

## 모바일 애드 혹 네트워크에서이격 비율에 근거한 확률적 브로드캐스팅 기법

김정홍\*, 김재수\*

### Distance Ratio based Probabilistic Broadcasting Mechanism in Mobile Ad Hoc Network

Kim, Jae Soo\*, Kim, Jeong Hong\*

#### 요약

모바일 애드 혹 네트워크(MANET)에서 브로드캐스팅은 한 노드가 모든 다른 노드들에게 패킷을 전달하는 과정인데, Ad hoc On demand Distance Vector (AODV)와 같은 라우팅 프로토콜에서 경로를 설정하는 과정에서 제어 정보를 전달하기 위하여 많이 사용된다. 본 논문에서는 MANET에서 송수신 노드 사이의 이격 비율에 기반한 확률적 브로드캐스팅 기법을 제안하는데, 이 방법은 확률적 접근 방법과 거리에 기반한 접근 방법을 결합한 방법이다. 브로드캐스트 패킷을 수신한 이동 노드는 송신 노드로부터의 이격 비율을 고려하여 재전송 확률을 결정하는데, 이격 비율은 송수신 노드사이의 거리와 무선 전파의 전달 거리를 고려하여 계산한다. 높은 이격 비율을 가진 노드는 송신자로부터 멀리 떨어진 노드로서 높은 확률값을 부여한다. 반면에 송신자에 가까운 노드는 이격 비율이 작아 낮은 재전송 확률값을 부여하여 패킷의 조기 소멸을 통해 재전송 브로드캐스트 패킷의 수를 줄이도록 한다. 플러딩 기법과 고정된 확률값 기법과의 성능 비교를 통하여 제안 기법이 다른 방법보다 우수한 성능을 보여주었는데, 제안 기법은 플러딩에 비하여 30% 이상의 패킷 전송을 감소시킬 수 있었으며, 96%에 가까운 패킷의 도착율을 보여주었다.

#### Abstract

As broadcasting in Mobile Ad hoc NETWORK (MANET) is the process that a node sends a packet to all other nodes in the network, it is used for routing protocols such as Ad hoc On demand Distance Vector (AODV) to disseminate control information for establishing the routes. In this paper, we propose Probabilistic Broadcasting mechanism based on Distance Ratio between sender and receive node in MANETs. The proposed approach is based on the combination of probability and distance based approach. A mobile node receiving broadcast packets determines the probability of rebroadcasting considering distance ratio from sender. The distance ratio of a node is calculated by the distance from sender and the length of radio field strength. As a node with high distance ratio is

---

• 제1저자 : 김재수    교신저자 : 김재수  
• 투고일 : 2010. 08. 20, 심사일 : 2010. 09. 19, 게재확정일 : 2010. 10. 04.  
\* 경북대학교 이공대학 컴퓨터정보학부 교수  
※ 이 논문은 2008학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음

located far away from sender, rebroadcast probability is set to high value. On contrary, the low rebroadcast probability is set for a node with low distance ratio which is close to sender. So it reduces packets transmission caused by the early die-out of rebroadcast packets. Compared with the simple flooding and fixed probabilistic flooding by simulation, our approach shows better performances results. Proposed algorithm can reduce the rebroadcast packet delivery more than 30% without scanting reachability, where as it shows up to 96% reachability compared with flooding.

▶ Keyword : 모바일 애드 혹 네트워크(Mobile Ad-Hoc Network, MANET), 애드 혹 라우팅(Ad Hoc Routing), 브로드캐스팅(Broadcasting), 확률적 브로드캐스팅(Probabilistic Broadcasting), 애드 혹 브로드캐스팅(Ad Hoc Broadcasting)

## 1. 서론

기존의 유선 네트워크와는 달리, Mobile Ad hoc Network (MANET)는 무선 단말기들이 이동하는 특성을 가지고 있으므로 시간에 따라 네트워크 토폴로지가 변화하는 특징을 갖는다. 따라서 라우팅을 비롯하여 기존 유선 네트워크에서 사용되는 기법을 수정하지 않고 노드의 이동이 빈번한 MANET에 그대로 적용하기는 곤란하다. MANET은 네트워크의 특성상 이동 노드 상호간의 통신은 두 노드 간에 직접 이루어지거나 중간 노드들의 도움으로 통신이 이루어진다. MANET의 경우 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화하기 때문에 기존 유선 네트워크보다 플러딩(Flooding)을 통한 메시지 전송의 비중이 상대적으로 높다. MANET을 위해 제안된 라우팅 프로토콜인 Ad hoc On demand Distance Vector (AODV)에서도 라우팅 경로 탐색 및 관리를 위해 브로드캐스팅을 통한 패킷 전송 방식을 이용하고 있기 때문에 효율적인 브로드캐스팅 기법은 MANET의 전반적인 성능에 커다란 영향을 미치게 된다.[1][12]

MANET을 구성하는 전체 노드로 패킷을 브로드캐스트하기 위한 전달 방식 중 가장 간단한 방식은 플러딩 기법으로서 이 기법은 MANET을 구성하는 모든 노드들이 브로드캐스트 패킷을 수신하게 되면 자신이 받은 패킷을 항상 재전송하게 하는 기법이다. 플러딩 기법은 브로드캐스팅을 수행하기에 가장 단순한 방법이면서 높은 도착률(Reachability)을 보장하며 구현하기 쉬운 특성이 있다. MANET에서 플러딩을 수행하였을 경우 각 이동 노드들은 중첩되는 전파범위로 인하여 불가피하게 동일한 패킷을 중복으로 수신하게 된다. 이러한 중복 패킷을 과도하게 수신하게 되면 재전송하는 패킷의 수는 기하급수적으로 증가하게 되어 불필요한 패킷이 난무하여 패킷 충돌을 유발시키는 원인이 되며, 결국 동일한 패킷의 중복

송/수신으로 인하여 네트워크 전반적인 성능 저하를 초래하게 된다. 이러한 현상을 브로드캐스트 스톰(Broadcast Storm)이라 한다. 따라서 MANET에서 전체 노드로 브로드캐스팅하기 위해서 중간 노드들이 패킷의 재전송을 수행할 때 자신이 재전송을 할 것인가를 결정하는 것은 상당히 중요한 문제로 MANET의 전체적인 성능에 커다란 영향을 미치고 있다.[2][3][4]

MANET의 플러딩 기법에서 발생하는 브로드캐스트 스톰 문제를 해결하기 위하여 다양한 방법이 제시되고 있는데, 그 중 가장 단순한 방법 중의 하나가 확률적 접근 방법이다. 확률적 접근 방법은 동일한 패킷을 중복 수신한 횟수가 커질수록 해당 브로드캐스트 패킷을 다시 재전송하여 얻을 수 있는 효과는 급격히 감소한다는 사실에 기반하고 있다. Sze-Yao Ni는 [2]의 논문에서 네트워크를 구성하는 모든 노드에서 브로드캐스트 패킷을 수신한 각 노드는 미리 정해진 확률  $p$  값에 의하여 패킷의 재전송 여부를 결정하는 고정된 확률값에 의한 확률적 접근 방법을 제안하였다. 고정된 확률값에 의한 확률적 접근 방법에서 확률이 비교적 높게 설정된다면, 동일한 패킷을 중복으로 수신하게 되는 빈도가 많아져 패킷의 중복도는 높아지게 되며, 확률 값이 다소 낮게 설정되면 송신 노드에서 전송된 패킷이 목적지 노드까지 도착하는 정도가 낮아져 도착율에서 낮은 성능을 보이게 된다.[2][5][6]

고정된 확률값에 의한 확률적 접근 방법의 문제점을 극복하기 위하여 다양한 방법들이 제시되고 있다. Cartingy 와 Simplot는 이동 노드의 주변의 환경에 따라 재전송 확률값  $p$ 를 다르게 부여하는 방법을 제시하고 있으며, Zhang 과 Dharma는 중복 패킷의 수에 근거한 접근 방법과 확률적 접근 방법을 혼합한 동적인 확률적 기법을 제시하고 있으며, Yassin 과 Papanastasiou 는 이동 노드가 주위의 이동 노드들과 Hello 메시지를 주고 받음으로써 주위의 이동 노드의 수를 계산하여 재전송 확률값을 부여하는 방법을 제시하고 있는데, 이 들 방법들 모두 이동 노드의 주변 환경에 따른 최적

의 재전송 확률값을 구하지 못하고 있다.[7][8][9]

한편, 브로드캐스트 패킷을 전송하는 이동 노드가 이웃 노드들에 대한 정보를 가지고 있으면 보다 영리하게 패킷의 재전송 여부를 판단할 수 있다. 이동 노드는 주기적으로 이웃 노드들과 "Hello" 메시지를 교환함으로써 이동 노드의 다양한 정보를 알 수 있는데, 이러한 이웃 노드의 정보를 브로드캐스팅에 이용하는 기법을 이웃 노드 정보 기반 브로드캐스팅(Neighbor Knowledge based Broadcasting) 기법이라고 한다. 이 방식은 이동 노드가 브로드캐스트 패킷을 재전송하기 전에 "Hello" 메시지를 주고 받음으로서 지역 밀집도를 비롯하여 이웃 노드에 대한 다양한 정보를 수집하여 보관하고 있다. 이렇게 "Hello" 메시지를 통하여 수신된 1-홉 또는 2-홉 거리에 위치한 이웃 노드의 정보를 이용하여 브로드캐스트 패킷의 재전송 여부를 결정함으로써 플러딩 횟수를 최소화하고자 하는 기법이다.[11][14]

본 논문에서는 애드 혹 네트워크에서 브로드캐스트 패킷의 재전송에 관여하는 이동 노드의 수를 줄이면서 전체 노드로 브로드캐스트 패킷이 전송되는 도착율을 수용 가능한 정도로 유지할 수 있는 브로드캐스팅 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 이동 노드들이 분산된 환경에서 송신 노드와 수신 노드 사이의 이격 비율에 따라 패킷의 재전송 확률 값을 적용적으로 변화시키면서 조절하게 한다. 브로드캐스팅에 참여하는 노드 B가 송신 노드 A로부터 브로드캐스트 패킷을 수신 받았다고 가정할 때, 수신 노드 B는 GPS를 통해 자신의 위치 정보와, 전파의 세기, 브로드캐스트 패킷을 통해 송신 노드 A의 위치 정보를 알 수 있다. 두 노드의 위치 정보를 이용해 수신 노드는 송신 노드까지의 거리(d)를 계산할 수 있으며, 자신의 안테나를 통해서 보낼 수 있는 전파 거리(r)를 계산하여, 이를 바탕으로 이격 비율(d/r)에 따라 패킷의 재전송 확률 값을 적용적으로 부여하여 패킷의 재전송 여부를 결정하는 브로드캐스팅 기법을 제안한다.

논문의 구성은 아래와 같다. II장에서는 MANET의 브로드캐스팅 기법 중에서 확률적 접근 방법을 중심으로 관련된 연구 내용들을 살펴보고, III장에서는 이격 비율에 따른 확률값에 따라 패킷의 재전송 여부를 결정하는 브로드캐스팅 기법에 대하여 자세히 서술한다. IV장에서는 본 논문에서 제안하는 기법의 성능 평가를 위하여 수행한 시뮬레이션의 결과에 대해서 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II 관련 연구

MANET에서 브로드캐스트 스톱의 문제점을 최소화하고

네트워크의 효율성을 증대시키기 위한 다양한 연구가 진행되어져 왔다.

Sze-Yao Ni 등은 [2]의 논문에서 MANET에서 패킷의 브로드캐스팅을 위하여 확률에 근거한(Probability-based) 전송방법, 중복 패킷의 수에 근거한(Counter-based) 전송방법, 송수신 노드의 거리에 근거한(Distance-based) 전송방법, 이동 노드의 위치에 근거한(Location-based) 전송방법, 소집단 클러스터에 근거한(Cluster-based) 전송방법으로 나누어 플러딩 문제점의 해결책을 제시하였다. 확률에 근거한 브로드캐스트 패킷 전송 방법은 이동 노드가 브로드캐스트 패킷을 처음으로 수신할 경우 기준 확률 p에 기반으로 패킷의 재전송 여부를 결정하는데,  $p = 1$ 인 경우는 일반적인 플러딩에 해당된다. 중복 패킷의 수에 근거한 전송 방법은 임의의 지연시간 동안 중복으로 수신하게 되는 동일 패킷의 수(c)를 계산하여 패킷의 재전송 여부를 결정하게 되는데, 미리 정의된 수 만큼의 중복 패킷을 수신하지 못하면 자신의 영역 내에 패킷을 수신하지 못한 노드가 있는 것으로 간주하고 패킷을 재전송한다. 송수신 노드의 거리에 근거한 전송방법은 이동 노드가 패킷을 송신한 노드까지의 거리(d)를 계산하여 패킷의 재전송 여부를 결정하게 되는데, 수신 노드와 송신 노드 사이의 거리가 미리 정의된 거리보다 크면 패킷을 재전송하고 그 거리보다 작으면 패킷을 재전송하지 않는다. 이동 노드의 위치에 근거한 전송방법은 이동 노드가 패킷을 송신함으로써 확보할 수 있는 추가 전송 영역(a)을 계산하여 패킷의 재전송 여부를 결정하게 되는데, 추가 전송 영역이 미리 정의된 영역보다 넓으면 패킷을 재전송하고 그 영역보다 적으면 패킷을 재전송하지 않는다. 소집단 클러스터에 근거한 전송 방법은 MANET를 구성하는 이동 노드들을 소집단으로 나누어 클러스터를 구성하여 클러스터 대표가 내부 노드들에게 브로드캐스트 패킷의 전송을 책임지며 게이트웨이를 선정하여 클러스터 사이의 패킷 전송을 책임지는 구조로 동작한다.[2][4][5]

Cartingy와 Simplot는 재전송 확률값 p를 이동 노드의 주변의 환경에 따라 각각 다르게 부여하는 방법을 제시하고 있다. 이들은 이동 노드 주위의 지역 밀집도 n(이동 노드의 수) 과 브로드캐스트 패킷의 높은 도착율을 달성하기 위한 효율성 변수값 k를 고려하여 재전송 확률값 p를 결정하도록 제시하고 있다. 하지만 이 방법은 효율성 변수값 k에 대한 최적값을 구하지 못하며 이동 노드의 수에 따라 성능에 많은 영향을 받는 문제점이 있다.[7]

Zhang 과 Dharma 는 중복 패킷의 수에 근거한 접근 방법과 확률적 접근 방법을 혼합한 동적인 확률적 기법을 제시

하였는데, 이 방법은 이동 노드가 브로드캐스트 패킷을 수신하면 일정 시간( $t$ ) 동안 이웃 노드로부터 수신하는 중복패킷의 수( $c$ )를 계산하여  $c$  값에 따라 재전송 확률값  $p$ 를 동적으로 결정하도록 한다. 하지만 이 방법에서 제시하는 중복패킷의 수는 이웃에 있는 이동 노드의 수를 정확하게 나타내지 못하고 있다. 왜냐하면 몇몇 이웃 노드들은  $t$  시간 동안 수신으로 이동하여 중복으로 수신한 패킷의 수는 이동 노드의 수와 일치하지 않기 때문이다.[8]

Yassein 과 Papanastasiou 는 MANET 전체의 평균 이웃 노드 수( $n'$ )를 고려하여 이동 노드( $X$ )가 주위의 이동 노드들과 Hello 메시지를 주고 받음으로써 주위의 이동 노드의 수( $n$ )를 계산하여 재전송 확률값  $p$ 를 부여하는 방법을 제시하고 있다. 이 방법에서 브로드캐스트 패킷을 수신한 이동 노드는 자신 주위의 이동 노드 수( $n$ )를 계산하여 네트워크 전체의 평균 이웃 노드 수( $n'$ ) 보다 작으면 이동 노드  $X$ 는 저밀집 지역에 위치하고 있어 높은 재전송 확률값  $p_1$ 을 부여하며  $n$  이  $n'$ 보다 크면 낮은 재전송 확률값  $p_2$ 를 부여하는 방법을 제시하고 있다.[9]

MANET에서 이동 노드가 이웃 노드의 정보를 기반으로 브로드캐스트 패킷의 재전송 전략을 세우면 부다 효율적인 브로드캐스팅을 수행할 수 있다. 먼저 송신자가 자신의 이웃 노드 리스트 정보를 추가하여 브로드캐스트 패킷을 보낸다. 패킷을 받은 노드들은 자신의 이웃 노드 리스트와 패킷에 기록된 이전 홉 노드의 이웃 노드 리스트를 비교하여, 패킷에 기록된 이웃 노드 리스트에 자신의 이웃 노드 리스트가 포함된다면 브로드캐스트를 하지 않고, 다른 노드 정보가 포함되어 있다면 이 노드 또한 자신의 이웃 노드 리스트를 추가하여 패킷을 재전송한다. 이 기법은 되도록 짧은 시간 내에 범위 내의 모든 노드들에게 패킷을 전달할 수 있다는 장점이 있는 반면, 이웃 노드 정보를 함께 보내야 하므로 노드의 수가 증가하게 된다면 패킷 전송에 큰 비용을 초래하게 된다. 이웃 노드의 존재 유무에 대한 정보에 기반한 방식은 Self-Pruning, Dominant-Pruning(DP)과 Multipoint Relay(MPR) 등의 방식이 있다.[11][14]

Self-Pruning 방식에서는 2-홉 거리에 있는 이웃 노드들의 네트워크 형상 정보를 이용하여 브로드캐스팅을 수행한다. 모든 노드는 Hello 메시지의 주기적인 브로드캐스트를 통해 자신과 2-홉 거리에 있는 이웃 노드의 목록을 리스트로 관리한다. 1-홉 거리의 이웃 노드가 송신하는 2-홉 거리의 이웃 노드 정보와 자신의 이웃 노드 정보를 비교하여 동일하면 패킷 전달을 취소하는 방법이다. Dominant-Pruning(DP) 방식은 브로드캐스트 패킷을 송신하는 노드가 이를 수신한 이웃

노드에서의 브로드캐스팅 여부를 결정하는 방법을 사용한다. 패킷을 포워딩할 수 있는 1-홉 거리에 있는 이웃 노드의 리스트는 포워드 리스트(Forward List)로서 브로드캐스트 패킷에 포함된다. 임의의 노드가 이웃 노드로부터 브로드캐스트 패킷을 수신하고, 그 노드의 주소가 포워드 리스트에 포함되어 있을 경우 해당 브로드캐스트 패킷을 다시 브로드캐스팅할 수 있다. 브로드캐스팅을 수행하기 전에 노드는 자신의 2-홉 노드를 모두 커버할 수 있는 최소의 포워드 리스트를 계산하여 브로드캐스트 패킷의 헤더에 포함시킨다. Multi-Point Relay (MPR) 방식은 모든 2-홉 이웃 노드를 커버할 수 있는 1-홉 이웃 노드의 집합을 MPR 집합이라고 하며, MPR 집합에 속하는 노드를 MPR이라고 한다. 최소한의 노드로 구성된 MPR 그룹을 계산하고 MPR 그룹에 속한 노드들이 MANET 전체 노드로 브로드캐스팅을 수행함으로써 플러딩에 따른 패킷의 오버헤드를 최소화하고자 하는 기법이다.[11][14][16]

이상에서 제안된 기법들은 모두 불필요한 브로드캐스트 재전송을 줄이는 것이 그 목적이다. 확률 기반 브로드캐스트 기법은 브로드캐스트 횟수를 효과적으로 줄일 수 있으나 네트워크에 맞는 파라미터 설정이 어려운 문제이며, 또한 확률에 기반하므로 경우에 따라 모든 단말에게 메시지가 전송됨을 보장할 수 없다. 본 논문에서는 이미 패킷이 전송된 영역에 있는 노드들이 스스로의 판단에 의해 불필요한 브로드캐스트 패킷을 재전송을 하지 않도록 하는 것이다. 본 논문에서는 MANET의 형상에 따라 재전송 확률값을 다르게 부여함으로써 패킷의 도착율을 유지하면서 브로드캐스트 패킷의 중복을 최소한으로 줄일 수 있는 이격 비율 기반의 확률적 브로드캐스트 기법을 제안한다.

### III. 이격 비율 기반의 확률적 브로드캐스트

가장 간단한 확률적 플러딩 기법은 모든 이동 노드들에 대해서 재전송 확률값( $p$ )를 동일하게 부여하여 패킷을 재전송하게 하는 것이다. 이 방법은 플러딩 기법의 대체 방법으로 브로드캐스트 패킷의 불필요한 재전송 회수를 제한할 수 있는 방법이다. 이 방법에서 한 이동 노드가 브로드캐스트 패킷을 수신하게 되면, 미리 정해진 재전송 확률값  $p$ 의 확률로 패킷을 재송하게 된다. 모든 노드는 송신 노드의 위치나 이웃 노드의 수에 관계없이 동일한 확률값을 가지고 동작하게 된다.[14][15][16]

만약 재 전송 확률값  $p$ 가 너무 작게 설정되면 몇몇 노드들은 모든 패킷을 수신하지 못하는 경우가 발생하여 브로드캐스트 패킷의 도착율(Reachability)이 매우 낮아 질 것이다. 여기서 도착율이란 목적지 노드의 브로드캐스트 패킷 수신율이라 정의한다. 반면에  $p$ 가 너무 크게 설정되면 각 노드에서는 불필요한 브로드캐스트 패킷이 난무하게 되어 무선 주파수 채널을 낭비하게 될 것이다. 네트워크 형상이 빈번하게 변하는 MANET에서 높은 도착율과 우수한 성능을 달성하기 위해서는, 각 노드에서 재전송 확률을 적절하게 조절할 필요가 있다. 예를 들면 노드들이 밀집된 영역에서는  $p$ 의 값을 낮게 부여하며 드문 영역에서는  $p$ 의 값을 비교적 높게 부여하거나, 송신자 노드로부터 멀리 떨어진 노드들은  $p$  값을 낮게 부여하며 송신자 노드로부터 가까운 노드들은  $p$  값을 비교적 높게 부여하는 것이 옳을 것이다.[7][8][9][10][14]

본 논문에서는 브로드캐스트 패킷의 중복성을 최대한 줄이고, 높은 도착율을 유지할 수 있는 브로드캐스팅 기법으로 이격 비율에 따라 그룹을 설정하여 각 그룹별로 차등적인 재전송 확률값을 부여하는 "이격 비율에 기반한 확률적 브로드캐스팅(Distance Ratio Probabilistic Broadcasting : DRPB) 기법"을 제안한다.

1. 거리에 따른 전송 확장 영역

본 논문에서는 이동 노드들이 상호간의 협력을 통하여 패킷을 재전송함으로써 MANET을 구성하는 전체 노드로 브로드캐스트한다고 가정한다. 본 논문에서 제안하는 DRPB 기법의 기본적인 아이디어는, 송신자 노드로부터 멀리 떨어진 노드가 주변 노드들 보다 먼저 브로드캐스트 패킷을 재전송하도록 함으로써 빠르게 전송 영역을 넓혀 나가는 것이다. 이를 위하여 송신자 노드로부터 떨어진 거리를 계산하여 추가로 전송 영역을 확대해 나갈 예상 영역을 계산할 필요가 있으며, [2]와 [15]에서 제시된 확장 영역 개념을 도입하여 적용한다.

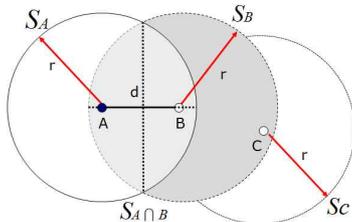


그림 1. 이동 노드의 추가 전송 확장 영역  
Fig. 1. Additional coverage area of a mobile node

그림 1에서 송신자 노드 A로부터 브로드캐스트 패킷을

수신한 노드 B가 패킷을 재전송하기로 하였을 때 노드 B가 추가로 확대할 수 있는 전송 영역과 노드 B로부터 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드 C가 추가로 확대할 수 있는 전송 영역을 표시하고 있다. 노드 A와 노드 B의 전송 영역을 각각 SA, SB라고 하면 노드 B가 패킷을 재전송함으로써 추가로 확대되는 영역은 회색 영역으로 SB-A로 표시할 수 있으며 SB-A = SB - SA ∩ B 가 된다. 본 논문에서는 송신자 노드 A로부터 브로드캐스트 패킷을 받은 노드 B가 패킷을 재전송함으로써 추가로 확장할 수 있는 영역을 ACA(Additional Coverage Area)라 정의한다. 그림 1에서 SA와 SB의 반지름을  $r$ , 노드 A와 노드 B 사이의 거리를  $d$  라고 할 때 ACA(B)는 SB-A가 되며, ACA(B)는 수식 1과 같다.

$$ACA(B) = S_{B-A} = S_B - S_{A \cap B} = \pi r^2 - 4 \int_{d/2}^r \sqrt{r^2 - x^2} dx \dots \dots \dots (1)$$

그림 1과 수식 1에서 알 수 있듯이 두 노드 사이의 거리가 크면 추가 확장 영역도 넓어지게 된다.  $d = r$  일 때 추가 확장 영역 SB-A 은 최대가 되며, 다른 노드들보다도 가장 큰 ACA를 가지는 노드가 브로드캐스트 패킷을 재전송하는 것이 보다 효율적이다.

2. 이격 비율 기반의 확률적 브로드캐스트 기법

모든 노드들이 확률  $p=1.0$ 으로 브로드캐스트를 수행하는 플러딩의 경우, 패킷의 도착율을 최대로 만족시킬 수 있지만 이에 따른 네트워크의 오버헤드는 기하급수적으로 증가할 것이다. 반면에 MANET을 구성하는 노드들은 랜덤한 방식으로 배치되기 때문에 모든 노드에게 동일한 확률 값을 적용하여 브로드캐스트 패킷을 재전송하는 것은 모든 패킷이 목적지까지 도착하지 못할 가능성을 내재하고 있다. 본 논문에서 제안하는 기법은 모든 노드들이 패킷을 재전송하는 플러딩을 사용하지 않고 패킷을 받은 수신 노드가 자신과 송신 노드와의 거리뿐만 아니라 각 노드 별로 패킷을 재전송하는 확률을 계산하여 브로드캐스트 패킷의 재전송 여부를 결정하는 거리에 따른 이격 비율에 기반하는 확률적 브로드캐스트 기법을 제안한다.

앞서 두 노드 사이의 거리  $d$ 에 따라 추가 확장 영역이 큰 영향을 받게 되며  $d = r$  일 때 추가 확장 영역이 최대가 됨을 살펴보았는데, 이 때 적용된 식 1을 이용하면 최대 추가 확장 영역 MAX(ACA) 값은 식 2와 같이 구할 수 있다.

$$MAX(ACA) = \pi r^2 - 4 \int_{r/2}^r \sqrt{r^2 - x^2} dx = r^2 (\pi/3 + \sqrt{3}/2) \approx 0.61\pi r^2 \dots \dots \dots (2)$$

식 2에 의하면  $d$  와  $r$  의 거리 비율이 1.0 일 때, 즉,  $d = r$  일 때 재전송을 통하여 확장할 수 있는 최대 영역은 반지름이  $r$  인 원 전체 넓이의 약 61%가 되며, 나머지 41%는 송신자 노드에 의해 커버되었음을 알 수 있다. 반면  $d$  와  $r$  의 거리 비율이 0 일 때, 즉,  $d = 0$  일 때 재전송을 통하여 확장할 수 있는 영역은 최소가 되며 그 영역은 0이 된다. 이 결과를 통해 우리는 수신 노드의 ACA는 송수신 노드들 사이의 거리에 비례함을 알 수 있다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 브로드캐스트 패킷을 수신한 각 노드가 송신 노드 사이의 거리에 비례하여 패킷 재전송 확률을 계산하여 이 확률 값에 따라 브로드캐스트 패킷의 재전송 여부를 결정하도록 한다. 본 논문에서는 송수신 노드 사이의 거리( $d$ )와 전파 세기 거리( $r$ )에 대한 비율, 즉  $d/r$  을 두 노드 사이의 이격 비율(Distance Ratio)이라고 정의하며, 이격 비율에 따라 재전송 확률 값을 단계적으로 배정하도록 한다. 그림 1은 이격 비율에 따른 재전송 추가 확장 영역(ACA)과 그에 따른 패킷 재전송 확률 값을 나타내고 있다.

임의의 노드  $X$ 가 처음으로 브로드캐스트 패킷을 수신하게 되면 자신의 전송 가능 거리( $r$ )와 송신 노드와의 거리( $d$ )를 구하여 두 노드의 이격 비율( $D$ ), 즉  $D=d/r$  을 계산한 다음, 이 이격 비율에 따라 패킷의 재전송 확률을 적용적으로 부여한다. 브로드캐스트 스톱 문제를 최소화하기 위해서는 가장 큰 이격 비율을 가지는 노드가 높은 우선순위를 가지고 패킷을 재전송하여야 한다. 이를 위해서 각 노드는 이 이격 비율을 기반으로 패킷 전송 확률을 조정하는데, 송신 노드로부터 멀리 떨어진, 즉 이격 비율이 큰 노드가 높은 우선 순위로 브로드캐스트 패킷을 재전송하는 것이 보다 효율적이다.

그림 2는 이격 비율( $d/r$ )에 따라 추가 확장 영역의 변화와 그에 따른 재전송 확률값의 변화를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 보듯이 이격 비율이 커서 추가 확장 영역이 넓은 지역에 위치하고 있는 노드에게는 높은 재전송 확률값( $p_1$ )을 부여하며, 이격 비율이 작아서 추가 확장 영역이 적은 지역에 위치하고 있는 노드에게는 낮은 재전송 확률값( $p_3$ )을 부여하며, 가운데 지역에 위치하고 있는 노드에게는 중간 재전송 확률값( $p_2$ )을 부여한다.

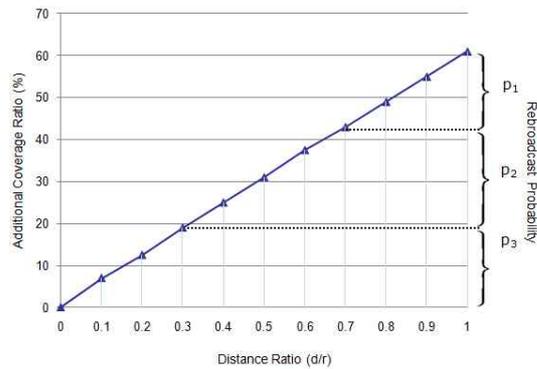


그림 2 이격 비율에 따른 추가 확장 영역과 재전송 확률값 모델  
 Fig. 2 The conceptual model of additional coverage area and Rebroadcast probability

### 3. 거리 기반의 확률적 브로드캐스팅 알고리즘

본 연구에서 브로드캐스트 패킷을 전달할 확률 값을 설정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 높은 확률 값은 전달 패킷을 많이 발생시켜 넓은 영역으로 브로드캐스트 패킷의 전달을 보장하게 된다. 하지만 낮은 확률 값은 전달 패킷을 많이 발생시키지 않아 브로드캐스트 패킷의 전달 영역이 좁아지게 되어 브로드캐스트 패킷은 결국 일찍 소멸되는 일이 발생하게 된다.

본 논문에서는 송수신 노드 사이의 이격 비율에 따라 세 그룹(그룹1, 그룹2, 그룹3)으로 나누어 이들 세 개의 그룹에 대하여 각자 다른 확률 값의 범위를 부여하여 그 범위를 각각  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ 라 정한다. 이격 비율이 큰 노드는 송신자로부터 멀리 떨어져 있어 브로드캐스트 패킷을 재전송할 경우 추가 확장 영역이 넓어지게 되며, 반대로 이격 비율이 작은 노드는 송신자로부터 가까이 있어 브로드캐스트 패킷을 재전송할 경우 추가 확장 영역이 넓지 않게 된다. 따라서 먼저 패킷을 수신하게 되면 송수신 노드 사이의 이격 비율을 계산하여, 이격 비율이 큰 노드는 그룹1( $G_1$ )에, 이격 비율이 작은 노드는 그룹3( $G_3$ )에, 이격 비율이 중간인 노드는 그룹2( $G_2$ )에 편입한다, 그리고 이격 비율에 따른 재전송 확률 값을 구하는데, 각 그룹별 재전송 확률 값의 범위는  $p_1 > p_2 > p_3$ 가 되도록 설정한다.

본 논문에서 제안한 이격 비율 기반의 확률적 브로드캐스팅 알고리즘의 동작 과정은 그림3과 같다. 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드는 메시지 ID를 조사하여 처음 수신한 패킷이면 이격 비율( $D$ )을 계산하여 이격 비율에 따라 재전송 확률값( $p$ )을 결정한다. 이격 비율이 큰  $G_1$  그룹에 속하면 높은 확률값인  $p_1$  범위에 속하는 확률값을 부여하며, 이격 비율이 작아

G3 그룹에 속하면 낮은 확률값인  $p_3$  범위에 속하는 확률값을 부여한다. 이격 비율이 중간인 G2 그룹에 속하면 중간 확률값인  $p_2$  범위에 속하는 확률값을 부여한다. 그리고 처음 수신한 패킷이 아니면 이전에 처리가 이루어졌으므로 폐기한다.

```

Distance-based Probabilistic Broadcasting ():
On receiving a broadcast packet m at node n;
Get the broadcast packet ID from the message;
If packet m received for the first time
then
    Get the distance(d) from sender and average radius(r)
    of radio;
    Get distance ratio (D=d/r) of a node n;
    If D ≤ G1 then //Node n has high distance ratio//
        Set a high rebroadcast probability p ≤ p1;
    End_if
    If D ≤ G2 then //Node n has medium distance ratio//
        Set a medium rebroadcast probability p ≤ p2;
    End_if
    If D ≤ G3 then //Node n has low distance ratio//
        Set a low rebroadcast probability p ≤ p3;
    End_if
    Rebroadcast the packet with probability p.
Else
    discard it.
End_if
    
```

그림 3. 이격 비율 기반의 확률적 브로드캐스팅 알고리즘  
 Fig. 3. Algorithm description of Distance Ratio based Probabilistic Broadcasting.

#### IV. 실험 및 평가

본 절에서는 본 논문에서 제안한 이격 비율에 기반한 확률적 브로드캐스팅(Distance Ratio based Probabilistic Broadcasting : DRPB) 기법이 다른 유사한 기법들과 비교하여 어떠한 성능을 나타내는지 기술한다. 제안하는 기법의 효과를 평가하기 위하여 멀리 떨어진 노드까지의 경로를 설정하기 위하여 MANET 전체 노드들에게 브로드캐스팅 기법을 적용할 경우 패킷 재전송에 참여하는 노드 수와 패킷의 도착율에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 본 논문에서는 단순 플러딩 기법과, 고정 값 확률적 브로드캐스팅 기법, 본 논문에서 제안한 이격 비율 기반의 확률적 브로드캐스팅 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 서로 비교하였다

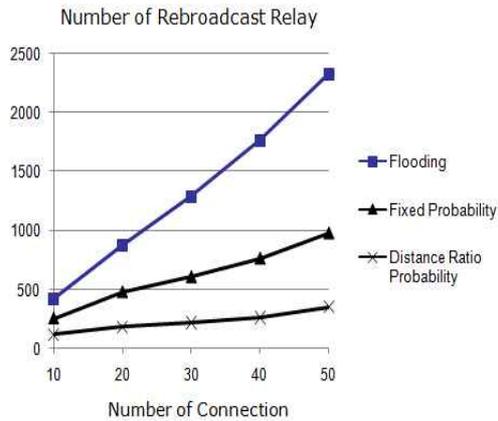
모든 이동 노드는 정지 상태에서 시뮬레이션 시작과 함께 임의의 방향과 임의의 이동 속도로 움직이기 시작하며 목적지 노드에 도착하면 잠시 쉬었다가 임의의 방향과 속도로 다시

이동을 시작한다고 가정한다. 시뮬레이션을 위해 사용된 도구는 애드 혹 네트워크 시뮬레이터인 Glomosim을 사용하였으며, 시뮬레이션 영역은 1000m X 1000m로 설정하였으며, 이동 노드의 수는 100 노드에서 1000 노드까지 변화도록 설정하였다. 그리고 네트워크의 대역폭은 2Mbps로 설정하고, 네트워크의 트래픽은 일정한 비트 비율을 가지는 CBR(Constant Bit Rate) 형태로 설정하였다. 각 이동 노드가 가지는 전파 영역의 크기는 반지름이 250m로 설정하였으며, 세 분류의 그룹(G1, G2, G3)에 대하여 재전송 확률 값은 1.0에서 0.5까지의 값을 각 그룹에 할당하였다. 그룹 G1, G2, G3에 대하여 재전송 확률 값을 각각  $p_1(0.8\sim 1.0)$ ,  $p_2(0.6\sim 0.8)$ ,  $p_3(0.5\sim 0.6)$ 으로 설정하였다. 그리고 고정된 확률값 접근 방법에서는 재전송 확률값을 0.7로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그 이유는 Bani-Yassein M이 [13]의 논문에서 실험을 통하여 고정된 확률값 접근 방법에서는 재전송 확률값을 0.7로 설정하였을 때 가장 좋은 성능을 나타내었음을 보여주었기 때문이다.

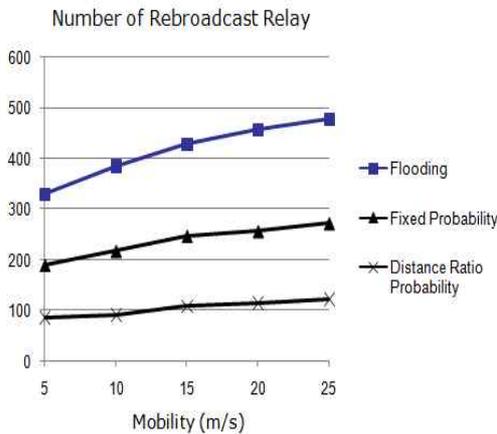
#### 1. 재전송 릴레이(Relay) 노드 수

플러딩에서 임의의 한 노드가 브로드캐스트 패킷을 수신하게 되면 자신의 전달 범위 내에 있는 이웃 노드들에게 즉시 재전송하게 된다. 전체 이동 노드의 수가 N이라면, 한 노드에서 최종 목적지 노드까지 경로 설정을 위하여 N-1 개 노드의 재전송이 이루어지며, 네트워크 전체로는  $\sum(N-1)$  번의 재전송이 발생한다. 고정 값 확률적 브로드캐스팅 기법에서는 정해진 확률 값 p에 따라 패킷의 재전송 여부를 결정하기 때문에 노드의 평균 재전송 수는  $\sum p*(N-1)$  번이 된다. 본 논문에서 제안한 이격 비율에 기반한 확률적 브로드캐스팅 기법에서는 송수신 노드 사이의 이격 비율에 따라 재전송 확률 값 p를 설정하게 되는데 시뮬레이션을 통해 재전송에 참여하는 평균 릴레이 노드의 수를 비교하였다.

그림 4는 MANET을 구성하는 전체 노드의 수를 100개로 설정하여 전체 노드에게 브로드캐스트 패킷을 전송하기 위하여 패킷의 전달에 참여하는 평균 릴레이 노드의 수에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. (a)는 노드가 이동하지 않는 경우를 가정하여 임의의 송신 노드에서 최종 목적지 노드까지 연결(Connection) 요청의 수에 따라 브로드캐스팅을 위해 패킷의 전달에 참여하는 평균 릴레이 노드 수를 보여주고 있으며, (b)는 노드가 5 ~ 25 m/s의 다양한 속도로 움직이는 경우에 있어서 패킷의 전달에 참여하는 평균 릴레이 노드 수를 보여 주고 있다.



(a) 노드 이동이 없는 경우



(b) 노드가 이동하는 경우

그림 4. 재전송 릴레이(Relay) 노드 수  
Fig. 4. Number of rebroadcast

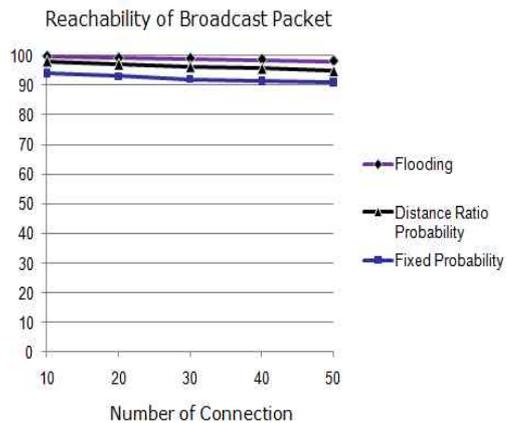
그림 4(a)에서 연결 요청의 수가 많아지면 세 가지 기법 모두 평균 릴레이 노드의 수도 함께 증가하게 되지만 플러딩에 비하여 DRBP 기법은 증가하는 정도는 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 4(b)에서 이동 노드가 보다 빠르게 이동하면 세 가지 기법 모두 평균 릴레이 노드의 수도 함께 증가하게 되지만 플러딩에 비하여 DRBP 기법은 증가하는 정도는 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션의 결과를 통해 알 수 있듯이 DRBP 기법은 브로드캐스팅을 위해 이격 비율에 따라 적응적으로 패킷의 재전송 확률값을 조절함으로써 패킷 재전송 노드 수를 줄일 수 있어 노드의 이동성이 있

을 때와 없을 때 모두, 플러딩에 비하여 30%에 가까운 성능 향상을 얻을 수 있으며 고정값 확률적 접근 방법보다는 10% 이상 성능 향상을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

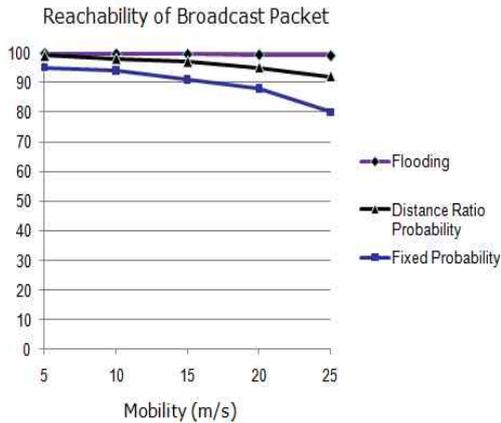
## 2. 패킷 도착율

패킷 도착율(Reachability)은 MANET을 구성하는 전체 노드 수에 대한 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드 수에 비율로 정의 한다. MANET에서 두 노드 간의 경로를 설정하거나 특정 노드를 호출하는 경우에 브로드캐스팅 방법을 많이 이용하게 되는데 임의의 노드 사이의 메시지 도착율은 매우 중요한 사항이다. 플러딩 기법은 재전송 패킷의 폭주 현상을 초래하지만 모든 노드에게 브로드캐스트 패킷의 전달을 보장한다. 하지만 확률적 접근 방법은 확률에 따라 패킷을 폐기함으로써 패킷 폭주 현상을 감소시키지만 플러딩에 비해 낮은 도착율을 나타낸다. 본 논문에서는 고정된 확률적 접근 방법의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 패킷 재전송 확률값을 이격 비율에 따라 동적으로 조절하도록 하였다.

그림 5는 MANET을 구성하는 전체 노드의 수를 100개로 설정하고 임의의 송신 노드가 전체 노드에게 브로드캐스트 패킷의 전송을 시작한 다음 일정 시간이 지난 후에 패킷을 받은 노드의 수, 즉 도착율에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 5(a)는 노드가 이동하지 않는 경우를 가정하여 임의의 송신 노드에서 최종 목적지 노드까지 연결(Connection) 요청의 수에 따른 패킷의 도착율을 나타내고 그림 5(b)는 노드의 이동 속도는 5m/s ~ 25m/s의 다양한 속도로 이동하는 경우에 있어서 패킷의 도착율을 나타내고 있다.



(a) 노드 이동이 없는 경우



(b) 노드가 이동하는 경우

그림 5. 전체 노드로 패킷의 도착률  
Fig. 5. Reachability of rebroadcast packet

그림 5에서 알 수 있듯이 플러딩 기법이 100%에 가까운 도착율로 성능 평가를 실시한 세 가지 접근 방법 중에서 가장 우수한 도착율을 보여주고 있다. 본 논문에서 제안한 이격 비율에 기반 확률적 접근 방법은 이동 노드가 이동하지 않는 경우는 95% 이상의 도착율을 나타내고 있으며, 25m/s의 빠른 속도로 이동하는 경우에도 92% 이상의 도착율을 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 기법은 MANET 환경에서 플러딩 기법의 도착율에 근접하는 성능을 가지면서 고정된 확률 값 접근 방법보다 재전송 패킷의 수를 10%이상 줄임으로서 전체적인 성능 향상을 나타내는 것을 알 수 있었다.

## V. 결론

망 전체 영역에 대해 중복 전송되는 브로드캐스트 패킷은 응용 프로그램의 성능을 저하시킬 뿐만 아니라 귀중한 무선 자원도 함께 낭비하는 결과를 초래한다. 이러한 중복성을 줄이고자 본 논문에서는 이격 비율 기반의 적응적 브로드캐스팅 기법을 제안하였다. 본 논문의 제안 기법은 브로드캐스트 진행 중에 패킷의 송수신 노드 사이에서 획득 가능한 이격 비율 정보를 이용하여 브로드캐스트 패킷의 재전송 여부를 확률적으로 결정하도록 하였다. 송신 노드로부터 이격 비율이 큰 수신 노드는 재전송 확률값을 높게 부여하여 패킷의 재전송 확률을 높임으로서 추가 확장 영역을 넓혀 나가며, 송신자로부터 가까이 있어 이격 비율이 작은 수신 노드는 재전송 확률값을 낮게 부여하여 추가 확장 영역을 넓힐 필요가 없이 패킷의

조기 소멸을 유도하도록 하였다. 이에 따라 각 이동 노드는 이격 비율에 따라 브로드캐스트 패킷의 재전송 우선순위를 결정할 수 있어 불필요한 재전송을 최소화하게 되며, 결과적으로 망 전체 영역에 대한 패킷의 전송 성능(도착율)을 감소시키지 않으면서도 불필요한 브로드캐스트 패킷 전송에 따르는 오버헤드를 줄이는 장점을 지니게 되었다. 향후 연구 내용으로는 본 연구의 제안 기법이 이동 수가 변하는 경우와 이동 노드 주위의 밀집도가 다른 경우에 어떠한 성능을 보이는지 살펴볼 필요가 있으며 아울러 다양한 환경에서 보다 정확한 재전송 확률값을 산출할 수 있는 수학적 모델 개발이 필요할 것으로 보인다.

## 참고문헌

- [1] Jyoti Raju and J.J Garcia-Luna-Aceves, "A comparison of on-demand and table-driven routing for ad-hoc wireless network" in Proc. of IEEE ICC, June 2000
- [2] Sze-Yao Ni, Yu-Vhee Tseng, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sheu, "Broadcast storm problem in a mobile ad hoc network", Wireless Networks, Vol. 8, pp. 153-167, May 2002.
- [3] W. Lou and J. Wu, "On reducing broadcast redundancy in ad hoc wireless networks," IEEE Trans on Mobile Computing Vol. 1, No. 2, pp. 111-122, Apr. 2002.
- [4] Y. Tseng, S. Ni, and E. Shih, "Adaptive approaches to relieving broadcast storms in a wireless multi-hop mobile ad hoc network", in Proc. of ICDCS 2001, pp. 481-488, Apr. 2001.
- [5] B. Williams and T. Camp, "Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks," in Proc. of the 3rd ACM international Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing, pp. 194-205, Jun. 2002.
- [6] N. Karthikeyan, V. Palanisamy, and K. Duraiswamy, "Performance comparison of broadcasting methods in mobile ad hoc network" International Journal of Future Generation Communication and Networking, Vol. 2, No. 2, pp. 47-58, Jun. 2009.
- [7] J. Cartigny and D. Simplot, "Border node

retransmission based probabilistic broadcast protocols in ad-hoc networks”, Telecommunication Systems 22(1 -4), pp. 189 -204, 2003.

[8] Q. Zhang and D. P. Agrawal, “Dynamic probabilistic broadcasting in mobile ad hoc networks”, Journal of Parallel and Distributed Computing Volume 65, Issue 2, pp. 220-233, Feb. 2005.

[9] M. Bani-Yassein, M. Ould-Khaoua, L. M. Mackenzie and S. Papanastasiou, “Performance analysis of adjusted probabilistic broadcasting in mobile ad hoc networks”, International Journal of Wireless Information Networks Volume 13, Number 2, pp. 127-140, Apr. 2006.

[10] Sasson Y, Cavin D, Schiper A, “Probabilistic broadcast for flooding in wireless mobile ad hoc networks”, Proceedings of IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC), Mar. 2003.

[11] Jie Wu and Fei Dai, “A generic broadcast protocol in ad hoc networks based on self-pruning”, Parallel and Distributed Processing Symposium, 2003. Proceedings. International, Apr. 2003.

[12] Kim, J-S, Zhang, Q. and Agrawal, D. P., “Probabilistic broadcasting based on coverage area and neighbour confirmation in mobile ad hoc networks”, Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference Workshops (GlobeCom), pp. 96-101, Nov. 2004.

[13] Bani-Yassein M, Ould-Khaoua M, Mackenzi LM, Papanastasiou S, “Performance analysis of adjusted probabilistic broadcasting in mobile ad hoc networks”, Int. J. Wireless Inform Networks 2006, pp. 127 - 140. Apr. 2006

[14] 신재욱, 권혜연, 김응배, “이동 Ad Hoc 네트워크에서의 Flooding 기술, 전자통신동향분석, 제18권 제6호, 2003년 12월.

[15] 배기찬, 김남기, 윤현수, “무선 Ad Hoc 망에서 영역 추정을 통한 ABP 브로드캐스트 기법”, 한국통신학회논문지 제 30권 제 4B호, 170-177쪽, 2005년 4월.

[16] 김정삼, 류정필, 한기준, “에드혹 네트워크에서 지역 밀

집도에 적응적인 확률적 플러딩 기법”, 전자공학회 논문지 제 42권, 제 9호 581-588쪽, 2005년 9월.

[17] 박기홍, 신성윤, 이양원, 이종찬, 이진관, 장혜숙, “이동 Ad-hoc 통신을 위한 지능형 거리추정 클러스터방식”, 한국컴퓨터정보학회논문지 제 14권, 제 11호, 105-111 쪽, 2009년 11월.

[18] 유대훈, 최웅철, “이동 에드혹 네트워크에서 MAC 계층 자원을 이용한 에너지 효율 라우팅 프로토콜”, 한국컴퓨터정보학회논문지 제 12권, 제 6호, 219-228쪽, 2007년, 12월.

### 저자 소개



#### 김정홍

1986: 경북대학교 공학사.  
 1988: 경북대학교 공학석사.  
 1988-1996: 한국전자통신연구원  
 2001: 충남대학교 공학박사.  
 1996-현재 : 경북대학교 컴퓨터정보  
 학부 교수  
 관심분야 : 유비쿼터스, 임베디드시스템



#### 김재수

1985: 경북대학교 공학사.  
 1987: 중앙대학교 공학석사.  
 1987-1996: 한국전기연구원  
 1999: 경남대학교 공학박사.  
 1996-현재 : 경북대학교 컴퓨터정보  
 학부 교수  
 관심분야 : 모바일컴퓨팅, 센서네트워크