

무선 Ad Hoc 망에서 영역 추정을 통한 ABP 브로드캐스트 기법

정희원 배기찬*, 김남기**, 윤현수***

Autonomous Broadcast Pruning Scheme using Coverage Estimation in Wireless Ad Hoc Network

Ki chan Bae*, Nam gi Kim**, Hyun soo Yoon*** *Regular Members*

요 약

Ad-Hoc 망에서 브로드캐스트는 중복적인 패킷 재전송에 기인한 오버헤드가 매우 큰 작업이다. 따라서 재전송으로 인한 오버헤드를 줄이기 위한 기존 연구로 암묵적 혹은 명시적으로 주변 노드 정보를 주고 받음으로써 패킷의 중복된 재전송을 최소화하고자 하는 연구가 진행되어져 왔다. 하지만 이 방법들은 주기적으로 주변 정보를 주고 받아야 하는 부가적인 오버헤드를 가진다. 따라서 본 논문에서는 현재 진행되는 브로드캐스트에 의해 획득 가능한 정보만으로 패킷의 전파 영역 (Coverage Area)을 지역적으로 추정함으로써 패킷 재전송을 줄이는 실용적인 브로드캐스트 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 현재 전송되고 있는 브로드캐스트 패킷에서 추출할 수 있는 정보만을 사용하기 때문에, 주변 노드 정보를 알기 위해서 전송되는 주기적인 패킷 전송 오버헤드를 제거할 수 있다.

Key Words : Distributed computing, Self-configuration, Broadcast pruning algorithm, Wireless ad hoc network

ABSTRACT

Due to the redundant rebroadcast packets, network-wide broadcasting is a costly operation in wireless mobile ad hoc networks. To reduce this redundancy, most of previous approaches implicitly or explicitly require periodic refreshing of neighborhood information which continuously imposes additional broadcast overheads. In this paper, we propose a practical broadcast pruning scheme based on the local prediction of a remained coverage area. As the proposed scheme uses only information available in the on-going broadcast process, it can minimize the overheads prevalent in previous approaches.

1. 서 론

Ad-Hoc 망은 기 설치된 기반시설이나 중앙 집중적인 관리 없이 오로지 무선 이동 단말기들만으로 구성되어진 망이다. 따라서 Ad-Hoc 망을 사용하면 전쟁 수행 중의 군사 작전이나 긴급 상황 하에서 구조 작전, 또는 무선 컨퍼런스(conference) 나 유비쿼

터스(ubiquitous) 컴퓨팅 등의 다양한 분야에서 부가적인 기반시설 설치비용 없이 빠르게 네트워크를 구성할 수 있다.

Ad-Hoc 망에서 노드들의 패킷 전송을 위해서는 라우팅 프로토콜이 필요하다. 라우팅 프로토콜은 자유로이 이동하는 이동 노드들에 의해 동적으로 변화하는 네트워크를 유연하게 구성하고 유지하기 위

* 한국과학기술원 전자전산학과 (kcbae@camars.kaist.ac.kr), ** 삼성전자 통신연구소 (ngkim@camars.kaist.ac.kr),

*** 한국과학기술원 전자전산학과 (hyoon@camars.kaist.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-10-243, 접수일자 : 2004년 10월 24일

해 라우팅 정보를 수집 및 관리한다. 이를 위해 대부분의 라우팅 프로토콜들은 브로드캐스트 방법을 통해 주변 노드로부터 정보를 수집한다. 따라서 Ad-Hoc 망에서 라우팅 프로토콜의 신뢰성과 효율성은 브로드캐스트 방법이 얼마나 효과적인가에 달려 있다.

브로드캐스트 방법 중 가장 널리 쓰이는 것은 블라인드 플러딩(blind flooding) 기법이다. 이 기법은 네트워크를 구성하는 모든 노드들이 주변 노드의 동작과 무관하게 자신이 받은 브로드캐스트 패킷에 대하여 항상 재전송을 수행하는 것이다. 이러한 블라인드 플러딩 기법은 단순하면서도 높은 도달성(reachability)을 보장하는 특성으로 인해 대부분의 Ad-Hoc 라우팅 프로토콜에서 적용되어 폭 넓게 사용되고 있다. 하지만 이 기법은 노드가 밀집되어 있는 환경에서는 노드들이 서로 브로드캐스트 패킷전송을 시도하게 되고, 이로 인해 채널에 대한 경쟁과 패킷간의 충돌이 발생하게 되어, 제한된 무선 채널의 대역폭을 브로드캐스트 패킷이 모두 차지해 버려서 성능이 저하되는 특성을 보인다.

지금까지 이러한 브로드캐스트 기법에 의한 문제점을 최소화하고 그 효율성을 증대하기 위해서 여러 연구가 진행되어져 왔다. 이 연구들은 대부분 같은 영역에 중복적으로 전송되는 브로드캐스트 패킷을 주변 노드 정보를 이용하여 최소화하는 방향으로 진행되어 왔으며, 크게 프로액티브(proactive) 접근법과 리액티브(reactive) 접근법으로 나누어 볼 수 있다. 일반적으로 프로액티브 접근법들은 리액티브 접근법보다 보다 정밀한 패킷의 중복전송 차단 효과를 보인다. 하지만 프로액티브 접근법들은 주기적인 정보 교환을 필요로 하므로 리액티브 접근법들보다 많은 오버헤드를 지닌다. 따라서 본 논문에서는 프로액티브 접근법들과 유사한 정밀성을 지니면서도 주기적인 정보 교환의 필요성을 배제한 새로운 ABP (Autonomous Broadcast Pruning) 브로드캐스트 프루닝 기법을 제안한다.

II. 관련 연구

MANET (Mobile Ad hoc Network)에서 효율적인 브로드캐스트 방법을 찾는 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 그 중 한 연구에서는 최소 플러딩 트리(minimum flooding tree)를 만드는 것이 NP-complete 문제라고 알려진 MCDS(Minimum Connected Dominating Set)를 구하는 것과 같은 복잡도를 지님을 밝혔다[3]. 이에 따라 이러한 문제를 극복하고 효율

적인 브로드캐스트 알고리즘을 찾자 많은 연구들이 이론적으로나 실험적으로 진행되어져 왔으며, 이 방법들은 크게 프로액티브(proactive) 접근법과 리액티브(reactive) 접근법으로 나눌 수 있다.

프로액티브 기법들은 "Hello" 메시지처럼 주기적으로 주변 노드에게 패킷을 전송함으로써 망 정보를 모으고 이를 이용한다. [3]에서는 1 홉(hop) 노드정보를 이용하는 셀프 프루닝(self pruning) 알고리즘과 2 홉 노드 정보까지 사용하는 도미넌트 프루닝(dominant pruning) 알고리즘을 제안하였다. [4]에서는 MPR(Multipoint Relaying)을 제안하였다. 이 기법은 송신 노드에 의해 자신의 2 홉 노드 중 앞으로 브로드캐스트 패킷을 전송해야 할 노드를 미리 결정하는 방법을 제안하였다. 또한 [5]에서는 셀프 프루닝과 유사한 알고리즘을 제안하였으며, [7]에서는 오버헤드를 줄이기 위한 패시브 클러스터링(passive clustering)이라는 기법을 제안하였다.

리액티브 기법들은 브로드캐스트를 실행하기 이전에 획득되어야 하는 주변 노드에 대한 정보 없이, 브로드캐스트 동작 중 불필요하다고 생각되는 브로드캐스트 패킷을 자율적으로 차단하는 방법을 사용한다. 따라서 패킷 차단 결정은 브로드캐스트가 진행되는 도중에 동적으로 이루어진다. 리액티브 기법들에는 확률 기반 기법, 카운터 기반 기법, 거리 기반 기법 및 위치 기반 기법 등이 있다 [2, 8].

[9]에서 수행된 비교 연구에 의하면, 프로액티브 프루닝 기법은 리액티브 프루닝 기법에 비해 도달성과 효율성 면에서 나은 성능을 보여줌을 알 수 있다. 하지만 프로액티브 기법은 그 속성상 동적인 네트워크의 위상(topology) 변화를 인지하고 지속적으로 유지하기 위해 최신의 주변 노드 정보를 항상 필요로 한다. 그러나 제안된 대부분의 프로액티브 프루닝 기법들은 주변 노드 정보 획득 및 유지에 필요한 비용에 대한 고려가 미흡하다. 따라서, 실제로 기법이 동작하기 위한 비용을 고려시 망의 위상이 동적으로 변화하는 Ad-Hoc 망에서는 프로액티브 기법이 적절치 않음을 알 수 있다. 반면, 리액티브 프루닝 기법은 주변 노드 정보나 망 전체 위상 정보에 대한 지속적으로 요구되는 오버헤드가 존재하지 않는다. 하지만 대부분의 리액티브 기법은 주변 노드 및 망의 위상 정보를 정확히 파악하지 않은 상태에서 브로드캐스트 패킷 전송을 결정하기 때문에 브로드캐스트 되는 패킷의 도달성 측면에서 프로액티브 기법들보다 그 성능이 저하될 수 있다. 따라서 리액티브 기법들은 패킷의 도달성과 브로드

캐스트 동작의 효율성 간에 트레이드 오프(trade off) 관계를 갖는다. [10]에서는 이러한 트레이드 오프 문제를 제시하고 이를 적응적으로 해결하고자 하는 방법을 제안하였으나, 이를 위해 주변 노드의 정보수집에 필요한 비용을 초래함으로써 리액티브 기법의 여러 장점을 상실하는 결과를 보여주었다.

III. ABP 기법

3.1 네트워크 모델

본 논문에서는 이동 노드들의 상호 협력을 통해 망이 구성되는 MANET 환경을 고려한다. 이 환경에서 각 노드들은 CSMA/CA 기반의 트랜시버(transceiver)를 가지고 있고, GPS와 같은 위치 정보제공 장비를 탑재하고 있다. 노드의 위치 정보는 브로드캐스트를 수행하는 노드들의 패킷을 통해 제한적으로 이웃 노드들에게 전파 된다. 또한 각 노드들은 동일한 전송 거리를 가지는 무방향성 안테나(omni-directional antenna)를 이용한다고 가정한다. 그리고 어떤 노드 k가 브로드캐스트 패킷을 전송함으로써 새로이 확장할 수 있는 영역을 EAC(k) (Expected Additional Coverage)라 정의한다. MANET 환경에서 Ad Hoc 망은 단위 디스크 그래프(unit disk graph)로 표현 가능하다. 이 때 각 노드는 어떤 정점 (vertex)을 중심으로 동일한 반지름(radius)을 지닌 디스크(disk)로 표현된다. 따라서 두 정점 중 한 정점이 다른 정점을 중심으로 하는 디스크 영역 내에 위치할 때 두 정점은 서로의 주변 노드(neighbor node)가 된다

본 논문에서 제안하는 ABP(Autonomous Broadcast Pruning) 기법의 기본적인 아이디어 중 하나는, 가장 큰 EAC를 가지는 노드가 그 주변 노드들 보다 먼저 브로드캐스트 패킷을 전송하도록 함으로써 보다 빨리 전송 영역을 넓히는 것이다. 그 결과, 이미 패킷이 전송된 영역에 있는 노드들이 스스로의 판단에 의해 불필요한 브로드캐스트 재전송을 하지 않도록 만드는 것이 ABP 기법의 또 하나의 기본 아이디어이다. 이렇게 하기 위해서는 분산된 환경에서 각 노드들이 자신들의 EAC를 추정할 수 있는 방법이 필요하다. 이 추정을 통해 각 노드들은 자신이 전송할 수 있는 브로드캐스트 패킷의 우선순위를 분산 알고리즘으로 추론해 낸다.

3.2 거리 기반의 포함 영역 추정

어떤 노드 B가 송신 노드 A로부터 브로드캐스트

패킷을 수신 받았다고 가정할 때, 수신 노드 B는 GPS를 통해 자신의 위치 정보와, 브로드캐스트 패킷을 통해 송신 노드 A의 위치 정보를 모두 알 수 있다. 이 두 위치 정보를 이용해 수신 노드는 송신 노드로부터의 거리 d를 계산해 낼 수 있다. 이때 노드 B는 자신의 EAC를 식 (1)과 거리 d를 이용하여 기하학적으로 계산할 수 있다.

$$EAC(B) = \pi r^2 - 4 \int_{d/2}^r \sqrt{r^2 - x^2} dx \quad (1)$$

여기서 r은 무방향성 안테나의 송신 가능거리를 나타낸다.

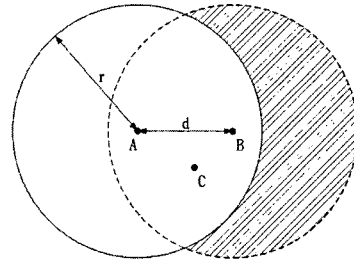


그림 1. 노드 A로부터 브로드캐스트 패킷을 받은 후 노드 B의 EAC

그림 1에서 빗금친 영역은 노드 A, B 사이의 거리가 d일 때 B의 브로드캐스트로 인해 기대되는 EAC를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 어떤 노드가 최초로 브로드캐스트 패킷을 수신시 d가 커질수록 EAC도 커지게 됨을 알 수 있다. 하지만, 매번 브로드캐스트 패킷이 도착했을 때, 식 (1)과 같은 계산을 통해 노드 B가 EAC를 추정하는 방법은 다소 비효율적이다. 따라서 본 논문은 이와 같은 환경에서 식 (1)을 사용하지 않고도 두 노드간의 거리 d와 최대 전송 거리 r의 비율을 이용하는 방법을 제안한다.

그림 2는 d와 r의 비율이 변할 때 실제 EAC의 변화를 식 (1)의 결과 값을 통해 보여 주고 있다. 그 결과에 따르면 거리 비율이 최대 (1.0)가 될 때, 새로이 확장할 수 있는 영역의 최대 크기는 한 번의 브로드캐스트로써 확장할 수 있는 최대영역, 즉 최대 EAC의 약 61%가 됨을 알 수 있다. 또한 이 결과를 통해 우리는 수신 노드의 EAC는 송수신 노드들 사이의 거리에 비례한다고 말할 수 있다. 따라서 브로드캐스트 패킷의 전송을 최소화하기 위해서는 가장 큰 거리 비율을 가지는 노드가 먼저 패킷을 전송해야 한다. 이를 위해서 각 노드는 이 거리

비율을 기반으로 패킷 전송 시간을 조정해야 한다. 각 노드는 다음 식 (2)를 통해 조정된 브로드캐스트 시간 T를 계산해 낼 수 있다.

$$T_{rebroadcast} = T_{now} + k_d \left(1 - \frac{d}{r} \right) + \varepsilon \quad (2)$$

이 식에서 K_d 는 한 번의 브로드캐스트 동작에 소요되는 시간의 최댓값을 의미하고, ε 는 같은 거리 비율을 가지는 서로 다른 노드들 사이의 브로드캐스트 충돌을 방지하기 위한 임의의 양수 값(positive random number)을 의미한다. 브로드캐스트 패킷이 도착했을 때 각 노드들은 이를 지연버퍼에 넣고, 식 (2)를 통해 계산된 시간 T만큼 지연 후 전송하게 된다. 그러므로 동일한 패킷을 수신한 여러 노드 중 가장 짧은 지연 시간을 갖는 노드부터 브로드캐스트 패킷을 전송하는 기회를 갖게 된다. 이 때, 전송한 바와 같이 전송 노드는 패킷 헤더에 자신의 위치 정보를 추가 후 전송한다.

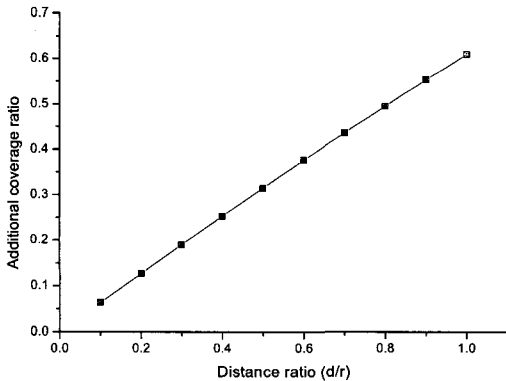


그림 2. 거리 비율에 따른 EAC 비율의 상관 관계

2.3 영역 기반의 포함 영역 추정

본 절에서는 브로드캐스트 패킷을 수신한 어떤 노드가 지연 시간 경과 후 브로드캐스트 패킷을 재 전송했을 때의 상황을 고려해 본다. 그림 3은 노드 A의 패킷을 수신한 노드들 중 가장 큰 EAC를 갖는 노드 B가 지연 시간 T 이후 브로드캐스트 패킷을 전송한 상황을 나타내고 있다. 이 때, 노드 A와 노드 B의 공통 전송영역에 존재하는 다른 노드들은 동일한 브로드캐스트 패킷을 두 번씩 수신하게 된다. 이 노드들은, 자신의 지연버퍼 안에 동일한 브로드캐스트 패킷이 있는지 없는지 조사한다. 만약 있다면, 브로드캐스트 패킷의 중복 전송을 최소화하기 위해, 그 패킷의 지연 시간을 다시 조정한다. 이

때 수행하는 지연 시간에 대한 재계산은 주변 노드의 위치정보를 이용하더라도 쉽게 구하기가 힘들다. 예를 들어, 그림 3에서 노드 C의 브로드캐스트 패킷 전송에 의해 얻어지는 EAC 값은 점선으로 이루어진 위쪽 원의 빗금 친 부분에 해당하며, 식 (3)에 의해 기하학적으로 계산해야 한다.

$$EAC(C) = 2 \int_0^d \left(\sqrt{r^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - (x+r/2)^2} \right) dx \quad (3)$$

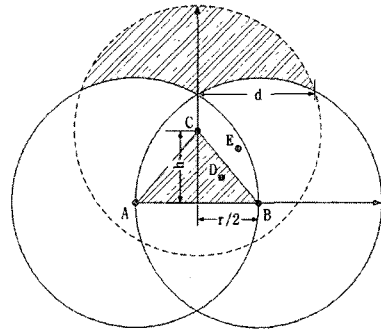


그림 3. 삼각형 면적을 이용한 EAC 추정

하지만, 식 (3)의 결과 값을 얻기 위해서는 여러 단계의 복잡한 계산을 거쳐야 한다. 본 논문에서는 노드 C가 식 (3)과 같은 복잡한 계산 비용 없이 자신의 EAC 값을 추정할 수 있도록 하기위한 단순한 추정 방법을 제안한다. 이를 위해, 먼저 EAC(C)와 노드 A, B, C에 의해 형성되는 삼각형 영역의 관계에 대한 분석이 필요하다. 그림 3에서 빗금 친 삼각형 영역은 헤론의 공식 (Heron's formula)인 식 (4)에 의해 각 변의 길이만으로 쉽게 계산될 수 있다.

$$A = \sqrt{s(s-AB)(s-AC)(s-BC)}, \quad (4)$$

$$s = (AB + AC + BC) / 2$$

따라서 각 노드들은 브로드캐스트 패킷에 각 노드들의 위치 정보를 이용하여 삼각형 영역을 분산적으로 구할 수 있다. 그림 4는 식 (4)의 결과 값을 이용하여 구할 수 있는 삼각형의 면적 비율이 변할 때 식 (3)에 의한 EAC 값의 변화를 비교하여 보여 주고 있다. 이 그래프에서 수평 축은 노드간의 거리를 이용하여 계산된 삼각형 영역을 형성 가능한 최대 삼각형 면적으로 나눈 비율이고, 수직 축은 EAC와 최대 EAC의 비율을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, EAC 값의 변화 비율은 삼각형 영역의 변화 비율에 비례함을 보여준다. 따라서 제안한

ABP 기법이 복잡한 EAC 계산 비용 없이 단순히 삼각형 영역 계산에 의해 EAC를 추정할 수 있게 된다.

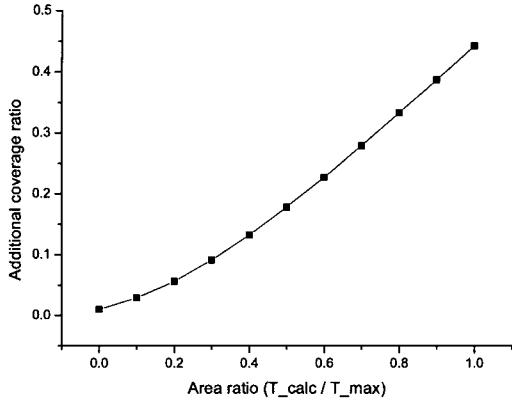


그림 4. 삼각형 면적비와 EAC 비율의 상관 관계

제안된 ABP 기법을 따를 때, 그림 3에서의 노드들 중 노드 C, D, E는 노드 B의 브로드캐스트 패킷 전송 이후 노드 A의 전송에 의해 최초 설정했던 지연 시간을 재조정하게 된다. 이 때, 재조정되는 브로드캐스트 스케줄 $T_{rebroadcast}$ 는 식 (5)에 의해 계산될 수 있다.

$$T_{rebroadcast} = T_{now} + k_a \left(1 - \frac{a_i}{a_{i_max}} \right) + \varepsilon \quad (5)$$

여기서 T_{now} 는 노드 B로부터 패킷을 수신한 시간을 말하며 k_a 는 한 번의 브로드캐스트 동작에 소요되는 시간의 최댓값을 의미하고, a_i 는 계산된 삼각 영역, a_{i_max} 는 최대삼각 영역 크기를 나타낸다. 그림 3에서 노드 B의 전송 후 이 식에 따라 지연 시간을 다시 계산하면, 노드 C가 가장 짧은 지연 시간, 즉 가장 빠른 브로드캐스트 스케줄을 가지게 된다. 따라서 다른 노드들에 비해 노드 C가 가장 먼저 브로드캐스트 패킷을 전송함으로써 새로이 확장되는 영역을 최대화 할 수 있게 된다.

3.4 ABP 알고리즘에서의 예외 처리

이 절에서는 노드들이 동일한 브로드캐스트 패킷을 세 번 이상 받은 경우에 대해 알아본다. 본 논문에서 제안하는 기법은 주변 노드 중에서 잠재적 확장 영역이 가장 큰 노드가 먼저 브로드캐스트 패킷을 재전송하는 것을 기본 아이디어로 하고 있다. 따라서 어느 노드가 동일한 브로드캐스트 패킷을 세

차례 이상 받았다면, 그 노드가 가질 수 있는 EAC는 대부분의 경우 매우 적을 것이다.

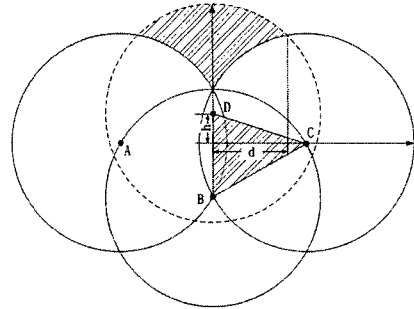


그림 5. 예외적 경우의 EAC

같은 브로드캐스트 패킷을 세 차례이상 받았으나 여전히 많은 EAC를 가지는 경우는 그림 5에서처럼 이미 재전송을 수행한 세 노드 중 두 노드가 서로의 통신영역 내에 있지 않는 경우이다. 예를 들어, 그림 5에서 노드 A, B, C가 순차적으로 브로드캐스트 패킷을 전송했다고 할 때, 노드 D는 3번의 브로드캐스트 패킷을 수신했음에도 불구하고 여전히 그림 5에서 보이는 점선으로 표시된 원의 면적 중 빗금 친 면적만큼의 상당 수준의 EAC를 가지게 된다. 노드 D가 자신의 EAC 값이 충분히 큼에도 불구하고 단지 동일한 패킷의 수신 횟수만을 고려하여 재전송을 차단하는 경우에는 문제를 유발할 수 있다.

이런 경우, 판단 오류에 의한 브로드캐스트 프루닝을 방지하기 위해, 노드 D에게는 현재 상태에서 재전송의 필요 유무를 결정하기 위한 적절한 수단이 필요하다. 만약 기하학적인 영역에 대한 계산으로서 잔존 EAC를 구하려고 한다면 이는 식 (6)에 의해 수행되어 질 수 있다.

$$EAC(D) = 2 \int_0^d \left(\sqrt{r^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - (x + \sqrt{3}r/2)^2} + h \right) dx \quad (6)$$

여기서 d 는 1/4분면에 위치한 교차점의 수평축 좌표를 나타내고 h 는 노드 A와 C를 연결하는 직선으로부터 노드 D까지의 높이를 나타낸다. 그러나 식 (6)의 계산은 대부분의 경우 각 노드의 위치에 대한 정보가 제공되더라도 d 와 h 값을 결정하기 힘들다는 점에서 계산하기 어렵다. 이러한 EAC를 찾기 위한 계산량을 줄이고 단순화 할 수 있는 방법으로, 본 논문은 이전과 같이 같은 전송 영역 안에 놓여진 세 노드에 의해 만들어지는 삼각형 면적을

통한 EAC 추정 기법을 제안한다.

그림 6은 식 (6)에 의해 계산되는 EAC 값과 세 노드로 구성되는 삼각형 면적비의 상관관계를 나타내는 그래프이다. 이 경우에도 삼각형의 면적 비는 EAC의 비율과 비례하는 상관관계를 갖는다는 점을 알 수 있다. 따라서 어떤 노드가 브로드캐스트 패킷을 세 번 전송 받았을 경우, 앞서 제시한 삼각 영역 크기를 통해 EAC 값을 추정하므로써 손쉽게 브로드캐스트 패킷 전송에 필요한 지연 시간을 결정할 수 있다.

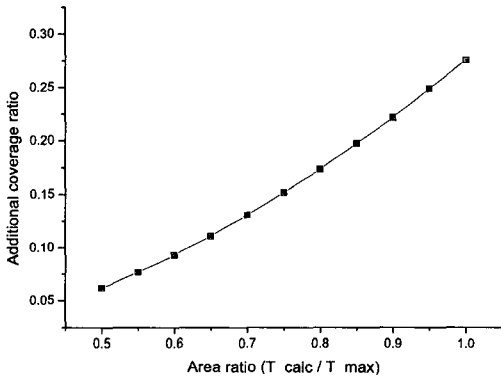


그림 6. 예의 상황에서 삼각형 면적비와 EAC 비율 관계

네 번 이상 동일한 브로드캐스트 패킷을 받은 경우, 제안한 기법에서는 더 이상 같은 브로드캐스트 패킷을 재전송하지 않는다.

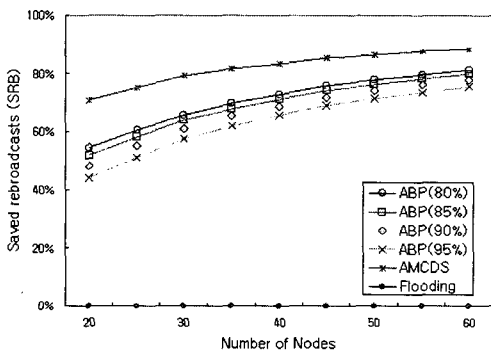
IV. 실험 및 평가

제안하는 기법의 효과를 검증하기 위해, 본 논문에서는 ns2 [11] 시뮬레이터를 사용해 실험을 수행했다.

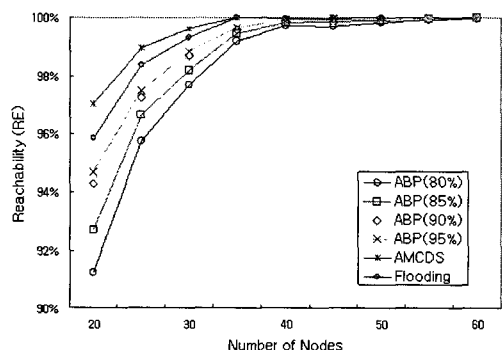
4.1 전송보장수준에 의한 효과

본 절에서는 전송보장수준에 따른 성능 차이를 알아본다. 실험에서 k%의 전송보장수준이란 브로드캐스트 패킷이 최소 k% 이상의 노드에게 전송되는 것을 보장하는 의미이다. 실험은 670 x 670m² 크기의 영역에서 임의의 위치에 놓여 있는 노드를 가지고 수행하였다. 각 노드들의 전송 반경은 250m이고 노드 수는 20개에서 60개까지 변경하며 실험하였다. 실험에서 SRB는 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드 중에서 패킷 재전송을 하지 않은 노드 수의 비율이다. 그리고 RE는 망 전체에 위치하는 노드 중 브로드캐스트 패킷을 받은 노드 수의 비율이다.

그림 8은 서로 다른 전송보장수준에 의해 각각 다른 임계 값을 가질 때의 실험 결과를 보여 주고 있다. 이 실험에서는 상하위 한계치를 비교하기 위해 MCDS와 Flooding 방법도 함께 실험하였다. MCDS의 해법은 NP-complete 문제임으로 본 실험에서는 MCDS의 근사 알고리즘인 AMCDS [12]를 사용하였다. AMCDS는 전체 망 정보를 중앙 집중적 정보 수집에 의해 어떤 관리자가 모두 알고 있다는 가정 하에서 기술된 알고리즘으로 실제 Ad Hoc 망과 같은 분산 망에서는 적용하기가 거의 불가능하다. 그림 8(a)에서 알 수 있듯이, SRB 값은 노드 수가 늘어남에 따라 함께 증가한다. 하지만 그 증가하는 정도는 점차 줄어든다. SRB 값만 보면 AMCDS가 가장 좋은 결과를, Flooding이 가장 나쁜 결과를 나타내었다. 그리고 본 논문에서 제안하는 ABP 기법은 전송보장수준이 낮을수록 SRB 값이 높게 나옴을 알 수 있었다. 한편, 그림 8(b)는 전송보장수준에 따른 RE 값을 보여 주고 있는데, 노드들의 재전송에 의해 패킷을 망 전체로 전송하는 MANET 환경에서는 Flooding이 실현가능한 가장 높은 상위 한

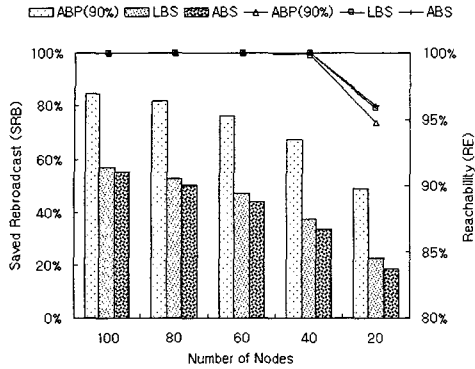


(a) Saved Rebroadcast (SRB)

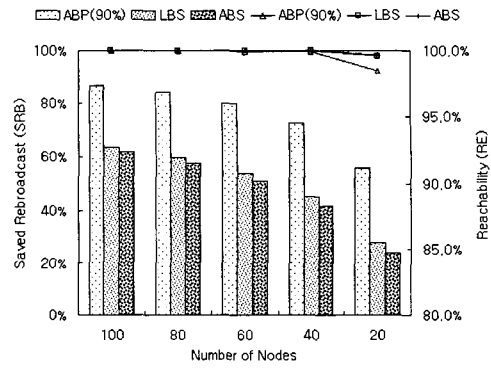


(b) Reachability(RE)

그림 8. 서로 다른 전송보장수준에 따른 성능 실험



(a) No mobility



(b) Mobility (20m/s)

그림 9. ABP 기법과 기존 기법들 비교

계 값을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 ABP 기법을 적용할 때 RE 값은 전송보장수준이 올라가면 같이 증가한다. 그러나 전송보장수준이 90% 이상이 되면 RE 값은 증가가 크게 둔화 된다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 해서 볼 때, SRB와 RE 값을 적절히 만족시키는 최적 전송보장수준은 90%라고 제안할 수 있다.

4.2 제안한 기법과 기존 기법 비교

두 번째로 본 논문에서 제안하는 ABP 기법을 SRB와 LE의 척도를 이용하여 기존의 리액티브 브로드캐스트 기법인 LBS (location based scheme) [2], ABS (angle based scheme) [6]와 비교 분석해 보았다. 이 때 제안하는 ABP 기법의 전송보장수준은 90%로 설정하였다. 각 노드는 2Mbps 대역폭을 가지는 IEEE 802.11 Wireless LAN을 가정 하였으며, 이동성이 있는 경우엔 Random Waypoint 모델을 기반으로 움직이게 하였다. 네트워크 계층에서 프루닝 결정을 위한 지연 시간은 최대 0.05 초로 두었으며, 망의 조밀성에 의한 영향을 파악하기 위해 노드 수는 20개에서 100까지 바꾸어 가며 실험을 진행하였다. 마지막으로, 경로 탐색 과정(route request process)을 동작시키기 위해 CBR 트래픽을 생성하였으며, 라우팅 프로토콜로는 Ad Hoc 망에서 널리 사용되는 DSR [1] 알고리즘을 사용하였다.

그림 9는 노드의 이동성을 고려할 때, 각 브로드캐스트 프루닝 기법의 평균 SRB와 RE 값을 보여 주고 있다. 그림에서 막대그래프는 SRB 값들을 나타내고 꺾은 선 그래프는 RE 값들을 나타낸다. 결과를 통해 알 수 있듯이, ABP 기법은 노드의 이동성이 있을 때와 없을 때 모두, 재전송되는 브로드캐스트 패킷 수를 줄임으로써 높은 SRB 값을 얻을

수 있음을 보여준다. 즉, ABP 기법은 노드의 밀도와 그 이동성에 관계없이 다른 두 기법에 비해 25% 이상 브로드캐스트 패킷 재전송 방지 효과를 가지고 있음을 알 수 있었다. 한편, 패킷의 전달률 정도를 나타내는 지표인 RE는, 노드 수가 20개 정도로 극히 제한된 연결성만 제공되는 환경에서도 다른 기법들과 비교 시 1% 정도의 전달률 내에서 그 성능을 보장하고 있다. 하지만, 이 차이는 노드가 일정 수 이상으로 증가하면 거의 존재하지 않는다.

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 영역 기반의 적응적 브로드캐스트 프루닝 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 브로드캐스트 진행 중에 획득 가능한 정보를 이용해 필요한 브로드캐스트 패킷 재전송 여부를 삼각형 영역을 이용하여 간접적으로 예측하고, 이에 따라 각 노드의 브로드캐스트 우선순위를 결정함으로써 불필요한 재전송을 최소화하였고, 결과적으로 망 전체 영역에 대한 패킷의 전송성능을 감소시키지 않으면서도 불필요한 브로드캐스트 패킷 전송에 따르는 오버헤드를 줄이는 장점을 지닌다.

참고 문헌

[1] D. Johnson and D. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, 1996.

- [2] Y. Tseng, S. Ni, Y. Chen, and J. Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad hoc Network," *Wireless Networks*, vol. 8, 2002.
- [3] H. Lim and C. Kim, "Flooding in Wireless Ad Hoc Networks," *Computer Communications Journal*, vol. 24, pp. 353-363, 2001.
- [4] A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, "Multipoint Relaying for Flooding Broadcast Message in Mobile Wireless Networks," *HICSS-35*, Jan. 2002.
- [5] W. Peng and X. Lu, "On the Reduction of Broadcast Redundancy in Mobile Ad Hoc Networks," *MOBIHOC'00*, pp. 129-130, Aug. 2000.
- [6] M. Sun, W. Feng, and T. Lai, "Location Aided Broadcast in Wireless Ad hoc Networks," *GLOBECOM'01*, pp. 2842-2846, Nov. 2001.
- [7] M. Gerla, T. Kwon, and G. Pei, "On Demand Routing in Large Ad Hoc Wireless Networks with Passive Clustering," *WCNC'00*, 2000.
- [8] A. Boukerche, V. Sheetal, and M. Choe, "A Route Discovery Optimization Scheme Using GPS System," *IEEE Annual Simulation Symposium*, 2002.
- [9] B. Williams and T. Camp, "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks," *MOBIHOC'02*, pp. 194-205, 2002.
- [10] Y. Tseng and S. Ni, E. Shih, "Adaptive Approaches to Relieving Broadcast Storms in a Wireless Multihop Mobile Ad Hoc Network," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 52, issue: 5, pp. 545-557, May 2003.
- [11] <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>
- [12] B. Das, R. Sivakumar, and V. Bharghavan, "Routing in Ad-hoc Networks using Virtual Backbone," *ICCCN'97*, pp. 1-20, Sept. 1997.

배기찬(Ki chan Bae)

정회원



1990년 2월 육군사관학교 군사사과 학사
 1995년 9월 미 해군대학원 정보기술관리학과 석사
 2005년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 박사
 <관심분야> 무선적응망, 무선이동통신 시스템, 패킷 네트워크

김남기(Nam gi Kim)

정회원



1997년 2월 서강대학교 컴퓨터학과 학사
 2000년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 석사
 2005년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 박사
 2005년 3월~현재 삼성전자

책임연구원

<관심분야> 이동 통신 시스템, 패킷 네트워크

윤현수(Hyun soo Yoon)

정회원



1979년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
 1981년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
 1988년 2월 Ohio 주립대학 전산학과 박사
 1989년~ 한국과학기술원 전산

학과 교수

<관심분야> 상호연결 네트워크, 병렬 컴퓨터 구조, 컴퓨터 보안