 수 있다. 따라서 망의 성능은 RWP, MAN, BMAN 순으로 좋을 것임을 추론할 수 있고, 이를 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다.

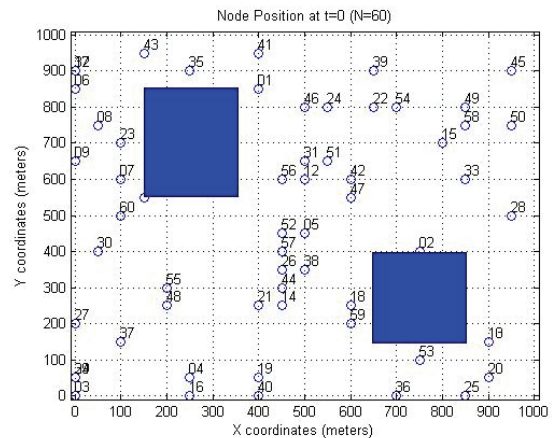


그림 4. BMAN에서 노드의 초기위치(N=60)
Fig. 1 Initial Node Position for BMAN(N=60)

III. 총 경로 붕괴 시간 Metric

AD Hoc 망에서 통신을 하고자 하는 두 노드는 직접 통신 가능한 거리(전파반경) 내에 있거나 다른 노드들의 중계에 의해 연결되어 질 수 있어야 한다.

모든 노드들이 이동성 모델에 따라 이동하므로 소스 S 와 목적지 D 사이의 경로 P_{SD} 는 시간에 따라 동적으로 변하는 링크들의 합으로 표현할 수 있으며 다음과 같이 주어진다.

$$P_{SD}(t) = \sum_i l_i^{SD}(t) \quad (1)$$

경로상의 모든 링크가 전파반경 내에 있어야만 통신이 가능하다. 따라서 경로 상에 전파 반경을 넘어선 링크의 존재유무가 통신 가능성과 패킷손실과 지연 등을 결정한다.

P_{SD} 상에 존재하는 링크들 중 최대거리 l_i 는 이진 Clustering 후 S와 D의 최초 공통 조상노드를 찾고 그 조상노드의 높이를 구하면 된다^[1].

링크 붕괴시간 T_i 는 모빌리티 모델로부터 노드들의 위치를 시간 샘플링한 후 이진 Clustering을 통해 최대 Cluster 거리를 시간의 함수로 구하고, 이로부터 전파반경을 넘어서는 시간구간을 찾아서 구한다.

총 경로 붕괴시간은 두 노드 사이의 최대 클러스터간 거리가 전파반경을 넘어서는 시간, 즉 링크 붕괴시간 T_i 들의 합 $\sum_i T_i$ 이다.

노드들 사이에 존재하는 최대 클러스터 거리(즉 링크 최대거리)를 그래프로 보여주는 것이 dendrogram이다. 그림 2는 그림 1의 60개의 이동 노드들(N=60) Blocked Manhattan (City Block) Mobility Model에 따라 배치한 $t = 0$ 에서의 이진 clustering 결과를 dendrogram(수지도)으로 나타낸 것이다. 여기서 주의 할 것은 leaf node 개수가 30개를 넘으면 하단이 너무 복잡해지므로 이진 트리의 하단 가지들을 합하여 새로운 leaf node를 만들고 node ID를 부여한다는 것이다. 그림 2의 leaf node ID는 이 subtree ID이다. MATLAB 함수 [H,T]=dendrogram(Z)는 벡터 T에 원 leaf node가 소속된 cluster ID를 보여준다.

IV. AODV에서 패킷수신을 및 종단 간 지연 분석

AODV^[2]는 DSDV와 같이 목적지 순차 번호를 사용하여 라우팅 루프를 방지하며, DSR과 유사한 경로 탐색 절차를 사용하는 두 프로토콜의 장점을 결합한 프로토콜이다. AODV에서는 경로가 한번 설정되면 경로상의 노드들은 경로를 경로 테이블에 활성경로로 존재하는 동안뿐 아니라 그 이후에도 일정시간 보관한다.

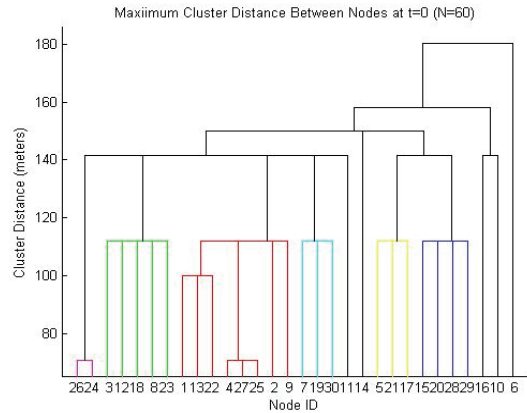


그림 5. BMAN 에 대한 Dendrogram
Fig 2. Dendrogram for BMAN

AODV 프로토콜은 목적지에 가장 먼저 도착한 RREQ 패킷이 거쳐 간 경로가 최종경로가 되는 선착순 방식이다. 거쳐 온 홉 수가 적은 경로가 발견되면 그 경로를 선호하게 된다. 노드의 이동성 때문에 Ad-Hoc망에서는 최단(최소 홉) 경로가 반드시 최적의 경로가 되지는 않는다. 오히려 최단 경로는 링크의 평균 길이가 길어져 링크 붕괴의 가능성이 더 커질 수도 있다.

경로붕괴가 일어나면 다음의 일들이 일어난다.

- ① 링크가 붕괴된 노드의 MAC층 802.11 프로토콜은 송신 패킷에 대해 Ack를 받을때까지 재전송(7번)을 시도하다가 AODV에게 link failure를 통보한다.
- ② AODV는 RERR 메시지를 작성하여 소스 노드에 게 보낸다(11.2 ms 소요).
- ③ 소스 노드는 RREQ를 flooding하여 새 경로를 찾는 것을 시도한다.
- ④ RREQ에 대해 Net_Traversal_Time(2.8 sec)동안 RREP가 도착하지 않으면 RREQ를 재발송하여(2 번까지) 새 경로 찾기를 재 시도한다.
- ⑤ 새 경로를 찾을때까지 상위층으로부터 도착하는 CBR 패킷들은 소스 노드의 AODV Buffer에 100 개까지 저장된다.
- ⑥ 두 번의 시도에서(5.6초 경과) 경로를 발견하지 못하면 소스 노드의 AODV Buffer에 있는 패킷들을 모두 버리고 상위층에게 Destination Unreachable 메시지를 보낸다.

분석을 단순화 하기위해 다음과 같은 가정을 한다.

- ① 모든 전파지연은 무시한다.(micro seconds 단위)
- ② Ack 전송, 전파지연은 무시한다.(수백 micro secs)

하나의 경로 붕괴 기간 T_i 에 대해, $T_i/5$ 의 ceiling operation를 $\overline{T_i/5}$ 라면 5초(100개 패킷 전송)의 $(\overline{T_i/5} - 1)$ 배 붕괴시간 시간 동안은 패킷손실이 발생하고 지연은 패킷이 도착하지 않았으므로 전체 통계에서 빠진다. 경로 붕괴 기간의 마지막 구간 $T_{br} = (T_i - 5 * (\overline{T_i/5} - 1))$ 시간동안 전송된 패킷은 AODV Buffer에 저장되고 경로가 복원되면 전송된다. T_i 가 5초보다 작더라도 위의 일반식이 적용됨을 유의하라.

$$T_{br} = (T_i - 5 * (\overline{T_i/5} - 1))$$

$$P_r = \text{패킷 전송율 (20 packets/sec)}$$

$$L_p = \text{패킷 길이 (400 bytes/packet)}$$

$$R_l = \text{링크 Bandwidth (2 Mbps)}$$

$$T_p = \text{패킷 전송시간 } (L_p * 8 / R_l)$$

라면 소스의 큐에는 $N_q = T_{br} * P_r$ 개의 패킷들이 대기하게 된다. 링크가 복원되어 큐의 앞쪽이 전송되는 동안 큐의 뒤쪽에도 새로운 CBR 패킷들이 도착하지만 이들의 지연은 무시한다.

하나의 경로 붕괴 기간 T_i 에 대해, 패킷 손실 개수와 총지연시간은 다음 식으로 주어진다.

$$\text{패킷 손실 개수} = 100 * (\overline{T_i/5} - 1) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{총지연시간} &= (T_{br} + T_p) + (T_{br} + 2T_p) + \dots \\ &\quad + (T_{br} + N_p T_p) \\ &= T_{br} N_p + T_p \sum_{k=1}^{N_p} k \\ &= \frac{N_p}{2} (2 T_{br} + T_p (1 + N_p)) \quad (3) \end{aligned}$$

V. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 방법을 MATLAB, Qualnet Network Simulator를 사용하여 모의 실험하였다.

Simulation을 위한 Qualnet 환경설정은 표 1과 같다.

표 1. Qualnet 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Qualnet Simulation Parameters

Simulation Area	1000m × 1000m
총 Simulation Time	300 second
Routing Protocol	AODV(default param.)
Tx Power	15dbm
Traffic	3CBR Connections
Transport	UDP

시뮬레이션이 통계적으로 의미가 있도록 노드수, 스피드 각각의 파라미터 변화에 100회씩의 시뮬레이션을 하여 평균을 구하였다.

CBR Traffic은 20packets/sec, 400byte/packet 으로 64Kbps의 음성통화를 나타낸다.

이동성으로 야기된 패킷 손실만을 고려하고 충돌 등으로 인한 패킷 손실을 최소화하기 위해 CBR Traffic은 0.02초 간격으로 떨어져서 발생하도록 하였다.

본 논문에서는 경로의 붕괴율과 경로의 연결율을 다음과 같이 정의한다.

$$\text{경로의 붕괴율} = \frac{\text{총 링크 붕괴시간}}{\text{총 시뮬레이션 시간}}$$

$$\text{경로의 연결율} = (1 - \text{경로의 붕괴율})$$

그림 3은 경로 붕괴율을 노드수, 속도, 이동성 모델의 함수로 보였다. 노드수가 주어졌을 때 노드의 속도가 증가함에 따라 링크의 평균 붕괴시간은 증가함을 알 수 있고 이는 노드의 역동성으로 인하여 링크의 잦은 붕괴와 붕괴시간의 증가를 의미한다. 또한 노드의 속도가 주어졌을 때 노드수가 증가함에 따라 평균 붕괴시간은 감소하는데 이는 노드 밀도가 높아짐에 따라 새로운 링크를 통한 경로 발견 확률이 높아짐을 의미한다. 또한 한 두 곳의 예외를 제외하면 Waypoint, Manhattan, Blocked Manhattan 순으로 경로의 붕괴시간이 적는데 이는 2장에서 추론한 결과와 같다.

그림 4은 동일한 이동성 패턴에서 노드의 속도에 따른 패킷 전달율을 보여준다. 위의 링크 붕괴 시간과 반비례하여 주어진 노드수에서 노드의 속도가 증가함에 따라 패킷 전달율이 떨어지고, 또한 주어진 속도에서 노드수가 증가함에 따라 패킷 전달율이 증가함을 알 수 있다. 패킷 전달율이 경로의 연결율 보다 조금은 큰데 이는 링크 붕괴가 일어나더라도 AODV는 출력링크 큐에 버퍼링

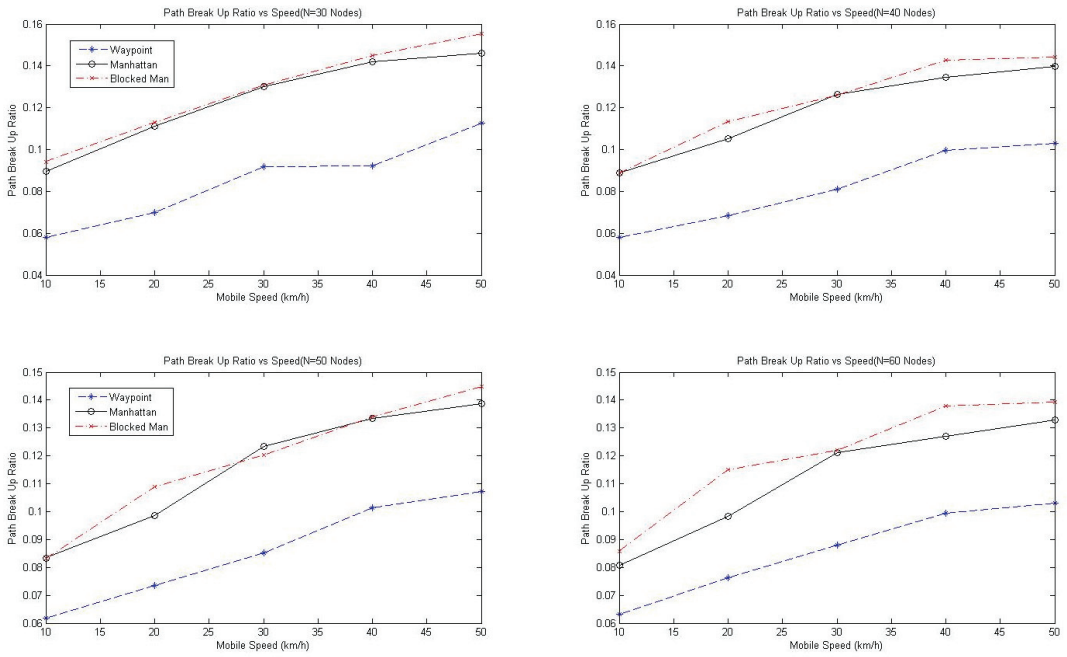


그림 3. 노드수, 속도, 이동성 모델에 따른 경로 붕괴율

Fig 3. Path Break Up Ratio According to Node Numbers, Mobile Speed, and Mobility Models

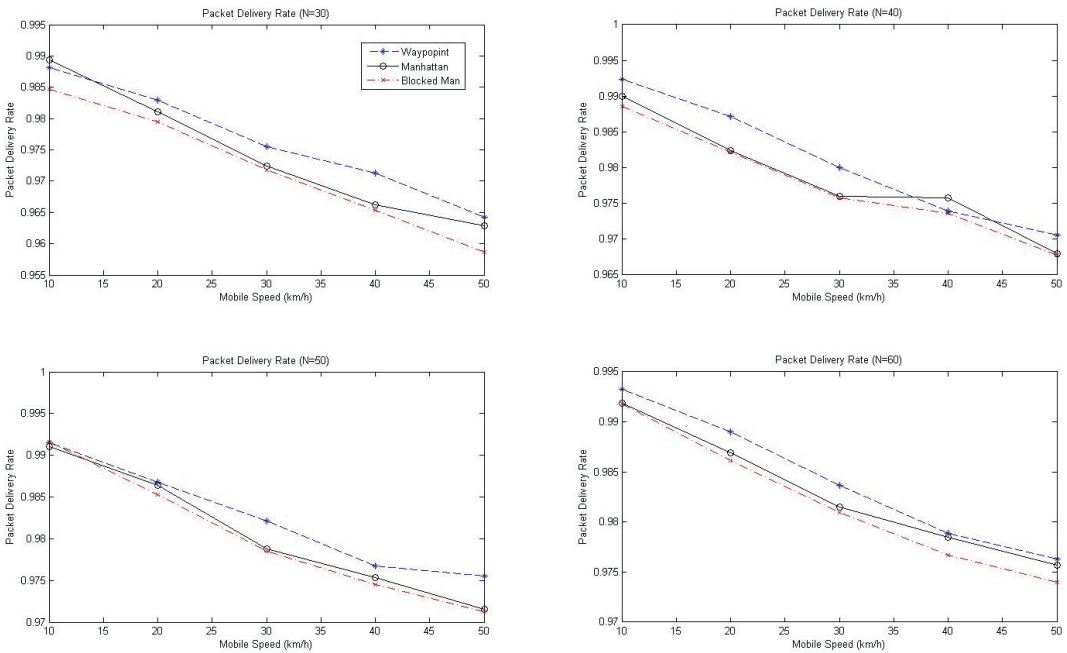


그림 4. 패킷 전달율

Fig. 4. Packet Delivery Rate

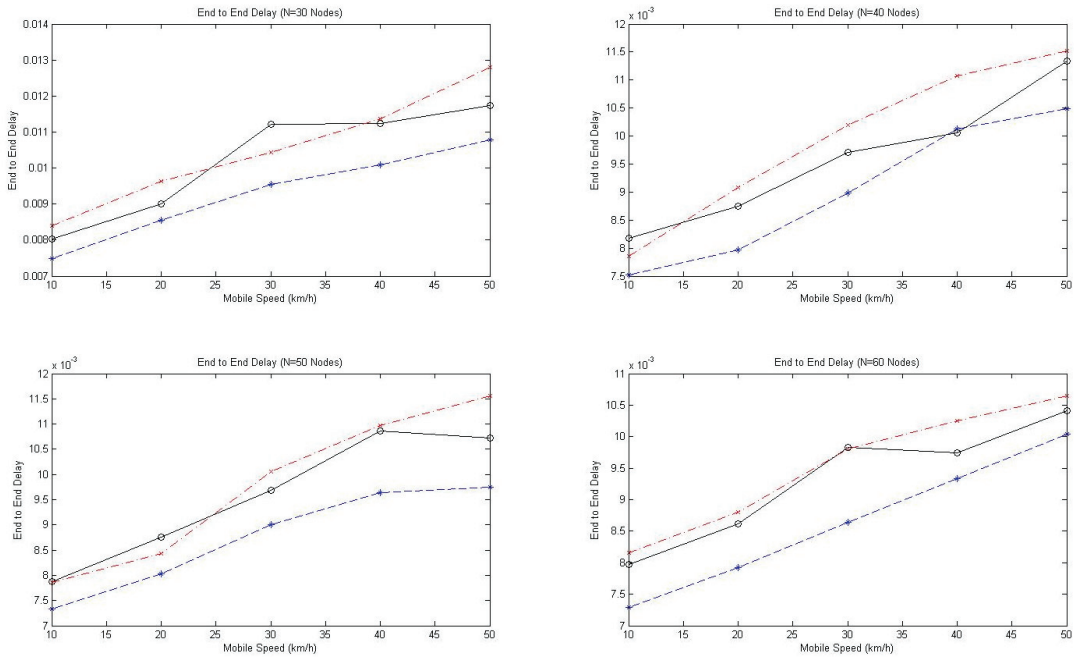


그림 5. 종단간 지연
Fig. 5 End-To-End Delay

을 하기 때문에 링크붕괴가 곧 바로 패킷 손실로 이어지는 않는다.

그림 5는 종단간의 지연을 보여준다. 종단간의 지연은 패킷 전달을 보다는 경로 붕괴율과 더 직접적인 연관성을 가진다. 주어진 노드수에 대해 속도의 증가는 링크의 붕괴 가능성을 높이고 이는 패킷들이 큐에 머무는 시간이 길어지므로 지연의 증가로 나타난다. 또한 주어진 속도에서 노드수의 증가는 평균지연의 감소로 이어진다.

경로 붕괴율, 패킷전달율, 종단간 지연에서 한 두 곳의 예외가 있으나 Waypoint, Manhattan, Blocked Manhattan 순으로 성능이 좋음이 일관되게 나타났다. 이는 2장에서 정성적으로 분석한 사실과 일치한다. 시뮬레이션 회수를 늘이면 더 나은 결과가 나올 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 경로 총 붕괴시간 측도를 세 가지 다른 이동성 모델(Random Waypoint, Manhattan, Blocked Manhattan)에 적용하여 각 이동성 모델의 성능을 평가

하고, 패킷 전달율, 종단간 지연 등이 이동성 모델에 따라 왜 달라지는지를 규명하였다. 또한 AODV 라우팅 프로토콜하에서 AODV Buffer가 패킷전달율을 어떻게 높이고 종단간 지연을 얼마만큼 증가 시키는지를 해석적으로 분석하였다. AODV Buffer가 있을 경우 경로 연결율은 패킷전달율, 종단간 지연에 일관성 있게 영향을 미침을 밝혔다.

참고 문헌

- [1] 안홍영, “이진 Clustering을 이용한 Ad Hoc망의 이동성 해석 측도”, 한국 인터넷 방송통신 학회 논문지 제출
- [2] C. E. Perkins, B. Royer and S. Das, “Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing”, RFC 3561, 2003.
- [3] S. Kurkowski, T. Camp and M. Colagrosso, “MANET Simulation Studies: The Incredibles”, SIGMobile Mobile Computing and

- Communications Review, Volume 9, Number 4, pp. 50-61, 2005.
- [4] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A Survey of mobility models for ad hoc network research," WCMC: Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking, Vol. 2, No. 5, pp. 483-502, 2002.
- [5] T.K. Madsen, F. Fitzek, and R. Prasad, "Impact of different mobility models on connectivity probability of a wireless ad hoc network," in Proceedings of International Workshop on Wireless Ad Hoc Networks. June 2004.
- [6] F. Bai, N. Sadagopan and A. Helmy, "Important, a framework to systematically analyze the impact of mobility on performance of routing protocol for ad hoc networks," in Proc. Of IEEE Information Communications Conference (INFOCOM 2003), San Francisco, Apr. 2003.
- [7] P. Gupta and P. R. Kumar, "Critical power for asymptotic connectivity", in *Proc. IEEE Conf. Decision Control*, Tampa, FL, Dec. 1998, pp. 1106-1110.
- [8] L. E. Miller, "Probability of a two-hop connection in a random mobile network," in *Proc. 35th Conf. Inf. Sci. Syst.*, Baltimore, MD, Mar. 2001.
- [9] C. Bettstetter, "On the minimum node degree and connectivity of a wireless multihop network," in *Proc. ACM Int. Symp. MobiHoc*, Lausanne, Switzerland, Jun. 2002, pp. 80-91.
- [10] H. Zhang and J. C. Hou, "On the critical total power for asymptotic k-connectivity in wireless networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, Miami, FL, Mar. 2005, pp. 466-476.

저자 소개

안 홍 영(정회원)



- 1975년: 서울대학교 전자공학과 (BS)
 - 1986년: University of Florida (MS), Department of Electrical and Computer Engineering
 - 1991년: University of Florida (Ph.D.), Department of Electrical and Computer Engineering
 - 1975년-1984년: 국방과학연구소(ADD) 선임연구원
 - 1984년-1991년: Research Assistant, University of Florida, USA
 - 1991년-현재: 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- <관심분야> Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Wireless Internet, VoIP, 4세대 이동통신, MIMO, OFDM