

# 모바일 애드혹 네트워크에서의 트리 기반 멀티캐스트 메쉬

이상준, 모상만  
조선대학교 인터넷소프트웨어공학과  
e-mail: smmoh@chosun.ac.kr

## Tree-Based Multicast Meshes on Mobile Ad Hoc Networks

Sang Jun Lee and Sangman Moh  
Dept. of Internet Software Engineering, Chosun University

### 요약

모바일 애드혹 네트워크에서의 멀티캐스트는 멀티캐스트 그룹 내의 다중 노드들의 상호 협력을 필요로 하는 많은 응용분야에 기본적으로 사용되기 때문에 광범위하게 연구되어 오고 있다. 본 논문에서는  $k$ -홉 중복 경로를 갖는 트리 기반 멀티캐스트 메쉬를 제안한다. 여기서,  $k$ 는 노드 이동성을 포함한 네트워크의 동적 특성에 따라 결정될 수 있다. 네트워크가 불안정하고 노드들이 활발히 움직이면, 멀티캐스트 패킷의 보다 확실한 전달을 위하여  $k$  값을 크게 설정한다. 성능 평가 결과에 의하면, 제안한 트리 기반 멀티캐스트 메쉬의 패킷 손실율은 낮은 노드 속도 및 높은 노드 속도 모두에서 멀티캐스트 트리의 패킷 손실율보다 낮다. 주어진 시뮬레이션 환경에서 수용 가능한  $k$  값은 2이며, 이는 상당히 낮은 패킷 손실율을 달성하기에 충분한 값이다.

### 1. 서론

모바일 애드혹 네트워크(MANET)[1-3]는 고정된 기반 구조나 중앙집중 제어가 필요 없는 이동 노드들의 집합이다. 즉, 액세스 포인트(AP)나 기지국과 같은 통신 기반구조 없이 이동 노드들로 구성된 임시적인 네트워크이다. 이와 같은 네트워크에서 각 노드는 다중 홉 라우팅을 위하여 라우터 역할까지 수행한다. MANET은 군사 작전, 비상 재난구조, 그룹의 상호 협력을 필요로 하는 다양한 상업적 응용에 효과적으로 적용될 수 있다.

모바일 애드혹 네트워크에서의 멀티캐스트[4-9]는 멀티캐스트 그룹 내의 다중 노드들의 상호 협력을 필요로 하는 많은 응용분야에 기본적으로 사용되기 때문에 광범위하게 연구되어 오고 있다. 하나의 멀티캐스트 패킷은 트리나 메쉬와 같은 네트워크 구조에서 복수의 수신처에 전달된다. 하지만 노드의 이동성으로 인해 네트워크 구조는 손상되기 쉽고, 더욱이 어떤 멤버노드는 멀티캐스트 패킷을 받지 못할 수도 있다. 또한, 멀티캐스트 트리 구조보다는 멀티캐스트 메쉬 구조가 보다 더 강건한 특성을 갖는다[4]. 많은 중복 통신 경로가 메쉬 상의 이동 노드 사이에 존재하기 때문이다. 반면에, 멀

티캐스트 트리는 중복 통신 경로가 없지만 낮은 전력 소비 메커니즘을 가지고 있으므로 훨씬 좋은 에너지 효율성을 갖는다. 여기서, 저전력소비 메커니즘은 IEEE 802.11 무선랜 표준[10]에 정의된 것처럼 이동 노드가 통신을 하지 않을 때 sleep-mode로 전환하는 것이다[11].

본 논문에서는  $k$ -홉 중복 통신 경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬를 새롭게 제안한다. 여기서,  $k$ 는 노드 이동성을 포함한 네트워크의 동적 특성에 따라 결정된다. 보다 큰  $k$ 는 보다 긴 경로의 길이 뿐만 아니라 보다 많은 중복 경로의 수를 의미한다. 네트워크가 불안정하거나 노드가 활발히 움직이면, 보다 큰  $k$ 가 멀티캐스트 패킷의 확실한 전달을 제공할 수 있다. 성능평가 결과에 따르면, 낮은 노드 속도( $0 \sim 2$  m/sec)에서, 멀티캐스트 트리의 패킷 손실율은  $2 \sim 4.3\%$ 인 반면 트리 기반 멀티캐스트 메쉬에서는  $1\%$  미만이다. 한편, 높은 노드 속도( $0 \sim 20$  m/sec)에서, 멀티캐스트 트리의 패킷 손실율이  $13.5 \sim 18.1\%$ 인 반면 트리 기반 멀티캐스트 메쉬의 패킷 손실율은  $3\%$  미만이다. 본 시뮬레이션에서 적절히 낮은 패킷 손실율에 충분히 도달하기 위해 수용할 수 있는  $k$  값은 2로 측정되었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제안한  $k$ -홉 중복 경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬가 다음 절에서 기술된다. 제 3 절에서는 제안한 프로토콜의 효율성을 보여주는 시뮬레이션 환경 및 결과에 대해서 논한다. 마지막 4 절에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

**2.  $k$ -홉 중복 경로를 갖는 멀티캐스트 메쉬**

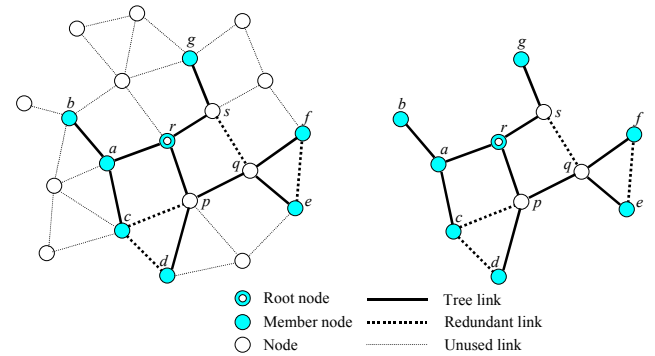
멀티캐스트 트리는 주기적인 가입(join) 메시지에 기반한 간단한 트리 구성 방법을 사용하여 구성된다. 모든 노드는 주기적으로 (예를 들어 3 초마다) 멤버 노드들에 의해 미리 정해진 루트 노드에 가입 메시지를 주기적으로 보낸다. 멀티캐스트 트리는 가입 메시지가 순회하는 경로를 따라 구성된다. 루트 노드에서 각각의 수신 노드로는 단 하나의 경로가 있을 뿐이다. 하나의 멀티캐스트 그룹에 대하여, 공유 트리가 구성되고 반복적으로 사용될 수 있으며, 송신 노드는 루트 노드에게 멀티캐스트 메시지를 포워딩한다. 한편, 모든 송신 노드가 필요에 따라 per-source 트리라고 불리는 자신만의 트리를 구성하여 사용할 수 있다. 본 논문에서는 요구형(on-demand) 멀티캐스트 메쉬를 구축하기 위하여 per-source 트리를 기본 구조로 사용한다.

$n$  개의 노드를 가진 멀티캐스트 트리는 정확히  $n - 1$  개의 링크를 가진다. 만약 하나 이상의 링크와 0 개 이상의 노드가 멀티캐스트 트리에 추가되면 멀티캐스트 트리에서 파생된 그래프에는 하나 이상의 사이클이 형성된다. 이 그래프가 중복 경로를 가진 멀티캐스트 메쉬이고, 본 논문에서 이것을 트리 기반 멀티캐스트 메쉬라고 부르기로 한다. 하나 이상의 경로와 0 개 이상의 노드를 멀티캐스트 트리에 추가함으로써 파생된 그래프에서의  $k$ -홉 중복 경로란 길이가  $k$  인 경로이다. 여기서, 양 종단의 두 노드는 트리 노드이고 다른  $k-1$  개의 노드는 트리 노드이거나 비트리 노드이다. 이때,  $k$  는 중복경로상의 홉 수(링크 수)를 의미한다.  $k$ -홉 중복 경로를 갖는 멀티캐스트 메쉬는 MANET 상의 멀티캐스트 트리에 1-홉, 2-홉, ...,  $k$ -홉의 중복 경로를 추가함으로써 파생된 그래프이다.

트리 기반 멀티캐스트 메쉬 상에 두 개의 노드가 있다면, 두 노드사이에는  $k$ -홉 중복 경로가 존재할 수 있다. 여기서,  $k$  는 중복 경로 상의 홉 수(경로 수)를 의미한다.  $k = 1$  이면, 오로지 1-홉 중복 경로가 존재하며 멀티캐스트 메쉬 상의 중복 노드는 없다.  $k = 2$  이면, 1 또는 2-홉의 중복 경로가 0 개 이상의 중복 노드와 함께 존재하게 된다. 만약  $k$  값이 크게 되면, 더 많은 중복 경로를 갖는 멀티캐스트 메쉬를 얻을 수 있다.  $k$  값이 무한대이면, 네트워크 상의 모든 노드가 멀티캐스트 메쉬 안에서 네트워크 단위의 플러딩을 유발하게 된다. 그러므로 트리 기반 멀티캐스트 메쉬에서는 루트 노드에서 수신 노드까지 복수의 경로가 존재할 수 있다. 정의에 의하면, 멀티캐스트 트리는  $k = 0$  인 트리 기반 멀티캐스트 메쉬의 특별한 경우로 간주될 수 있다.

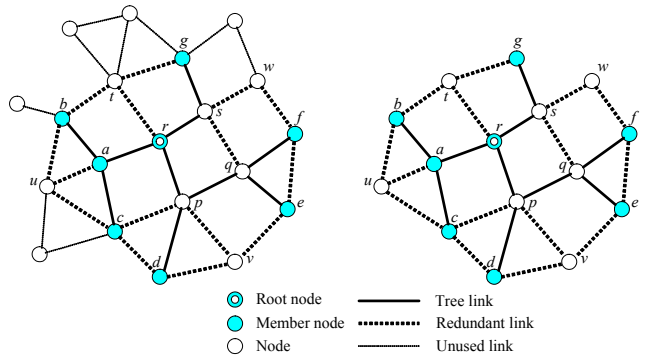
(그림 1)은 1-홉 중복경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬를 보여주고 있다. 그림 상에는  $(s, q)$ ,  $(p, c)$ ,  $(c, d)$ ,  $(e, f)$  이렇게 4 개의 1-홉 중복 경로가 있다. 이 4 개의 경로는 트리의 링크가 손상된 경우 효율적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 링크  $(a, c)$  가 손상되면, 노드  $c$  는 중복경로  $(p, c)$ 를 통하여 노드  $p$

로부터 멀티캐스트 메시지를 받는다. 링크 손상은 주로 노드 이동성에 기인하여 발생한다.



(그림 1) 1-홉 중복경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬

(그림 2)는 2-홉 중복 경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬를 보여주고 있다. 이 메쉬에는 4 개의 1-홉 중복 경로  $(s, q)$ ,  $(p, c)$ ,  $(c, d)$ ,  $(e, f)$  에 추가하여 10 개의 2-홉 중복 경로인  $(s, w, f)$ ,  $(r, t, b)$ ,  $(r, t, g)$ ,  $(b, t, g)$ ,  $(a, u, b)$ ,  $(a, u, c)$ ,  $(b, u, c)$ ,  $(p, v, d)$ ,  $(p, v, e)$ ,  $(d, v, e)$  링크가 있다. 이 링크들은 루트 노드에서 수신 노드까지 더 많은 중복 경로를 제공하여 보다 더 확실하고 안정적인 패킷 전달을 보장한다. 또한, 중간의 트리 노드를 포함하는 경로 역시 중복 경로이다. 예를 들어, 경로  $(p, c, d)$ 는 링크  $(p, d)$ 가 깨진 경우에 효과적으로 사용할 수 있는 2-홉 중복 경로인 것이다.



(그림 2) 2-홉 중복경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬

알고리즘 1 은 분산 방식으로 모든 노드에서 실행되는 분산 알고리즘인 메쉬 형성 절차를 설명한 것이다. 메쉬는  $k$ -홉 중복 경로를 찾음으로써 구성된다. 단계 2 에서  $k$ -홉 브로드캐스트는 AODV 프로토콜의 expanding ring search 방법[12]과 유사하다. 단계 3 에서 만약 복수의  $k$ -홉 브로드캐스트가 짧은 시간 안에 성공적으로 도달하면 일단 버퍼에 큐잉되고 하나씩 차례대로 처리된다. 단계 3.5 에서 로컬 노드가 자기 자신을 포워딩 노드로 설정할지라도 단계 3 의 과정을 반복한다. 왜냐하면, 만약 순회한 메시지의 홉 수(홉 카운트)가  $k$  보다 작으면 로컬 노드는 단계 3.3 에서 설명된 것처럼 반드시 홉 카운트를 1 증가시켜 받은 메시지를 다시 브로드캐스트하기 때문이다. 이는 가능한 한 많은  $k$ -홉

중복 경로를 찾기 위함이다.

### 알고리즘 1: Construct\_Mesh( $T(V,E), I, n$ )

1.  $T(V,E)$ 를 정점 집합  $V(T)$ 와 간선 집합  $V(E)$ 로 이루어진 멀티캐스트 트리라고 한다. 1은 로컬 노드이고  $n$ 은 멀티캐스트 그룹에서의 멤버 노드의 수이다.
2. 만약  $I \in V(T)$  이면,  $k$ -홉 브로드캐스트 메시지( $k$ 의 TTL을 가진 브로드캐스트 메시지)를 송신한다.
3. 만약  $I \notin V(T)$  이고 타임아웃 기간이 끝나지 않았으면,  $k$ -홉 브로드캐스트 메시지를 기다리다가 메시지가 도착하면 다음을 수행한다. 도착하지 않으면 종료한다.
  - 3.1  $S$ 를 이전에 받았던  $k$ -홉 브로드캐스트 메시지들의 홉 카운트의 집합이라 하고  $c$ 를 메시지가 순회한 홉 수(홉 카운트)라고 한다.
  - 3.2 만약  $c \geq k$  이면 단계 3으로 간다.
  - 3.3  $c$ 를 집합  $S$ 에 추가시키고( $S \leftarrow S \cup \{c\}$ ) 홉 카운트를 1 증가시켜 받은 메시지를 다시 브로드캐스트한다.
  - 3.4 만약  $I$ 이 포워딩 노드이면 단계 3으로 간다.
  - 3.5 집합  $S$ 의 모든 원소  $s_i$ 에 대하여( $i = 1, 2, \dots, |S|$ ) 만약  $s_i + c \leq k$  라면  $I$ 을 포워딩 노드로 설정한다.
  - 3.6 단계 3으로 간다.

## 3. 성능 평가

### 3.1 시뮬레이션 환경

본 성능 연구는 멀티캐스트 트리와 1-홉, 2-홉, 3-홉 중복 경로를 갖는 세 가지의 트리 기반 멀티캐스트 메쉬를 패킷 손실율(packet loss ratio)과 라우팅 오버헤드(routing overhead)의 측면에서 각각 시뮬레이션하고 비교하였다. 라우팅 오버헤드를 측정하기 위해서 각 홉 단위의 패킷 전송을 하나의 전송으로 계산하였다.

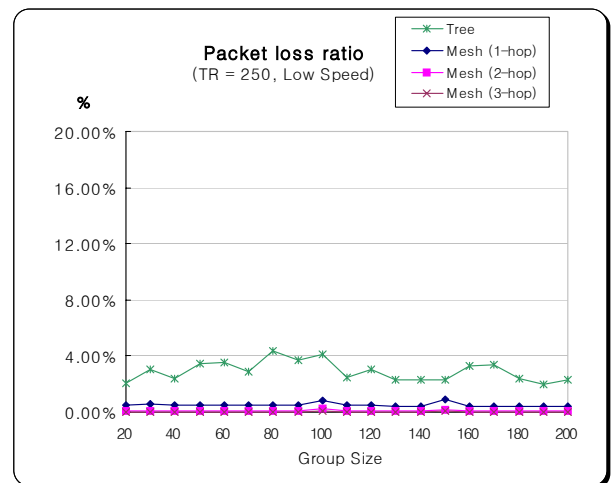
본 성능 평가는  $1200m \times 1200m$ 의 정방형 영역 상에서 15분을 시뮬레이션 시간으로 하여 움직이는 이동 노드를 대상으로 하였다. 무선 전파 영역은  $250m$ 로 가정하고 자유 공간에서 전파 채널은  $2Mbps$ 의 데이터 전송률을 가정하였다. 동일한 전송 전력과 함께 전방향(무방향) 안테나와 대칭형 무선 링크를 가정한다. 그것은 모든 노드가 네트워크 상에서 동일한 능력을 갖는다는 것을 의미한다. 모든 프로토콜에서 3초 간격으로 주기적인 가입 메시지가 노드에서 전송된다. 본 시뮬레이션에서 CBR(constant bit rate) 소스는 이동 노드 중 임의적으로 복수의 목적지를 선택한다. CBR 소스는 시뮬레이션 시간 동안  $100msec$ 마다 512바이트의 멀티캐스트 패킷을 보낸다. 멀티캐스트 패킷은 하나의 데이터 패킷으로 구성된다고 가정한다.

이동 노드는 random waypoint model[4, 5, 13]에 따라 임의적으로 움직인다고 가정한다. 두 가지 파라미터인 최대 노드 속도와 일시 정지 시간이 이동 노드의 움직이는 패턴을 결정짓는다. 각각의 노드는 임의적으로 선택된 위치 상에서 임의로 선택된 목표 지점으로 이동을 시작한다. 목표 지점 또한 시뮬레이션한 영역 상에서 임의로 선택된 지점이다. 노드의 이동 속도 또한 임의적으로 0 ~ 최대속도(2 또는  $20m/sec$ ) 사이의 값으

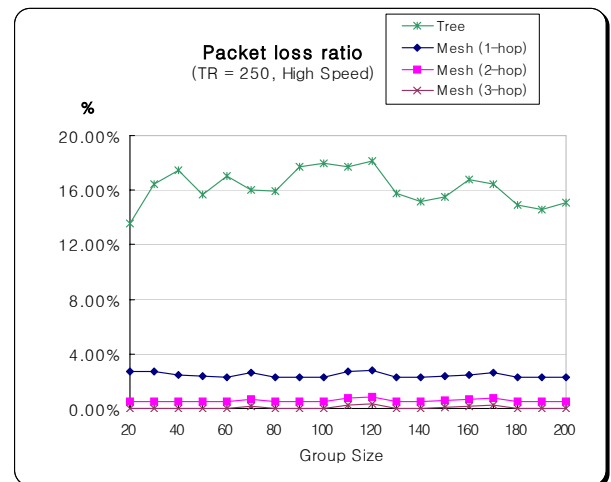
로 선택된다. 노드가 목표 지점으로 도달하면 일시 정지 시간(본 시뮬레이션에서는 30초) 동안 머무르다가 상기 과정을 반복한다.

### 3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

(림 3)은 멀티캐스트 트리와 1-홉, 2-홉, 3-홉의 중복 경로를 갖는 세가지 트리 기반 멀티캐스트 메쉬에서 그룹 크기의 변화에 따른 패킷 손실율을 각각 보여주고 있다. 낮은 노드 속도( $0 \sim 2m/sec$ )에서, 멀티캐스트 트리의 패킷 손실율은  $2 \sim 4.3\%$ 인 반면 트리 기반 멀티캐스트 메쉬에서는  $1\%$  미만이다. 높은 노드 속도( $0 \sim 20m/sec$ )에서, 멀티캐스트 트리의 패킷 손실율이  $13.5 \sim 18.1\%$ 인 반면 트리 기반 멀티캐스트 메쉬의 패킷 손실율은  $3\%$  미만이다. 낮은 노드 속도와 높은 노드 속도 모두에서 모든 프로토콜이 그룹 크기에 대해 균일한 패킷 손실율을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이  $k$ -홉의 중복 경로를 가진 멀티캐스트 메쉬의 패킷 손실율은 보다 큰  $k$  값으로 개선된다. 하지만  $k$  값이 커질수록 적은 개선을 보여준다. 본 시뮬레이션에서 적절히 낮은 패킷 손실율에 충분히 도달하기 위해 수용할 수 있는  $k$  값은 2로 측정되었다.



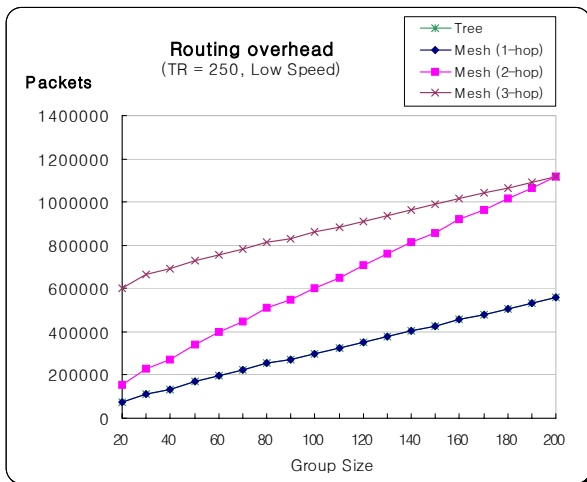
(a) 낮은 노드 속도( $0 \sim 2m/sec$ )



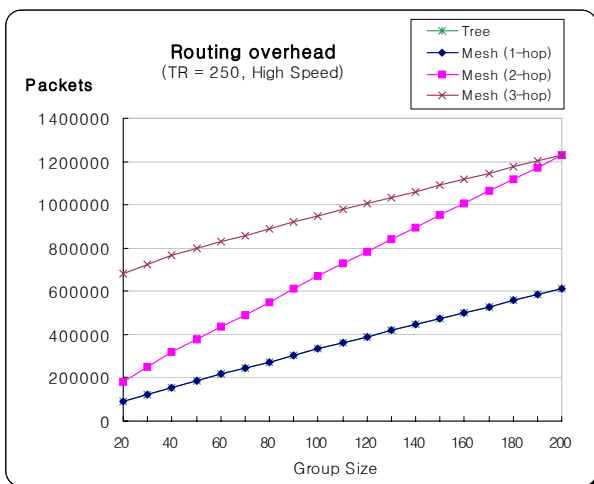
(b) 높은 노드 속도( $0 \sim 20m/sec$ )

(그림 3) 패킷 손실율

(그림 4)는 멀티캐스트 트리와 1-홉, 2-홉, 3-홉의 중복경로를 갖는 세가지 트리 기반 멀티캐스트 메쉬에서 그룹 크기의 변화에 따른 라우팅 오버헤드를 각각 보여주고 있다. 모든 경우에서, 라우팅 오버헤드는 그룹 크기에 대해 선형적으로 증가한다. 멀티캐스트 트리와 1-홉 중복 경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬에서의 라우팅 오버헤드는 같게 되는데 그 이유는 1-홉 중복 경로는 추가적인 제어 메시지 없이 쉽게 구축될 수 있기 때문이다. 3-홉 중복 경로를 가진 트리 기반 멀티캐스트 메쉬에서는 작은 그룹 크기일지라도 라우팅 오버헤드가 상대적으로 아주 큰 값이 측정되었다. 이것은 주로 1-홉 과 2-홉 중복 경로를 가진 멀티캐스트 메쉬의 경우와 비교했을 때 보다 더 많은 중복 경로가 설정된다는 사실에 기인한다. 높은 노드 속도에서의 라우팅 오버헤드가 낮은 노드 속도에서의 라우팅 오버헤드보다 약 10% 크다.



(a) 낮은 노드 속도(0 ~ 2 m/sec)



(b) 높은 노드 속도(0 ~ 20 m/sec)

(그림 4) 라우팅 오버헤드

#### 4. 결론

본 논문에서는 노드의 이동성을 포함한 네트워크의 동적 특성에 따라  $k$ 가 결정되는  $k$ -홉 중복 경로를 갖

는 새로운 트리 기반 멀티캐스트 메쉬를 제안하였다. 네트워크가 불안정하거나 노드가 활발히 움직이면 보다 큰  $k$ 가 멀티캐스트 패킷의 확실한 전달을 제공할 수 있다. 성능 평가 결과에 의하면, 적절히 낮은 패킷 손실율에 충분히 도달하기 위해 수용할 수 있는  $k$  값은 본 시뮬레이션 환경에서 2로 나타났다.

#### 참고문헌

- [1] C. E. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison Wesley, 2000.
- [2] C.-K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*, Prentice Hall, 2002.
- [3] Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks (MANET) Working Group Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, 2005.
- [4] S.-J. Lee, W. Su, J. Hsu, M. Gerla, and R. Bagrodia, "A Performance Comparison Study of Ad Hoc Wireless Multicast Protocols," *Proc. of the IEEE Infocom 2000*, Vol. 2, pp. 565-574, Mar. 2000.
- [5] M. Gerla, C.-C. Chiang, and L. Zhang, "Tree Multicast Strategies in Mobile, Multihop Wireless Networks," *Baltzer/ACM Journal of Mobile Networks and Applications (MONET)*, Vol. 3, No. 3, pp. 193-207, 1999.
- [6] V. Devarapalli, and D. Sidhu, "MZR: a multicast protocol for mobile ad hoc networks," *Proc. of IEEE International Conference on Communications*, Vol. 3, pp. 886-891, Jun. 2001.
- [7] E. Royer, and C. Perkins, "Multicast Operation of the Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol," *Proc. of the Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom '99)*, pp. 207-218, Aug. 1999.
- [8] C. Wu, Y. Tay, and C. Toh, "Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS (AMRIS) Functional Specification," *Internet-Draft*, draft-ietf-manet-amris-spec-00.txt, Nov. 1998.
- [9] S. Lee, M. Gerla, and C. Chiang, "On-Demand Multicast Routing Protocol," *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '99)*, pp. 1298-1302, 1999.
- [10] IEEE Std 802.11-1999, Local and Metropolitan Area Network, Specific Requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- [11] H. Woesner, J. Ebert, M. Schlager, and A. Wolisz, "Power-Saving Mechanisms in Emerging Standards for Wireless LANs: The MAC Level Perspective," *IEEE Personal Communications*, Vol. 5, Issue 3, pp. 40-48, Jun. 1998.
- [12] E. M. Belding-Royer and C. E. Perkins, "Evolution and Future Directions of the Ad Hoc on-Demand Distance-Vector Routing Protocol," *Ad Hoc Networks*, Vol. 1, pp. 125-150, 2003.
- [13] J.-C. Cano and P. Manzoni, "A Performance Comparison of Energy Consumption for Mobile Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proc. of Int. Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecomm. Systems (MASCOTS 2000)*, pp. 57-64, Aug. 2000.